

# 몰리브덴 막대 백과 사전

中钨智造科技有限公司  
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

텅스텐, 몰리브덴 및 희토류 산업을 위한 지능형 제조 분야의 글로벌 리더

저작권 및 법적 책임 선언문

## CTIA GROUP 소개

CHINATUNGSTEN ONLINE 이 설립 한 독립적 인 법인격을 가진 전액 출자 자회사 인 CTIA GROUP LTD 는 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 재료의 지능적이고 통합적이며 유연한 설계 및 제조를 촉진하기 위해 최선을 다하고 있습니다. 1997 년 [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) 를 출발점으로 설립 된 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 중국 최초의 최상위 텅스텐 제품 웹 사이트이며 텅스텐, 몰리브덴 및 희토류 산업에 중점을 둔 중국의 선구적인 전자 상거래 회사입니다. 텅스텐 및 몰리브덴 분야에서 거의 30 년 동안 쌓아온 깊은 경험을 바탕으로 CTIA GROUP 은 모회사의 탁월한 설계 및 제조 능력, 우수한 서비스 및 글로벌 비즈니스 명성을 계승하여 텅스텐 화학, 텅스텐 금속, 초경합금, 고밀도 합금, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 분야에서 포괄적인 응용 솔루션 공급업체가 되었습니다.

지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 텅스텐, 몰리브덴 및 희토류와 관련된 뉴스, 가격 및 시장 분석의 100 만 페이지 이상을 포함하여 20 개 이상의 언어를 다루는 200 개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹 사이트를 설립했습니다. 2013 년부터 WeChat 공식 계정 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 40,000 개 이상의 정보를 게시하여 거의 100,000 명의 추종자에게 서비스를 제공하고 전 세계 수십만 명의 업계 전문가에게 매일 무료 정보를 제공합니다. 웹 사이트 클러스터 및 공식 계정에 대한 누적 방문 횟수가 수십억 회에 달함에 따라 텅스텐, 몰리브덴 및 희토류 산업에서 인정받는 글로벌하고 권위 있는 정보 허브가 되어 24/7 다국어 뉴스, 제품 성능, 시장 가격 및 시장 동향 서비스를 제공합니다.

CHINATUNGSTEN ONLINE 의 기술과 경험을 바탕으로 CTIA GROUP 은 고객의 개인화 된 요구를 충족시키는 데 중점을 둡니다. AI 기술을 활용하여 특정 화학 조성 및 물리적 특성(예: 입자 크기, 밀도, 경도, 강도, 치수 및 공차)을 가진 텅스텐 및 몰리브덴 제품을 고객과 공동으로 설계하고 생산합니다. 금형 개발, 시험 생산에서 마무리, 포장 및 물류에 이르기까지 전체 프로세스 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 전 세계 130,000 명 이상의 고객에게 500,000 가지 이상의 텅스텐 및 몰리브덴 제품에 대한 R & D, 설계 및 생산 서비스를 제공하여 맞춤형, 유연성 및 지능형 제조의 기반을 마련했습니다. 이러한 기반을 바탕으로 CTIA GROUP 은 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 재료의 지능형 제조 및 통합 혁신을 더욱 심화합니다.

CTIA GROUP 의 Hanns 박사와 그의 팀은 30 년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴 및 희토류와 관련된 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 작성하고 공개적으로 발표하여 텅스텐 업계와 자유롭게 공유했습니다. 한 박사는 1990 년대부터 30 년 이상 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자 상거래 및 국제 무역, 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조 분야에서 경험을 쌓았으며 국내외에서 텅스텐 및 몰리브덴 제품 분야의 저명한 전문가입니다. 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하는 CTIA GROUP 의 팀은 생산 관행 및 시장 고객의 요구를 기반으로 기술 연구 논문, 기사 및 산업 보고서를 지속적으로 작성하여 업계에서 널리 찬사를 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA GROUP 의 기술 혁신, 제품 홍보 및 산업 교류에 대한 견고한 지원을 제공하여 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조 및 정보 서비스의 선두 주자로 도약할 수 있도록 합니다.



### 저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

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

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

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

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

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

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.molybdenum.com.cn

저작권 및 법적 책임 선언문

## 디렉토리

### 1 장 소개

- 1.1 폴리브덴 막대의 정의 및 개요
- 1.2 폴리브덴 막대의 역사적 발전
- 1.3 현대 산업에서 폴리브덴 막대의 중요성
- 1.4 글로벌 시장 현황 및 개발 동향

### 2 장 : 폴리브덴 막대의 재료 특성

- 2.1 폴리브덴의 화학적 조성 및 원자 구조
- 2.2 폴리브덴의 결정 구조 및 상 변화
- 2.3 폴리브덴 막대의 물리적 특성
  - 2.3.1 폴리브덴 막대의 밀도 및 용점
  - 2.3.2 폴리브덴 막대의 열전도율 및 열팽창 계수
  - 2.3.3 폴리브덴 막대의 전도성 및 저항률
- 2.4 폴리브덴 막대의 기계적 성질
  - 2.4.1 폴리브덴 막대의 강도와 경도
  - 2.4.2 폴리브덴 막대의 연성 및 인성
  - 2.4.3 고온에서 폴리브덴 막대의 크리프 거동
- 2.5 폴리브덴 막대의 화학적 성질
  - 2.5.1 폴리브덴 막대의 내산화성
  - 2.5.2 폴리브덴 막대의 내식성 (산, 알칼리, 용융염 등)
- 2.6 폴리브덴 및 폴리브덴 기반 합금의 비교
- 2.7 폴리브덴 막대와 다른 고온 재료의 특성 비교
- 2.8 CTIA GROUP LTD 의 폴리브덴 막대 MSDS

### Chapter 3 : 폴리브덴 막대의 준비 및 생산 공정

- 3.1 폴리브덴 원료 확보
  - 3.1.1 폴리브덴 광석의 채굴 및 선광
  - 3.1.2 폴리브덴 정광의 정제
- 3.2 폴리브덴 막대의 분말 야금 공정
  - 3.2.1 폴리브덴 분말의 제조(환원법, 분무법)
  - 3.2.2 분말 입자 크기 및 순도 제어
  - 3.2.3 압축 성형 (냉간 등압 프레스, 성형)
- 3.3 폴리브덴 막대의 소결 공정
  - 3.3.1 진공 소결
  - 3.3.2 수소 보호 소결
  - 3.3.3 고온 소결 장비 및 파라미터 최적화
- 3.4 폴리브덴 막대의 열처리 기술
  - 3.4.1 단조 공정
  - 3.4.2 압연 공정
  - 3.4.3 드로잉 프로세스
- 3.5 폴리브덴 막대의 표면 처리 기술

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

- 3.5.1 기계적 연마
- 3.5.2 화학적 세척
- 3.5.3 표면 코팅(산화 방지 코팅 등)
- 3.6 폴리브덴 로드의 품질 관리 및 공정 최적화
- 3.6.1 생산 공정의 결함 제어
- 3.6.2 프로세스 매개변수의 모니터링 및 최적화

#### 4 장 : 폴리브덴 막대의 종류와 사양

- 4.1 구성에 따른 분류
- 4.1.1 고순도 폴리브덴 봉 (순도  $\geq 99.95\%$ )
- 4.1.2 도핑 된 폴리브덴 막대 (TZM, Mo-La, Mo-W 등)
- 4.2 표면 상태에 따른 분류
- 4.2.1 검은 폴리브덴 막대
- 4.2.2 연마 폴리브덴 막대
- 4.2.3 폴리브덴 막대 청소
- 4.3 크기와 모양에 따른 분류
- 4.3.1 원형 폴리브덴 막대
- 4.3.2 정사각형 및 기타 특수 모양의 폴리브덴 막대
- 4.3.3 마이크로 폴리브덴 막대 및 대형 폴리브덴 막대
- 4.4 맞춤형 폴리브덴 막대 디자인
- 4.4.1 고객 수요 분석
- 4.4.2 특별 사양 및 성능 사용자 정의

#### Chapter 5 : 폴리브덴 막대의 성능 테스트 및 평가

- 5.1 폴리브덴 막대의 기계적 성질 시험
- 5.1.1 폴리브덴 막대의 인장 시험
- 5.1.2 폴리브덴 막대의 압축 시험
- 5.1.3 굽힘 및 전단 시험
- 5.2 폴리브덴 막대의 고온 성능 시험
- 5.2.1 폴리브덴 막대의 크리프 테스트
- 5.2.2 폴리브덴 막대의 열 피로 시험
- 5.2.3 폴리브덴 막대의 내산화성 시험
- 5.3 폴리브덴 막대의 미세 구조 분석
- 5.3.1 주사 전자 현미경 (SEM) 분석
- 5.3.2 X선 회절(XRD) 분석
- 5.3.3 에너지 분광법(EDS)
- 5.4 폴리브덴 막대의 화학적 특성 시험
- 5.4.1 폴리브덴 막대의 내식성 시험
- 5.4.2 폴리브덴 막대의 화학적 안정성 평가
- 5.5 폴리브덴 막대의 고장 분석
- 5.5.1 폴리브덴 막대의 파괴 메커니즘 분석
- 5.5.2 폴리브덴 막대의 피로 및 마모 분석
- 5.5.3 폴리브덴 막대의 수명 예측 모델

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

## Chapter 6 폴리브덴 막대 생산 설비

- 6.1 폴리브덴 막대의 원료 취급 장비
  - 6.1.1 분쇄 및 연삭 장비
  - 6.1.2 정화 장비(로스팅 용광로, 환원로)
- 6.2 폴리브덴 막대용 분말 야금 장비
  - 6.2.1 혼합 및 압착 장비
  - 6.2.2 소결로 (진공로, 대기로)
- 6.3 폴리브덴 막대용 열처리 장비
  - 6.3.1 단조 장비
  - 6.3.2 압연기 및 도면 기계
- 6.4 폴리브덴 막대의 표면 처리 장비
  - 6.4.1 연마기
  - 6.4.2 청소 장비
- 6.5 폴리브덴 막대 테스트 장비
  - 6.5.1 비파괴 검사 장비(초음파, X 선)
  - 6.5.2 차원 및 표면 품질 시험 장비
- 6.6 폴리브덴 막대용 자동 및 지능형 생산 장비
  - 6.6.1 생산 라인의 자동 제어
  - 6.6.2 지능형 모니터링 및 데이터 분석

## Chapter 7 폴리브덴 막대의 응용 분야

- 7.1 고온로 및 열 장비
  - 7.1.1 발열체로서의 폴리브덴 막대
  - 7.1.2 지원 및 고정 부품
- 7.2 전자 및 반도체 산업
  - 7.2.1 전극 재료
  - 7.2.2 스퍼터링 타겟
  - 7.2.3 진공관 및 이온 소스 구성 요소
- 7.3 항공 우주
  - 7.3.1 고온 구조 부품
  - 7.3.2 추진 시스템 구성 요소
- 7.4 유리 및 세라믹 산업
  - 7.4.1 유리 용융 전극
  - 7.4.2 세라믹 소결 지지대
- 7.5 의학 및 과학 연구
  - 7.5.1 X 선관 타겟
  - 7.5.2 실험실 고온 실험 장비
- 7.6 새로운 응용 프로그램
  - 7.6.1 3D 프린팅 및 적층 제조
  - 7.6.2 원자력 산업 응용 프로그램

## Chapter 8 폴리브덴 막대에 대한 국내외 표준 및 사양

- 8.1 폴리브덴 막대에 대한 국제 표준

저작권 및 법적 책임 선언문

- 8.1.1 ASTM 규격 (ASTM B387 등)
- 8.1.2 ISO 표준
- 8.2 몰리브덴 막대에 대한 국내 표준
- 8.2.1 GB/T 표준(GB/T 3462 등)
- 8.2.2 산업 표준 및 기업 표준
- 8.3 몰리브덴 막대의 인증 및 적합성
- 8.3.1 재료 인증 프로세스
- 8.3.2 환경 및 안전 규정 준수
- 8.4 몰리브덴 막대의 표준 비교 및 적용 시나리오 분석

## Chapter 9 몰리브덴 막대의 가공, 사용 및 유지 보수

- 9.1 몰리브덴 막대의 가공 기술
  - 9.1.1 절단(와이어 절단, 레이저 절단)
  - 9.1.2 가공(터닝, 밀링, 드릴링)
  - 9.1.3 용접 및 접합 기술
- 9.2 몰리브덴 막대 사용에 대한 환경 요구 사항
  - 9.2.1 진공 및 불활성 분위기
  - 9.2.2 고온 산화 환경 보호
- 9.3 몰리브덴 막대의 설치 및 고정
  - 9.3.1 설치 과정 및 설비 설계
  - 9.3.2 열팽창 매칭 설계
- 9.4 몰리브덴 막대의 유지 관리 및 청소
  - 9.4.1 표면 세척 방법
  - 9.4.2 정기 검사 및 유지 보수
- 9.5 몰리브덴 막대의 안전 작동 사양
  - 9.5.1 고온 운전시 주의사항
  - 9.5.2 화학 물질 취급 안전 사양

## Chapter 10 몰리브덴 막대의 재활용과 지속 가능한 개발

- 10.1 몰리브덴 막대 재활용 공정
  - 10.1.1 폐기물 수집 및 분류
  - 10.1.2 재활용 및 정제 기술
- 10.2 몰리브덴 막대와 녹색 생산의 환경 영향
  - 10.2.1 생산 공정에서의 에너지 소비 및 배출
  - 10.2.2 환경보호 프로세스 개선
- 10.3 순환경제와 몰리브덴 봉의 지속 가능한 개발 전략

## Chapter 11 몰리브덴 막대의 최신 기술과 미래 동향

- 11.1 몰리브덴계 합금의 연구 개발 진행 상황
  - 11.1.1 TZM 및 Mo-La 합금의 최적화
  - 11.1.2 새로운 도핑 기술
- 11.2 나노구조 몰리브덴 봉 개발
- 11.3 지능형 생산 및 테스트 기술

저작권 및 법적 책임 선언문

- 11.3.1 온라인 모니터링 및 빅데이터 분석
- 11.3.2 폴리브덴 막대 생산에 인공 지능 적용
- 11.4 신 에너지 분야에서 폴리브덴 막대의 잠재력
- 11.4.1 수소 에너지 및 에너지 저장 응용 분야
- 11.4.2 고온 초전도 재료 지지체
- 11.5 폴리브덴 막대의 향후 연구 방향과 과제

**부록**

- A. 용어집
- B. 참조

## 1 장 소개

### 1.1 몰리브덴 막대의 정의 및 개요

**몰리브덴 막대**는 고순도 몰리브덴 또는 몰리브덴 기반 합금(예: TZM, Mo-La)으로 만들어진 막대와 같은 재료로, 일반적으로 분말 야금 공정 또는 열처리 공정으로 생산되며 고온 특성, 기계적 강도 및 화학적 안정성이 우수합니다. 몰리브덴 막대의 순도는 일반적으로 99.95% 이상에 이르고 직경은 몇 밀리미터에서 수십 밀리미터에 이르며 길이는 응용 프로그램 요구 사항에 따라 사용자 정의할 수 있습니다. 몰리브덴 막대의 표면 상태에는 다양한 응용 시나리오의 요구 사항을 충족하기 위해 흑색(연마되지 않음, 표면 산화물 층 유지), 연마(기계적 또는 화학적 연마) 및 세척(표면 불순물 제거)이 포함됩니다.

몰리브덴은 내화 금속으로서 높은 용점(2623°C), 낮은 열팽창 계수(약  $4.8 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1}$ ), 우수한 열전도율(약  $138 \text{W/m}\cdot\text{K}$ ) 및 전도성을 가지고 있어 고온 및 극한 환경에서 우수합니다. 몰리브덴 막대의 주요 특징은 고온 저항, 내식성, 크리프 저항 및 우수한 가공 특성을 포함하며 고온 용광로, 전자 반도체, 항공 우주, 유리 제조 및 기타 산업에서 널리 사용됩니다. 또한 몰리브덴 막대는 티타늄, 지르코늄, 란타늄 등과 같은 원소로 도핑하여 고온 강도와 내산화성을 더욱 최적화할 수 있습니다.

몰리브덴 막대는 원형 막대, 사각 막대 및 기타 특수 모양의 막대를 포함하여 다양한 형태로 제공되며 생산 공정에는 몰리브덴 광석 정제에서 분말 야금, 열처리 및 표면 처리에 이르는 완전한 공정이 포함됩니다. 몰리브덴 막대의 성능과 품질은 원료 순도, 소결 공정 및 가공 정확도와 같은 요인의 영향을 받으므로, 제품 일관성을 보장하기 위해 생산 공정 중에 공정 매개변수를 엄격하게 제어해야 합니다. 몰리브덴 막대는 반도체 산업의 고순도 및 표면 마감, 고온 용광로의 내산화성 및 기계적 강도와 같이 크기, 표면 상태 및 성능에 대한 요구 사항이 다양한 응용 분야에 사용됩니다.

### 1.2 몰리브덴 막대의 역사적 발전

몰리브덴의 역사는 18 세기 말까지 거슬러 올라갈 수 있으며, 스웨덴의 화학자 Carl Wilhelm Scheele 가 1778 년 몰리브덴 광석에서 처음으로 몰리브덴산을 분리하여 몰리브덴 화학 연구의 토대를 마련했습니다. 1781 년 Peter Jacob Hjelm 은 몰리브덴산을 환원시켜 금속 몰리브덴을 제조하는 데 성공하여 금속 원소로서의 몰리브덴의 공식 발견을 표시했습니다. 19 세기 초, 몰리브덴은 희귀성과 추출의 어려움으로 인해 주로 실험실 연구에 사용되었으며, 20 세기 초반까지 야금 기술의 발전으로 몰리브덴의 산업 생산이 점차 가능해졌습니다.

몰리브덴 제품의 일종으로서, 몰리브덴 막대의 개발은 분말 야금 기술의 성숙과 밀접한 관련이 있습니다. 20 세기 초, 몰리브덴 막대는 전구 및 진공관 제조에 사용되기 시작했으며 높은 용점과 우수한 전기 전도성으로 인해 텅스텐 와이어의 대체 재료로 되었습니다. 1920 년대에 미국과 독일의 산업 생산은 고온 용광로와 유리 산업에서 몰리브덴 막대의 사용을 촉진했습니다. 제 2 차 세계 대전 동안 몰리브덴 막대는 초합금 및 항공 우주 분야, 특히 제트 엔진 및 로켓 추진 시스템에서 잠재력으로 인해 가치가 높았습니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

20세기 중후반에 반도체 산업의 부상과 함께 스퍼터링 타겟 및 전극 재료로 폴리브덴 막대의 사용이 크게 증가했습니다. TZM(티타늄-지르코늄-폴리브덴) 합금 및 Mo-La(폴리브덴-란타넘) 합금의 개발로 폴리브덴 막대의 고온 성능과 크리프 저항성이 더욱 향상되어 보다 까다로운 환경에서 사용할 수 있게 되었습니다. 21세기 이후 폴리브덴 막대의 생산 공정은 지속적으로 최적화되었으며 자동화 및 지능형 기술의 도입으로 생산 효율성과 제품 품질이 향상되었습니다. 예를 들어, 현대의 폴리브덴 막대 생산은 진공 소결 및 정밀 압연 기술을 사용하여 고순도, 치수 정밀도 막대를 생산합니다.

중국의 폴리브덴 산업은 지난 수십 년 동안 빠르게 성장하여 세계 최대의 폴리브덴 생산자이자 소비자가 되었습니다. 풍부한 폴리브덴 광석 자원과 선진적인 생산 기술 덕분에 중국 기업은 폴리브덴 막대의 R&D 및 생산에서 중요한 위치를 차지하고 있으며, 이는 세계 시장에서 폴리브덴 막대의 인기를 촉진합니다.

### 1.3 현대 산업에서 폴리브덴 막대의 중요성

폴리브덴 막대는 현대 산업에서 대체할 수 없는 위치를 차지하고 있으며 그 중요성은 고유한 재료 특성과 광범위한 응용 분야에서 비롯됩니다. 다음은 몇 가지 주요 측면에서 현대 산업에서 폴리브덴 막대의 역할을 설명합니다.

**고온 응용 분야:** 폴리브덴 막대의 높은 용점과 크리프 저항은 고온 용광로(예: 진공로, 수소로)에 이상적인 재료이며 발열체, 지지봉 및 열 스크린에 일반적으로 사용됩니다. 폴리브덴 막대는 최대 1800°C의 환경에서 안정적으로 작동할 수 있으며 이는 기존 금속 재료보다 훨씬 우수합니다.

**전자 및 반도체 산업:** 폴리브덴 막대는 집적 회로, 태양 전지 및 평판 디스플레이의 생산을 위한 박막 증착 공정에서 스퍼터링 타겟으로 널리 사용됩니다. 그것의 높은 순수성 및 균질한 미세구조는 영화 질을 지킵니다. 또한 폴리브덴 막대는 진공관 및 이온 소스의 전극 재료로도 사용됩니다.

**항공 우주:** 폴리브덴 막대는 항공 우주 산업에서 제트 엔진 노즐 및 로켓 추진 시스템 구성 요소와 같은 고온 구조 부품을 제조하는 데 사용됩니다. 낮은 열팽창 계수와 높은 강도는 극한의 온도 및 응력 조건에서 신뢰성을 보장합니다.

**유리 및 세라믹 산업:** 폴리브덴 막대는 고온 부식에 강하고 화학적으로 안정적이며 용융 유리의 침식을 견딜 수 있기 때문에 유리 용해로에서 전극으로 사용됩니다. 또한 폴리브덴 막대는 세라믹 소결 공정에서 지지 부품으로도 사용됩니다.

**의료 및 연구:** 폴리브덴 막대는 의료 진단 및 재료 분석을 위한 고에너지 X 선을 생성하기 위해 X 선관의 표적으로 사용됩니다. 과학 연구 분야에서 폴리브덴 막대는 재료 과학 및 물리학 연구를 지원하는 고온 실험 장비의 핵심 구성 요소입니다.

폴리브덴 막대의 중요성은 지속 가능성에도 반영됩니다. 폴리브덴은 재활용 가능한 금속이며 폐 폴리브덴 막대는 정제 과정을 통해 재사용할 수 있어 친환경 제조에

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

대한 현대 산업의 요구를 충족합니다. 폴리브덴 막대의 다양한 응용 분야는 신 에너지(태양광, 수소 에너지) 및 고급 제조와 같은 여러 산업 분야에서 기술 발전을 주도했습니다.

#### 1.4 글로벌 시장 상황 및 개발 동향

글로벌 폴리브덴 막대 시장은 주로 전자, 항공 우주 및 에너지 산업의 수요 증가로 인해 최근 몇 년 동안 꾸준한 성장을 보였습니다. 업계 보고서에 따르면 전 세계 폴리브덴 시장 규모는 2024 년에 약 2 억 달러가 될 것이며, 그 중 폴리브덴 막대는 중요한 제품 형태로 상당한 부분을 차지합니다. 중국은 세계 최대의 폴리브덴 생산국으로 전 세계 생산량의 40% 이상을 차지하고 있으며 미국, 칠레, 페루와 같은 국가가 그 뒤를 잇고 있습니다.

#### 시장의 현재 상태

**생산 및 공급:** 중국 기업은 풍부한 폴리브덴 광석 자원과 성숙한 분말 야금 기술에 의존하여 폴리브덴 막대 생산에서 지배적인 위치를 차지하고 있습니다.

**수요 주도:** 전자 및 반도체 산업의 급속한 발전은 특히 5G 기술, AI 칩 및 광전지에서 고순도 폴리브덴 막대에 대한 수요를 주도하고 있습니다. 항공 우주 부문에서 TZM 및 Mo-La 합금 바에 대한 수요도 증가하고 있습니다.

**가격 변동 :** 폴리브덴 막대 가격은 원자재 공급, 지정학 및 시장 수요에 큰 영향을받습니다. 최근 몇 년 동안 폴리브덴 가격은 일반적으로 안정되었지만 에너지 비용 상승과 엄격한 환경 규제로 인해 생산 비용이 증가했습니다.

#### 동향

**고성능 합금 막대:** TZM 및 Mo-La 와 같은 도핑된 폴리브덴 막대의 연구 개발은 항공 우주 및 원자력 산업의 요구를 충족시키기 위해 고온 강도와 내산화성을 향상시키는 것을 목표로 하는 미래의 초점입니다.

**녹색 생산:** 환경 보호 요구 사항이 개선됨에 따라 폴리브덴 막대 제조업체는 녹색 정화 기술 및 폐기물 재활용 시스템과 같은 저에너지, 저배출 공정을 채택하고 있습니다.

**스마트 제조:** 자동화된 생산 라인과 인라인 X-ray 검사와 같은 스마트 검사 기술은 폴리브덴 로드의 생산 방식을 변화시켜 효율성과 일관성을 개선하고 있습니다.

**새로운 응용 분야:** 수소 전해조 및 고온 초전도 재료와 같은 새로운 에너지 분야와 적층 제조(3D 프린팅)에서 폴리브덴 막대의 새로운 잠재력은 시장의 추가 성장을 주도할 것으로 예상됩니다.

**지역 시장 역학:** 중국은 계속해서 세계 폴리브덴 막대 시장을 주도하고 있으며 인도와 동남아시아의 수요는 빠르게 증가하여 새로운 시장 핫스팟이 되고 있습니다.

#### 도전

**원료 공급 위험:** 폴리브덴 광석 자원의 지역적 집중으로 인해 공급 변동이 발생할 수 있습니다.

**기술 장벽 :** 고순도 폴리브덴 막대 및 특수 합금 막대의 생산은 기술 요구 사항이 매우 높으며 중소기업의 시장 진입이 어렵습니다.

**환경 압력:** 폴리브덴 정제 및 가공 과정에서 발생하는 에너지 소비 및 배출 문제를

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

더욱 해결해야 합니다.



CTIA GROUP LTD 광택 몰리브덴 막대

## 2 장 : 몰리브덴 막대의 재료 특성

### 2.1 몰리브덴의 화학 성분 및 원자 구조

몰리브덴 (원소 기호 Mo, 원자 번호 42)은 원자량이 95.94g / mol 인 6 번째 원소의 다섯 번째 그룹에 속하는 전이 금속입니다. 몰리브덴의 화학 성분은 주로 고순도 원소 몰리브덴이며 산업용 몰리브덴 막대의 순도는 일반적으로 99.95% 이상에 이르며 불순물 원소(예: 철, 탄소, 산소, 질소 등)의 함량은 성능 안정성을 보장하기 위해 ppm 수준에서 엄격하게 제어됩니다. 몰리브덴 막대는 일부 응용 분야에서 미량 원소(예: 티타늄, 지르코늄, 란타늄)로 도핑되어 TZM(티타늄-지르코늄-몰리브덴) 또는 Mo-La(몰리브덴-란타늄)와 같은 몰리브덴 기반 합금을 형성하여 고온 강도 또는 내산화성을 향상시킵니다.

원자 구조의 관점에서 몰리브덴의 전자 구성은  $[Kr] 4d^5 5s^1$ 이며 금속 결합 능력이 강합니다. 원자 반경은 약 139 pm 이고 전기 음성도는 2.16 (폴링 스케일)이며 적당한 화학 활성을 보입니다. 몰리브덴의 화학적 안정성은 고온 및 부식성 환경에서 우수하지만 고온 산화 환경과 같은 특정 조건에서는 보호 조치가 필요합니다. 몰리브덴의 화학적 특성은 원자 구조의 영향을 받으며 4d 및 5s 오비탈의 전자 분포는 약간의 연성을 유지하면서 높은 용점과 기계적 강도를 제공합니다.

몰리브덴의 순도는 그 특성에 매우 중요합니다. 예를 들어, 산소 함량이 너무 높으면(>50ppm) 결정립계가 취화되고 몰리브덴 막대의 인성이 저하될 수 있습니다. 따라서 진공 용융 또는 수소 환원 공정은 불순물을 줄이기 위해 생산 공정에서 자주 사용됩니다. 산업 표준(예: ASTM B387)에는 0.01% 철 함량 및 0.005% 탄소 함량  $\leq$  0.005%와 같은 몰리브덴 막대의 화학 조성에 대한 명확한 요구 사항이 있습니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

Chinatungsten 온라인 및 기타 산업 정보는 고순도 폴리브덴 막대의 생산은 반도체 및 항공 우주와 같은 수요가 많은 응용 분야를 충족시키기 위해 원료 공급 및 정제 공정의 엄격한 통제가 필요하다고 지적했습니다.

## 2.2 폴리브덴의 결정 구조 및 상 변화

폴리브덴의 결정 구조는 약 0.3147nm 의 격자 상수를 갖는 BCC(Body-Centered Cubic)입니다. 이 구조는 폴리브덴에 높은 용점과 우수한 기계적 특성을 제공하는 동시에 고온에서 구조적 안정성을 유지할 수 있도록 합니다. BCC 구조의 폴리브덴 원자는 밀접하게 배열되어 있으며 결정 결함(예: 전위, 입자 경계)이 적어 고온에서 크리프에 저항하는 능력에 기여합니다.

폴리브덴은 동소체 전이 없이 실온에서 용점(2623°C)까지 단일 BCC 상을 유지하여 넓은 온도 범위에서 안정적인 물리적 및 기계적 특성을 제공합니다. 그러나 고온에서는 폴리브덴 입자가 성장하여 기계적 특성이 저하될 수 있으므로 란타넘 또는 티타늄과 같은 도핑된 원소를 사용하여 입자를 정제하고 결정립계 강도를 향상시키는 경우가 많습니다. Mo-La 합금은 란탄 산화물 ( $\text{La}_2\text{O}_3$ )을 첨가하여 분산상을 형성하여 입자 성장을 효과적으로 억제하고 고온 성능을 향상시킴으로써 형성됩니다.

상 변화 측면에서 폴리브덴은 액체 상태를 거치지 않고 대기압에서 고체 상태에서 기계 상태(약 4650°C)로 직접 승화되어 진공 또는 불활성 대기의 고온 응용 분야에 더 적합합니다. 폴리브덴의 상 안정성은 고온 용광로 및 진공 장비에 이상적인 재료이지만 산화 분위기에서 산화 반응( $\text{MoO}_3$  생성)에 주의해야 합니다. X 선 회절(XRD) 분석은 폴리브덴 막대의 결정 배향 및 미세 구조가 가공 기술(예: 압연 및 단조)의 영향을 받았으며 축 방향을 따라 선호되는 방향이 기계적 특성을 향상시킬 수 있음을 보여주었습니다.

학술 연구에 따르면 폴리브덴 막대의 결정 구조는 전기 전도성과 열전도율에 상당한 영향을 미칩니다. BCC 구조의 컴팩트한 배열은 높은 열전도율을 초래하는 반면 결정립 경계와 불순물이 존재하면 성능이 저하될 수 있습니다. 따라서 고성능 폴리브덴 막대를 생산하려면 결정 결함과 불순물을 줄이기 위해 최적화된 소결 및 열처리 공정이 필요합니다.

## 2.3 폴리브덴 막대의 물리적 특성

폴리브덴 막대의 물리적 특성은 고온 및 극한 환경에서 광범위한 응용 분야의 기초입니다. 다음은 밀도와 용점, 열전도율 및 열팽창 계수, 전도성 및 저항률의 세 가지 측면에서 정교하게 설명됩니다.

### 2.3.1 폴리브덴 막대의 밀도 및 용점

폴리브덴 막대의 밀도는 10.28g/cm<sup>3</sup>(20°C)로 텅스텐(19.25g/cm<sup>3</sup>)보다 약간 낮지만 가장 일반적인 금속(예: 철, 니켈)보다 높습니다. 이 밀도는 높은 강도를 필요로 하지만 항공 우주와 같이 무게에 민감한 응용 분야에 이점을 제공합니다. 폴리브덴 막대의 밀도는 순도 및 가공 기술의 영향을 받으며 고순도 폴리브덴 막대의 밀도는 이론적 값에 접근하는 반면 도핑된 합금(예: TZM)의 밀도는 약간 다릅니다(약 10.1-10.3 g/

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

cm<sup>3</sup>).

녹는점이 2623°C 인 몰리브덴은 텅스텐(3422°C)과 레늄(3186°C)에 이어 두 번째로 높은 녹는점 중 하나입니다. 높은 용점으로 인해 몰리브덴 막대는 진공로에서 1800°C 이상과 같은 극도의 고온에서 구조적 무결성을 유지할 수 있으므로 고온 열처리, 유리 용융 및 반도체 제조에 적합합니다. 용점은 또한 몰리브덴 막대의 가공 난이도에 영향을 미치며, 고온 단조 및 소결은 장비에 대한 요구 사항이 높은 용점에 가까운 온도에서 수행되어야 합니다.

### 2.3.2 몰리브덴 막대의 열전도율 및 열팽창 계수

몰리브덴 막대의 열전도율은 138 W/m·K(20°C)로 열전도율이 우수하여 고온로의 발열체 또는 열간 차폐 재료로 적합합니다. 텅스텐(173 W/m·K)과 비교했을 때, 몰리브덴은 열전도율이 약간 낮지만, 여전히 고온에서 열을 효과적으로 발산하고 열 응력 농도를 감소시킬 수 있습니다. 열전도율은 온도가 증가함에 따라 약간 감소하며(예: 1000°C 에서 약 100W/m·K), 이는 대부분의 고온 응용 분야에 여전히 충분합니다.

몰리브덴 막대는 약  $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20-1000°C)의 낮은 열팽창 계수를 가지며 이는 강철(약  $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) 및 구리( $16.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )보다 훨씬 낮습니다. 열팽창 계수가 낮기 때문에 몰리브덴 막대는 고온 사이클링에서 우수한 치수 안정성을 가지며 열 응력으로 인한 균열 또는 변형을 줄입니다. 이 특성은 유리 밀봉 및 반도체 제조에서 특히 중요하며, 몰리브덴 막대의 열팽창 계수는 특정 유리 및 세라믹 재료의 열팽창 계수와 일치합니다.

### 2.3.3 몰리브덴 막대의 전도성 및 저항률

몰리브덴 막대의 전도도는 약  $1.9 \times 10^7$  S/m(20°C)이고 저항률은  $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  이며 전기 전도성이 우수하여 전극 또는 전도성 부품으로 사용하기에 적합합니다. 저항률은 온도가 증가함에 따라 증가합니다(예: 약  $20 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  1000°C m 에서). 이러한 온도 의존성은 전류 안정성과 전력 출력을 보장하기 위해 고온 전극 또는 발열체를 설계할 때 고려해야 합니다.

몰리브덴 막대의 전도도는 불순물과 미세 구조의 영향을 받으며 고순도 몰리브덴 막대의 전도성은 도핑 된 합금의 전도성보다 우수합니다. 예를 들어, TZM 합금은 티타늄 및 지르코늄 함량으로 인해 순수 몰리브덴 막대보다 저항률이 약간 높습니다. 업계 보고서에 따르면 반도체 산업은 몰리브덴 막대의 전도성에 대한 요구 사항이 매우 높으며, 이는 저항 변동을 줄이기 위해 높은 정제 공정과 표면 처리가 필요합니다.

## 2.4 몰리브덴 막대의 기계적 성질

몰리브덴 막대의 기계적 특성은 산업 응용 분야에서 신뢰성의 핵심이며, 다음은 강도와 경도, 연성과 인성, 고온에서의 크리프 거동의 세 가지 측면에서 분석됩니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

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

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

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

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

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

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.molybdenum.com.cn

저작권 및 법적 책임 선언문

#### 2.4.1 폴리브덴 막대의 강도와 경도

폴리브덴 막대의 인장 강도는 순도, 가공 기술 및 입자 크기에 따라 실온에서 약 600-800 MPa 이고 항복 강도는 약 400-600 MPa 입니다. 열간 가공(예: 단조, 압연)은 폴리브덴 막대의 강도를 크게 향상시킬 수 있으며, 예를 들어 단조 폴리브덴 막대의 인장 강도는 900MPa 이상에 도달할 수 있습니다. 폴리브덴 막대의 경도 (Vickers 경도)는 약 200-250 HV 이며 연마 후 경도가 약간 증가합니다.

도핑 된 합금 (예 : TZM)은 용액 강화 및 석출 강화에 의해 크게 강화되며 TZM 폴리브덴 막대의 인장 강도는 1100 MPa 에 도달 할 수 있으며 경도는 약 270-300 HV 입니다. 이러한 특성으로 인해 폴리브덴 막대는 항공 우주 고온 구성 요소와 같은 고온 및 고압에서 구조적 무결성을 유지할 수 있습니다.

#### 2.4.2 폴리브덴 막대의 연성 및 인성

순수 폴리브덴 막대는 실온에서 가단성이 있으며 연신율은 약 10-20%이지만 연성이 적고 특히 저온(-50°C 미만)에서 어느 정도의 취성을 나타냅니다. 연성은 열처리 및 도핑에 의해 향상될 수 있으며, 예를 들어, Mo-La 합금은 25% 이상의 연신율로 란타넘 산화물을 첨가하여 입계 강도를 증가시킬 수 있습니다.

폴리브덴 막대의 인성은 입자 크기와 불순물 함량의 영향을 받습니다. 미세한 입자와 고순도는 입계 슬립 및 균열 전파를 줄이고 파괴 인성( $K_{Ic}$  약 10-15 MPa·m<sup>1/2</sup>)을 향상시킵니다. 고온(>1000°C)에서 폴리브덴 막대의 연성이 크게 향상되고 우수한 소성 변형 능력을 보여 열처리 및 복잡한 형상 성형에 적합합니다.

#### 2.4.3 고온에서 폴리브덴 막대의 크리프 거동

크리프는 고온 및 장기 응력 하에서 폴리브덴 막대의 중요한 성능 지표입니다. 순수 폴리브덴 막대는 1000°C 이상에서 크게 크리프하기 시작하고 크리프 속도는 온도와 응력이 증가함에 따라 가속화됩니다. 예를 들어, 1200°C 및 50MPa 응력에서 순수 폴리브덴의 크리프 속도는 약 10<sup>-5</sup>/h 입니다. TZM 및 Mo-La 합금의 크리프 속도는 석출 강화에 의해 크게 감소했으며 TZM 의 크리프 속도는 1500 ° C 에서 10<sup>-6</sup> / h 미만이 될 수 있습니다.

크리프 거동은 미세 구조의 영향을 받으며 입자 크기가 더 크거나 입자 경계에 불순물이 더 많은 폴리브덴 막대는 크리프 파괴 가능성이 더 높습니다. 어닐링과 같은 열처리는 미세 구조를 최적화하고 크리프 경향을 줄입니다. 산업 연구에 따르면 고온 용광로에서 폴리브덴 막대를 장기간 사용하려면 도핑 및 실리사이드 코팅과 같은 표면 코팅을 통한 추가 크리프 저항이 필요합니다.

### 2.5 폴리브덴 막대의 화학적 성질

폴리브덴 막대의 화학적 성질은 부식성 환경에서의 적용 가능성을 결정하며, 다음은 내산화성과 내식성의 두 가지 측면에서 분석됩니다.

#### 2.5.1 폴리브덴 막대의 내산화성

폴리브덴 로드는 상온에서 산화에 안정적이지만 고온(>600°C)의 산화 분위기에서

저작권 및 법적 책임 선언문

휘발성 산화물  $\text{MoO}_3$ 를 형성하기 쉬운 재료 손실 및 성능 저하를 초래합니다. 예를 들어,  $800^\circ\text{C}$ 의 공기에서 몰리브덴 막대의 산화 속도는 약  $0.1\text{--}0.5\text{mg/cm}^2\cdot\text{h}$ 입니다. 항산화 저항성을 향상시키기 위해 업계에서는 다음과 같은 조치가 자주 채택됩니다.

표면 코팅: 규화물( $\text{MoSi}_2$ ) 또는 알루미늄 코팅은 산화 속도를 크게 감소시키는 보호층을 형성합니다.

도핑 개질: Mo-La 합금은 란탄 산화물 분산액에 의해 강화되어 내산화성을 향상시킵니다.

환경 제어 사용: 진공 또는 불활성 대기(예: 아르곤, 질소)에서 몰리브덴 막대를 사용하면 산화를 방지할 수 있습니다.

### 2.5.2 몰리브덴 막대의 내식성 (산, 알칼리, 용융염 등)

몰리브덴 막대는 실온에서 다양한 산과 알칼리에 대한 내식성이 우수합니다. 예를 들어, 몰리브덴 막대는 묽은 황산, 염산 및 불산에서 거의 부식되지 않지만 농축 질산 및 NaOH와 같은 고온 알칼리 용액에서는 부식 속도가 증가합니다. 몰리브덴 막대는 용융염(예: 염화나트륨, 불소 용융염)에 대한 내식성이 우수하고 유리 용융 전극으로 사용하기에 적합합니다.

고온 부식성 환경에서 몰리브덴 막대의 성능은 표면 상태와 주변 매체에 따라 달라집니다. 광택 처리된 몰리브덴 막대는 검은색 막대보다 표면 결함이 적고 내식성이 우수합니다. TZM 합금은 부식 민감성을 감소시키는 결정립 경계 강화로 인해 부식성 대기(예: 황 함유 가스)에서 순수한 몰리브덴보다 성능이 우수합니다. 학술 연구에 따르면 몰리브덴 막대는 유리 용융 및 세라믹 소결의 내식성으로 인해 화학적 불활성의 이점을 얻지만 강한 산화 매체와의 장기간 접촉은 피해야 합니다.

### 2.6 몰리브덴과 몰리브덴 기반 합금의 비교

몰리브덴 막대는 구성에 따라 순수 몰리브덴 막대와 몰리브덴 기반 합금 막대(예: TZM, Mo-La, Mo-W)로 나눌 수 있습니다. 다음은 성능 및 응용 프로그램 관점에서 비교한 것입니다.

순수 몰리브덴 막대 :  $\geq$  순도, 우수한 전기 및 열 전도성으로 반도체 및 전자 산업에 적합합니다. 그러나 고온 강도와 내산화성이 좋지 않아 극한 환경에서의 적용이 제한됩니다.

**TZM 합금 막대** (0.5 % Ti, 0.08 % Zr, 0.02 % C) : TZM의 인장 강도(약 1100 MPa) 및 크리프 저항은 용액 강화 및 석출 강화를 통해 순수 몰리브덴보다 훨씬 우수하여 항공 우주 및 고온로 부품에 적합합니다. 그러나 가공난이도가 높고 비용이 많이 듭니다.

**Mo-La 합금 막대** (0.3–1%  $\text{La}_2\text{O}_3$ ) : 분산 강화를 통해 고온 내산화성 및 결정립계 강도를 향상시키기 위해 연성과 연성으로 인해 고온에서 장기간 사용하기에 적합합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

**Mo-W 합금 막대** : 도핑 된 텅스텐 (5-30 %)은 용점과 강도를 증가시키지만 전도성을 약간 감소시켜 특수 고온 응용 분야에 적합합니다.

TZM 및 Mo-La 합금 막대는 고온 성능에서 순수 몰리브덴보다 우수하지만 전도성 및 가공성이 약간 떨어집니다. 예를 들어, 반도체 산업은 고순도 몰리브덴 막대를 선호하는 반면 항공 우주 산업은 TZM 을 선호합니다.

## 2.7 몰리브덴 막대와 다른 고온 재료의 특성 비교

다른 고온 재료(예: 텅스텐, 니오븀, 탄탈륨, 세라믹)와 비교하여 몰리브덴 막대의 성능은 다음과 같습니다.

**몰리브덴 대 텅스텐:** 텅스텐은 몰리브덴보다 녹는점(3422°C)이 높고 밀도(19.25g/cm³)가 높아 고온 환경에 적합합니다. 그러나 텅스텐은 몰리브덴보다 가공이 더 어렵고 비용이 많이 들며 몰리브덴 막대는 무게에 민감한 응용 분야에서 더 유리합니다.

**몰리브덴 대 니오븀/탄탈륨:** 니오븀과 탄탈륨은 몰리브덴보다 녹는점(2468°C 및 3017°C)이 약간 낮거나 더 가깝지만 특히 강산 환경에서 몰리브덴보다 부식에 더 강합니다. 몰리브덴 막대는 비용이 저렴하고 대규모 산업 응용 분야에 적합합니다.

**몰리브덴 대 세라믹:** 세라믹(예: 알루미나, 탄화규소)은 내산화성과 화학적 안정성이 높지만 기계적 인성이 좋지 않고 부서지기 쉽습니다. 고온에서 몰리브덴 막대의 연성과 강도는 동적 하중 환경에 더 적합합니다.

몰리브덴 막대의 결합된 특성(높은 용점, 낮은 열팽창, 적당한 비용)은 고온 용광로, 반도체 및 항공 우주에서 고유한 이점을 제공하지만 특정 응용 분야에 적합한 재료 조합을 선택해야 합니다.

## 2.8 CTIA GROUP LTD 의 몰리브덴 막대 MSDS

중국의 몰리브덴 제품의 선두 공급업체인 **CTIA GROUP LTD** 는 몰리브덴 로드 에 대한 물질안전보건자료(MSDS)를 통해 사용자에게 몰리브덴 로드의 안전한 사용 및 취급에 대한 지침을 제공합니다. 다음은 CTIA GROUP LTD 몰리브덴 막대 MSDS 의 주요 내용에 대한 개요입니다.

### 파트 I: 화학 이름

화학 이름 : 몰리브덴  
화학 물질의 영어 이름은 몰리브덴입니다.  
CAS 번호:7439-98-7  
분자 공식: Mo  
분자량 : 99.95

### 파트 II: 작곡/작곡 정보

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

함량 : 99.95 % 몰리브덴

### 파트 III: 위험 개요

건강 위험: 이 제품은 눈과 피부에 자극을 주지 않습니다.

폭발 위험: 이 제품은 불연성이며 자극성이 없습니다.

### 파트 IV: 응급 처치 방법

피부 접촉: 오염된 의복을 벗고 흐르는 물로 충분히 헹굽니다.

눈 접촉: 눈꺼풀을 들어 올리고 흐르는 물이나 식염수로 헹굽니다. 치료.

흡입: 현장에서 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기십시오. 호흡이 곤란하면 산소를 공급하십시오. 치료.

섭취: 구토를 유도하기 위해 따뜻한 물을 충분히 마십니다. 치료.

### 파트 V: 화재 예방 조치

유해한 연소 생성물: 자연 분해 생성물은 알려져 있지 않습니다.

소화 방법: 소방관은 방독면과 전신 소방복을 착용하여 바람이 부는 방향으로 화재를 진압해야 합니다. 소화제: 건조 가축 가루, 모래.

### 파트 VI: 유출 사고의 비상 처리

응급 처치: 누출 오염 지역을 격리하고 접근을 제한합니다. 불의 근원을 차단하십시오. 응급 구조원은 방진 마스크(전면 마스크)와 보호복을 착용하는 것이 좋습니다. 먼지를 피하고 조심스럽게 쓸어 올려 가방에 넣고 안전한 장소로 옮깁니다. 누출량이 많으면 플라스틱 천이나 캔버스로 덮으십시오. 수거 및 재활용하거나 폐기물 처리장으로 운송하여 폐기합니다.

### 파트 VII: 취급, 취급 및 보관

작동 시 주의사항: 작업자는 특별 교육을 받아야 하며 작동 절차를 엄격히 따라야 합니다. 작업자는 자체 프라이밍 필터 방진 마스크, 화학 안전 안경, 독 침투 작업복 및 고무 장갑을 착용하는 것이 좋습니다. 화기 및 열원에서 멀리 보관하고 직장 내 흡연은 엄격히 금지되어 있습니다. 방폭 환기 시스템 및 장비를 사용하십시오. 먼지 발생을 피하십시오. 산화제 및 할로젠과의 접촉을 피하십시오. 취급 시 포장 및 용기의 손상을 방지하기 위해 가볍게 적재 및 하역해야 합니다. 해당 품종과 수량의 소방 장비 및 누출 응급 치료 장비를 갖추고 있습니다. 빈 용기에는 유해 물질이 남을 수 있습니다.

보관 주의 사항: 서늘하고 통풍이 잘되는 창고에 보관하십시오. 화기 및 열원에서 멀리 보관하십시오. 산화제 및 할로젠과 분리하여 보관해야 하며 혼합해서는 안 됩니다. 해당 다양성과 수량의 소방 장비를 갖추고 있습니다. 보관 장소에는 유출을

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

답을 수 있는 적절한 재료가 구비되어 있어야 합니다.

#### 파트 VIII: 노출 제어/개인 보호

중국 MAC(mg/m<sup>3</sup>): 6

소련 MAC(mg/m<sup>3</sup>): 6

TLVTN : ACGIH 1mg / m<sup>3</sup>

TLVWN : ACGIH 3mg / m<sup>3</sup>

모니터링 방법: 칼륨 티오시안화물-염화티타늄 분광 광도법

엔지니어링 제어: 생산 공정은 먼지가 없고 완전히 환기됩니다.

호흡기 보호: 공기 중의 먼지 농도가 기준을 초과하는 경우 자체 프라이밍 필터 방진 마스크를 착용해야 합니다. 비상 대피의 경우 공기 호흡 장치를 착용해야 합니다.

눈 보호: 화학 물질 보안경을 착용하십시오.

신체 보호: 독 침투 방지 작업복을 착용하십시오.

손 보호: 고무 장갑을 착용하십시오.

#### 파트 IX: 물리 화학적 특성

주성분 : 순수

외관 및 속성 : 단단하고 금속성 밝은 흰색; 블랭크, 블랙 마감

녹는점 (°C): 2620

끓는점 (°C): 5560

상대밀도 (물 = 1): 9.4~10.2 (20 °C)

증기 밀도 (공기 = 1): 데이터 없음

포화 증기압 (kPa): 사용 가능한 데이터 없음

연소열(kj/mol): 데이터 없음

임계 온도(°C): 사용 가능한 데이터 없음

임계 압력(MPa): 사용 가능한 데이터 없음

물 분배 계수의 로그: 데이터 없음

인화점(°C): 사용 가능한 데이터 없음

점화 온도 (°C): 데이터 없음

폭발 한계 % (V/V): 데이터 없음

폭발 하한 % (V/V): 데이터 없음

용해도 : 질산, 불산에 용해

주요 용도 : 금형, 몰리브덴 와이어, 전자 부품 등의 생산에 사용됩니다.

#### 파트 X: 안정성 및 반응성

금지 물질: 강산 및 알칼리.

#### 파트 XI:

급성 독성: 사용 가능한 데이터 없음

LC50: 데이터가 없습니다

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

## 파트 XII: 생태 데이터

이 섹션에는 사용할 수 있는 정보가 없습니다

## 파트 XIII: 폐기

폐기물 처리 방법: 폐기하기 전에 관련 국가 및 지역 법률과 규정을 참조하십시오.  
가능하면 재활용하십시오.

## 파트 XIV: 배송 정보

위험물 번호: 정보 없음

포장 카테고리: Z01

운송 시 주의사항: 배송 시 포장이 완료되어야 하며 적재가 안전해야 합니다. 운송 중에는 용기가 누출, 붕괴, 낙하 또는 손상되지 않도록 해야 합니다. 산화제, 할로젠, 식용 화학 물질 등과 혼합하는 것은 엄격히 금지되어 있습니다. 운송 중에는 태양, 비 및 고온에 노출되지 않도록 보호해야 합니다. 차량은 운송 후 철저히 청소해야 합니다.

## 파트 XV: 규정 정보

규제 정보: 위험 화학 물질의 안전 관리에 관한 규정(1987년 2월 17일 국무원 공포), 위험 화학 물질의 안전 관리에 관한 규정 시행을 위한 세부 규칙(Hua Lao Fa [1992] No. 677), 작업장 내 화학 물질의 안전한 사용에 관한 규정([1996] Lao Bu Fa No. 423) 및 기타 법률 및 규정, 위험한 화학물질의 안전한 사용, 생산, 저장, 수송, 선적 및 내리기에 대응 지침을 만들었는지 어느 것이; 작업장 공기 중 텅스텐에 대한 위생 표준 (GB 16229-1996)은 작업장 공기에서 이 물질의 최대 허용 농도 및 검출 방법을 규정합니다.

## 파트 XVI: 공급업체 정보

공급 업체: CTIA GROUP LTD

전화: 0592-5129696/5129595

저작권 및 법적 책임 선언문



CTIA GROUP LTD 폴리브덴 막대

### Chapter 3 : 폴리브덴 막대의 준비 및 생산 공정

폴리브덴 막대의 준비 및 생산은 폴리브덴 광석 채굴에서 막대의 최종 모양에 이르기까지 여러 단계를 포함하는 복잡한 기술 프로세스입니다. 다음은 폴리브덴 원료 획득, 분말 야금, 소결, 열처리, 표면 처리 및 품질 관리의 공정 흐름을 자세히 설명하고 기술 세부 사항, 매개 변수 범위, 영향 요인 및 최신 기술 진도를 확장하여 폴리브덴 막대 생산의 과학 및 엔지니어링 기초를 완전히 반영하는 데 중점을 둡니다.

#### 3.1 폴리브덴 원료 확보

폴리브덴 막대 생산의 시작점은 일반적으로 폴리브데나이트( $\text{MoS}_2$ )를 주원료로 하는 고순도 폴리브덴 공급 원료를 확보하는 것입니다. 원료 확보에는 광석 채굴, 선광 및 농축 정제가 포함되며, 이는 복잡하고 최종 제품의 품질에 큰 영향을 미칩니다.

##### 3.1.1 폴리브덴 광석의 채굴 및 선광

폴리브덴 광석의 채굴은 생산 체인의 첫 번째 단계이며, 폴리브덴 함량이 높고(약 60%) 우수한 선광 특성으로 인해 폴리브데나이트가 주요 산업 원료입니다. 전 세계적으로 폴리브덴 광석 자원의 분포는 집중되어 있으며 매장량이 풍부한 지역에는 아시아, 북미 및 남미가 포함됩니다. 광석 등급은 일반적으로 0.05–0.5% Mo 범위이며 관련 광물(예: 구리, 납, 텅스텐)은 선광의 어려움을 가중시킵니다.

##### 채광 방법:

노천광 채굴: 대형 굴착기 및 운송 차량을 사용하여 하루에 수만 톤의 광석을 처리하는 얇은 광석체에 적합합니다. 이 공정에는 발파, 적재 및 운송이 포함되며, 이는 비용이 저렴하다는 장점이 있지만 환경에 미치는 영향이 크고 광미 처리가 필요합니다.

##### 저작권 및 법적 책임 선언문

지하 채광: 도로 굴착, 암석 드릴링 및 발파 및 호이스팅 장비를 사용하여 깊은 광석체에 적합합니다. 지하 채광은 더 비싸지만 고급 광체에 적합합니다. 채굴 과정에서 지질 안정성을 모니터링하고 산사태를 예방해야 합니다.

혼합 채광: 일부 광산은 광석체의 깊이와 경제성에 따라 채굴 계획을 최적화하기 위해 노천광과 지하의 조합을 사용합니다.

### 선광 과정:

몰리브덴의 자연적인 부유성은 분쇄, 연삭, 부유선광, 탈수 및 건조를 포함한 부유선광 공정에 적합합니다.

파쇄: 원료 광석은 거친 파쇄 (조 크러셔, 입자 크기 <150mm), 2 차 파쇄 (콘 크러셔, < 50mm) 및 미세 파쇄 (임팩트 크러셔, < 10mm)로 처리되어 몰리브나이트 입자를 방출합니다.

연삭: 습식 볼 밀 또는 로드 밀은 몰리브나이트 단량체의 해리를 보장하기 위해 200 메쉬 (약 74 μm)를 통해 광석을 80 %로 분쇄하는 데 사용됩니다. 그라인딩 매체(예: 강구)는 오염을 방지하기 위해 정기적으로 교체해야 합니다.

부양:

대략적인 분리: 10–20% Mo 를 함유한 조광 농축액은 수집기(예: 등유, 크산테이트, 0.1–0.5kg/t 광석) 및 발포제(예: 피네올 오일, 0.05–0.2kg/t)를 사용하여 pH 7–9 에서 1 차 부유선광으로 연습니다.

선택: 굵은 농축액을 3-5 회 선택하고, 구리와 납과 같은 불순물을 분리하기 위해 억제제(예: 황화나트륨, 0.5-2kg/t)를 첨가하고, 최종적으로 40-50% Mo 를 함유하는 몰리브덴 농축액을 얻는다.

스위핑(Sweeping): 85–95%의 종합 회수율로 잔류 몰리브덴을 회수하기 위한 광미 재부유선광.

탈수 및 건조: 몰리브덴 농축액은 농축기(60-70% 고형물로 농축), 필터 프레스(<10% 수분) 및 회전식 건조기(<5% 수분)로 처리되어 후속 로스팅을 위해 원료를 준비합니다.

### 영향 요인:

광석 특성: 몰리브덴의 입자 크기 및 관련 광물 유형은 부유 효율에 영향을 미칩니다. 미세한 입자의 내장 광석은 에너지 소비를 증가시키기 위해 더 미세한 분쇄가 필요합니다.

약제 선택: 광석 조성에 따라 수집기와 억제제의 비율을 최적화해야 하며, 과도한 작용제는 농축 등급을 떨어뜨릴 수 있습니다.

환경 제어: 부유 폐수에는 중금속과 화학 물질이 포함되어 있어 중화, 침전 및 재활용이 필요하며 pH 는 배출을 줄이기 위해 6.5-7.5 로 제어됩니다.

### 기술적 진보:

지능형 선광: X 선 분리(XRT) 및 근적외선 분광법(NIR)을 사용하여 광석을 사전 분리하여 분쇄 등급을 높이고 에너지 소비를 10-15% 줄입니다.

친환경 제제: 환경 오염을 줄이기 위해 무독성 또는 저독성 수집기(예: 알킬 포스폰산)를 개발합니다.

자동 제어: 부유 선광 셀에는 온라인 등급 분석기와 자동 투여 시스템이 장착되어

### 저작권 및 법적 책임 선언문

있어 공정 매개변수를 실시간으로 조정하여 회수율을 1-2% 증가시킵니다.

### 3.1.2 몰리브덴 농축액의 정제

몰리브덴 농축액 정제는 40-50% Mo 를 함유한 농축액을 고순도 몰리브덴 산화물( $\text{MoO}_3$ ) 또는 금속 몰리브덴 분말로 변환하는 과정으로, 로스팅, 화학적 정제 및 환원의 3 단계를 포함합니다.

#### 구이:

회전식 가마, 다중 챔버 용광로 또는 유동층 용광로에서 몰리브데나이트는 550-650°C 에서 산소와 반응하여  $\text{MoO}_3$ 를 형성하고  $\text{SO}_2$ 를 방출합니다.

프로세스 매개 변수 :

온도: 550-650°C, 너무 높은(>700°C) 경우  $\text{MoO}_3$  휘발 손실이 발생하고 너무 낮은 반응은 불완전합니다.

산소 농도: 공기 또는 산소가 풍부함( $\text{O}_2$  함량 20-30%)으로 적절한 산화를 보장합니다.  
로스팅 시간: 2-4 시간, 용광로 유형 및 농축액 크기에 따라 다릅니다.

장비: 로터리 킬른(직경 1-3m, 길이 20-50m)은 대규모 생산에 적합하며 유동층 용광로는 더 효율적이지만 엄격한 입자 크기(<0.1mm)가 필요합니다.

부산물 처리:  $\text{SO}_2$ 는 산세 기둥에 의해 황산으로 전환되며, 테일 가스는 배출 기준( $\text{SO}_2$  농도 < 50mg/m<sup>3</sup>)을 준수하기 위해 탈황( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  흡수)해야 합니다.

제품: 로스팅 후 55-60% Mo 를 함유한 산업용  $\text{MoO}_3$ 를 얻으며 불순물에는 Cu(<0.5%), Pb(<0.1%) 및 Si(<1%)가 포함됩니다.

#### 화학적 정화:

고순도 몰리브덴 막대에 대한 수요를 충족하려면  $\text{MoO}_3$ 를 추가로 정제해야 하며 일반적인 방법은 다음과 같습니다.

#### 암모니아 침출 방법:

$\text{MoO}_3$ 는 암모니아수(농도 5-10%)와 반응하여 몰리브덴산암모늄 용액을 형성합니다. 불용성 불순물(예:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )은 여과에 의해 제거되고 용액은 증발, 결정화 또는 산(pH 2-3)되어 고순도 몰리브덴산암모늄(순도 ≥99.9%)을 얻습니다.

장점: 대규모 생산에 적합한 성숙한 기술; 단점: 암모니아 휘발은 회수하여 폐기해야 합니다.

#### 산성 침출 방법:

Cu 및 Pb 와 같은 불순물은 묽은 질산(10-20%) 또는 염산으로 용해되고  $\text{MoO}_3$ 는 고체 상태로 유지되고 세척 및 건조되어 고순도  $\text{MoO}_3$ 를 얻습니다.

중금속 불순물이 많은 농축액에 적합하지만 폐산 처리 비용이 높습니다.

#### 이온 교환 방법:

몰리브덴산암모늄 용액은 음이온 교환수지(D301 또는 717 type)를 통해  $\text{MoO}_4^{2-}$ 를 흡착하며, 용리 후 초고순도  $\text{MoO}_3$ (순도 ≥ 99.99%)를 얻어 반도체 산업에 적합합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

이 공정은 복잡하며 수지 재생은 정기적인 유지 관리가 필요합니다.

#### 용매 추출:

몰리브덴은 추출제(예: 트리옥틸아민)를 사용하여 산성 용액에서 추출하여 Cu 및 Fe 와 같은 불순물을 분리하여 고순도 몰리브덴 용액을 얻습니다.  
복합 농축액에 적합하며 추출 효율은 95% 이상입니다.

#### 복원:

고순도  $\text{MoO}_3$  또는 몰리브덴산 암모늄은 수소 분위기에서 두 단계로 금속 몰리브덴 분말로 환원됩니다.

#### 1 차 감소(400-600°C):

용광로 유형: 수소 유속 100-200mL/min 및 이슬점  $<-50^\circ\text{C}$  의 푸시 보트 또는 관로.

#### 2 차 환원(900-1100°C):

노 온도는 정밀하게 제어되며(오차  $\pm 10^\circ\text{C}$ ), 몰리브덴 분말의 순도는 99.95-99.99%이고 입자 크기는 1-5 $\mu\text{m}$  입니다.

#### 영향 요인:

원료 등급: 농축액과 같은 Cu 및 As 와 같은 불순물의 함량은 정제의 어려움에 영향을 미치며 전처리(예: 자기 분리)가 필요합니다.

환원 분위기 : 수소 순도 ( $>99.999\%$ )와 이슬점 조절이 중요하며 산소 함량이 너무 많으면 몰리브덴 분말이 산화됩니다.

장비 기밀성: 환원로는 공기 침투를 방지하기 위해 매우 기밀해야 합니다.

#### 기술적 진보:

암모니아가 없는 정제:  $\text{MoO}_3$ 는 암모니아 질소 폐수의 배출을 줄이기 위해 산성 매체(예:  $\text{HCl-HNO}_3$ )로 직접 정제되며 정화 효율은 98%에 이릅니다.

마이크로파 로스팅: 마이크로파 가열(전력 1-5kW)은 로스팅 효율을 높이고 시간을 20-30% 줄이며 에너지 소비를 줄입니다.

녹색 야금: 부산물을 고부가가치 황산 또는 황으로 전환하기 위한  $\text{SO}_2$  촉매 변환 기술 개발.

### 3.2 몰리브덴 막대의 분말 야금 공정

분말 야금은 몰리브덴 분말 준비, 입자 크기 및 순도 제어, 바의 미세 구조 및 특성을 결정하는 압축 성형을 포함하는 몰리브덴 막대 생산의 핵심 기술입니다.

#### 3.2.1 몰리브덴 분말의 제조(환원법, 분무법)

##### 감소 방법:

환원법은 산업에서 몰리브덴 분말을 제조하는 데 가장 일반적으로 사용되는 방법으로, 수소에 의해  $\text{MoO}_3$  또는 몰리브덴산암모늄을 단계적으로 환원시킵니다. 세부 프로세스:

원료 : 고순도  $\text{MoO}_3$  (순도  $\geq 99.9\%$ ) 또는 몰리브덴 암모늄 몰리브덴 데이트, 몰리브덴

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

또는 스테인레스 스틸 보트 (두께 5-10mm)에 적재.

1 차 환원: 400-600°C, 400-600°C 에서 입자 크기가 3-10 $\mu$ m 이고 푸시 보트 또는 관로에서 이슬점이 <-50°C 인 MoO<sub>2</sub>.

2 차 환원: 900-1100°C, 수소 유속 200-400mL/분, 금속 폴리브덴 분말, 입자 크기 1-5 $\mu$ m, 순도  $\geq$ 99.95% 생성.

장비: 환원로는 다중 구역 온도 제어(오차  $\pm$  5°C) 및 배기 가스 처리 시스템(H<sub>2</sub>O 및 잔류 MoO<sub>3</sub> 흡수)을 갖추고 있습니다.

공정 관리:

온도 구배: 분말 응집이나 소결을 피하십시오.

보트 용량 : 보트 당 5-10kg, 너무 높으면 복원의 균일성에 영향을 미칩니다.

수소 재활용: 미반응 수소를 회수하여 비용을 10-15% 절감합니다.

### 분무:

분무 방법은 용융 폴리브덴을 빠른 응고를 위해 고압 매체에 분사하여 초미세 또는 나노 폴리브덴 분말을 준비하며, 이는 고급 응용 분야에 적합합니다. 절차:

용융: 고순도 폴리브덴(> 99.99%)은 최대 2700-3000°C 의 온도에서 플라즈마 아크(전력 50-200kW) 또는 전기로를 사용하여 용융됩니다.

분무: 용융물에 10<sup>5</sup>-10<sup>6</sup>°C/s 의 냉각 속도로 노즐(기공 크기 0.5-2mm)을 통해 고압 질소(5-10 MPa) 또는 아르곤을 주입하여 40-100 nm 의 입자 크기를 가진 구형 분말을 형성합니다.

수집 및 분류: 분말은 사이클론에 의해 수집되고 입자 크기 분포(D50<100 nm)는 공기 분류기에 의해 제어됩니다.

장비 : 플라즈마 분무 장비 (예 : APS-100 유형), 산화를 방지하기 위해 불활성 가스 순환 시스템이 장착되어 있습니다.

장점: 분말의 높은 구형도(>95%), 우수한 유동성, 3D 프린팅 및 스퍼터링 대상에 적합합니다.

단점: 높은 에너지 소비(약 5-10kWh/kg)와 대규모 장비 투자로 인해 대규모 응용 분야에 제한이 있습니다.

### 다른 방법:

**전기 분해** : 나노 폴리브덴 분말은 입자 크기가 20-50 nm 이지만 순도가 낮은 전해 폴리브덴 산업 용액 (<99.9 %)으로 제조됩니다.

**마이크로파 플라즈마 방법**: 실험실 연구에 적합한 10-30nm 의 입자 크기를 가진 MoO<sub>3</sub>의 마이크로파 플라즈마(2.45GHz) 기체 상 감소.

### 영향 요인:

원료의 순도: MoO<sub>3</sub>의 Fe 및 C 와 같은 불순물은 폴리브덴 분말의 품질에 영향을 미치므로 사전 정제가 필요합니다.

환원 온도: 너무 높으면 곡물 성장이 발생하고 너무 낮으면 환원 효율에 영향을 미칩니다.

공기 흐름 제어 : 분무 방법에서 가스 압력과 유량은 분말의 입자 크기 분포를 결정합니다.

### 저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

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

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

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

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

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

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.molybdenum.com.cn

저작권 및 법적 책임 선언문

### 기술적 진보:

나노 폴리브덴 분말: 플라즈마 화학 기상 증착(P-CVD) 기술은 소결 활성을 개선하기 위해 <math> < 50\text{nm}</math>의 입자 크기를 가진 폴리브덴 분말을 제조하기 위해 개발되었습니다.

저산소 폴리브덴 분말: 초고순도 수소(>99.9999%)와 저온 감소(800-900°C)에 의해 산소 함량이 <math> < 0.001\%</math>로 감소합니다.

효율적인 분무: 초음파 보조 분무는 분말 균일성을 개선하고 입자 크기 분포의 표준 편차를 20% 줄이는 데 사용됩니다.

### 3.2.2 분말 입자 크기 및 순도 제어

폴리브덴 분말의 입자 크기와 순도는 프레스 블랭크의 밀도와 소결 성능에 직접적인 영향을 미칩니다. 제어 방법에는 다음이 포함됩니다.

#### 입자 크기 제어:

체질: 입자 크기가 1-10  $\mu\text{m}$  인 분말은 셰이커(100-400 메쉬) 또는 초음파 체질 기계를 사용하여 분리합니다.

기류 분류: 사이클론 분류기 또는 터빈 분류기를 통해 D50 은 1-5 $\mu\text{m}$  로 제어되고 입자 크기 분포의 표준 편차는 0.5 $\mu\text{m}$ <입니다.

연삭: 유성 연삭 밀 (200-400 rpm) 또는 제트 밀 (압력 0.5-1 MPa)을 사용하여 분말을 정제하고 볼 밀링 매체는 오염을 방지하기 위해 초경합금입니다.

환원 조건: 미세 입자를 얻기 위한 저온 저속 환원(900-950°C, 4-6 시간), 더 큰 입자를 생성하기 위한 고온 급속 환원(1050-1100°C, 1-2 시간).

#### 순도 제어:

원료 선택: 초고순도  $\text{MoO}_3$ ( $\geq 99.99\%$ )를 사용하여  $\text{Fe}$ ( $< 50\text{ppm}$ ) 및  $\text{C}$ ( $< 30\text{ppm}$ )와 같은 불순물을 저감합니다.

환원 환경: 수소 이슬점  $< -60^\circ\text{C}$ , 용광로의 산소 함량< 분말 산화를 방지하기 위해 10ppm입니다.

장비 청소: 잔류 불순물을 제거하기 위해 환원 보트와 파이프를 정기적으로 산세(5%  $\text{HNO}_3$ ).

포장 및 보관: 폴리브덴 분말은 수분 흡수 및 산화를 방지하기 위해 불활성 분위기( $\text{N}_2$  또는  $\text{Ar}$ )에서 진공 포장됩니다.

#### 감지 방법:

입자 크기 분석: 레이저 입자 크기 분석기 (측정 범위 0.01-100  $\mu\text{m}$ ), D10, D50, D90 감지.

순도 분석: 유도 결합 플라즈마 질량 분석법(ICP-MS)을 사용하여 ppb 정확도로 불순물을 검출했습니다.

산소 함량: 불활성 가스 용융 방법, 산소 함량은  $< 0.005\%$ 입니다.

#### 영향 요인:

분말 형태학: 구형 분말(분무법)의 유동성은 불규칙 분말(환원법)의 유동성보다 우수하여 압축의 균일성에 영향을 미칩니다.

응집: 미세 분말( $< 1\ \mu\text{m}$ )이 응집되는 경향이 있으며 분산제(예: 폴리에틸렌 글리콜, 0.1-

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

0.5 wt%)가 첨가됩니다.

주변 습도: 높은 습도(>60%)로 인해 분말이 수분을 흡수하고 산소 함량을 증가시킵니다.

#### 기술적 진보:

온라인 모니터링: 레이저 산란 기술은 입자 크기 분포를 실시간으로 감지하고, 감소 매개변수를 조정하고, 일관성을 개선하는 데 사용됩니다.

초미세 분말: 나노 복합체용 D50<50nm, 몰리브덴 분말을 제조하기 위한 화학적 환원법과 결합된 기계적 합금 개발.

순도 개선: 다단계 감소 및 플라즈마 정제를 통해 몰리브덴 분말의 순도는 99.999%에 도달하여 반도체 대상의 요구를 충족합니다.

### 3.2.3 압축 성형 (냉간 등압 프레스, 성형)

압축 성형은 몰리브덴 분말을 막대 모양의 블랭크로 압축하여 후속 소결의 기초를 제공합니다. 일반적인 방법에는 냉간 등압 프레스 및 성형이 포함됩니다.

#### 냉간 등압 압착(CIP):

프로세스 : 몰리브덴 분말을 고무 또는 폴리 우레탄 몰드 (벽 두께 2-5mm)에 넣고 고압 액체 (물 또는 기름, 압력 100-400 MPa)에 넣고 1-5 분 동안 균일하게 누릅니다.

장비: 최대 압력이 600MPa 이고 다이 직경이 50-500mm 인 습식 백 또는 드라이 백 냉간 등압 프레스.

빌렛 특성: 60-70% 이론 밀도, 균일한 크기, 대직경(>50mm) 또는 긴 막대(>1m)에 적합합니다.

장점: 균일한 압력 분포, 감소된 적층 균열 및 밀도 구배.

단점 : 높은 금형 비용, 긴 프레스 사이클.

#### 성형:

프로세스 : 몰리브덴 분말을 강철 다이 (경도 HRC 60-65)에 넣고 0.5-2 mm / s 의 가압 속도로 유압 프레스 (압력 50-200 MPa)에 의해 한 방향 또는 양방향으로 압착됩니다.

장비: 금형용 윤활제(예: 스테아린산아연)가 있는 4 열 유압 프레스(톤수 100-1000t).

빌렛 특성: 50-60%의 이론적 밀도, 작은 직경(<20mm) 또는 프로파일 바에 적합합니다.

단점: 단방향 프레스는 밀도 구배를 생성하기 쉽고 여러 번의 플립 프레스가 필요합니다.

#### 프로세스 세부 정보:

바인더: 폴리비닐 알코올(PVA, 0.5-2 wt%) 또는 파라핀 왁스를 첨가하여 빌렛의 강도를 높이고 바인더는 소결 전에 휘발(400-600°C)합니다.

금형 설계: CIP 금형은 고탄성(연신율 > 200%)이 필요하고 성형 금형은 높은 내마모성(WC-Co 코팅)을 가져야 합니다.

탈형: 블랭크가 변형되는 것을 방지하기 위해 공압 또는 유압 탈형 장치가 사용됩니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

#### 영향 요인:

분말 유동성: 구형 분말(겉보기 밀도  $> 3\text{g/cm}^3$ )은 불규칙한 분말보다 더 잘 압착됩니다.  
압력 분포: CIP 압력 균일성은 금형의 형상에 영향을 받으며 펀치 설계는 성형을 위해 최적화되어야 합니다.

환경 관리: 누르는 작업장의 습도는 분말이 습기를 흡수하는 것을 방지하기 위하여 50% <입니다.

#### 기술적 진보:

자동 온도 조절 프레스: 100–200°C 에서 누르면 빌릿 밀도가 5-10% 증가하고 소결 수축이 감소합니다.

자동 프레스: 로봇 분말 로딩 및 금형 세척 시스템을 사용하여 생산 효율성을 20% 향상시킵니다.

고정밀 금형: 3D 프린팅 기술은 특수 형상의 폴리브덴 막대의 요구 사항을 충족하는 복잡한 금형을 제조합니다.

### 3.3 폴리브덴 막대의 소결 공정

소결은 프레스된 블랭크를 고밀도 폴리브덴 바 블랭크로 경화하는 핵심 단계이며, 이는 고온을 통해 입자 결합을 촉진하여 바의 기계적 특성과 미세 구조에 큰 영향을 미칩니다.

#### 3.3.1 진공 소결

진공 소결은 산화 및 불순물 오염을 줄이기 위해 고진공 환경에서 수행됩니다.

#### 프로세스:

온도: 5–10°C/min 에서 1000°C, 1-2 시간 동안 가열, 휘발성 바인더 및 흡착 가스.

고온 소결: 1800–2200°C, 2-4 시간 유지, 빌릿 밀도 최대 90–95% 이론 밀도( $9.2-9.7\text{g/cm}^3$ ).

냉각: 열 응력 균열을 방지하기 위해 실온까지 10–20°C/min.

진공:  $10^{-3}-10^{-5}$  Pa, MoO<sub>3</sub> 휘발을 방지하기 위해 기계식 펌프와 확산 펌프의 조합을 사용합니다.

#### 설비:

진공 유도도: 50–200kW, 폴리브덴 또는 흑연으로 만든 용광로 챔버, >2300°C 의 내열성.  
온도 조종 체계: 열전대 (W-Re 유형) 및 적외선 온도계, 과실  $\pm 5^\circ\text{C}$ .

배기 처리: 콘덴서는 휘발성 MoO 를 회수하고 오염을 줄입니다.

#### 장점:

산소 함량이 낮고(<0.003%) 고순도 폴리브덴 막대의 생산에 적합합니다.

입자 성장은 제어 가능하고 미세 구조가 균일합니다. 결점:

높은 에너지 소비(약 2–3kWh/kg).

장비는 유지 관리 비용이 많이 들고 진공 펌프는 쓸을 정기적으로 교체해야 합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

**영향 요인:**

소결 온도: 너무 높으면(>2200°C) 입자가 과도하게 성장하고(>50µm) 강도가 떨어집니다.  
 유지 시간: 너무 길면 에너지 소비가 증가하고 너무 짧으면 밀도에 영향을 미칩니다.  
 밀릿 밀도: 초기 밀도< 50%는 과도한 소결 수축과 쉬운 균열로 이어집니다.

**3.3.2 수소 보호 소결**

수소 보호 소결은 고순도 수소 분위기에서 이루어지며 산화를 방지하고 MoO<sub>2</sub> 감소를 촉진합니다. 프로세스 흐름:

온도: 바인더를 제거하기 위해 5-15°C/min 에서 800-1000°C.  
 고온 소결 : 1800-2100 °C, 2-5 시간 유지, 밀도 90-94 % 이론 밀도.  
 냉각: 수소 취성을 방지하기 위해 50-100mL/분의 수소 유속으로 10-30°C/분.  
 분위기 : 수소 이슬점 <-40 °C, 순도 >99.99 %, 용광로의 산소 함량 <5ppm.

**설비:**

수소 소결로: 수평 또는 수직, 몰리브덴 또는 스테인리스강으로 만든 용광로 챔버, 수냉식 재킷이 장착되어 있습니다.  
 안전 시스템: 수소 누출 감지기 및 비상 배기 장치로 안전한 작동을 보장합니다.  
 배기 가스 처리: 배기 가스 내 잔류 수소의 연소, 표준(H<sub>2</sub> 농도<0.1%)에 따른 배출.

**장점:**

소결 속도가 빠르고 생산 효율이 높으며 대규모 생산에 적합합니다.  
 표면 마감은 진공 소결보다 우수하여 후속 연마 작업의 양을 줄입니다. 결점:  
 수소 안전 위험은 엄격하게 관리해야 합니다.  
 TZM 과 같은 합금 막대는 수소에 민감하며 미량의 수소 취성을 도입할 수 있습니다.

**영향 요인:**

수소 흐름: 너무 높으면 비용이 증가하고 너무 낮으면 감소 효과에 영향을 미칩니다.  
 용광로 견고성: 공기 누출로 인한 산화 및 밀봉 링은 정기적으로 점검해야 합니다.  
 블랭크 크기: 큰 블랭크(> 100mm)는 장기간 따뜻하게 유지해야 합니다.

**3.3.3 고온 소결 장비 및 매개 변수 최적화**

**장치 유형:**

진공 유도로 : 고순도 몰리브덴 막대, 용광로 부피 0.1-1m<sup>3</sup>, 전력 100-500 kW 에 적합합니다.  
 수소 보호로: 대규모 생산에 적합, 용광로 길이 2-5m, 다중 구역 온도 제어.  
 저항로: 중소 규모 생산에 사용되며 비용은 낮지만 온도 균일성은 약간 더 나쁩니다.

**장비 요구 사항:**

고온 내성 재료: 용광로는 몰리브덴 판 또는 흑연 펠트로 라이닝되어 있으며 단열층은 알루미늄나 섬유입니다.  
 온도 제어 정확도: 열전대 및 PID 컨트롤러, 온도 변동 ±3-5°C.

저작권 및 법적 책임 선언문

대기 모니터링: 산소 분석기(감지 범위 0-100ppm) 및 이슬점 측정기(<-80°C).

#### 매개 변수 최적화:

온도 프로파일: 열 응력을 줄이기 위한 단면 가열(200°C/h 에서 1000°C, 50°C/h 에서 2000°C).

유지 시간: 직경이 <50mm 인 빌렛의 경우 2-3 시간, 100mm> 4-6 시간.

냉각 속도: 급속 냉각(>20°C/min)은 미세 균열을 유발할 수 있으므로 10-15°C/min 으로 최적화해야 합니다.

분위기 제어: 고온에서 진공 소결 <math>10^{-2}</math> Pa, <math>10^{-4}</math> Pa 의 초기 진공도; 수소 소결 유속 100-300 mL/분

#### 영향 요인:

블랭크 균일성: 고르지 않은 가압 밀도는 소결 수축 차이를 일으켜 치수 정확도에 영향을 미칩니다.

용광로 오염: 잔류  $MoO_3$  또는 카바이드는 블랭크를 오염시키므로 용광로를 정기적으로 청소해야 합니다.

에너지 관리: 고온 소결의 에너지 소비는 생산 비용의 30-40%를 차지하며 유지 시간과 용광로 설계를 최적화해야 합니다.

#### 기술적 진보:

마이크로파 소결: 마이크로파 가열(2.45GHz, 10-50kW)은 소결 시간을 30-50%, 입자 크기를 20% 단축합니다.

방전 플라즈마 소결(SPS): 98%의 밀도로 펄스 전류(1000-5000A)로 빠른 소결을 통해 고성능 몰리브덴 막대의 소량 배치에 적합합니다.

지능형 온도 제어: AI 알고리즘을 사용하여 온도 프로필을 최적화하고 에너지 소비를 5-10% 줄이며 빌릿 일관성을 개선합니다.

### 3.4 몰리브덴 막대의 열처리 기술

소결 블랭크를 최종 몰리브덴 막대 모양으로 가공하는 열간 가공에는 단조, 압연 및 드로잉이 포함되어 바의 기계적 특성과 표면 품질에 큰 영향을 미칩니다.

#### 3.4.1 단조 공정

단조는 몰리브덴 막대의 강도를 향상시키기 위해 고온 소성 변형을 통해 입자를 정제합니다.

#### 프로세스:

가열: 수소 또는 진공 분위기(<math>10^{-2}</math> Pa)에서 30-60 분 동안 저항 또는 유도로서 1200-1600°C.

단조: 공압 해머(충격력 50-200kN)를 사용하여 단일 샷에서 20-30% 변형, 단일 해머(충격력 50-2000kN) 또는 유압 단조 기계(압력 500-2000t)에서 총 60-80%.

중간 어닐링: 1000-1200°C, 1-2 시간 유지, 작업 경화 제거.

냉각: 10-20°C/min 의 속도로 공기 또는 불활성 대기로 냉각합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

#### 설비:

단조 기계: 작은 배치를 위한 공압 해머, 대구경 막대(>50mm)를 위한 유압 프레스.  
용광로: 챔버 또는 연속형, 수소 보호 또는 진공 시스템이 장착되어 있습니다.

#### 프로세스 세부 정보:

변형률:  $0.1-1 s^{-1}$ , 너무 빠르면 균열이 발생하고 너무 느리면 효율성에 영향을 미칩니다.

금형 재료: 초합금(예: 인코넬 718) 또는 표면에 MoS<sub>2</sub> 윤활제가 포함된 몰리브덴 합금.

입자 제어 : 단조 후 입자 크기는 10-30  $\mu m$  이고 인장 강도는 800-1000 MPa 로 증가합니다.

#### 영향 요인:

가열 온도: 너무 높으면(> 1700°C) 입자 성장이 발생하고 너무 낮으면(<1100°C) 변형 저항이 증가합니다.

빌릿 품질: 균열은 소결 빌릿의 다공성 또는 내포물로 인해 발생합니다.

윤활 조건: 불충분하면 금형 마모 및 표면 결함이 발생합니다.

#### 기술적 진보:

등온 단조: 1400-1500°C 의 일정한 온도에서 단조하면 변형 균일성이 15% 증가합니다.

수치 시뮬레이션: 유한 요소 소프트웨어(예: DEFORM)는 단조 매개변수를 최적화하고 시행착오 비용을 줄이는 데 사용됩니다.

자동화된 단조: 매니플레이터는 생산 효율성과 안전성을 향상시키기 위해 블랭크를 작동합니다.

#### 3.4.2 압연 공정

압연은 높은 표면 마감과 치수 정확도로 연속 변형에 의해 중간 직경의 몰리브덴 막대를 생산합니다.

#### 프로세스:

가열: 1000-1400°C, 20-40 분 동안 배양, 수소 또는 진공.

압연 : 2 단 또는 4 단 열간 압연기를 사용하여 50-15 % 단일 변형 및 50-70 % 총 변형.

어닐링: 800-1000°C, 내부 응력을 완화하기 위해 1-2 시간 동안 배양합니다.

냉각: 불활성 대기에서 서서히 냉각(5-10°C/min).

#### 설비:

밀: 4 단 밀(직경 200-500mm)은 2 단 밀링보다 정확하며 직경이 5-20mm 인 바에 적합합니다.

롤 : 텅스텐 카바이드 (WC-Co) 또는 고온 강, 표면 연마 ( $Ra < 0.4 \mu m$ ).

#### 프로세스 세부 정보:

압연 속도: 0.5-2m/s, 너무 빠르면 표면 균열이 발생할 수 있습니다.

윤활 : 마찰 계수를 0.1-0.2 로 줄이기 위해 흑연 에멀전 또는 고온 윤활유.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

치수 제어:  $\pm 0.01\text{mm}$  의 정확도를 가진 인라인 레이저 캘리퍼.

#### 영향 요인:

온도 구배: 블랭크 표면과 코어 사이의 온도 차이가  $100^{\circ}\text{C}$  > 균열이 발생합니다.

롤 마모: 서비스 수명을 연장하려면 정기적으로 수리해야 합니다.

변형 : 단일 함몰 정도가  $20\%$  >하면 미세 균열의 위험이 증가합니다.

#### 기술적 진보:

정밀 압연:  $<0.005\text{mm}$  의 치수 편차를 가진 서보 제어 압연기로 반도체 표적에 적합합니다.

인라인 어닐링: 압연 직후 유도 어닐링으로 공정 시간을  $30\%$  단축합니다.

친환경 윤활: 환경 오염을 줄이기 위한 수성 윤활유를 개발합니다.

#### 3.4.3 그리는 과정

드로잉은 높은 정밀도와 매끄러운 표면을 가진 작은 직경의 몰리브덴 막대 ( $<5\text{mm}$ )를 생산합니다.

#### 프로세스:

전처리: 압연 바 산세( $10\% \text{HNO}_3$ )를 하여 산화물층을 제거하고 흑연 윤활제를 도포합니다.

도면 : 카바이드 몰드가있는  $800-1200^{\circ}\text{C}$  (구멍 직경  $0.5-5\text{mm}$ ), 드로잉 속도  $0.1-1\text{m/s}$ , 단일 변형  $10-20\%$ .

중간 어닐링:  $800-1000^{\circ}\text{C}$ , 30-60 분 동안 유지, 가소성 복원.

멀티 패스 드로잉: 대상 크기( $\pm 0.01\text{mm}$ )를 얻기 위해 5-10 회 당깁니다.

#### 설비:

풀러: 당기는 힘이  $10-50\text{kN}$  인 체인 또는 유압 풀러.

금형 : WC-Co 또는 다이아몬드 코팅, 구멍 정확도  $\pm 0.001\text{mm}$ .

#### 프로세스 세부 정보:

윤활제: 코팅 두께가  $0.1-0.5\text{mm}$  인 흑연 에멀전 또는  $\text{MoS}_2$ .

온도 제어: 유도 가열 또는 저항 가열, 오차  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

표면 품질 : 전극 재료에 적합한 드로잉 후  $R_a < 0.2\ \mu\text{m}$ .

#### 영향 요인:

금형 마모 : 도면의  $1000\text{m}$  마다 다이 교체.

블랭크 결함: 표면 균열 또는 내포물로 인해 파손이 발생합니다.

도면 속도: 응력 집중을 너무 빨리 증가시킵니다.

#### 기술적 진보:

초미세 드로잉 : 직경  $<1\text{mm}$  의 몰리브덴 막대 생산을 위한 나노 다이아몬드 코팅 금형 개발.

연속 드로잉 : 다중 모드 연속 드로잉 머신, 효율성이  $50\%$  증가합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

지능형 모니터링: 온라인 직경 및 장력 센서, 실시간 매개변수 조정.

### 3.5 몰리브덴 막대의 표면 처리 기술

표면 처리는 기계적 연마, 화학적 세척 및 산화 방지 코팅을 포함하여 몰리브덴 막대의 내식성, 마감 및 고온 성능을 향상시킵니다.

#### 3.5.1 기계적 연마

기계적 연마는 높은 마감을 달성하기 위해 연삭 및 연마를 통해 표면 결함을 제거합니다.

#### 프로세스:

굵은 연삭: 1000-2000rpm 에서 탄화규소 연삭 휠(60-120 메쉬)을 사용하여 산화물 층과 거친 긁힘을 제거합니다.

미세 연삭: 다이아몬드 연마 벨트 (입자 크기 400-800 메쉬), Ra 0.8-1.6  $\mu\text{m}$ .

연마: 펠트 휠과 알루미나 연마 페이스트 (입자 크기 0.5-1  $\mu\text{m}$ ), 회전 속도 1500-3000 rpm, Ra < 0.2  $\mu\text{m}$ .

청소: 연마 잔류물을 제거하기 위한 초음파 세척(주파수 40kHz, 탈이온수).

#### 설비:

연마 기계: 자동 공급 시스템을 갖춘 CNC 평면 또는 원통형 연마 기계.

검출기: 표면 거칠기 미터 (정확도 0.01  $\mu\text{m}$ ), Ra 값 확인.

#### 프로세스 세부 정보:

연마 선택: 다이아몬드는 고경도 몰리브덴 막대에 적합하며 알루미나 비용이 저렴합니다.

냉각수: 과열을 방지하기 위한 수성 냉각수(pH 7-8).

연마 시간: 직경 10mm 막대의 연마는 약 5-10 분/m 입니다.

#### 영향 요인:

연마 입자 크기: 너무 거칠면 긁힘이 생기고 너무 미세하고 효율이 낮습니다.

압력 제어: 너무 높은(>0.5 MPa) 미세 균열이 발생합니다.

막대 경도: TZM 합금은 순수한 몰리브덴 보다는 닦게 더 어렵습니다.

#### 기술적 진보:

전해 연마: 기계적 연마와 결합하여 Ra < 0.1  $\mu\text{m}$  이며 효율이 20% 증가합니다.

레이저 연마: 비접촉 연마, 복잡한 형상 막대에 적합합니다.

자동 연마: 로봇 연마 시스템으로 인건비를 30% 절감합니다.

#### 3.5.2 화학적 세척

화학적 세척은 표면 산화물, 오일 및 불순물을 제거하여 내식성과 전도성을 향상시킵니다.

#### 프로세스:

산세 : 질산-황산 혼합물 ( $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 1 : 3$ , 농도 10-20 %)을 5-15 분 동안 담그고 온도 20-40 °C 를 열어 산화물 층을 제거합니다.

가성 세척 : 5-10 % NaOH 용액, 50-70 °C, 유기 오염 물질을 제거하기 위해 3-10 분 동안 담가둡니다.

초음파 세척: 탈이온수와 중성 세제(0.1-0.5%)를 28-40kHz 에서 5-10 분 동안 사용하여 미립자를 제거합니다.

건조: 2 차 산화를 방지하기 위한 열풍 건조(80-100°C) 또는 진공 건조.

#### 설비:

산세 구조: 가열 및 교반 시스템이 있는 PP 또는 PTFE.

초음파 세척기 : 전력 500-2000 W, 탱크 용량 10-100 L.

#### 프로세스 세부 정보:

폐기물 처리: 산세 폐기물의 중화( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , pH 6.5-7.5), 중금속 침전 및 배출.

세척 순서: 표면에 잔류물이 없다는 것을 보증하기 위하여 소금물에 세척 알칼리성 세척 초음파 청소.

보호 조치: 수분 흡수를 방지하기 위해 세탁 직후 질소 포장.

#### 영향 요인:

산 농도: 매트릭스를 부식시키기에는 너무 높고, 철저히 청소하기에는 너무 낮습니다.

온도 제어: 너무 높으면 배기 가스의 휘발이 증가하고 너무 낮으면 효율이 감소합니다.

표면 상태: 검은색 막대는 연마 막대보다 청소하는 데 시간이 더 오래 걸립니다.

#### 기술적 진보:

친환경 청소: 환경 오염을 줄이기 위해 pH 4-6 의 구연산염 기반 세척제 개발.

플라즈마 세척: 저온 플라즈마(전력 100-500W)는 고순도 폴리브덴 막대에 적합한 유기물을 제거합니다.

자동 세척 : 다중 탱크 연속 세척 라인, 효율이 40 % 증가합니다.

#### 3.5.3 표면 코팅(산화 방지 코팅 등)

산화 방지 코팅(예:  $\text{MoSi}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )은 고온 산화 환경에서 폴리브덴 막대의 수명을 향상시킵니다.

#### 가공 방법:

##### 화학 기상 증착 (CVD):

공정: 800-1200°C 에서  $\text{SiCl}_4$ 과  $\text{CH}_4$ 가 반응하여 10-50 $\mu\text{m}$  두께의  $\text{MoSi}_2$  코팅을 형성합니다.

장비: 진공  $10^{-1}$ - $10^{-2}$  Pa 및 가스 유량 50-200mL/min 의 CVD 퍼니스.

장점: 조밀한 코팅 및 강한 접착력(>50MPa).

### 플라즈마 스프레이:

프로세스 : 플라즈마 아크 (전력 20-50kW)에 50-200  $\mu\text{m}$  두께의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  또는  $\text{ZrO}_2$  분말을 분사합니다.

장비: 건 이동 속도가 0.1-0.5m/s 인 대기 또는 저압 플라즈마 스프레이 시스템.

장점: 대형 바, 간단한 공정에 적합합니다.

### 졸 겔 방법:

공정:  $\text{SiO}_2$  또는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 로 슬 코팅하고 500-800°C 에서 열처리하여 5-20 $\mu\text{m}$  코팅을 형성합니다.

장점: 저렴한 비용으로 복잡한 모양에 적합합니다.

### 프로세스 세부 정보:

전처리: 바 산세 및 샌드 블라스팅( $\text{SiC}$  입자, 0.1-0.5mm)으로 코팅 접착력 향상.

코팅 성능 : 최대 1700 °C 의  $\text{MoSi}$  코팅 산화 온도,  $\text{Al}$  의  $\text{O}_3$  코팅으로 내마모성이 우수합니다.

검사 : 코팅 미세 구조의 SEM 분석, 접착력을 테스트하기 위한 스크래치 방법.

### 영향 요인:

코팅 두께: 너무 두꺼우면(>100 $\mu\text{m}$ ) 벗겨지기 쉽고 너무 얇으면 항산화 효과가 좋지 않습니다.

기관 온도: CVD 중 기관 과열(>1300°C)로 인해 입자가 자랍니다.

분위기 제어: 산소 침투는 코팅의 품질을 저하시킵니다.

### 기술적 진보:

복합 코팅:  $\text{MoSi}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  이중층 코팅, 산화 수명 50% 증가.

나노 코팅: 내마모성과 내산화성을 모두 갖춘 PVD 증착 나노  $\text{SiC}$  코팅(1-5 $\mu\text{m}$  두께).

자가 치유 코팅: 고온에서 자가 치유 균열을 위해 희토류 원소(예:  $\text{CeO}_2$ )가 도핑된  $\text{MoSi}_2$  코팅.

## 3.6 몰리브덴 막대의 품질 관리 및 공정 최적화

품질 관리는 몰리브덴 막대의 일관되고 신뢰할 수 있는 성능을 보장하며, 여기에는 결함 제어 및 공정 매개변수의 최적화가 포함됩니다.

### 3.6.1 생산 공정의 결함 관리

일반적인 결함에는 균열, 다공성, 개재물 및 표면 산화가 포함되며 다음에 의해 제어됩니다.

#### 원료 품질:

고순도  $\text{MoO}_3$ ( $\geq 99.9\%$ )를 사용하였고, Fe, C(<50ppm) 등의 불순물을 검출하기 위해 ICP-MS 를 사용하였습니다.

몰리브덴 분말의 산소 함량 < 0.005%이며 불활성 가스 저장으로 산화를 피할 수 있습니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

**소결 결합 :**

최적화된 소결 온도(1800-2000°C) 및 감소된 다공성(다공률<2%).  
<10°C의 온도 차이를 가진 다중 구역 퍼니스는 블랭크의 균일한 수축을 보장합니다.

**가공 결합 :**

미세 균열을 피하기 위해 단조 및 압연 변형이 30%<.

**비파괴 검사(NDT):**

초음파 검사 : 5-10MHz의 주파수에서 0.1mm의 내부 균열> 발견되었습니다.  
X선 검사: 100-200kV에서 개재물(>0.05mm)을 확인합니다.

**표면 결합 :**

연마는 산화물 층(0.01-0.05mm 두께)과 긁힘을 제거합니다.  
표면 거칠기 측정기는 ASTM B387에 따라 Ra < 1.6µm를 감지합니다.

**탐지 기술:**

현미경 분석: 입자 크기(10-50µm) 및 결합 분포에 대한 SEM 및 EBSD 분석.  
화학 분석: GD-MS는 ppb 정확도로 불순물을 검출합니다.  
기계적 시험: 인장 강도(>600 MPa)를 시험하기 위한 인장 시험기(하중 50-200kN).

**영향 요인:**

공정 안정성: 온도 및 압력 변동으로 인해 불량률이 증가합니다.  
장비 노화: 퍼니스 챔버의 오염 또는 곰팡이 마모는 내포물을 증가시킵니다.  
작동 사양: 교육을 통해 수동 작동 오류를 줄여야 합니다.

**기술적 진보:**

온라인 NDT: 실시간 초음파 영상, 결합 감지율 20% 증가.  
AI 결합 인식: 머신 비전은 >95%의 정확도로 표면 결함을 분석합니다.  
예방적 유지보수: 센서로 장비 고장을 예측하여 가동 중단 시간을 최대 30%까지 줄입니다.

**3.6.2 프로세스 매개변수의 모니터링 및 최적화**

공정 매개변수의 실시간 모니터링 및 최적화는 생산 효율성과 제품 품질을 향상시킵니다. 방법은 다음과 같습니다.

**감시 기술:**

온도: 열전대(K형 또는 W-Re) 및 ±3°C의 정확도를 가진 적외선 온도계.  
분위기 : 산소 분석기 (0-100ppm) 및 이슬점 측정기 (<-80 °C).  
압력: 피에조미터(10<sup>-5</sup>-10<sup>5</sup> Pa) 및 유량계(0-500mL/분).  
치수: 레이저 캘리퍼(정확도 ±0.001mm) 및 인라인 계량 시스템.

**데이터 수집:**

산업용 사물 인터넷(IIoT)은 1Hz의 샘플링 주파수에서 온도, 압력 및 공기 흐름과

저작권 및 법적 책임 선언문

같은 데이터를 수집합니다.

SCADA 시스템은 프로세스 상태를 실시간으로 표시하고 비정상 경보에 대한 응답 시간을 1 초< 표시합니다.

#### 매개 변수 최적화:

회귀 분석: 온도, 압력 및 빌렛 밀도의 수학적 모델을 설정하고 소결 온도를  $10^{\circ}\text{C}\pm$  최적화합니다.

머신 러닝: 신경망은 결함률을 예측하고, 가압 압력과 압연 속도를 조정하고, 결함률을 5-10% 줄입니다.

시뮬레이션: CFD 는 용광로의 가스 흐름 분포를 시뮬레이션하여 수소 유량을 최적화하고 가스의 10-15%를 절약합니다.

#### 영향 요인:

센서 정확도:  $10^{\circ}\text{C}>$  온도 편차는 공정 안정성에 영향을 미칩니다.

데이터 품질: 노이즈 간섭은 모델의 정확도를 떨어뜨리고 필터링이 필요합니다.

장치 호환성: 구형 장치는 IIoT 시스템에 통합하기 어렵습니다.

#### 기술적 진보:

디지털 트윈: 폴리브덴 막대 생산의 전체 프로세스에 대한 디지털 모델을 구축하고, 실시간으로 성능을 예측하고, 효율성을 10-15% 최적화합니다.

5G+IIoT: 고대역폭 데이터 전송, 모니터링 대기 시간  $< 10\text{ms}$ , 다중 플랜트 협업에 적합합니다.

친환경 제조: 프로세스 매개변수를 최적화하여 에너지 소비와 배출량을 줄이고 탄소 발자국을 20% 줄입니다.



CTIA GROUP LTD 폴리브덴 막대

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

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

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

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

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

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

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.molybdenum.com.cn

저작권 및 법적 책임 선언문

## 4 장 : 폴리브덴 막대의 종류와 사양

고성능 내화 금속 제품인 폴리브덴 막대는 유형과 사양의 다양성으로 인해 항공 우주, 전자 및 유리 산업과 같은 많은 분야의 특정 요구 사항을 충족할 수 있습니다. 이 장에서는 폴리브덴 막대를 구성, 표면 상태, 크기 및 모양, 맞춤형 설계의 네 가지 측면에서 자세히 분류하고 특성, 준비 과정, 적용 시나리오 및 관련 표준에 대해 설명합니다.

### 4.1 구성에 따른 분류

폴리브덴 막대는 화학 성분에 따라 고순도 폴리브덴 막대와 도핑 된 폴리브덴 막대의 두 가지 범주로 나눌 수 있습니다. 고순도 폴리브덴 막대는 우수한 전기 및 열 전도성으로 인해 전자 산업에서 중요한 위치를 차지하는 반면, 도핑된 폴리브덴 막대는 합금 원소를 첨가하여 고온 성능을 크게 향상시켜 보다 까다로운 환경에 적합합니다.

#### 4.1.1 고순도 폴리브덴 막대 (순도 $\geq 99.95\%$ )

고순도 폴리브덴 막대는 폴리브덴 함량이 99.95% 이상인 막대를 말하며 일반적으로 분말 야금 공정으로 생산되며 불순물 원소(예: Fe, C, O, N)의 함량은 ppm 수준에서 엄격하게 제어됩니다. 일반적인 불순물 한계는 철(Fe)  $\leq 0.01\%$ , 탄소(C)  $\leq 0.005\%$ , 산소(O)  $\leq 0.003\%$ , 질소(N)  $\leq 0.002\%$ 입니다. 고순도의 달성은 고순도 폴리브덴 산화물( $\text{MoO}_3$ ,  $\geq 99.99\%$ ) 공급 원료 및 진공/수소 환원 공정에 의존하여 바의 우수한 물리적 및 화학적 특성을 보장합니다.

#### 특성:

물리적 특성: 고순도 폴리브덴 막대의 밀도는 이론값( $10.28\text{g/cm}^3$ )에 가깝고 융점은  $2623^\circ\text{C}$ , 열전도율은  $138\text{W/m}\cdot\text{K}(20^\circ\text{C})$ , 열팽창 계수는  $4.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}(20-1000^\circ\text{C})$ 입니다.

전기적 특성: 저항  $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}(20^\circ\text{C})$ , 높은 전도성, 전극 및 전도성 부품에 적합합니다.

기계적 성질: 실온에서의 인장 강도는 약  $600-800 \text{MPa}$ , 연신율은 10-20%, 고온( $>1000^\circ\text{C}$ )에서 연성이 크게 향상됩니다.

화학적 안정성: 실온에서 산 및 알칼리 부식에 강하지만 고온( $>600^\circ\text{C}$ )의 산화 분위기에서 휘발성  $\text{MoO}_3$ 가 발생하기 쉬우므로 진공 또는 불활성 분위기로 보호해야 합니다.

#### 준비 과정:

원료 : 폴리브덴 분말 (순도  $\geq 99.95\%$ , 입자 크기  $1-5 \mu\text{m}$ )은 초고순도  $\text{MoO}_3$ 를 사용하여 다단계 수소 환원으로 제조되었습니다.

성형 및 소결 : 냉간 등압 프레스 ( $100-400 \text{MPa}$ ) 성형, 진공 소결 ( $1800-2200^\circ\text{C}$ )을 통해 고밀도 블랭크 (밀도  $> 90\%$  이론 값).

가공: 열간 단조( $1200-1600^\circ\text{C}$ ) 또는 압연( $1000-1400^\circ\text{C}$ )을 바에 넣고 표면을  $Ra < 0.2\mu\text{m}$  까지 연마할 수 있습니다.

품질 관리: 불순물은 ICP-MS 에 의해 감지되고, 내부 결함은 초음파에 의해 감지되며, 표면 거칠기 측정기는 마감을 보장합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

**적용하다:**

**Electronics & Semiconductors:** 스퍼터링 타겟, 집적 회로, 태양 전지 및 평판 디스플레이용 박막. 고순도는 필름 품질을 보장하고 표면 마감은 결함률을 줄입니다.  
진공관 및 이온 소스: 전극 재료로 사용되며 높은 전도성과 낮은 전자 작업(약 4.6eV)으로 인해 다른 금속보다 우수합니다.  
고온 실험 장비: 실험실의 고온로에서 지지대 또는 전극으로 사용되며 고온 저항 및 화학적 안정성으로 과학 연구의 요구를 충족합니다.

**표준:**

국제: ASTM B387-18, 고순도 몰리브덴 막대의 화학적 조성, 기계적 성질 및 치수 허용 오차를 지정합니다.  
국내: GB/T 3462-2017, 순도  $\geq 99.95\%$ , 전자 산업 표준에 따른 불순물 함량.

**기술적 과제:**

산소 함량 제어에는 초고순도 수소(이슬점  $<-60^{\circ}\text{C}$ )와 진공 환경( $<10^{-4}$  Pa)이 필요합니다.  
고순도 몰리브덴 막대의 크리프 저항은 고온에서 약하여 장기간 고온 부하에서 적용을 제한합니다.

**4.1.2 도핑 된 몰리브덴 막대 (TZM, Mo-La, Mo-W 등)**

도핑된 몰리브덴 막대는 미량 원소 또는 합금을 첨가하여 몰리브덴 기반 합금을 형성하여 고온 강도, 크리프 저항 및 내 산화성을 크게 향상시킵니다. 일반적인 유형으로는 TZM(티타늄-지르코늄-몰리브덴), Mo-La(몰리브덴-란타늄), Mo-W(몰리브덴-텅스텐) 등이 있습니다.

**TZM 몰리브덴 막대 :**

구성 : 0.4-0.55 % Ti, 0.06-0.12 % Zr, 0.01-0.04 % C, Mo 의 균형.

**특성:**

용액 강화 및 탄화물(TiC, ZrC) 석출 강도를 통해 인장 강도는 1100 MPa( $20^{\circ}\text{C}$ )에 도달하고 고온( $1500^{\circ}\text{C}$ ) 인장 강도는 약 400 MPa 로 순수 몰리브덴보다 훨씬 우수합니다.  
크리프 속도는 낮습니다(예:  $1200^{\circ}\text{C}$ , 50MPa 에서 약  $10^{-6}/\text{h}$ ).  
열전도율은 순수 몰리브덴(약  $120\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ )보다 약간 낮고 열팽창 계수는 비슷합니다( $5.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ).  
내산화성은 순수 몰리브덴보다 약간 우수하지만 여전히  $<600^{\circ}\text{C}$  또는 보호 분위기에서 사용해야 합니다.

**준비:**

Ti, Zr, C 분말과 혼합 된 몰리브덴 분말 (유성 밀, 200-400 rpm), 냉간 등압 프레스 성형, 수소 보호 소결 ( $1800-2100^{\circ}\text{C}$ ).  
열간 가공( $1400-1700^{\circ}\text{C}$  단조,  $1200-1500^{\circ}\text{C}$  압연)은 경도(HV 270-300) 증가로 인해 더 어렵습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

**적용하다:**

항공우주: 높은 강도와 낮은 밀도( $10.16\text{g/cm}^3$ )로 인한 고온 구조 부품(예: 제트 엔진 노즐).

고온로: 발열체 및 지지대, 장기간 사용을 위해  $1800^\circ\text{C}$  에 강합니다.

금형 제작 : 고온 내마모성에 강한 고온 압출 금형.

**Mo-La 몰리브덴 막대 :**

조성 :  $0.3\text{--}1.0\%$   $\text{La}_2\text{O}_3$  (란타넘 산화물), 잔류 량 Mo.

**특성:**

$\text{La}_2\text{O}_3$  분산액은 결정립 미세화( $10\text{--}20\ \mu\text{m}$ )를 강화하고  $25\%$ ( $20^\circ\text{C}$ )의 연신율로 결정립계 강도를 증가시킵니다.

고온에서의 내산화성은 순수 몰리브덴보다 우수하며 산화 속도는  $800^\circ\text{C}$  에서 약  $0.05\text{mg/cm}^2\cdot\text{h}$  입니다.

우수한 크리프 저항,  $1500^\circ\text{C}$  에서  $10^{-6}/\text{h}$  미만의 크리프 속도.

열전도율은 약  $130\text{W/m}\cdot\text{K}$  로 고온 열전도 부품에 적합합니다.

**준비:**

몰리브덴 분말을  $\text{La}_2\text{O}_3$  분말 액체(pH 7-8)로 도핑하고 분무 건조하여 복합 분말을 제조했습니다.

진공 소결 ( $1900\text{--}2200^\circ\text{C}$ ), 열간 가공 ( $1300\text{--}1600^\circ\text{C}$  단조).

표면 연마 또는 코팅(예:  $\text{MoSi}_2$ )은 성능을 더욱 향상시킵니다.

**적용하다:**

고온로: 장기간 고온( $>1500^\circ\text{C}$ )에서 사용되는 발열체 및 핫 스크린.

유리 산업: 고온 부식에 강한 용융 전극.

과학 연구: 인성과 강도를 고려한 고온 실험 장치.

**Mo-W 몰리브덴 막대 :**

구성 :  $5\text{--}30\%$  W (텅스텐), Mo 의 균형.

**특성:**

텅스텐을 첨가하면 용점 ( $3422^\circ\text{C}$  에 가까움)과 강도가 증가하고 인장 강도는  $1200\text{MPa}$  ( $20^\circ\text{C}$ )에 도달 할 수 있습니다.

열전도율이 감소하고(약  $100\text{--}120\text{W/m}\cdot\text{K}$ ) 저항률이 증가합니다( $6\text{--}8\times 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$ ).

순수 몰리브덴보다 내식성이 우수하여 산성 또는 용융염 환경에 적합합니다.

**준비:**

몰리브덴 분말은 텅스텐 분말과 기계적으로 합금되어 압축 및 성형 된 다음 진공 소결 ( $2000\text{--}2300^\circ\text{C}$ )됩니다.

고온 단조( $1500\text{--}1800^\circ\text{C}$ ) 또는 도면( $1000\text{--}1400^\circ\text{C}$ ).

저작권 및 법적 책임 선언문

**적용하다:**

원자력 산업: 높은 용점과 방사선 저항으로 인한 고온 반응기 부품.  
특수 전극: 가혹한 화학 환경을 위한 부식 방지 전극.

**비교하다:**

TZM: 항공 우주에 적합한 최고의 고온 강도 및 크리프 저항.  
Mo-La: 우수한 내산화성 및 연성으로 고온 용광로 및 유리 산업에 적합합니다.  
Mo-W: 원자력 산업 및 특수 환경에 적합한 뛰어난 용점 및 내식성.

**표준:**

ASTM B387-18: TZM 및 Mo-La의 조성, 기계적 특성 및 공차를 지정합니다.  
GB/T 4188-2015: TZM 바 표준, 불순물 및 도핑 원소의 한계는 명확합니다.

**기술적 과제:**

도핑된 원소 분포의 균일성은 분리를 피하기 위해 정밀하게 제어되어야 합니다.  
합금 바는 가공이 어렵기 때문에 고온 장비와 최적화된 공정이 필요합니다.

**4.2 표면 상태에 의한 분류**

몰리브덴 막대의 표면 상태는 성능 및 응용 분야에 중요한 영향을 미치며 가공 기술 및 사용 요구 사항에 따라 흑색 몰리브덴 막대, 광택 몰리브덴 막대 및 세척 몰리브덴 막대로 나눌 수 있습니다.

**4.2.1 검은 몰리브덴 막대**

블랙 몰리브덴 로드는 연마 또는 화학 처리되지 않은 바를 말하며, 표면은 열간 가공(단조, 압연) 후 검은색 또는 짙은 회색의 산화물 층을 유지합니다. 표면 거칠기는 일반적으로 Ra 3.2-6.4  $\mu\text{m}$  입니다.

**특성:**

표면 : 0.01-0.05 mm 의 산화 몰리브덴 ( $\text{MoO}_2$  /  $\text{MoO}_3$ ) 층 두께로 내식성이 약간 감소하지만 비 산화 환경 (예 : 진공)에서는 큰 영향을 미치지 않습니다.  
성능: 기계적 특성은 연마된 막대의 기계적 특성과 동일하지만 미세 균열과 같은 표면 결함은 피로 수명에 영향을 줄 수 있습니다.  
비용: 추가 표면 처리가 필요하지 않으므로 생산 비용이 저렴합니다.

**준비:**

소결 빌릿은 열간 단조(1200-1600°C) 또는 압연(1000-1400°C)으로 형성되고 직접 냉각되어 검은색 막대를 형성합니다.  
표면 산화물 층은 고온 가공 시 미량의 산소와 반응하여 형성되며, 대기(수소 또는 진공)를 제어하여 두께를 줄일 수 있습니다.

**적용하다:**

고온로: 지지 막대 또는 발열체로서 표면 산화물 층은 진공 또는 불활성 분위기에서 성능에 영향을 미치지 않습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

황삭 : 후속 연마 또는 가공을위한 반제품으로.

비용에 민감한 영역: 세라믹 소결과 같은 검은색 폴리브덴 막대는 비용 절감을 위해 선호됩니다.

#### 표준:

ASTM B387-18 : 검은 색 폴리브덴 막대 표면은 거칠기  $Ra \leq 6.4 \mu m$  로 약간의 산화를 허용합니다.

GB/T 3462-2017: 표면에 균열 및 슬래그 포함과 같은 심각한 결함이 없습니다.

#### 기술적 과제:

표면 산화물 층은 일부 응용 분야에서  $MoO_3$  가스를 방출하고 환경을 오염시킬 수 있습니다.

표면이 거칠면 내식성이 떨어지므로 사용 환경을 평가해야 합니다.

#### 4.2.2 연마 폴리브덴 막대

연마 된 폴리브덴 막대는 기계적으로 연마되거나 전해 연마되며 은백색의 금속 광택과 함께 일반적으로  $Ra 0.1-0.8 \mu m$  의 높은 표면 마감 처리를 가지고 있습니다.

#### 특성:

표면 : 산화물 층 없음, 미세한 결함 (긁힘, 균열)이 거의 없으며 내식성은 검은 색 폴리브덴 막대보다 우수합니다.

성능: 고정밀 응용 분야를 위해 전기 및 열 전도성이 약간 향상되었습니다(표면 결함 감소로 인해).

미학: 매끄러운 표면은 전자 및 광학 산업의 요구 사항을 충족하기 위해 외관을 향상시킵니다.

#### 준비:

기계적 연마: 탄화규소 연삭 휠(60-800 메쉬)을 사용한 황삭 및 1000-3000rpm 에서 다이아몬드 연마 페이스트( $0.5-1 \mu m$ )를 사용한 미세 연마.

전기 연마 : 전류 밀도가  $0.5-2 A / cm^2$ 인 인산-황산 전해질(pH 2-3)에서 연마, 5-10 분 동안 연마,  $Ra < 0.1 \mu m$ .

청소: 연마 잔류물을 제거하기 위한 초음파 세척(40kHz, 탈이온수), 산화를 방지하기 위한 질소 건조.

#### 적용하다:

반도체(Semiconductors): 높은 마감과 낮은 결함률이 필요한 스퍼터링 타겟 및 전극.

광학 장비: 빛의 산란을 줄이는 매끄러운 표면이 있는 막대 또는 반사 부품을 지지합니다.

의료: 고순도 및 마감 처리된 X 선관 타겟은 이미지 품질을 보장합니다.

#### 표준:

ASTM B387-18: 광택 처리된 폴리브덴 막대 거칠기  $Ra \leq 0.8 \mu m$ , 눈에 띄는 긁힘 없음.

GB/T 3462-2017: 표면 마감은 전자 산업의 요구 사항을 충족합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

**기술적 과제:**

연마 공정에서는 미량의 연마제 오염이 발생할 수 있으며 엄격한 세척이 필요합니다. 마감이 높으면 생산 비용이 증가하고 응용 분야 요구 사항 간의 절충이 필요합니다.

**4.2.3 폴리브덴 막대 청소**

세척 폴리브덴 막대는 표면 산화물, 오일 및 불순물을 제거하기 위해 화학적으로 세척된 막대로, 검은색 막대와 광택 막대 사이의 표면 상태와 일반적으로 Ra 1.6-3.2 μm의 거칠기를 가지고 있습니다.

**특성:**

표면 : 산화물 층 및 유기 오염 물질이 없으며 회백색, 내식성이 검은 색 폴리브덴 막대보다 우수합니다.

성능: 연마 막대에 가깝지만 표면 결함이 더 미세하여 중간 정밀도 응용 분야에 적합합니다.

비용 : 연마 된 막대보다 낮고 검은 색 폴리브덴 막대보다 높습니다.

**준비:**

산세 : 질산-황산 혼합물 (HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 1 : 3, 10-20 %), 5-15 분, 20-40 ° C 동안 담가 산화물 층을 제거합니다.

가성 세척 : 5-10 % NaOH 용액, 50-70 ° C, 3-10 분 동안 담가 기름을 제거합니다.

초음파 세척 : 탈 이온수와 중성 세제 (0.1-0.5 %), 40kHz, 5-10 분.

건조: 진공 또는 열풍 건조(80-100°C), 질소 포장은 2 차 산화를 방지합니다.

**적용하다:**

유리 산업 : 전극을 용융하고 불순물 오염을 줄이기 위해 표면을 청소합니다.

고온로: 지지대, 불활성 분위기의 요구 사항을 충족하는 내식성.

전처리: 막대 닦기를 위한 중간 제품으로, 추가 가공.

**표준:**

ASTM B387-18: 산화물이 없는 폴리브덴 막대 표면 청소, 거칠기 Ra≤3.2 μm.

GB/T 3462-2017: 표면에 잔류 화학 물질이 없습니다.

**기술적 과제:**

산세 폐기물 액체는 환경 요구 사항을 충족하기 위해 중화(pH 6.5-7.5)해야 합니다.

세척이 완료되지 않으면 미량의 오염 물질이 남고 성능에 영향을 줄 수 있습니다.

**4.3 크기와 모양에 따른 분류**

폴리브덴 막대는 원형, 정사각형, 프로파일 및 마이크로에서 대형 막대를 포함하여 응용 분야에 맞게 조정된 크기와 모양으로 제공됩니다.

**4.3.1 원형 폴리브덴 막대**

원형 폴리브덴 막대는 직경이 0.5mm에서 100mm 이고 일반적으로 길이가 100mm에서 3000mm 인 가장 일반적인 형태의 폴리브덴 막대입니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

#### 특성:

치수 정확도: 고정밀 응용 분야의 경우 직경 공차  $\pm 0.01-0.1\text{mm}$ , 길이 공차  $\pm 1-5\text{mm}$ .  
기계적 성질: 축 방향을 따라 일관된 입자 방향, 균일한 인장 강도.  
가공성: 회전, 드릴 및 용접이 쉬워 복잡한 부품 제조에 적합합니다.

#### 준비:

작은 직경( $<5\text{mm}$ ): 금형 정확도가  $\pm 0.001\text{mm}$  인 드로잉 프로세스( $800-1200^\circ\text{C}$ ).  
중간 직경( $5-20\text{mm}$ ): 열간 압연( $1000-1400^\circ\text{C}$ ), 허용 오차를 보장하기 위한 인라인 직경 측정.  
대구경( $>20\text{mm}$ ): 열간 단조( $1200-1600^\circ\text{C}$ ), 다중 패스 변형.

#### 적용하다:

전자 장치: 전극 및 스퍼터링 타겟, 가장 일반적으로 직경이  $5-20\text{mm}$  입니다.  
고온로: 발열체 및 지지대, 직경  $20-50\text{mm}$ .  
항공 우주: 구조 부품, 직경  $50-100\text{mm}$ , 고강도.

#### 표준:

ASTM B387-18: 직경 공차  $\pm 0.05\text{mm}(<10\text{mm})$ ,  $\pm 0.1\text{mm}(>10\text{mm})$ .  
GB/T 3462-2017: 진원도 편차  $<0.02\text{mm}$ .

#### 기술적 과제:

직경이 작은 바는 파손되기 쉬우며 인발 속도( $0.1-1\text{m/s}$ )에 맞게 최적화해야 합니다.  
대구경 바 단조는 고온 장비가 필요하고 비용이 많이 듭니다.

#### 4.3.2 정사각형 및 기타 특수 모양의 폴리브덴 막대

정사각형 폴리브덴 막대 및 특수 모양의 폴리브덴 막대 (예: 직사각형, 육각형)는 일반적으로 측면 길이 또는 단면 크기가  $5-50\text{mm}$  이고 길이가  $100-2000\text{mm}$  인 특수 구조 또는 금형에 사용됩니다.

#### 특성:

기하학적 정확도: 가장자리 길이 허용 오차  $\pm 0.05-0.2\text{mm}$ , 가장자리 직진도  $< 0.1\text{mm/m}$ .  
성능: 기계적 특성은 둥근 막대와 유사하지만 가공 난이도가 증가합니다.  
응용성: 복잡한 임명 또는 기능적인 요구에 응하는 특별하 모양 디자인.

#### 준비:

성형: 냉간 등압 프레스는 특수 형상의 금형을 사용하며 블랭크는 소결 후 최종 형상에 가깝습니다.  
가공: 열간 단조( $1200-1600^\circ\text{C}$ ) 또는 가공(CNC 선반, 절삭 속도  $10-50\text{m/min}$ ).  
표면 처리: 광택 또는 세척, 거칠기  $\text{Ra } 0.8-3.2 \mu\text{m}$ .

#### 적용하다:

금형 제작: 사각 폴리브덴 막대는 고온 마모에 강한 열간 압출 다이에 사용됩니다.  
고온로: 열장 분포를 최적화하기 위한 특수 모양의 지지대.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

연구: 실험 설정의 요구 사항을 충족하도록 모양을 사용자 정의했습니다.

**표준:**

ASTM B387-18: 프로파일 바 단면 공차  $\pm 0.1\text{mm}$ .

GB/T 3462-2017: 가장자리에 균열이 없으며 표면 품질은 등근 막대와 동일합니다.

**기술적 과제:**

특수 모양의 금형의 설계는 복잡하고 제조 비용이 높습니다.

기계 가공은 응력 집중이 발생하기 쉬우며 절삭 데이터를 최적화해야 합니다.

**4.3.3 마이크로 폴리브덴 막대 및 대형 폴리브덴 막대**

**마이크로 폴리브덴 막대 : 직경  $<1\text{ mm}$ , 길이  $10\text{-}500\text{ mm}$ .**

**특성:** 높은 정확도(직경 허용 오차  $\pm 0.005\text{mm}$ ), 표면 마감  $Ra < 0.1\mu\text{m}$ , 마이크로 일렉트로닉스 및 정밀 기기에 적합합니다.

**준비:** 나노 다이아몬드 몰드를 사용한 초미세 인발( $600\text{-}1000\text{ }^\circ\text{C}$ ), 다중 어닐링( $800\text{-}1000\text{ }^\circ\text{C}$ ).

**적용하다:**

마이크로 일렉트로닉스 : 전극 및 프로브, 직경  $0.1\text{-}0.5\text{mm}$ .

의료: X 선관 부품, 고순도 및 정밀도가 필요합니다.

과제: 높은 인발 파손률, 속도( $0.05\text{-}0.5\text{m/s}$ ) 및 윤활( $\text{MoS}_2$ )의 정밀한 제어.

**대형 폴리브덴 막대 : 직경  $> 50\text{mm}$ , 길이  $500\text{-}3000\text{mm}$ .**

**특성:** 고강도(인장 강도  $> 800\text{MPa}$ ), 밀도  $> 9.7\text{g/cm}^3$ , 중장비 응용 분야에 적합합니다.

**준비:** 큰 톤수 위조 ( $2000\text{-}5000\text{ t}$ ,  $1400\text{-}1700\text{ }^\circ\text{C}$ ), 진공 소결 ( $> 2200\text{ }^\circ\text{C}$ )는 내부 다공성을 지키지 않습니다.

**적용하다:**

항공 우주: 로켓 노즐과 같은 고온 구조 부품.

유리 산업: 고온 부식에 강한 대형 전극.

과제: 단조 장비가 까다롭고 입자 크기( $> 50\mu\text{m}$ )를 제어하기 어렵습니다.

**표준:**

ASTM B387-18: 마이크로 막대의 경우  $0.01\text{mm}$ , 대형 막대의 경우  $0.2\text{mm} \pm$  허용 오차 $\pm$ .

GB/T 3462-2017: 내부 결함은 초음파 ( $< 0.1\text{ mm}$ )로 테스트됩니다.

**기술적 진보:**

마이크로 스틱: 레이저 보조 당기기, 20% 더 높은 정확도.

대형 막대 : 등온 단조 ( $1500\text{ }^\circ\text{C}$ ), 입자 균일 성이 15 % 증가했습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

**CTIA GROUP LTD**  
**Molybdenum Rods Introduction**

**1. Overview of Molybdenum Rods**

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

**2. Main Application Fields of Molybdenum Rods**

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

**3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)**

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

**4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD**

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

**5. Procurement Information**

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)  
 Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
 Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

저작권 및 법적 책임 선언문

#### 4.4 맞춤형 몰리브덴 막대 디자인

맞춤형 몰리브덴 막대는 고객별 요구에 따라 설계되었으며 구성, 크기, 표면 상태 및 성능의 최적화를 포함합니다. 고객 수요 분석은 사용자 지정을 위한 시작점으로, 제품이 응용 프로그램 시나리오를 충족하는지 확인합니다.

##### 4.4.1 고객 수요 분석

고객 수요 분석은 고객과의 기술 커뮤니케이션, 애플리케이션 시나리오 평가 및 성능 요구 사항을 포함하는 맞춤형 설계의 핵심 단계입니다. 자세한 프로세스는 다음과 같습니다.

요구 사항 수집:

적용 시나리오: 고객은 고온로(1500–1800°C, 진공/수소), 반도체 스퍼터링(고순도, Ra < 0.1µm) 또는 항공우주(인장 강도 > 1000MPa)와 같은 몰리브덴 막대가 사용될 환경을 알아야 합니다.

성능 요구 사항: 기계적 특성(강도, 인성), 열 특성(열전도율, 열팽창 계수), 전기적 특성(저항률) 및 화학적 특성(내산화성, 내식성)을 포함합니다.

크기 및 모양: 직경, 길이, 단면 모양(예: 원, 정사각형) 및 공차 요구 사항. 예를 들어, 마이크로 일렉트로닉스용 막대의 직경은 0.5mm < 공차 ± 0.005mm 입니다.

표면 상태: 검정색, 광택 또는 클리닝 바, 거칠기 요구 사항(예: Ra < 0.2µm).

수량 및 배달 시간: 배치(10-1000 개) 또는 소량 시험 생산, 리드 타임(2-12 주).

기술 평가:

재료 선택: 필요에 따라 고순도 몰리브덴 또는 도핑된 합금을 선택하십시오. 예를 들어, 고온로용 Mo-La 막대와 반도체용 고순도 몰리브덴 막대가 있습니다.

공정 타당성: 생산 공정(예: 인발, 단조, 소결)이 치수 및 성능 요구 사항을 충족하는지 평가합니다. 예를 들어, 마이크로 막대는 초미세하게 그려야 하고 큰 막대는 큰 톨수로 단조해야 합니다.

표준 준수: 제품이 ASTM B387, GB/T 3462 또는 고객 지정 표준을 준수하는지 확인합니다.

비용 분석: 고순도, 복잡한 형상 또는 특수 표면 처리의 비용 영향을 평가하여 비용 효율적인 솔루션을 제공합니다.

의사소통 및 감사의 말:

기술 제안서: 구성, 크기, 표면 처리 및 성능 매개변수를 포함한 설계 제안서를 고객에게 제출합니다.

샘플 시험 생산: 샘플의 소량 생산, 테스트 후 고객 피드백(예: 기계적 특성, 내식성).

계약 서명: 납품 시간, 품질 표준 및 수락 프로세스를 명확히 합니다.

기술적 과제:

초소형 또는 초대형 막대와 같은 복잡한 요구 사항에는 맞춤형 장비가 필요하므로 비용이 증가합니다.

성능(예: 내산화성)에 대한 고객의 요구 사항은 기존 기술을 초과할 수 있으므로 새로운 공정(예: 나노코팅)의 개발이 필요할 수 있습니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

기술적 진보:

디지털 설계: CAD/CAE 소프트웨어를 사용하여 몰리브덴 막대의 성능을 시뮬레이션하고 최적화된 설계 주기를 30% 단축합니다.

신속한 프로토타이핑 : 3D 프린팅 몰리브덴 파우더 블랭크로 시험 생산주기를 50 % 단축합니다.

고객 협업: 온라인 플랫폼은 주문 진행 상황을 실시간으로 추적하여 커뮤니케이션 효율성을 개선합니다.



CTIA GROUP LTD 블랙 몰리브덴 막대

## Chapter 5 : 몰리브덴 막대의 성능 테스트 및 평가

고성능 내화 금속 재료로서 몰리브덴 막대의 성능 테스트 및 평가는 항공 우주, 전자 및 유리 산업과 같은 수요가 많은 분야에서 안정적인 적용을 보장하는 핵심 링크입니다. 이 장에서는 기계적 특성, 고온 특성, 미세 구조, 화학적 특성 및 고장 분석의 5 가지 측면에서 몰리브덴 막대의 테스트 방법과 평가 기술에 대해 자세히 설명합니다. 체계적인 테스트 프로세스와 고급 분석 방법을 통해 몰리브덴 막대의 기계적 거동, 고온 안정성, 미세 구조 특성 및 화학적 안정성을 완전히 밝힐 수 있어 재료 최적화, 품질 관리 및 수명 예측을 위한 과학적 근거를 제공할 수 있습니다. 이러한 테스트는 몰리브덴 막대의 성능을 검증할 뿐만 아니라 특정 응용 분야 요구 사항을 충족하기 위한 기술 지원도 제공합니다.

### 5.1 몰리브덴 막대의 기계적 성질 시험

기계적 특성 테스트는 응력 조건에서 몰리브덴 막대의 성능을 평가하는 핵심 수단으로 인장, 압축, 굽힘 및 전단 시험을 포함합니다. 이 테스트는 몰리브덴 막대의 강도, 인성 및 변형 능력을 밝히고 구조 부품, 전극 재료 및 기타 분야에서의 응용 프로그램에 대한 데이터 지원을 제공합니다. 테스트는 일반적으로 정확하고 반복 가능한 결과를 보장하기 위해 고급 테스트 장비 및 데이터 분석 기술과 결합된

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

표준화된 조건에서 수행됩니다.

### 5.1.1 몰리브덴 막대의 인장 시험

인장 시험은 몰리브덴 막대의 인장 강도, 항복 강도 및 연성을 평가하는 주요 방법이며 품질 관리 및 성능 검증에 널리 사용됩니다. 인장 시험은 파괴가 발생할 때까지 축 방향 인장력을 가하여 힘을 받는 몰리브덴 막대의 변형 거동을 측정합니다. 만능재료시험기는 일반적으로 시험에 사용되며, 시료가 균일하게 가해졌는지 확인하기 위해 고정밀 스트레인 게이지와 그립이 장착되어 있습니다. 샘플은 일반적으로 원통형으로 처리되며 표면은 미세 균열 또는 표면 결함의 영향을 제거하기 위해 연마됩니다. 테스트 환경은 고온 용광로 또는 항공 우주 구성 요소와 같은 실제 사용 조건을 시뮬레이션하기 위해 실온 또는 고온일 수 있습니다.

인장 공정 중에 테스트는 재료의 탄성 단계, 소성 변형 단계 및 파괴 거동을 반영하는 응력-변형 곡선을 기록합니다. 고순도 몰리브덴 막대는 실온에서 높은 강도를 나타내지만 인성이 제한된 반면, 도핑된 몰리브덴 막대(예: TZM)는 합금 원소를 추가하여 강도와 파괴 저항을 크게 향상시킵니다. 고온에서는 몰리브덴 막대의 연성이 크게 증가하지만 강도는 감소하므로 산화 간섭을 피하기 위해 진공 또는 불활성 분위기에서 테스트해야 합니다. 파괴 후 광학 현미경을 통해 파괴 형태를 관찰하여 연성 파괴(딤글로 나타남) 또는 취성 파괴(분열면으로 나타남)인지 판단하여 재료의 미세한 결함 또는 가공 상태를 분석할 수 있습니다.

인장 특성에 영향을 미치는 요인에는 재료 구성, 입자 크기, 가공 기술 및 테스트 환경이 포함됩니다. 예를 들어, 미세한 입자 구조는 강도를 증가시킬 수 있지만 입자가 너무 크면 부서지기 쉬운 파괴를 유발할 수 있습니다. 가공 중에 발생하는 잔류 응력도 테스트 결과에 영향을 미칠 수 있으며 어닐링으로 제거해야 합니다. 최근 몇 년 동안 기술의 발전으로 인장 시험의 정확도가 크게 향상되었습니다. 예를 들어, 주사 전자 현미경과 결합된 현장 인장 테스트는 균열 시작 및 전파를 실시간으로 관찰할 수 있습니다. 디지털 이미지 상관 관계 기술은 고해상도 카메라로 변형을 분포를 기록하여 보다 정확한 변형 분석을 제공합니다. 이러한 기술을 적용하면 인장 시험이 거시적 특성을 넘어 미시적 메커니즘을 밝힐 수 있습니다.

### 5.1.2 몰리브덴 막대의 압축 시험

압축 시험은 압력 하에서 몰리브덴 막대의 압축 강도 및 소성 변형을 평가하는 데 사용되며, 특히 항공 우주 노즐 또는 고온로 지지대와 같은 고온 구조 부품의 설계에 사용됩니다. 압축 시험은 양쪽 끝에 압력을 가하여 샘플의 변형 거동과 파손 한계를 측정합니다. 테스트 장비는 일반적으로 작은 변형을 기록하는 고정밀 변위 센서가 장착된 유압 시험기입니다. 시료는 불균일한 응력을 피하기 위해 끝면이 평평한 원통형으로 가공되고 마찰 효과를 줄이기 위해 표면에 윤활제(예: 흑연)가 도포됩니다. 압축 테스트 중에 샘플은 재료 유형과 테스트 조건에 따라 생성되거나 소성 변형되거나 배열이 변형될 수 있습니다. 고순도 몰리브덴 막대는 실온에서 압축 강도가 높지만 고온에서 가소성이 향상되어 큰 변형이 발생하기 쉽습니다. 도핑된 몰리브덴 막대(예: Mo-La)는 특히 고온에서 압축 능력을 향상시키기 위해 분산에 의해 강화됩니다. 시험이 완료된 후 현미경을 통해 압축 단면을 분석하여 입자 변형, 균열

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

분포 및 미세한 결함을 관찰하고 재료의 압축 성능을 판단할 수 있습니다.

압축 성능에 영향을 미치는 요소에는 단면 마찰, 온도 및 하중 속도가 포함됩니다. 높은 마찰은 샘플의 불균일한 변형으로 이어지고 테스트 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 윤활제의 선택과 적용의 균일성이 중요합니다. 고온 테스트는 산화 간섭을 방지하기 위해 진공 상태에서 수행됩니다. 최근 몇 년 동안의 기술 발전에는 더 높은 온도에서 테스트할 수 있는 고온 압축 고정 장치의 개발과 마이크로 폴리브덴 막대의 성능 평가를 위한 미세 압축 테스트의 적용이 포함됩니다. 또한 유한 요소 시뮬레이션 소프트웨어는 압축 변형 거동을 예측하는 데 널리 사용되어 테스트 조건과 샘플 설계를 최적화하는 데 도움이 됩니다.

### 5.1.3 굽힘 및 전단 시험

굽힘 및 전단 시험은 복잡한 응력 조건에서 폴리브덴 막대의 굴곡 및 전단 강도를 평가하며 고온 용광로 지지대 또는 금형 재료와 같은 응용 분야에 적합합니다. 굴곡 시험은 일반적으로 3 점 또는 4 점 굴곡 방법을 사용하여 샘플에 수직 하중을 가하여 샘플의 굴곡 저항과 변형을 측정합니다. 시험 장비는 특수 굴곡 시험기이며 샘플은 직사각형 또는 원형 단면으로 가공되고 표면은 결함의 영향을 줄이기 위해 연마됩니다. 시험 중에 힘-편향 곡선을 기록하고 균열 시작 위치와 파괴 형태를 관찰하여 재료의 굴곡 성능을 평가했습니다.

전단 시험은 일반적으로 특수 전단 치구를 사용하여 측면 하중을 가하여 폴리브덴 막대의 전단 강도를 측정합니다. 시료는 단면이어야 하며 커터 갭은 추가 응력을 피하기 위해 정밀하게 제어됩니다. TZM 과 같은 도핑된 폴리브덴 막대는 일반적으로 결정립 경계 강화로 인해 고순도 폴리브덴 막대보다 높은 전단 저항을 나타냅니다. 테스트 결과는 샘플 형상, 표면 상태 및 로딩 속도의 영향을 받으며 일관성을 보장하기 위해 테스트 조건을 엄격하게 제어해야 합니다.

굽힘 및 전단 성능에 영향을 미치는 요인에는 스팬 비율, 표면 결함 및 테스트 온도가 포함됩니다. 스팬이 너무 작으면 전단 효과가 발생하고 굽힘 강도가 감소할 수 있습니다. 고온은 강도를 크게 감소시키지만 인성을 향상시킵니다. 기술 발전에는 더 균일하고 테스트 결과의 신뢰성이 더 높은 4 점 굽힘 테스트의 광범위한 사용이 포함됩니다. 현장 X 선 이미징 기술을 통해 균열 전파를 실시간으로 모니터링할 수 있어 보다 상세한 고장 분석을 제공할 수 있습니다. 또한 자동화 테스트 시스템의 도입으로 데이터 수집 효율성과 테스트 정확도가 향상되었습니다.

## 5.2 폴리브덴 막대의 고온 성능 시험

고온 성능 테스트는 크리프, 열 피로 및 내산화성을 포함하여 극한의 온도에서 폴리브덴 막대의 성능을 평가하는 핵심이며, 이는 고온 용광로, 항공 우주 및 기타 분야에서의 응용 신뢰성과 직접적인 관련이 있습니다. 이러한 테스트는 일반적으로 산화 간섭을 피하기 위해 진공 또는 불활성 분위기에서 수행됩니다.

### 5.2.1 폴리브덴 막대의 크리프 시험

크리프 테스트는 고온에서 일정한 응력 하에서 폴리브덴 막대의 장기 변형 거동을

저작권 및 법적 책임 선언문

평가하여 고온 환경에서의 안정성을 반영합니다. 이 시험은 고온 진공로가 장착된 특수 크리프 시험기를 사용하여 시험 환경에 산소 간섭이 없는지 확인합니다. 시료를 원통형으로 가공하고 응력 집중을 줄이기 위해 표면을 연마합니다. 시험하는 동안 샘플은 수백에서 수천 시간 동안 일정한 온도와 응력으로 유지되고 시간 경과에 따른 변형 변화가 기록되며 크리프 곡선이 생성되며, 이는 1 차, 정상 상태 및 가속 크리프 단계로 나뉩니다.

고순도 폴리브덴 막대의 크리프 속도는 고온에서 더 높은 반면, 도핑된 폴리브덴 막대(예: TZM, Mo-La)는 크리프 속도를 크게 줄이고 합금 원소를 추가하여 수명을 연장합니다. 테스트가 완료된 후 크리프 파괴는 현미경으로 분석할 수 있으며 입계 슬립 및 공극 형성과 같은 미세한 현상을 관찰할 수 있어 크리프 메커니즘을 밝힐 수 있습니다. 크리프 특성에 영향을 미치는 요인에는 온도, 응력 및 미세 구조가 포함됩니다. 고온은 원자의 확산을 가속화하여 크리프를 증가시킵니다. 미세한 입자와 도핑된 원소는 입자 경계 슬립을 효과적으로 억제할 수 있습니다.

기술 발전에는 복잡한 응력 상태를 시뮬레이션하고 예측 정확도를 향상시킬 수 있는 다축 크리프 테스트 시스템의 개발이 포함됩니다. 고온 디지털 이미지 상관 관계 기술은 적외선 카메라로 변형 자기장을 기록하여 보다 정확한 변형 데이터를 제공합니다. 또한 가속 크리프 테스트 방법은 온도와 응력을 증가시키고, 테스트 시간을 단축하고, 수학적 모델을 통합하여 장기적인 동작을 예측함으로써 테스트 효율성을 크게 향상시킵니다.

### 5.2.2 폴리브덴 막대의 열 피로 시험

열 피로 시험은 주기적 열 응력 하에서 폴리브덴 막대의 균열 저항을 평가하며 고온 용광로 발열체 또는 항공 우주 부품에 적합합니다. 이 테스트는 샘플을 빠르게 가열 및 냉각하여 실제 작동 조건에서 온도 사이클링을 시뮬레이션합니다. 이 장비에는 급격한 온도 상승 및 하강이 가능한 유도 가열 및 수냉식 시스템이 있는 열 피로 시험기가 포함됩니다. 샘플의 표면은 초기 균열을 줄이기 위해 연마되며, 산화를 방지하기 위해 진공 또는 불활성 분위기에서 테스트를 수행합니다.

테스트 중에 샘플은 여러 번의 고온-저온 사이클을 거쳤으며 균열 시작 시간과 전파 속도가 기록되었습니다. 도핑된 폴리브덴 막대는 일반적으로 우수한 균열 저항성과 고온 강도로 인해 더 긴 열 피로 수명을 나타냅니다. 테스트가 완료된 후 현미경 또는 초음파 테스트로 균열 지형을 분석하여 피로 무늬 및 산화 손상을 특성화합니다. 열 피로 성능에 영향을 미치는 요인에는 온도 차이, 표면 상태 및 사이클 빈도가 포함됩니다. 큰 온도 차이는 열 응력을 증가시키고 균열 전파를 가속화합니다. 광택 처리된 표면은 효과적으로 수명을 연장 할 수 있습니다.

기술 발전에는 테스트 조건을 최적화하기 위해 적외선 카메라를 통해 실시간으로 온도 분포를 기록하는 현장 열 이미징 기술의 적용이 포함됩니다. MoSi<sub>2</sub>와 같은 산화 방지 코팅을 적용하면 열 피로 수명이 크게 늘어납니다. 또한 수치 시뮬레이션 기술은 열 응력장을 시뮬레이션하여 균열 시작 위치를 예측하여 테스트의 과학적 특성을 향상시킵니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

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

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

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

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

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

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)  
 Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
 Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

저작권 및 법적 책임 선언문

### 5.2.3 폴리브덴 막대의 내산화성 시험

내산화성 테스트는 고온 산화 환경에서 폴리브덴 막대의 안정성을 평가하며, 이는 고온 용광로 및 항공 우주 응용 분야에 중요합니다. 이 테스트는 시료를 공기 또는 산소 분위기에 배치하여 질량 변화와 산화물 형성을 측정하는 고온 산화제를 사용합니다. 샘플의 표면은 일관성을 보장하기 위해 연마되었으며 테스트 온도 범위는 폴리브덴 막대가 사용될 수 있는 조건을 포함합니다. 정밀 저울은 질량 증가를 기록하고 산화 속도를 반영하는 데 사용됩니다.

고순도 폴리브덴 막대는 고온에서 휘발성 산화물( $\text{MoO}_3$ )에 취약하여 질량 손실이 발생하는 반면, 도핑된 폴리브덴 막대(예: Mo-La)는 보호 산화물 층을 형성하여 내산화성을 향상시킵니다. 테스트가 완료된 후 산화물 층 형태 및 구성을 현미경 및 에너지 분광법으로 분석하여 보호 효과를 평가합니다. 내산화성에 영향을 미치는 요인에는 온도, 분위기 및 표면 코팅이 포함됩니다. 고온 및 산소 농도는 산화를 가속화하고 SiC와 같은 코팅은 내산화 온도를 크게 높일 수 있습니다.

기술 발전에는 실제 작동 조건에서 순환 산화 조건을 시뮬레이션하는 동적 산화 테스트가 포함됩니다. 나노 코팅 기술은 물리적 기상 증착을 통해 조밀한 보호층을 준비하여 산화 방지 수명을 크게 연장합니다. 또한 열중량 분석기의 실시간 품질 모니터링은 테스트 정확도를 향상시키고 코팅 설계를 위한 데이터 지원을 제공합니다.

### 5.3 폴리브덴 막대의 미세 구조 분석

미세 구조 분석은 고급 현미경 및 분광학 방법을 사용하여 폴리브덴 막대의 입자 크기, 상 분포 및 결합 특성을 나타내며, 이는 성능 최적화 및 고장 분석의 기초를 제공합니다.

#### 5.3.1 주사전자현미경(SEM) 분석

주사전자현미경(SEM) 분석은 미세구조 분석의 핵심 방법인 폴리브덴 막대의 표면 형태, 파괴 특성 및 결정립 구조를 관찰하는 데 사용됩니다. 이 테스트는 고해상도 이미징이 가능한 2차 전자 및 후방 산란 전자 검출기가 장착된 전계 방출 SEM을 사용합니다. 샘플을 거울 상태로 연마해야 하거나 파괴 분석을 위해 파괴를 열어 두어야 합니다. 테스트 전에 샘플을 초음파로 세척하고 금 또는 탄소와 같은 전도층을 분무하여 이미징을 향상시킵니다.

SEM 분석은 입자 크기, 입자 경계 특성, 다공성, 개재물 및 파괴 지형을 나타낼 수 있습니다. 고순도 폴리브덴 막대는 일반적으로 더 큰 입자를 나타내고 도핑된 폴리브덴 막대는 침전된 상(예:  $\text{TiC}$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ )으로 인해 더 미세한 입자 구조를 갖습니다. 파괴 해석은 연성 파괴와 취성 파괴를 구별하고 재료 최적화를 안내할 수 있습니다. 분석 결과에 영향을 미치는 요인에는 샘플 준비 및 처리 프로세스의 품질이 포함됩니다. 고르지 않은 연마는 아티팩트로 이어질 수 있으며 열처리된 입자를 정제하고 성능을 향상시킵니다.

기술 발전에는 저진공 상태에서 산화물 동적 형성을 관찰할 수 있는 환경 SEM의 적용이 포함됩니다. SEM과 결합된 집속 이온 빔(FIB)은 3차원 구조 재구성을

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

가능하게 하고 보다 포괄적인 현미경 정보를 제공합니다. 인공 지능 기술의 도입으로 입자 경계와 결함을 자동으로 식별하여 분석의 효율성이 향상되었습니다.

### 5.3.2 X 선 회절(XRD) 분석

X 선 회절(XRD) 분석은 몰리브덴 막대의 결정 구조, 상 조성 및 잔류 응력을 결정하는 데 사용되며 재료의 미세적 특성을 평가하는 중요한 방법입니다. 이 테스트는 X 선 회절계를 사용하여 Cu K $\alpha$  방사선으로 샘플을 스캔하여 회절 스펙트럼을 생성합니다. 시료의 표면은 회절 신호가 명확하도록 높은 마감 처리로 연마해야 합니다. 테스트 결과는 몰리브덴의 신체 중심 입방 구조 및 도핑 단계(예: TiC, ZrC)를 결정하기 위해 표준 카드와 일치했습니다.

XRD 분석은 몰리브덴 막대의 기계적 특성에 영향을 미치는 가공 공정 중에 도입된 잔류 응력을 밝힐 수 있습니다. 도핑된 몰리브덴 막대의 침전상은 결정립계 강도를 향상시키고 고온 성능을 향상시킵니다. 분석 결과에 영향을 미치는 요인에는 표면 산화 및 가공 응력이 포함됩니다. 산화물 층은 회절 피크를 방해 할 수 있으며 산세에 의해 제거해야 합니다. 냉간 가공으로 인한 응력은 피크 위치를 변경하고 어닐링이 필요할 수 있습니다.

기술 발전에는 더 높은 해상도의 위상 분석을 제공하기 위한 싱크로트론 방사선 XRD의 적용이 포함됩니다. In-situ XRD를 사용하면 고온에서 상전이 및 응력 변화를 실시간으로 모니터링할 수 있습니다. 또한 2 차원 응력 매핑 기법은 잔류 응력 분포 분석의 정확도를 향상시킵니다.

### 5.3.3 에너지 분광법(EDS)

SEM과 결합된 분광법(EDS)을 사용하여 몰리브덴 막대의 원소 분포 및 불순물 함량을 정량적으로 결정하고 재료 순도 및 도핑 균일 성을 평가했습니다. 이 테스트는 샘플에서 방출되는 특징적인 X 선을 검출하고 원소를 식별하며 그 함량을 계산합니다. 샘플은 표면에 오염이 없는지 확인하기 위해 연마되고 세척됩니다. EDS 분석은 몰리브덴 막대에서 미량 불순물(예: Fe, C, O) 및 도핑 원소(예: Ti, La)의 분포를 감지할 수 있습니다.

고순도 몰리브덴 막대의 EDS 분석은 일반적으로 단일 몰리브덴 원소를 보여주는 반면 도핑된 몰리브덴 막대는 합금 원소의 균일한 분포를 보여줍니다. 테스트 결과는 샘플의 표면 상태와 프로빙 깊이의 영향을 받으며 가속 전압과 프로빙 시간을 최적화해야 합니다. 기술 발전에는 원소 검출의 감도를 향상시키는 고해상도 EDS 검출기의 적용이 포함됩니다. 전자 후방 산란 회절(EBSD)과 결합하여 원소 분포와 결정 방향을 모두 분석할 수 있어 미세 구조 최적화를 위한 추가 정보를 제공할 수 있습니다.

## 5.4 몰리브덴 막대의 화학적 특성 시험

화학 성능 테스트는 유리 산업 전극 및 고온로 구성 요소에 사용하기 위해 부식성 환경에서 몰리브덴 막대의 내구성과 화학적 안정성을 평가합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

#### 5.4.1 폴리브덴 막대의 내식성 시험

내식성 테스트는 산, 알칼리 또는 용융염 환경에서 폴리브덴 막대의 안정성을 평가합니다. 시험은 일반적으로 침지 또는 전기화학적 방법으로 수행되며, 여기서 샘플을 특정 부식성 매체에 놓고 질량 손실 또는 표면 변화를 관찰합니다. 테스트 장비에는 자동 온도 조절 수조와 전위차 조절기가 포함되어 있으며 샘플 표면은 일관성을 보장하기 위해 연마되어 있습니다. 일반적인 부식성 매체에는 질산, 염산, 수산화나트륨 용액 및 고온 용융염이 포함됩니다.

고순도 폴리브덴 막대는 실온에서 산 및 알칼리에 대한 내식성이 우수하지만 고온 용융염에서는 국부 부식이 발생할 수 있습니다. 도핑된 폴리브덴 막대(예: Mo-W)는 결정립계 안정성을 향상시켜 내식성을 크게 향상시킵니다. 테스트가 완료된 후 현미경으로 부식 지형을 관찰하고 공식 또는 균일한 부식의 특성을 분석합니다. 내식성에 영향을 미치는 요인에는 매체 농도, 온도 및 표면 상태가 포함됩니다. 고온은 부식을 가속화할 수 있으며 표면을 연마하면 부식의 시작을 줄일 수 있습니다.

기술 발전에는 부식 속도를 실시간으로 모니터링하기 위한 전기화학적 임피던스 분광법(EIS)의 적용이 포함됩니다. 실제 작업 조건을 시뮬레이션하기 위한 고온 부식 테스트 장비 개발; 구연산과 같은 녹색 부식성 매체를 사용하면 환경에 미치는 영향을 줄일 수 있습니다.

#### 5.4.2 폴리브덴 막대의 화학적 안정성 평가

화학적 안정성 평가는 특정 화학적 환경에서 폴리브덴 막대의 반응성을 테스트하며, 종종 내산화성 테스트 및 내식성 테스트와 함께 수행됩니다. 이 테스트에는 샘플을 고온 가스, 액체 또는 고체 환경에 노출시켜 화학 반응 및 특성의 변화를 관찰하는 것이 포함됩니다. 테스트 장비에는 고온로와 화학 반응기가 포함되며 샘플은 통제된 분위기에서 테스트됩니다.

폴리브덴 막대는 불활성 또는 환원 분위기에서 우수한 화학적 안정성을 나타내지만 산화 또는 부식성 환경에서는 반응성이 발생하기 쉽습니다. 도핑된 폴리브덴 막대는 보호 산화물 또는 합금 층을 형성하여 안정성을 향상시킵니다. 테스트 결과는 품질 변화, 표면 분석 및 구성 테스트의 조합을 통해 평가됩니다. 화학적 안정성에 영향을 미치는 요인에는 주변 대기, 온도 및 재료 구성이 포함됩니다. 기술 발전에는 반응 생성물의 실시간 모니터링을 위한 라만 분광법(Raman spectroscopy)과 같은 현장 화학 분석 기술의 적용이 포함됩니다. 복합 코팅의 개발로 화학적 안정성이 향상되었습니다.

### 5.5 폴리브덴 막대의 고장 분석

고장 분석은 폴리브덴 막대의 파괴, 피로 및 마모 거동을 연구하여 파괴 메커니즘을 밝히고 재료 최적화 및 수명 예측을 위한 기초를 제공합니다.

#### 5.5.1 폴리브덴 막대의 파괴 메커니즘 분석

파괴 메커니즘 분석은 힘을 받는 폴리브덴 막대의 파괴 과정을 연구하고 파괴 유형과 원인을 식별합니다. 파괴 형태는 SEM 으로 관찰하고 기계적 테스트 데이터를

저작권 및 법적 책임 선언문

결합하여 연성 파괴, 취성 파괴 또는 피로 파괴인지 여부를 결정했습니다. 고순도 폴리브덴 막대는 종종 실온에서 취성 파괴를 나타내고 고온에서 연성 파괴로 바뀝니다. 도핑된 폴리브덴 막대는 결정립계 강화에 의해 취성을 감소시킵니다. 이 분석에는 균열 시작 위치, 전파 경로 및 미세한 결합의 역할도 포함됩니다.

파괴에 영향을 미치는 요인에는 입자 크기, 불순물 함량 및 가공 결함이 포함됩니다. 더 큰 입자와 미량의 산소는 부서지기 쉬운 파괴를 유발할 수 있으며, 냉간 가공으로 인한 전위는 파괴의 위험을 증가시킵니다. 기술 발전에는 균열 전파의 실시간 관찰을 위한 현장 SEM 분석이 포함됩니다. 균열 성장률을 예측하기 위한 파괴 역학 모델의 적용.

### 5.5.2 폴리브덴 막대의 피로 및 마모 분석

피로 및 마모 해석은 고온으로 지지봉 및 금형 재료에 대한 반복 하중 및 마찰 조건에서 폴리브덴 막대의 내구성을 평가합니다. 피로 시험은 반복 응력을 적용하여 균열 시작 및 전파를 기록합니다. 마모 테스트는 마찰 계측기를 사용하여 질량 손실과 표면 지형을 측정합니다. 도핑된 폴리브덴 막대는 더 높은 경도와 강도로 인해 더 나은 피로와 내마모성을 나타냅니다.

피로 및 마모에 영향을 미치는 요인에는 표면 상태, 환경 및 하중 조건이 포함됩니다. 광택 처리된 표면은 피로 수명을 크게 연장하고 윤활유는 마모를 줄여줍니다. 기술 발전에는 내마모성을 개선하기 위한 나노 코팅(예: SiC)의 적용이 포함됩니다. 마모 공정의 실시간 모니터링을 위한 현장 마찰 테스트 기술.

### 5.5.3 폴리브덴 막대의 수명 예측 모델

수명 예측 모델은 기계적, 고온 및 화학적 테스트 데이터를 통합하여 특정 작업 조건에서 폴리브덴 막대의 수명을 예측합니다. 모델은 크리프, 피로 및 부식 데이터를 기반으로 하며, 예측을 위한 Arrhenius 모델과 같은 수학적 방법과 결합됩니다. 테스트 데이터는 시험기 및 현미경 분석을 통해 얻었으며 모델은 온도, 응력 및 환경의 영향을 고려했습니다.

고순도 폴리브덴 막대의 수명은 산화 및 크리프에 의해 제한되며 도핑된 폴리브덴 막대는 미세 구조를 강화하여 수명을 크게 연장합니다. 기술 발전에는 폴리브덴 막대의 성능을 실시간으로 시뮬레이션하기 위한 디지털 트윈 기술의 적용이 포함됩니다. 기계 학습 모델은 빅 데이터 분석을 사용하여 예측 정확도를 개선합니다.



CTIA GROUP LTD 폴리브덴 텅스텐 합금 막대

## Chapter 6 폴리브덴 막대 생산 설비

폴리브덴 막대의 생산에는 원료 취급에서 최종 제품에 이르기까지 여러 복잡한 공정이 포함되며, 각 공정에는 제품 품질과 성능을 보장하기 위해 특수 장비가 필요합니다. 이 장에서는 원료 취급, 분말 야금, 열처리, 표면 처리, 테스트 및 자동화되고 지능적인 생산 장비를 포함하여 폴리브덴 막대 생산에 사용되는 장비를 자세하게 살펴봅니다. 이러한 장치는 함께 항공 우주, 전자, 유리 산업 및 기타 분야에서 고성능 폴리브덴 막대에 대한 수요를 충족하는 효율적이고 정교한 생산 체인을 형성합니다. 장비 설계 및 공정 제어를 최적화하면 생산성, 제품 품질 및 일관성을 크게 개선하는 동시에 에너지 소비와 환경 영향을 줄일 수 있습니다.

### 6.1 폴리브덴 막대용 원료 취급 장비

원료 취급은 폴리브덴 막대 생산의 첫 번째 단계로, 폴리브덴 광석 또는 폴리브덴 화합물을 고순도 폴리브덴 분말로 변환하여 후속 분말 야금 공정의 토대를 마련합니다. 원료 가공 장비에는 주로 분쇄 및 연삭 장비 및 정제 장비가 포함되며, 이는 원료 입자 크기가 균일하고 고순도 및 낮은 불순물 함량임을 보장해야 합니다.

#### 6.1.1 분쇄 및 연삭 장비

분쇄 및 연삭 장비는 폴리브덴 광석(예: 폴리브데나이트) 또는 폴리브덴 화합물(예: 폴리브덴 산화물)을 후속 정제 및 분말 준비를 위해 미세 입자로 처리하는 데 사용됩니다. 파쇄 장비에는 일반적으로 큰 원료 조각을 작은 입자로 파쇄하기 위한 조 크러셔와 콘 크러셔가 포함됩니다. 조 크러셔는 압출 및 전단을 통해 원료의 크기를 수십 센티미터에서 몇 밀리미터로 줄여 경도가 높은 폴리브데나이트 가공에 적합합니다. 콘 크러셔는 입자를 더욱 정제하고 균일한 입자 크기를 보장하기 위해 2차 및 미세 파쇄 공정 모두에 적합합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

연삭 장비에는 주로 볼 밀과 체트 밀이 포함되며, 이는 분쇄 된 입자를 미크론 크기의 분말로 분쇄하는 데 사용됩니다. 공 선반은 대규모 생산을 위해 적당한 강철 공과 원료 사이 충돌 그리고 마찰을 통해 더 정밀한 크기에 입자를 갈습니다. 체트 밀은 고속 기류를 사용하여 원료에 충격을 가하여 고순도 폴리브덴 분말의 제조에 특히 적합한 초미세 분말을 생산합니다. 분쇄 공정 중에는 산화를 방지하기 위해 대기(예: 질소)를 제어해야 하며, 장비에는 오염을 줄이기 위해 내마모성 재료(예: 알루미늄이나 또는 텅스텐 카바이드)가 늘어서 있습니다.

장비 성능에 영향을 미치는 요인에는 원료 경도, 공급 입자 크기 및 분쇄 시간이 포함됩니다. 경도가 더 높은 원료는 장비의 마모를 유발할 수 있으며 라이닝은 정기적으로 교체해야 합니다. 분쇄 시간이 지나치게 길면 불순물이 발생할 수 있으며 공정 매개변수를 최적화해야 합니다. 기술 발전에는 고효율 진동 볼 밀의 적용이 포함되며, 이는 연삭 효율을 크게 향상시켰습니다. 지능형 제어 시스템은 안정적인 분말 품질을 보장하기 위해 실시간으로 입자 크기를 모니터링하여 연삭 매개변수를 자동으로 조정합니다.

### 6.1.2 정화 장비(로스팅 용광로, 환원로)

정화 장비는 분쇄 및 분쇄된 폴리브덴 화합물(예: 폴리브덴 산화물)을 주로 로스팅 용광로 및 환원로를 포함하는 고순도 폴리브덴 분말로 변환하는 데 사용됩니다. 로스터는 휘발성 불순물을 제거하면서 고온 처리를 통해 폴리브데나이트의 황화물을 폴리브덴 산화물로 변환합니다. 로스터는 일반적으로 회전로 또는 유동층 용광로로 설계되며 많은 양의 원료를 지속적으로 처리할 수 있습니다. 용광로 내부의 대기는 황화물의 완전한 산화를 보장하기 위해 일반적으로 공기 또는 산소 환경에서 엄격하게 제어됩니다. 이 장비에는 황산화물을 제거하고 환경 요구 사항을 충족하기 위해 배기 가스 처리 시스템(예: 습식 스크러머)이 장착되어 있습니다.

환원로는 일반적으로 수소 분위기에서 산화 폴리브덴을 금속 폴리브덴 분말로 환원시키는 데 사용됩니다. 관형 환원로는 다단 가열 영역을 통해 점차적으로 폴리브덴 산화물을 감소시켜 고순도 폴리브덴 분말을 생산하는 일반적인 장비입니다. 용광로 본체는 석영 또는 폴리브덴 합금과 같은 고온 내성 재료로 만들어져 장기간 안정적인 작동을 보장합니다. 수소 흐름 및 온도 구배는 분말 입자 또는 불순물 잔류물의 응집을 방지하기 위해 환원 공정 중에 정밀하게 제어되어야 합니다. 이 장비에는 또한 미반응 수소를 회수하고 자원 활용도를 개선하기 위한 배기 가스 회수 시스템이 장착되어 있습니다.

정제 결과에 영향을 미치는 요인에는 원료 순도, 대기 제어 및 장비 기밀성이 포함됩니다. 원료의 미량 불순물(예: 철 및 규소)은 전처리로 제거해야 하는 폴리브덴 분말의 품질에 영향을 미칠 수 있습니다. 대기 중의 산소 또는 수분은 분말 산화를 유발할 수 있으며 고순도 수소 환경을 유지해야 합니다. 기술 발전에는 폴리브덴 분말의 순도를 크게 향상 시킨 진공 환원로의 개발이 포함됩니다. 온라인 모니터링 시스템은 적외선 분광법을 통해 대기 조성을 분석하여 환원 프로세스를 최적화합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

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

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

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

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

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

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)  
 Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
 Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

저작권 및 법적 책임 선언문

## 6.2 폴리브덴 막대용 분말 야금 장비

분말 야금은 폴리브덴 막대 생산의 핵심 공정으로, 폴리브덴 분말을 압착 및 형성하고 고밀도 블랭크로 소결하여 후속 가공의 기초를 제공합니다. 분말 야금 장비에는 혼합 및 압착 장비와 소결로가 포함되며, 이는 빌렛의 밀도, 균일성 및 기계적 특성을 보장해야 합니다.

### 6.2.1 혼합 및 프레스 장비

혼합 및 압착 장비는 폴리브덴 분말을 도핑 된 원소 (예 :Ti, La)와 균일하게 혼합하고 막대 블랭크로 프레스하는 데 사용됩니다. 혼합 장비에는 주로 유성 밀과 V-믹서가 포함되며, 이는 폴리브덴 분말과 도펀트(예: La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC)를 혼합하는 데 사용됩니다. 유성 밀은 고속 회전 및 충돌을 통해 균일 한 혼합을 달성하며, 이는 도핑 된 폴리브덴 막대의 제조에 적합합니다. V-믹서는 불순물의 유입을 피하기 위해 저속으로 뒤집어 고순도 폴리브덴 분말에 적합합니다. 혼합 공정 중에 분말 산화를 방지하기 위해 대기(예: 질소)를 제어해야 하며 장비의 내벽은 오염을 줄이기 위해 스테인리스강 또는 세라믹 재료로 만들어집니다.

프레스 장비에는 냉간 등압 프레스와 유압 프레스가 포함되며, 이는 혼합 분말을 블랭크로 누르는 데 사용됩니다. 냉간 등압 프레스는 물 또는 오일과 같은 액체 매체를 통해 균일한 압력을 가하여 특히 크거나 복잡한 모양의 폴리브덴 바 블랭크에 대해 고밀도 블랭크를 준비합니다. 유압 프레스는 소량 생산에 적합한 금형에 의해 가압되며 금형 설계는 블랭크의 기하학적 정확도를 고려해야 합니다. 압력 분포는 블랭크의 균열이나 고르지 않은 밀도를 피하기 위해 프레스 공정 중에 제어해야 합니다.

혼합 및 압착 결과에 영향을 미치는 요인에는 분말 입자 크기, 도핑 균일성 및 압착 공정이 포함됩니다. 너무 미세한 분말은 유동성을 떨어뜨리고 프레스 품질에 영향을 줄 수 있습니다. 도펀트의 불균일한 분포는 빌렛 성능을 저하시킬 수 있습니다. 기술 발전에는 도핑 균일성을 향상시키는 액상 도핑 기술의 적용이 포함됩니다. 자동 압착 시스템은 센서로 압력과 밀도를 모니터링하여 성형 공정을 최적화합니다.

### 6.2.2 소결로 (진공로, 대기로)

소결로는 분말 입자가 결합하여 고밀도 폴리브덴 막대 블랭크를 형성하도록 압착 블랭크를 고온으로 가열하는 데 사용됩니다. 진공 소결로는 진공 환경(저압)을 통한 산화를 방지하고 블랭크의 고순도 및 소형화를 보장하는 주요 장비입니다. 용광로 본체는 폴리브덴 또는 흑연 발열체를 채택하여 고온에 강하고 열 균일성이 우수합니다. 소결 공정은 먼저 저온 탈바인더를 사용하여 바인더를 제거한 다음 고온 소결을 통해 입자의 결합을 촉진하고 마지막으로 이론 값에 가까운 밀도를 가진 블랭크를 형성하는 단계로 수행됩니다.

분위기 소결로는 일반적으로 수소 또는 불활성 가스(예: 아르곤)를 보호 분위기로 사용하여 폴리브덴 막대로 소결하는 데 적합합니다. 수소는 환원성이 있어 미량 산화물을 효과적으로 제거하고 블랭크의 품질을 향상시킬 수 있습니다. 용광로에는 가스의 균일한 분포를 보장하고 국부 산화를 방지하기 위해 대기 순환 시스템이

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

장착되어 있습니다. 소결로는 또한 균일한 온도 구배를 유지하고 블랭크가 변형되거나 균열되는 것을 방지하기 위해 정밀한 온도 제어 시스템을 장착해야 합니다.

소결 효과에 영향을 미치는 요인에는 소결 분위기, 온도 제어 및 빌릿 밀도가 포함됩니다. 대기 중 미량의 산소는 산화로 이어질 수 있으며 이슬점을 엄격하게 제어해야 합니다. 초기 빌릿 밀도가 너무 낮으면 소결 시간이 길어집니다. 기술 발전에는 가열 효율을 향상시키는 중간 주파수 유도 소결로의 개발이 포함됩니다. 온라인 모니터링 시스템은 적외선 온도계를 통해 실시간으로 온도를 제어하여 소결 품질을 최적화합니다.

### 6.3 폴리브덴 막대의 열처리 장비

열처리 장비는 소결 블랭크를 최종 폴리브덴 막대 모양으로 가공하는 데 사용되며, 재료 밀도와 기계적 특성을 개선하기 위해 단조, 압연 및 인발 공정이 포함됩니다.

#### 6.3.1 단조 장비

단조 장비는 고밀도의 미세한 폴리브덴 막대를 제조하기 위해 고온에서 소결 블랭크를 소성 변형하는 데 사용됩니다. 일반적으로 사용되는 장비에는 유압 단조 기계와 에어 해머가 포함되며, 이는 블랭크가 완전히 변형되도록 높은 톤수 압력을 적용할 수 있습니다. 단조는 고온에서 수행되며 연성을 개선하고 변형 저항을 줄이기 위해 블랭크를 적절한 온도로 가열하기 위해 유도로가 필요합니다. 단조 공정 중에는 균열이나 내부 응력을 피하기 위해 변형 속도와 방향을 제어해야 합니다.

단조 장비에는 일반적으로 다이와 공작물을 보호하고 장비의 수명을 연장하기 위해 수냉식 시스템이 장착되어 있습니다. 금형 재료는 고온 및 고압을 견디기 위해 고온 내성 합금(예: 텅스텐 합금)으로 만들어야 합니다. 단조 품질에 영향을 미치는 요인에는 가열 온도, 변형량 및 다이 설계가 포함됩니다. 온도가 너무 낮으면 균열이 발생할 수 있으며 온도가 너무 높으면 폭물이 자랄 수 있습니다. 기술 발전에는 정확한 온도 제어를 통해 입자 균일성을 개선하기 위한 등온 단조 기술의 적용이 포함됩니다. 서보 제어 단조 기계는 실시간으로 압력을 조정하여 가공 정확도를 향상시킵니다.

#### 6.3.2 압연기 및 드로잉 머신

압연기 및 드로잉 머신은 단조 블랭크를 정확한 크기의 폴리브덴 막대로 추가로 가공하는 데 사용됩니다. 압연기에는 열간 압연기와 냉간 압연 공장이 포함되며, 열간 압연기는 여러 번의 패스를 통해 블랭크를 원형 또는 사각 막대로 처리하여 대구경 폴리브덴 막대 생산에 적합합니다. 압연 과정에서 빌릿을 적절한 온도로 유지하고 냉간 가공의 균열을 방지하기 위해 가열 장치를 장착해야 합니다. 냉간 압연기는 마무리에 사용되어 치수 정확도와 표면 마감을 향상시킵니다.

드로잉 머신은 작은 직경 또는 마이크로 폴리브덴 막대를 생산하는 데 사용되며, 이는 드로잉 다이에 의해 모양으로 늘어납니다. 인발은 고온에서 수행되며 마찰과 마모를 줄이기 위해  $\text{MoS}_2$ 와 같은 윤활제가 사용됩니다. 드로잉 다이는 일반적으로

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

다이아몬드 또는 텅스텐 카바이드 재료로 만들어져 높은 정밀도와 내구성을 보장합니다. 압연 및 인발 결과에 영향을 미치는 요소에는 온도, 변형 속도 및 다이 상태가 포함됩니다. 부적절한 온도 제어는 표면 결함으로 이어질 수 있으며 금형 마모는 치수 정확도에 영향을 줄 수 있습니다.

기술 발전에는 생산 효율성을 향상시킨 연속 압연 생산 라인의 개발이 포함됩니다. 레이저 캘리퍼를 적용하면 바 크기를 실시간으로 모니터링하여 허용 오차 제어를 보장할 수 있습니다. 또한 자동 도면 시스템은 서보 모터를 통해 도면 속도를 제어하여 가공 일관성을 최적화합니다.

## 6.4 폴리브덴 막대용 표면 처리 장비

표면 처리 장비는 폴리브덴 막대의 표면 품질을 개선하고 내식성과 미관을 개선하며 전자, 항공 우주 및 기타 분야의 엄격한 요구 사항을 충족하는 데 사용됩니다.

### 6.4.1 연마기

연마 기계는 폴리브덴 막대의 표면을 높은 마감으로 가공하고 표면 결함을 줄이며 성능을 향상시키는 데 사용됩니다. 기계식 연마 기계는 연삭 휠 또는 연마 페이스트로 바를 연마하여 표면의 부드러움을 점차적으로 향상시킵니다. 이 장비에는 거친 연삭에서 미세 연삭에 이르기까지 다단계 연삭 휠이 장착되어 있어 표면 요구 사항이 다른 폴리브덴 막대에 적합합니다. 전해 연마기는 전기화학 반응을 통해 표면 결함을 제거하여 고순도 폴리브덴 막대의 가공에 특히 적합한 거울 효과를 얻습니다.

연마 공정 중에 새로운 표면 응력이 발생하지 않도록 회전 속도와 연마제 유형을 제어해야 합니다. 연마 기계에는 일반적으로 공작물이 과열되어 산화를 일으키는 것을 방지하기 위해 냉각 시스템이 장착되어 있습니다. 연마 결과에 영향을 미치는 요인에는 연마 입자 크기, 압력 및 초기 표면 상태가 포함됩니다. 기술 발전에는 일관성을 개선하기 위해 로봇을 통해 연마 경로를 제어하는 자동 연마 시스템의 개발이 포함됩니다. 나노 스케일 연마제를 적용하면 표면 마감이 크게 향상됩니다.

### 6.4.2 청소 장비

청소 장비는 깨끗한 표면을 보장하기 위해 폴리브덴 막대 표면에서 산화물, 오일 및 연마 잔류물을 제거하는 데 사용됩니다. 초음파 세척기는 고주파 진동(수십 킬로헤르츠)을 사용하여 세척 용액에 작은 기포를 생성하여 표면 오염 물질을 제거하는 장비의 주요 부분입니다. 세척액은 일반적으로 폴리브덴 막대의 부식을 방지하기 위해 탈이온수 또는 중성 세척제입니다. 산세 공장은 묽은 산 용액(예: 질산 또는 황산)을 사용하여 산화물 층을 제거하며 환경 요구 사항을 충족하기 위해 폐액 처리 시스템을 갖추어야 합니다.

세척 과정에서 과도한 부식이나 잔류 오염 물질을 방지하기 위해 세척 시간과 액체 온도를 제어해야 합니다. 세척 결과에 영향을 미치는 요인에는 세척액의 구성, 표면 상태 및 장비의 견고성이 포함됩니다. 기술 발전에는 친환경 청소 기술의 적용, 오염을 줄이기 위한 환경 친화적인 세제 사용이 포함됩니다. CIP 시스템은 액체의 pH와 오염 물질 농도를 실시간으로 모니터링하여 세척 효율성을 최적화합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

## 6.5 폴리브덴 막대 테스트 장비

테스트 장비는 폴리브덴 막대의 품질을 평가하여 기계적 특성, 치수 정확도 및 표면 품질의 요구 사항을 충족하는지 확인하는 데 사용되며 비파괴 검사 및 치수 표면 검사를 포함합니다.

### 6.5.1 비파괴 검사 장비(초음파, X 선)

비파괴 검사 장비는 샘플을 손상시키지 않고 폴리브덴 막대의 다공성, 개재물 및 균열과 같은 내부 및 표면 결함을 감지하는 데 사용됩니다. 초음파 검사 장비는 고주파 초음파(수 메가헤르츠)로 막대를 스캔하여 내부 결함을 감지합니다. 이 장치에는 작은 결함을 식별하고 깊이를 찾을 수 있는 변환기와 신호 분석 시스템이 장착되어 있습니다. X-ray 검사 장비는 X-ray 를 사용하여 바를 관통하여 내부 구조의 이미지를 생성하며, 이는 대형 폴리브덴 막대의 내부 다공성 또는 내포물을 검사하는 데 특히 적합합니다.

검사 과정에서 결함 감지의 정확성을 보장하기 위해 장비의 감도를 보정해야 합니다. 검사 결과에 영향을 미치는 요소에는 바 크기, 표면 상태 및 장치 해상도가 포함됩니다. 기술 발전에는 위상 배열 초음파 기술의 적용이 포함되며, 이는 결함 위치의 정확도를 향상시켰습니다. 고해상도 X-ray CT 시스템은 3 차원 결함 분포를 재구성할 수 있어 보다 상세한 분석을 제공할 수 있습니다.

### 6.5.2 차원 및 표면 품질 테스트 장비

치수 및 표면 품질 검사 장비는 표준 요구 사항을 준수하기 위해 폴리브덴 막대의 직경, 길이 및 표면 거칠기를 측정하는 데 사용됩니다. 레이저 캘리퍼는 레이저 빔으로 바를 스캔하고 직경과 진원도를 실시간으로 측정하여 인라인 검사에 적합합니다. 표면 거칠기 측정기는 프로브로 표면을 스캔하여 마감 및 결함을 평가하며 연마된 폴리브덴 막대 검사에 적합합니다. 광학 현미경은 표면의 미세한 지형을 관찰하고 긁힘이나 부식 자국을 식별하는 데 사용됩니다.

검사 과정에서 측정 오류를 방지하기 위해 장비가 고정되고 환경이 안정적인지 확인해야 합니다. 검사 결과에 영향을 미치는 요소에는 장비 정확도, 샘플 표면 상태 및 취급 기술이 포함됩니다. 기술 발전에는 검사 효율성을 개선하기 위해 로봇을 통해 프로브를 제어하는 자동 검사 시스템의 적용이 포함됩니다. 3 차원 프로파일러의 개발로 표면 지형을 종합적으로 분석할 수 있습니다.

## 6.6 폴리브덴 막대를 위한 자동적이고 지능적인 생산 설비

자동화되고 지능적인 생산 장비는 통합 제어 시스템 및 데이터 분석 기술을 통해 폴리브덴 막대 생산의 효율성, 일관성 및 추적성을 향상시킵니다.

### 6.6.1 생산 라인의 자동 제어

자동 제어 시스템은 원자재 취급, 분말 야금, 열처리 및 표면 처리를 포함하는 PLC(Programmable Logic Controller) 또는 DCS(분산 제어 시스템)를 통해 생산 라인의 통합 관리를 실현합니다. 이 시스템은 센서를 통해 온도, 압력, 크기 및 기타 매개변수를 실시간으로 모니터링하고 장비의 작동 상태를 자동으로 조정합니다. 예를

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

들어, 소결로의 온도 제어 시스템은 소결의 품질을 보장하기 위해 빌렛의 특성에 따라 가열 프로파일을 조정할 수 있습니다. 압연기의 자동 제어 시스템은 서보 모터에 의해 압연 속도를 조절하여 바의 치수 정확도를 최적화합니다.

자동화된 생산 라인의 장점은 수동 개입을 줄이고 생산 일관성을 향상시킨다는 것입니다. 자동화의 효율성에 영향을 미치는 요인에는 센서 정확도, 제어 알고리즘 및 장치 호환성이 포함됩니다. 기술 발전에는 클라우드 플랫폼을 통해 장비의 상호 연결을 실현하는 산업 인터넷의 적용이 포함됩니다. 유연한 생산 라인의 개발로 다양한 사양의 몰리브덴 막대 생산을 신속하게 전환 할 수 있습니다.

### 6.6.2 지능형 모니터링 및 데이터 분석

지능형 모니터링 및 데이터 분석 시스템은 센서, 사물 인터넷 및 인공지능 기술을 사용하여 실시간으로 생산 데이터를 수집 및 분석하여 프로세스 및 품질 관리를 최적화합니다. 모니터링 시스템에는 적외선 온도계, 레이저 캘리퍼 및 인라인 분광계가 포함되어 온도, 크기 및 구성을 실시간으로 감지합니다. 데이터 분석은 머신러닝 알고리즘을 사용하여 생산의 비정상적인 패턴을 식별하고 장비 고장 또는 품질 문제를 예측합니다. 예를 들어, 소결 공정 중 온도 변동을 AI 모델로 분석하여 공정 매개변수를 미리 조정할 수 있습니다.

지능형 시스템의 장점은 생산 효율성과 추적성이 향상되고 폐기율이 감소한다는 것입니다. 시스템의 효율성에 영향을 미치는 요인에는 데이터 수집 빈도, 알고리즘 정확도 및 네트워크 안정성이 포함됩니다. 기술 발전에는 가상 모델을 통해 생산 프로세스를 시뮬레이션하고 장비 작동을 최적화하기 위한 디지털 트윈 기술의 적용이 포함됩니다. 블록체인 기술의 도입은 생산 데이터의 신뢰성과 보안을 보장합니다.



CTIA GROUP LTD 몰리브덴 텅스텐 합금 막대

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

## Chapter 7 폴리브덴 막대의 응용 분야

높은 용점, 우수한 기계적 특성, 우수한 전도성 및 내식성으로 폴리브덴 막대는 여러 첨단 기술 분야에서 광범위한 응용 잠재력을 보여주었습니다. 이 장에서는 고온로 및 열 장비, 전자 및 반도체 산업, 항공 우주, 유리 및 세라믹 산업, 의료 및 과학 연구, 신항 분야에서 폴리브덴 막대의 응용 분야에 대해 자세히 논의하고 기능적 특성, 공정 요구 사항 및 기술 진보를 분석합니다. 폴리브덴 막대의 고성능은 극한 환경의 까다로운 요구 사항을 충족하는 중요한 구성 요소에 이상적인 재료가 되며, 기술이 발전함에 따라 응용 범위가 계속 확장되어 산업 및 연구를 위한 혁신적인 솔루션을 제공합니다.

### 7.1 고온로 및 열 장비

폴리브덴 막대는 고온로 및 열 장비, 특히 고온, 진공 또는 불활성 대기가 필요한 환경에서 널리 사용되며 높은 용점과 우수한 열 안정성으로 인해 필수 재료가 됩니다. 폴리브덴 막대는 주로 고온 가공 및 열처리의 요구를 충족시키기 위해 발열체 및 고정 부품지지에 사용됩니다.

#### 7.1.1 발열체로서의 폴리브덴 막대

폴리브덴 막대는 고온로에서 발열체로 중심적인 역할을 하며 재료 소결, 열처리 및 결정 성장과 같은 공정을 위해 진공로, 수소 보호로 및 불활성 분위기 용광로에 널리 사용됩니다. 폴리브덴 막대의 높은 용점과 우수한 전기 전도성으로 인해 안정적인 열 출력을 유지하면서 극한의 고온을 견딜 수 있습니다. 발열체는 일반적으로 열장 분포를 최적화하기 위해 길쭉한 막대 또는 특정 형상으로 가공됩니다. 도핑된 폴리브덴 막대(예: Mo-La)는 우수한 크리프 및 내산화성으로 인해 장기간 고온 작동이 필요한 용광로 환경에서 자주 사용됩니다.

생산 과정에서 폴리브덴 막대는 열 응력 농도를 줄이기 위해 매끄러운 표면을 보장하고 진공 또는 환원 분위기에서 작동하여 고온 산화를 방지하기 위해 정밀 가공됩니다. 발열체의 성능에 영향을 미치는 요인에는 재료 순도, 표면 상태 및 작동 환경이 포함됩니다. 미량의 불순물은 전기 전도성을 감소시킬 수 있으며, 고온 산화는 재료 휘발을 유발할 수 있으며, 이는 코팅(예: MoSi<sub>2</sub>) 또는 대기 제어로 해결해야 합니다.

기술 발전에는 폴리브덴 막대 표면에 산화 방지 코팅을 적용하여 서비스 수명을 연장하는 복합 발열체의 개발이 포함됩니다. 지능형 온도 제어 시스템의 적용은 실시간으로 난방 전력을 조정하고 에너지 효율성을 최적화합니다. 또한 Mo-La 와 같은 새로운 도핑된 폴리브덴 막대는 결정립 구조를 정제하여 고온 안정성을 향상시켜 보다 까다로운 열 응용 분야를 가능하게 합니다.

#### 7.1.2 부품 지원 및 고정

폴리브덴 막대는 또한 고온 용광로에서 지지대, 클램프 및 열 스크린과 같은 지지 및 고정 부품으로 사용되어 공작물을 고정하거나 열 복사로부터 차폐합니다. 이러한 구성 요소는 기하학적 안정성을 유지하면서 고온과 기계적 부하를 견뎌야 합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

TZM 과 같은 도핑된 몰리브덴 막대는 높은 강도와 크리프 저항성으로 인해 선택되는 재료이므로 고온에서 장기간 동안 구조적 무결성을 유지할 수 있습니다. 고순도 몰리브덴 막대는 우수한 열전도율로 인해 빠른 열전도가 필요한 지지 구조에 적합합니다.

서포트 구성 요소는 고온에서 변형이나 균열을 방지하기 위해 치수 정확도와 표면 품질을 보장하기 위해 제조되어야 합니다. 작동 환경은 일반적으로 산화를 피하기 위해 진공 또는 불활성 분위기입니다. 성능에 영향을 미치는 요인에는 재료 구성, 가공 기술 및 열 순환 빈도가 포함됩니다. 도핑된 소자는 크리프 저항을 크게 향상시킬 수 있는 반면, 열 순환은 열 피로를 유발할 수 있으므로 설계를 최적화해야 합니다.

기술 발전에는 지지 구성 요소의 복잡한 모양을 보장하기 위한 CNC 가공과 같은 정밀 가공 기술의 적용이 포함됩니다. SiC 코팅과 같은 표면 코팅 기술은 산화 및 내마모성을 향상시킵니다. 또한 지지 구성 요소의 모듈식 설계로 인해 빠른 분해 및 조립이 가능하여 용광로의 유지 보수 효율성이 향상됩니다.

## 7.2 전자 및 반도체 산업

몰리브덴 막대는 높은 전도성, 낮은 열팽창 계수 및 높은 순도로 인해 전자 및 반도체 산업에서 널리 사용되며 주로 전극 재료, 스퍼터링 타겟 및 진공관 부품에 사용됩니다.

### 7.2.1 전극 재료

전극 재료로서 몰리브덴 막대는 플라즈마 에칭 장비 및 전기 진공 장치와 같은 전자 장치의 제조에 널리 사용됩니다. 고순도 몰리브덴 막대는 낮은 저항률과 우수한 화학적 안정성으로 인해 고전압 및 고온 환경에서 안정적으로 작동할 수 있습니다. 전극은 일반적으로 길쭉한 막대 또는 맞춤형 모양으로 가공되며 아크 및 오염을 줄이기 위해 표면을 높은 마감 처리로 연마해야 합니다.

생산 과정에서 몰리브덴 막대는 엄격한 순도 제어를 거쳐야 하며 안정적인 전기적 특성을 보장하기 위해 불순물 함량을 최소화해야 합니다. 작동 환경은 일반적으로 산화 및 표면 오염을 방지하기 위해 진공 또는 불활성 가스입니다. 전극의 성능에 영향을 미치는 요인에는 재료 순도, 표면 품질 및 작동 온도가 포함됩니다. 미량의 산소는 전극 부식을 유발할 수 있으며, 이는 고순도 대기로 보호되어야 합니다.

기술 발전에는 다단계 정제 과정을 통해 불순물을 더욱 줄이기 위한 초고순도 몰리브덴 막대의 개발이 포함됩니다. 전해 연마 기술을 적용하면 표면 마감이 향상되고 아크 위험이 줄어 듭니다. 또한 전극 설계의 최적화는 전기장 분포를 시뮬레이션하여 전극의 균일성과 수명을 향상시킵니다.

### 7.2.2 스퍼터링 타겟

몰리브덴 막대는 집적 회로, 태양 전지 및 평판 디스플레이용 박막 재료 생산을 위한 스퍼터링 타겟으로 사용됩니다. 높은 밀도와 균일한 미세 구조로 인해 고순도

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

몰리브덴 막대는 스퍼터링 중에 안정적인 원자 흐름을 제공하고 필름 품질을 보장할 수 있습니다. 타겟은 일반적으로 결함과 입자 오염을 줄이기 위해 광택 처리된 표면이 거울 상태로 연마된 원형 또는 직사각형 막대로 가공됩니다.

타겟을 생산하는 데 사용되는 몰리브덴 막대는 내부에 다공성과 내포물이 없는지 확인하기 위해 분말 야금 및 열처리를 거칩니다. 스퍼터링 동안 타겟은 산화 및 불순물 유입을 방지하기 위해 고진공 상태에서 작동됩니다. 목표 성능에 영향을 미치는 요인에는 재료 순도, 입자 크기 및 표면 상태가 포함됩니다. 미세한 입자는 스퍼터링 균일성을 개선하고 연마 표면은 입자 분사를 줄입니다.

기술 발전에는 대형 박막 증착의 요구를 충족시키기 위한 대형 표적의 개발이 포함됩니다. 고순도 몰리브덴 분말의 제조 기술은 대상의 품질을 향상시킵니다. 또한 대상 재활용 기술의 발전으로 화학적 정제 및 재처리를 통해 생산 비용과 환경 영향을 줄였습니다.

### 7.2.3 진공관 및 이온 소스 구성 요소

몰리브덴 막대는 진공관 및 이온 소스에서 전극, 지지대 또는 이미터로 사용되며 전자 현미경 및 질량 분석기와 같은 장비에 사용됩니다. 고순도 몰리브덴 막대는 전자 탈출 작업이 적고 전도성이 높기 때문에 이미터 재료로 적합합니다. 도핑된 몰리브덴 막대는 고온 안정성으로 인해 지지 구조에 사용됩니다. 부품은 전자 산란을 줄이기 위해 복잡한 모양과 광택 처리된 표면으로 가공해야 합니다.

생산 과정에서 몰리브덴 막대는 오염 물질이 없는지 확인하기 위해 정밀 가공되고 청소됩니다. 작동 환경은 초고진공으로 전극의 산화 또는 방전을 방지합니다. 성능에 영향을 미치는 요소에는 표면 마감, 재료 순도 및 작동 전압이 포함됩니다. 표면 결함은 아크를 유발할 수 있으며 전해 연마로 제거해야 합니다.

기술 발전에는 마이크로 전자 장치의 요구를 충족시키기 위한 마이크로 몰리브덴 막대의 가공 기술이 포함됩니다. 표면 나노 코팅은 아크 저항을 향상시킵니다. 또한 자동 조립 기술은 로봇 작동을 통해 부품의 제조 정확도와 일관성을 향상시킵니다.

## 7.3 항공 우주

몰리브덴 막대는 고강도, 높은 용점 및 저밀도로 인해 항공 우주 산업에서 선호되며 주로 고온 구조 부품 및 추진 시스템 구성 요소에 사용됩니다.

### 7.3.1 고온 구조 부품

몰리브덴 막대는 항공 우주에서 제트 엔진 터빈 블레이드, 열 스크린 및 커넥터와 같은 고온 구조 부품으로 사용됩니다. TZM 과 같은 도핑된 몰리브덴 막대는 우수한 고온 강도와 크리프 저항성으로 인해 극한 고온에서 구조적 안정성을 유지할 수 있습니다. 구조 부품은 치수 정확도와 높은 기계적 특성을 보장하기 위해 단조 및 정밀 가공됩니다.

생산 과정에서 몰리브덴 막대는 고온 산화를 방지하기 위해 진공 또는 불활성

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

분위기에서 가공 및 사용해야 합니다. 성능에 영향을 미치는 요인에는 재료 구성, 가공 기술 및 작동 환경이 포함됩니다. 도핑된 요소는 크리프 저항을 크게 향상시키지만 고온 산화는 코팅 보호로 해결해야 합니다.

기술 발전에는 구조 부품의 입자 균일성을 향상시키는 등은 단조 기술의 적용이 포함됩니다. 산화 방지 코팅(예:  $\text{MoSi}_2$ )은 구성 요소의 수명을 연장합니다. 또한 복합 재료와 폴리브덴 막대의 조합은 계층화된 설계를 통해 전반적인 성능을 향상시킵니다.

### 7.3.2 추진 시스템 구성 요소

폴리브덴 막대는 추진 시스템에 사용되어 노즐, 연소실 라이닝 및 스톱스트 챔버 구성 요소를 만드는 데 사용되며 고온 가스 및 기계적 부하를 받습니다. TZM 및 Mo-La 폴리브덴 막대는 높은 용점과 열충격 저항으로 인해 이상적입니다. 구성 요소는 복잡한 모양과 높은 정밀도를 보장하기 위해 열 가공 및 정밀 가공됩니다.

생산 과정에서 폴리브덴 막대는 고온에서 가공되고 서비스 수명을 연장하기 위해 산화 방지 코팅이 적용됩니다. 성능에 영향을 미치는 요인에는 열 순환, 가스 부식 및 기계적 응력이 포함됩니다. 기술 발전에는 폴리브덴 합금 부품의 3D 프린팅을 통해 설계 자유도를 높이기 위한 적층 제조 기술의 적용이 포함됩니다. 고온 코팅 기술의 개발로 내식성이 향상되었습니다.

## 7.4 유리 및 세라믹 산업

폴리브덴 막대는 고온 내식성 및 화학적 안정성으로 인해 유리 및 세라믹 산업에서 널리 사용되며 주로 유리 용융 전극 및 세라믹 소결 지지대에 사용됩니다.

### 7.4.1 유리 용융 전극

폴리브덴 막대는 유리 용해로에서 유리 용융 전극으로 사용되며 고온 용융 유리에서 안정적으로 작동 할 수 있습니다. 고순도 폴리브덴 막대는 전기 전도성과 내식성이 우수하기 때문에 전극 재료로 적합합니다. 전극을 특정 모양으로 가공하고 표면을 청소하여 산화물을 제거하고 유리 용융물의 오염을 방지해야 합니다.

생산 과정에서 폴리브덴 막대는 산화 및 휘발을 피하기 위해 환원 분위기에서 작동해야 합니다. 성능에 영향을 미치는 요인에는 유리 조성, 작동 온도 및 전극 표면 상태가 포함됩니다. 알칼리성 유리는 전극 부식을 일으킬 수 있으며 재료 선택을 최적화해야 합니다. 기술 발전에는 내식성을 향상시키는 Mo-La 전극의 개발이 포함됩니다. 자동화된 전극 장착 시스템은 생산성을 높입니다.

### 7.4.2 세라믹 소결 지지대

폴리브덴 막대는 고온에서 세라믹 본체의 소결 과정을 지원하기 위해 세라믹 소결로에서 지지 막대 또는 고정 장치로 사용됩니다. 도핑된 폴리브덴 막대는 높은 강도와 크리프 저항으로 인해 고온에서 안정적입니다. 지지대는 복잡한 모양으로 가공하고 세라믹에 대한 접착력을 줄이기 위해 표면 연마해야 합니다.

생산 과정에서 폴리브덴 막대는 산화를 방지하기 위해 진공 또는 수소 분위기에서

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

작동해야 합니다. 성능에 영향을 미치는 요인에는 소결 온도, 분위기 및 서포트 설계가 포함됩니다. 기술 발전에는 폴리브덴 막대와 세라믹의 반응을 감소시키는 세라믹 코팅의 적용이 포함됩니다. 모듈식 지지 설계는 용광로의 적재 효율을 향상시킵니다.

## 7.5 의학 및 과학 연구

폴리브덴 막대는 고순도와 우수한 성능으로 인해 의료 및 과학 연구 응용 분야에 사용되며 주로 X선관 표적 및 고온 실험실 장비에 사용됩니다.

### 7.5.1 X선관 타겟

폴리브덴 막대는 용점이 높고 열팽창 계수가 낮기 때문에 X선관의 표적 또는 지지 구조로 사용되어 전자 충격에 의해 발생하는 고온을 견딜 수 있습니다. 고순도 폴리브덴 막대는 타겟으로 정밀 가공되며 표면은 산란을 줄이기 위해 거울 상태로 연마됩니다. 이미징 품질을 보장하기 위해 생산 공정 중에 불순물을 엄격하게 제어해야 합니다.

작동 환경에서 대상은 열 피로 파괴를 방지하기 위해 빠른 열 순환을 받습니다. 성능에 영향을 미치는 요인에는 표면 품질, 열전도율 및 작동력이 포함됩니다. 기술 발전에는 열 피로 수명을 개선한 폴리브덴 기반 복합 표적의 개발이 포함됩니다. 레이저 가공 기술은 대상의 기하학적 정확도를 향상시킵니다.

### 7.5.2 실험실 고온 실험 장비

폴리브덴 막대는 재료 테스트 및 결정 성장을 위한 고온 실험실 장비의 발열체, 지지 막대 또는 전극으로 사용됩니다. 고순도 폴리브덴 막대는 화학적 안정성으로 인해 고정밀 실험에 적합합니다. 도핑 된 폴리브덴 막대는 높은 강도가 필요한 시나리오에서 사용됩니다. 부품은 오염이 없도록 정밀 가공 및 세척됩니다.

작동 환경은 일반적으로 산화를 방지하기 위해 진공 또는 불활성 분위기입니다. 성능에 영향을 미치는 요소에는 온도 제어, 구성 요소 설계 및 재료 순도가 포함됩니다. 기술 발전에는 소형 실험 장치의 요구를 충족시키기 위한 소형 폴리브덴 막대의 개발이 포함됩니다. 지능형 온도 제어 시스템의 적용으로 실험의 정확도가 향상되었습니다.

## 7.6 새로운 응용 프로그램

신흥 분야에서의 폴리브덴 막대의 적용은 특히 3D 프린팅 및 원자력 산업에서 확대되고 있으며 큰 잠재력을 보여주고 있습니다.

### 7.6.1 3D 프린팅 및 적층 제조

폴리브덴 막대는 고성능 부품의 신속한 프로토타이핑을 위해 3D 프린팅 및 적층 제조에서 원료 또는 지지 구조로 사용됩니다. 폴리브덴 분말은 레이저 또는 전자빔에 의해 용융 및 증착되어 항공 우주 및 의료 응용 분야에 적합한 복잡한 모양의 폴리브덴 합금 부품을 생산합니다. 폴리브덴 막대는 고온 인쇄 환경을 견디기 위한 지지 재료로도 사용할 수 있습니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

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

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

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

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

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

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.molybdenum.com.cn

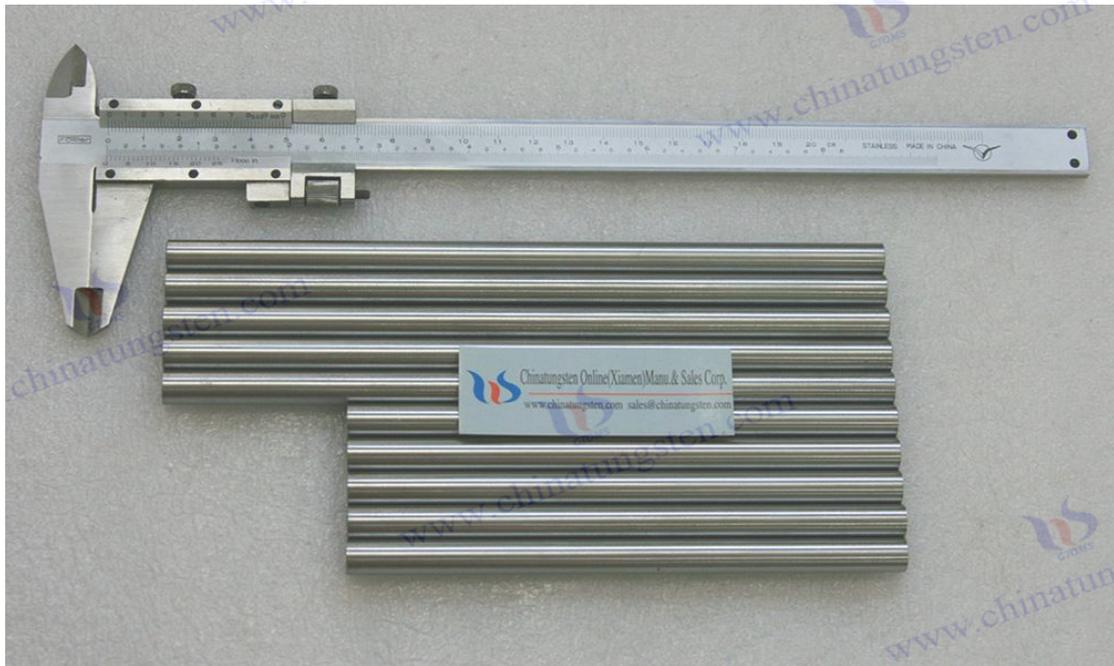
저작권 및 법적 책임 선언문

생산 과정에서 산화 및 결함을 방지하기 위해 분말의 품질과 인쇄 분위기를 제어해야 합니다. 성능에 영향을 미치는 요소에는 인쇄 매개변수, 분말 입자 크기 및 후처리 공정이 포함됩니다. 기술 발전에는 고순도 폴리브덴 분말의 제조가 포함되며, 이는 인쇄 품질을 향상시킵니다. 다중 재료 인쇄 기술의 적용은 폴리브덴 및 기타 금속의 복합 성형을 실현합니다.

### 7.6.2 원자력 산업 응용 프로그램

폴리브덴 막대는 높은 용점과 방사선 저항으로 인해 원자로 고온 부품 및 방사선 차폐 재료에 원자력 산업에서 사용됩니다. Mo-W 폴리브덴 막대는 우수한 내식성과 고온 강도로 인해 원자로 환경에 적합합니다. 구성 요소는 장기간 안정적인 작동을 보장하기 위해 정밀 가공 및 코팅됩니다.

작동 환경에는 고온 및 강한 방사선이 포함되며 재료 특성을 엄격하게 제어해야 합니다. 성능에 영향을 미치는 요인에는 방사선 손상, 온도 및 재료 구성이 포함됩니다. 기술 발전에는 방사선 저항성 폴리브덴 합금의 개발이 포함되며, 이는 부품 수명을 향상시켰습니다. 적층 제조 기술의 적용은 복잡한 부품의 제조를 최적화합니다.



CTIA GROUP LTD 폴리브덴 막대

## Chapter 8 폴리브덴 막대에 대한 국내외 표준 및 사양

고성능 내화 금속 재료로서 폴리브덴 막대의 생산, 테스트 및 적용은 품질 일관성, 성능 신뢰성 및 사용 안전성을 보장하기 위해 엄격한 표준 및 사양을 따라야 합니다. 이 장에서는 폴리브덴 로드와 막대의 국제 표준, 국내 표준, 인증 및 준수 요구 사항과 국내 및 해외 표준의 비교 및 적용 시나리오 분석에 대해 자세히 설명합니다. 이러한 표준은 항공 우주, 전자, 유리 산업 및 기타 분야에서 폴리브덴 막대의 적용에 대한 기술 지원을 제공하는 동시에 글로벌 무역 및 기술 교류의 표준화를 촉진합니다. 이러한 표준을 이해하고 구현함으로써 제조업체는 고객의 요구를 충족하고 국내 및 국제 시장에서 제품의 경쟁력을 보장하기 위해 프로세스를 최적화할 수 있습니다.

### 8.1 폴리브덴 막대에 대한 국제 표준

국제 표준은 폴리브덴 막대의 생산, 테스트 및 적용을 위한 통일된 기술 프레임워크를 제공하며, 이는 글로벌 공급망 및 국경 간 협력에 널리 사용됩니다. 주로 ASTM(American Society for Testing and Materials)과 ISO(International Organization for Standardization)에서 개발한 국제 표준은 폴리브덴 막대의 화학적 조성, 기계적 특성, 치수 공차 및 테스트 방법을 다루며 글로벌 시장에 품질 벤치마크를 제공합니다.

#### 8.1.1 ASTM 규격 (ASTM B387 등)

ASTM 표준은 폴리브덴 막대의 생산 및 테스트에 대한 세계 권위 있는 사양이며 북미, 유럽 및 아시아의 첨단 기술 산업에서 널리 사용됩니다. 그 중 ASTM B387-18은 폴리브덴 및 폴리브덴 합금 막대, 바 및 와이어에 대한 핵심 표준으로 고순도 폴리브덴 막대 및 도핑 된 폴리브덴 막대(예: TZM 및 Mo-La)에 대한 기술 요구 사항을 자세히 지정합니다. 이 표준은 고순도 폴리브덴 막대의 폴리브덴 함량  $\geq 99.95\%$ 이고 불순물(예: Fe  $< 0.01\%$ , C  $< 0.005\%$ , O  $< 0.003\%$ )을 엄격하게 제어하여 고온 및 부식성 환경에서 성능 안정성을 보장해야 한다고 요구합니다. 기계적 성질 측면에서 이 표준은 고순도 폴리브덴 막대의 인장 강도를 실온에서 600-800 MPa로 요구하고 TZM 막대의 인장 강도는 900-1100 MPa이며 시험은 ASTM E8/E8M(인장 시험)에 따라 20 $\pm$ 5 $^{\circ}$ C에서 수행해야 합니다. 표면 품질은 항공 우주, 전자 및 기타 분야의 다양한 요구를 충족시키기 위해 블랙 로드(Ra  $< 3.2\mu\text{m}$ ), 연마 로드(Ra  $< 0.8\mu\text{m}$ ) 및 클리닝 로드로 나뉩니다. 치수 공차는 정밀 가공 및 조립을 보장하기 위해  $\pm 0.05\text{mm}$ 의 직경 편차와  $\pm 1\text{mm}$ 의 길이 편차가 필요합니다.

ASTM 표준에는 ASTM E9-19(압축 시험), ASTM E139-11(크리프 시험) 및 ASTM G54-14(내산화성 시험)와 같은 동반 사양도 포함되어 있어 폴리브덴 막대의 성능을 평가하기 위한 체계적인 지침을 제공합니다. 제조업체는 화학 분석(예: ICP-MS, 검출 정확도 0.001%), 미세 구조 관찰(입자 크기 10-50 $\mu\text{m}$ ) 및 비파괴 검사(예: 초음파, 5MHz)를 통해 제품 규정 준수를 검증해야 합니다. ASTM 표준의 강점은 고온로, 반도체 및 항공 우주 산업에 적용할 수 있는 포괄성과 국제적 적용 가능성에 있습니다. 표준 구현에 영향을 미치는 요인에는 테스트 장비 정확도(예: 0.01kN의 만능 재료 시험기 하중 분해능), 시료 준비 사양(예: 표면 연마 Ra  $< 0.8\mu\text{m}$ ) 및 환경 제어(예: 진공  $< 10^{-3}$  Pa)가 포함됩니다. 기술 발전에는 ASTM 표준에 대한 정기적인 업데이트, Mo-W 합금 및 소형 폴리브덴 막대(직경  $< 1\text{mm}$ )에 대한 새로운 사양, SEM

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

실시간 균열 분석과 같은 현장 테스트 기술 지원이 포함됩니다.

### 8.1.2 ISO 표준

ISO 표준은 재료 추적성 및 글로벌 일관성에 중점을 두고 몰리브덴 막대의 국제 무역 및 적용에 대한 공통 사양을 제공합니다. ISO 는 아직 몰리브덴 막대에 대한 구체적인 표준을 개발하지 않았지만 관련 표준은 몰리브덴 막대의 성능 테스트에 널리 사용됩니다. 예를 들어, ISO 6892-1:2019 는 금속에 대한 인장 시험 방법을 지정하여 0.5–5mm/min 의 시험 속도를 요구하며, 이는 몰리브덴 막대의 인장 강도와 연신율을 평가하는 데 적합합니다. ISO 6506-1:2014 는 브리넬 경도 시험을 규제하며 몰리브덴 막대(HB 200–300)의 경도 평가에 적용할 수 있습니다. ISO 표준은 제조업체가 불순물 수준(예: O<0.005%)이 요구 사항을 충족하는지 확인하고 표준화된 테스트 절차를 통해 결과의 국제 비교 가능성을 보장하기 위해 화학 성분 분석 보고서를 제공하도록 요구합니다.

ISO 표준의 구현은 제 3 자 인증 기관(예: SGS, TÜV)에 의해 검증되며 화학 분석, 기계적 테스트 및 표면 품질 테스트가 포함됩니다. 이 표준은 산화 및 오염을 방지하기 위해 진공 또는 불활성 대기(이슬점 <-40°C)와 같은 생산 중 환경 제어를 강조합니다. ISO 표준의 구현에 영향을 미치는 요인에는 테스트 실험실의 자격(예: ISO/IEC 17025 인증), 테스트 방법의 표준화 및 국제 조화가 포함됩니다. 기술 발전에는 ASTM 및 GB/T 와의 ISO 표준 상호 인정이 포함되며, 이는 국경 간 인증 프로세스를 단순화합니다. 디지털 인증 플랫폼은 온라인 데이터 제출 및 감사를 통해 효율성을 향상시킵니다. 또한 ISO 표준은 배기 가스 배출 감소(SO<sub>2</sub><10ppm)와 같은 환경 요구 사항을 점진적으로 통합하여 제조업체가 프로세스를 최적화할 수 있도록 안내하고 있습니다.

## 8.2 몰리브덴 막대에 대한 국내 표준

세계 최대의 몰리브덴 제품 생산국인 중국은 몰리브덴 막대의 생산, 테스트 및 적용을 포괄하는 일련의 국내 표준을 개발했습니다. 이러한 표준에는 국내 시장의 요구를 충족하고 국제 협력을 지원하기 위한 국가 표준(GB/T) 및 산업 표준이 포함됩니다.

### 8.2.1 GB/T 표준(GB/T 3462 등)

GB/T 표준은 중국에서 몰리브덴 막대의 생산 및 적용을 위한 핵심 사양이며 GB/T 3462-2017 은 고순도 몰리브덴 막대 및 도핑된 몰리브덴 막대에 대한 기술 요구 사항을 규정하는 몰리브덴 막대 및 몰리브덴 막대의 주요 표준입니다. 이 표준은 몰리브덴 함량이 99.95% ≥하고 불순물이 Fe<0.01%, C<0.005% 및 O<0.003%로 제어되어 고온 성능을 보장하도록 요구합니다. 기계적 특성은 인장 강도(고순도 몰리브덴 막대의 경우 600–800 MPa, TZM 막대의 경우 900–1100 MPa), 항복 강도 및 연신율(고순도 몰리브덴 막대의 경우 10–20%)에 대해 테스트되며, 이는 GB/T 228.1-2021 에 따라 실온 또는 고온(800–1200°C)에서 수행해야 합니다. 표면 상태는 블랙 로드(Ra<3.2μm), 연마 로드(Ra<0.8μm) 및 클리닝 로드로 나뉘며 치수 공차는 ±0.05mm 의 직경 편차와 ±1mm 의 길이 편차를 필요로 하여 정밀 가공에 적합합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

GB/T 표준에는 GB/T 2039-2012(크리프 테스트, 1200–1800°C), GB/T 13303-1991(산화 테스트, 600–1200°C) 및 GB/T 7314-2017(압축 테스트)과 같은 지원 사양도 포함되어 있어 성능 평가를 위한 지침을 제공합니다. 제조업체는 화학 분석(ICP-MS, 0.001% 정확도), 비파괴 검사(초음파, 5MHz) 및 미세 구조 관찰(입자 크기 10–50µm)을 통해 규정 준수를 검증해야 합니다. GB/T 표준의 장점은 중국의 산업 시스템에 적응하고 ASTM 표준과 호환성이 높으며 수출이 쉽다는 것입니다. 표준 구현에 영향을 미치는 요소에는 장비 정확도(예: 0.01kN의 유압 시험기 하중 분해능), 테스트 환경 제어(예: 진공 수준 <math><10^{-3}</math> Pa) 및 기업 품질 관리 수준이 포함됩니다. 기술적 발전에는 GB/T 표준의 개정, Mo-La 및 소형 몰리브덴 막대(직경 1mm <)에 대한 사양 추가가 포함됩니다. 0.01mm 정확도의 레이저 캘리퍼와 같은 자동 검사 시스템은 실행 효율성을 높입니다.

### 8.2.2 산업 표준 및 기업 표준

산업 표준은 중국 비철금속 산업 협회 또는 기술 위원회에 의해 공식화되며, 특정 응용 시나리오에 대한 자세한 요구 사항이 제시됩니다. 예를 들어, YS/T 495-2005(비철금속에 대한 산업 표준)는 유리 용해로에서 몰리브덴 막대의 내식성을 규정하여 고온 용융염에서 <math><0.2\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{h}</math>의 산화 속도를 요구합니다. 반도체 산업 표준은 Ra <math><0.4\mu\text{m}</math>의 표면 거칠기를 요구할 수 있습니다. 이러한 표준은 GB/T 표준을 보완하며 유리 산업, 항공 우주 및 기타 분야의 기술 세부 사항을 다룹니다.

기업 표준은 대규모 생산자에 의해 설정되며 종종 국가 표준보다 더 엄격합니다. 예를 들어, 기업 표준은 고급 고객의 요구를 충족하기 위해 > 99.97%의 몰리브덴 함량과  $\pm 0.02\text{mm}$ 의 치수 공차를 요구할 수 있습니다. 회사 표준에는 원료 스크리닝(불순물 <math><0.005\%</math>), 소결 공정 최적화(밀도 > 99% 이론 밀도) 및 표면 처리 사양(Ra <math><0.4\mu\text{m}</math>)과 같은 내부 품질 관리 프로세스도 포함됩니다. 표준 구현에 영향을 미치는 요인에는 시장 수요, 기술 역량 및 고객 요구 사항이 포함됩니다. 기술 발전에는 기업 표준을 국제 표준과 도킹, 수출 인증 단순화가 포함됩니다. 디지털 품질 관리 시스템은 실시간 데이터 수집(주파수 1kHz)을 통해 표준 구현의 효율성을 향상시킵니다.

### 8.3 몰리브덴 막대의 인증 및 적합성

인증 및 규정 준수는 몰리브덴 막대의 품질과 안전성을 보장하는 데 중요한 부분이며, 제품이 국내 및 외국 표준 및 법률 및 규정을 충족하도록 보장하기 위해 재료 인증 프로세스와 환경 및 안전 규정 준수 요구 사항을 포함합니다.

#### 8.3.1 재료 인증 프로세스

재료 검증 프로세스는 몰리브덴 막대가 표준의 요구 사항을 충족하는지 확인하는 데 사용되어 항공 우주, 전자 및 기타 분야에서 신뢰성을 보장합니다. 인증은 제 3 기관(예: SGS, TÜV) 또는 국가 인증 연구소(예: 중국 국립 비철금속 품질 감독 및 검사 센터)에서 수행하며 화학 성분, 기계적 특성, 표면 품질 및 치수 정확도 테스트를 포함합니다. 프로세스에는 다음이 포함됩니다: 제조업체는 샘플 및 생산 기록(원료 배치, 공정 매개 변수, 품질 관리 데이터 포함)을 제출합니다. 화학 분석(예: ICP-MS, Fe, C, O 검출, 정확도 0.001%), 기계적 테스트(예: 인장, 속도 0.5–

저작권 및 법적 책임 선언문

5mm/min), 비파괴 검사(예: 초음파, 5MHz) 및 치수 측정(레이저 캘리퍼, 정확도 0.01mm); 마지막으로, ASTM B387, GB/T 3462 또는 고객 표준 준수를 입증하기 위해 인증 보고서가 발행됩니다.

시료 대표성과 테스트 반복성을 보장하기 위해 인증이 필요합니다. 결과에 영향을 미치는 요인에는 시료 전처리의 품질(예: 연마된 Ra <0.8µm), 장치 정밀도 및 기관 적격성 평가가 포함됩니다. 기술 발전에는 온라인 인증 시스템 개발, 테스트 데이터의 실시간 업로드 및 인증 주기 단축이 포함됩니다. 블록체인 기술의 적용은 데이터 추적성과 변조 방지를 보장합니다.

### 8.3.2 환경 및 안전 규정 준수

환경 및 안전 규정 준수를 위해서는 폴리브덴 막대 생산이 환경 및 인체에 미치는 영향을 줄이기 위해 환경 규정 및 안전 표준을 충족해야 합니다. 환경 규정 준수에는 생산 공정에서 폐가스, 폐수 및 고형 폐기물 처리가 포함됩니다. 예를 들어, 로스팅 과정에서 SO<sub>2</sub> 배출량(<10ppm)을 제어해야 하며, 환경 보호법 및 GB 25466-2010(비철금속 산업 오염 물질 배출 기준)에 따라 배출 전에 폐수를 중화(pH 6-9)해야 합니다. 안전 규정 준수를 위해서는 생산 장비에 보호 장치(예: 고온 용광로의 폭발 방지 시스템)와 작업자를 위한 안전 교육이 장착되어야 합니다.

규정 준수에 영향을 미치는 요인에는 생산 공정, 폐기물 처리 기술 및 규제 강도가 포함됩니다. 기술 발전에는 배기 가스 배출을 줄이기 위한 습식 정화와 같은 녹색 생산 기술의 적용이 포함됩니다. 지능형 모니터링 시스템은 센서(주파수 1kHz)를 통해 배기가스 및 안전 매개변수를 실시간으로 모니터링합니다. 또한 ISO 14001 환경 경영 시스템의 구현은 기업이 규정 준수 프로세스를 최적화하는 데 도움이 됩니다.

### 8.4 폴리브덴 막대의 표준 비교 및 적용 시나리오 분석

국내 및 해외 표준의 비교 분석은 제조업체가 다양한 응용 시나리오의 요구 사항을 충족하는 적합한 표준을 선택하는 데 도움이 됩니다. ASTM B387 및 GB/T 3462 는 화학 조성(폴리브덴 함량 ≥ 99.95%), 기계적 특성(인장 강도 600-1100 MPa) 및 치수 공차(±0.05mm) 측면에서 매우 일관되지만 ASTM B387 은 국제 응용 분야에 더 중점을 두고 더 많은 도핑된 폴리브덴 막대(예: Mo-W)를 다루는 반면 GB/T 3462 는 중국 산업 시스템에 더 적합하고 비용 효율성을 강조합니다. ISO 6892-1 과 같은 ISO 표준은 테스트 방법의 표준화에 중점을 두고 있으며 국경 간 인증에 적합하지만 폴리브덴 막대에 대한 특정 사양이 없습니다.

적용 가능한 시나리오는 다음과 같이 분석됩니다.

항공우주: ASTM B387 은 엄격한 고온 성능 요구 사항(크리프 속도 <10<sup>-5</sup>/h, 1500°C) 및 치수 정확도(±0.02mm)로 인해 고온 구조 및 추진 시스템 구성 요소에 더 적합합니다.

전자 및 반도체: ASTM B387 및 GB/T 3462 는 모두 적용 가능하며 인장 시험 검증을 위해 고순도(≥99.97%) 및 표면 마감(Ra<0.4µm), ISO 6892-1 이 필요합니다.

유리제 산업: GB/T 3462 는 그것의 반대로 부식 필요조건 (산화 비율 <0.2 mg/cm<sup>2</sup>·h) 때문에 전극을 녹이기 위해 적당하기 때문에 더 일반적입니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

신형 분야 (e.g. 3D 인쇄) : ASTM B387 이 더 적합하며 새로운 몰리브덴 합금 및 마이크로 바 (직경 1mm <)를 지원합니다.

표준 선택에 영향을 미치는 요인에는 응용 분야 환경, 고객 요구 사항 및 비용이 포함됩니다. 기술 발전에는 인증의 중복을 줄이기 위한 표준에 대한 상호 인정 메커니즘의 구축이 포함됩니다. 디지털 표준 데이터베이스의 개발은 빠른 쿼리 및 비교를 용이하게 합니다.



CTIA GROUP LTD 블랙 몰리브덴 막대

## Chapter 9 몰리브덴 막대의 가공, 사용 및 유지 보수

몰리브덴 막대는 높은 용점, 우수한 기계적 특성 및 화학적 안정성으로 인해 항공 우주, 전자, 유리 산업 및 기타 까다로운 분야에서 널리 사용됩니다. 가공, 사용 및 유지 관리에는 성능과 수명에 직접적인 영향을 미치는 복잡한 기술과 프로세스가 포함됩니다. 이 장에서는 몰리브덴 막대의 가공 기술, 환경 요구 사항, 설치 및 고정 방법, 유지 보수 및 세척 절차, 안전한 작동 사양에 대해 자세히 설명합니다. 과학적인 가공 기술, 합리적인 사용 환경 설계, 표준화 된 설치 및 유지 보수 및 엄격한 안전 작동을 통해 몰리브덴 막대의 성능을 극대화 할 수 있고 서비스 수명을 연장 할 수 있으며 작동 안전을 보장 할 수 있습니다. 이러한 내용은 제조업체와 사용자가 다양한 까다로운 환경에서 몰리브덴 막대를 안정적으로 사용할 수 있도록 포괄적인 기술 지침을 제공합니다.

### 9.1 몰리브덴 막대의 가공 기술

몰리브덴 막대의 가공 기술은 절단, 기계 가공, 용접 및 접합과 같은 프로세스와 관련된 특정 응용 분야의 요구 사항을 충족하는지 확인하는 데 중요합니다. 이러한

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

공정은 고정밀 장비에서 수행되며 재료 손상이나 성능 저하를 방지하기 위해 가공 조건이 엄격하게 제어됩니다.

### 9.1.1 절단(와이어 절단, 레이저 절단)

절단은 폴리브덴 막대 가공의 첫 번째 공정이며 막대를 원하는 길이 또는 모양으로 가공하는 데 사용됩니다. 와이어 EDM은 고주파 전기 스파크를 사용하여 폴리브덴 막대 표면에 국부적인 고온 용융 재료를 생성하고 구리 또는 폴리브덴 와이어와 같은 금속 와이어를 정밀하게 절단하는 일반적으로 사용되는 절단 방법입니다. 와이어 EDM은 높은 정밀도(허용 오차  $\pm 0.01\text{mm}$ )와 매끄러운 표면( $Ra < 1.6\mu\text{m}$ )으로 복잡한 형상 또는 작은 직경의 폴리브덴 막대를 가공하는 데 적합합니다. 탈이온수는 고온 산화를 피하기 위해 가공 공정 중 냉각 매체로 사용되며 장비에는 절단 경로를 제어하기 위해 고정밀 CNC 시스템이 장착되어야 합니다.

레이저 절단은 YAG 또는 CO<sub>2</sub> 레이저와 같은 고에너지 레이저 빔을 사용하여 폴리브덴 막대의 표면을 녹이거나 기화시키는 또 다른 고효율 방법으로 크거나 두꺼운 벽의 폴리브덴 막대의 빠른 절단에 적합합니다. 레이저 절단은 비접촉 및 고속의 장점이 있지만 절단 영역에 열영향부(HAZ)를 생성할 수 있으므로 후속 연마로 제거해야 합니다. 절단 공정은 산화를 방지하기 위해 질소 또는 아르곤과 같은 불활성 가스의 보호 하에 수행됩니다.

절단 품질에 영향을 미치는 요소에는 절단 속도, 공작물의 표면 상태 및 냉각 조건이 포함됩니다. 절단 속도가 너무 빠르면 균열이나 표면이 거칠어질 수 있으며, 정확도를 높이기 위해 표면 산화물 층을 선제적으로 제거해야 합니다. 기술 발전에는 열 영향 영역을 줄이기 위한 초고속 레이저 절단 기술의 적용이 포함됩니다. 자동 절단 시스템은 절단 경로를 실시간으로 모니터링하여 처리 일관성을 향상시킵니다.

### 9.1.2 가공(터닝, 밀링, 드릴링)

가공은 터닝, 밀링 및 드릴링을 포함한 복잡한 형상 및 크기 요구 사항을 충족하기 위해 폴리브덴 로드를 추가로 마무리하는 데 사용됩니다. 터닝은 CNC 선반을 사용하여 폴리브덴의 높은 경도에 대처하기 위해 WC-Co와 같은 초경 공구를 사용하여 폴리브덴 막대를 정확한 직경 또는 특정 형상으로 가공합니다. 가공은 절삭 온도를 낮추고 공구 마모 및 공작물의 표면 손상을 방지하기 위해 절삭유(예: 수성 에멀전)를 사용하여 저속 및 고이송으로 수행해야 합니다. 선삭 후 표면 거칠기는  $Ra < 0.8\mu\text{m}$ 에 달할 수 있어 전자 및 항공 우주 응용 분야에 적합합니다.

밀링은 CNC 밀링 머신과 다이아몬드 코팅 공구를 사용하여 평면, 홈 또는 폴리브덴 막대의 복잡한 윤곽을 가공하는 데 사용되어 높은 정밀도와 표면 품질을 보장합니다. 미세 균열을 방지하기 위해 밀링 공정 중에 진동을 제어해야 합니다. 드릴링은 폴리브덴 막대의 관통 구멍 또는 막힌 구멍을 처리하는 데 사용되며 전극 또는 커넥터를 제조하는 데 자주 사용되며 고속 강철 또는 초경합금 드릴을 사용해야 하며 구멍 위치의 정확성을 보장하기 위해 고정밀 고정 장치를 사용해야 합니다.

가공 품질에 영향을 미치는 요소에는 공구 재료, 절삭 데이터 및 공작물 고정 방법이

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

포함됩니다. 폴리브덴의 취성으로 인해 절삭 속도가 낮아야 하며 가공 정확도를 유지하기 위해 정기적으로 공구 마모를 점검해야 합니다. 기술 발전에는 복잡한 형상을 처리하는 능력을 향상시키기 위해 5축 CNC 공작 기계와 같은 초정밀 가공 기술의 적용이 포함됩니다. 불활성 가스 냉각을 통한 환경오염 저감을 위한 건식 절단 기술 개발

### 9.1.3 용접 및 접합 기술

용접 및 접합 기술은 폴리브덴 막대를 다른 구성 요소 또는 폴리브덴 막대에 연결하는 데 사용되며 고온 용광로 및 전자 장비에서 일반적으로 발견됩니다. 전자빔 용접(EBW)은 고에너지 전자빔을 사용하여 진공 환경에서 폴리브덴 막대를 용융하여 고강도 용접을 형성하는 기본 방법입니다. 진공 환경( $<10^{-3}$  Pa)은 산화를 방지하고 용접 이음매 품질이 높아 항공우주 부품에 적합합니다. 텅스텐 불활성 가스 용접(TIG)은 비진공 환경에 적합한 아르곤 또는 헬륨 보호를 사용하여 폴리브덴 막대 용접에도 일반적으로 사용되지만 입자 성장을 방지하기 위해 용접 온도를 제어해야 합니다.

접합 기술에는 기계적 연결(예: 나사 연결, 리베팅) 및 브레이징도 포함됩니다. 기계적 연결에는 폴리브덴 막대 표면에 나사산이나 구멍이 필요하며, 이는 연결의 강도를 보장하기 위해 고정밀 가공이 필요합니다. 브레이징은 진공 또는 수소 분위기에서 수행되는 고온 브레이징 용가재(예: Ni 계 또는 Ag 계 합금)를 사용하며 폴리브덴 로드를 이종 재료(예: 세라믹)와 결합하는 데 적합합니다. 용접 및 접합의 품질에 영향을 미치는 요인에는 대기 제어, 용접 온도 및 접합 설계가 포함됩니다. 미량의 산소는 용접부의 산화를 유발할 수 있으며 대기 이슬점( $<-40^{\circ}\text{C}$ )을 엄격하게 제어해야 합니다.

기술 발전에는 열 입력을 정확하게 제어하고 열 영향 영역을 줄이기 위한 레이저 용접 기술의 적용이 포함됩니다. 용접 품질을 실시간으로 모니터링하기 위한 초음파 검사 기술의 도입. 또한 새로운 브레이징 금속의 개발로 폴리브덴 막대와 세라믹 사이의 연결 강도가 향상되어 고온 복합 구성 요소의 요구를 충족했습니다.

## 9.2 폴리브덴 막대 사용에 대한 환경 요구 사항

폴리브덴 막대가 사용되는 환경은 성능과 수명에 큰 영향을 미치며 고온 또는 부식성 환경에서 안정성을 보장하기 위해 적용 시나리오에 따라 적절한 대기 및 보호 조치를 선택해야 합니다.

### 9.2.1 진공 및 불활성 분위기

폴리브덴 막대는 고온에서 산화에 취약하므로 표면 산화 및 성능 저하를 방지하기 위해 진공 또는 불활성 대기(예: 아르곤, 질소, 수소)에서 주로 사용됩니다. 진공 환경( $<10^{-3}$  Pa)은 고온로, 진공관 및 반도체 장비에 널리 사용되며 발열체 또는 전극으로 폴리브덴 막대에 적합합니다. 진공 시스템에는 저압을 유지하고 미량의 산소에 의한 산화를 방지하기 위해 고효율 펌프 세트(예: 터보 분자 펌프)가 장착되어야 합니다. 불활성 대기는 고순도 가스(순도  $\geq 99.999\%$ )를 사용하며, 가스 순환 시스템을 통해 균일한 대기를 유지하여 국부 산화를 방지합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

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

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

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

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

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

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com  
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: www.molybdenum.com.cn

저작권 및 법적 책임 선언문

사용 효과에 영향을 미치는 요소에는 분위기 순도, 기밀성 및 온도 제어가 포함됩니다. 미량의 수분(이슬점  $>-40^{\circ}\text{C}$ )은 폴리브덴 막대 표면의 산화를 유발할 수 있으므로 건조 시스템을 사용하여 제거해야 합니다. 기술 발전에는 극한 환경에서 폴리브덴 막대의 안정성을 향상시키기 위한 초고진공 시스템( $<10^{-6}$  Pa)의 개발이 포함됩니다. 온라인 대기 모니터링 기술은 스펙트럼 분석기를 사용하여 실시간으로 산소 및 수분 수준을 감지하여 환경 제어를 최적화합니다.

### 9.2.2 고온 산화 환경 보호

공기 또는 산소 분위기와 같은 고온 산화 환경에서 폴리브덴 막대는 휘발성 산화물( $\text{MoO}_3$ )이 형성되기 쉬워 질량 손실이 발생합니다. 따라서 항산화 코팅(예:  $\text{MoSi}_2$ ,  $\text{SiC}$ )을 적용하거나 보호 분위기를 사용해야 합니다.  $\text{MoSi}_2$  코팅은 화학 기상 증착(CVD) 또는 플라즈마 스프레이로 적용되어  $1200\text{--}1600^{\circ}\text{C}$  에서 산화를 효과적으로 방지하는 조밀한 보호층을 형성합니다. 코팅은 균일하고 균열이 없어야 하며, 보호와 비용의 균형을 맞추기 위해 수십 마이크로에서 수백 마이크로의 두께를 가져야 합니다.

보호 조치에는 산소 노출을 줄이기 위해 불활성 가스 플러싱과 결합된 기밀 용광로 본체 설계도 포함됩니다. 보호 효과에 영향을 미치는 요인에는 코팅 품질, 작동 온도 및 주변 분위기가 포함됩니다. 코팅 결합은 국부적인 산화를 유발할 수 있으며, 이를 위해서는 품질을 검증하기 위해 초음파 검사가 필요합니다. 기술 발전에는 코팅 조밀성과 접착력을 향상시키는 나노 코팅 기술의 적용이 포함됩니다. 동적 산화 테스트 장비는 산화 속도를 실시간으로 모니터링하여 보호 솔루션을 최적화합니다.

## 9.3 폴리브덴 막대의 설치 및 고정

폴리브덴 막대의 설치 및 고정은 성능과 수명에 직접적인 영향을 미치며, 특히 고온 및 복잡한 응력 환경에서 과학 기술과 설계를 통해 안정성을 확보해야 합니다.

### 9.3.1 설치 과정 및 설비 설계

폴리브덴 막대는 고온 용광로 및 전극 응용 분야에서 일반적으로 발견되는 고온 환경에서 기하학적 안정성과 균일한 힘을 보장하기 위해 설치해야 합니다. 설치 프로세스에는 클램핑, 걸기 및 중첩이 포함됩니다. 클램핑은 고온 클램프(예: 폴리브덴 합금 또는 세라믹)를 사용하여 볼트 또는 스프링을 통해 균일한 압력을 가하여 국부 응력 집중을 방지합니다. 서스펜션은 폴리브덴 와이어 또는 폴리브덴 후크를 사용하여 막대를 매달아 발열체에 적합하며 서스펜션 지점의 강도를 보장해야 합니다. 중첩 및 고정 폴리브덴 막대는 유리 용융 전극에 적합한 내화 슬롯에 내장되어 있으며, 여기서 노치는 바 크기와 일치하도록 정밀하게 가공해야 합니다.

고온 강도와 내식성은 설비 설계에서 고려되며 TZM 합금 또는 알루미나 세라믹과 같은 재료는 설비 제조에 자주 사용됩니다. 고정 장치의 표면은 폴리브덴 막대와의 마찰 손상을 줄이기 위해 연마( $\text{Ra}<1.6\ \mu\text{m}$ )해야 합니다. 설치 효과에 영향을 미치는 요소에는 고정구 재료, 고정력 및 설치 정확도가 포함됩니다. 과도한 고정력은 폴리브덴 막대의 변형으로 이어질 수 있으며 기계적 시뮬레이션을 통해 설계를 최적화해야 합니다. 기술 발전에는 로봇을 통해 설비의 위치를 정확하게 제어하기 위한 자동 설치 장비의 개발이 포함됩니다. 모듈식 고정 장치 설계는 설치 효율성과

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

유연성을 향상시킵니다.

### 9.3.2 열팽창 정합 설계

몰리브덴 막대는 열팽창 계수(약  $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )가 낮아 고온에서 다른 재료(예: 세라믹 및 강철)에 열 응력을 유발할 수 있으므로 열팽창 정합을 위한 설계가 필요합니다. 이 설계에는 유사한 열팽창 계수를 가진 접합 재료(예: Mo-La 합금 및 알루미늄 세라믹)를 선택하거나 유연한 연결(예: 스프링 클램프)을 통해 열팽창 차이를 흡수하는 것이 포함됩니다. 팽창 간격(보통 0.1–0.5mm)은 고온에서 압출 변형을 방지하기 위해 설치를 위해 예약해야 합니다.

열팽창 정합에 영향을 미치는 요인에는 재료 선택, 온도 구배 및 연결 스타일이 포함됩니다. 과도한 온도 구배는 응력 집중을 유발할 수 있으며 열장 시뮬레이션을 통해 설계를 최적화해야 합니다. 기술 발전에는 열 응력 분포를 예측하기 위한 유한 요소 해석(FEA) 기술의 적용이 포함됩니다. 열팽창과 강도 요구 사항의 균형을 맞추기 위한 복합 고정 장치 개발.

## 9.4 몰리브덴 막대의 유지 관리 및 청소

몰리브덴 막대의 유지 관리 및 청소는 서비스 수명을 연장하고 성능을 유지하는 데 중요하며, 열악한 환경에서 신뢰성을 보장하기 위해 표면 청소 및 정기 검사를 포함합니다.

### 9.4.1 표면 세척 방법

표면 세척은 몰리브덴 막대 표면에서 산화물, 오일 및 오염 물질을 제거하고 그 특성을 복원하는 데 사용됩니다. 초음파 세척은 고주파 진동(20–40kHz)을 사용하여 탈이온수 또는 중성 세척액에 기포를 생성하여 표면 오염 물질을 제거하는 일반적인 방법입니다. 세척 용액의 온도는 몰리브덴 막대의 부식을 방지하기 위해 40–60°C 로 제어됩니다. 산세는 묽은 산 용액(예: 10% 질산 또는 5% 염산)을 사용하여 산화물 층을 제거하며, 이는 흡 후드에서 수행되고 환경 요구 사항을 준수하기 위해 폐액 처리 시스템이 장착되어 있습니다.

기계적 연마는 사포 또는 연마 페이스트(입자 크기 1–5 $\mu\text{m}$ )로 잘 지워지지 않는 산화물을 제거하며 얼룩 청소에 적합합니다. 세척 후에는 2 차 오염을 방지하기 위해 고순도 질소로 건조해야 합니다. 세척의 효과에 영향을 미치는 요인에는 세척액의 구성, 시간 및 표면의 상태가 포함됩니다. 과도한 산세 시간은 표면 부식으로 이어질 수 있으며, 이를 정밀하게 제어해야 합니다. 기술 발전에는 친환경 세척 기술의 적용, 오염을 줄이기 위한 환경 친화적인 세척제(예: 구연산)의 사용이 포함됩니다. 자동 세척 장비는 센서를 사용하여 세척 용액의 pH(6–8)를 모니터링하여 세척 효율성을 개선합니다.

### 9.4.2 정기 검사 및 유지 보수

정기적인 검사 및 유지 보수는 몰리브덴 막대의 성능과 상태를 모니터링하고 고장을 방지하는 데 사용됩니다. 검사에는 표면 품질 관찰(광학 현미경 사용, 50–100 배 배율), 치수 측정(레이저 캘리퍼, 정확도 0.01mm) 및 비파괴 검사(예: 초음파, 5MHz)가

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

포함되어 균열 또는 내부 결함을 감지합니다. 유지 보수에는 표면 재연마( $Ra < 0.8 \mu m$ ), 산화 방지 코팅 교체 또는 기계적 손상 수리가 포함됩니다.

유지 보수 빈도는 사용 환경에 따라 결정되며, 고온 산화 환경은 매월 검사해야 하며, 진공 환경은 분기별로 확인할 수 있습니다. 유지 관리의 효율성에 영향을 미치는 요인에는 검사 빈도, 장비 정확도 및 작동 사양이 포함됩니다. 기술 발전에는 적외선 카메라를 통해 실시간으로 표면 온도와 산화 상태를 감지하는 온라인 모니터링 시스템의 개발이 포함됩니다. 지능형 유지보수 플랫폼은 데이터 분석을 통해 유지보수 주기를 예측하고 다운타임을 줄입니다.

## 9.5 폴리브덴 막대의 안전 작동 사양

폴리브덴 막대에 대한 안전한 작동 방법은 특히 고온 및 화학 물질 취급 환경에서 가공 및 사용 중 개인 안전과 장비 보호를 보장합니다.

### 9.5.1 고온 작동시 주의사항

폴리브덴 막대는 고온 작업(예: 고온 용광로, 용접) 중 엄격한 안전 규정의 적용을 받습니다. 작업자는 방열과 비말로부터 보호하기 위해 보호복, 장갑 및 마스크를 착용해야 합니다. 고온로는 과열( $> 1800^{\circ}C$ )로 인한 사고를 방지하기 위해 자동 전원 차단 시스템을 장착해야 합니다. 폴리브덴 막대 설치 및 분해는 파손으로 이어지는 열 응력을 피하기 위해 실온으로 냉각한 후 수행해야 합니다.

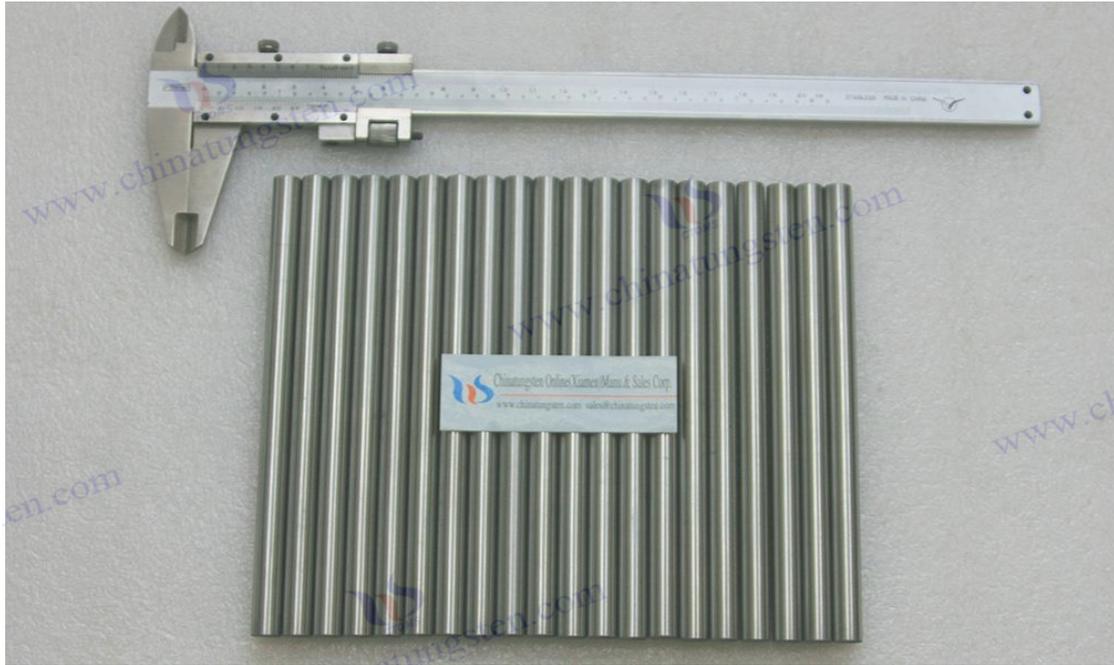
고온 작동의 안전에 영향을 미치는 요인에는 장비 기밀성, 온도 제어 및 작업자 교육이 포함됩니다. 밀봉이 불량하면 산소 누출로 인한 산화가 발생할 수 있으며 진공 수준( $< 10^{-3} Pa$ )을 정기적으로 확인해야 합니다. 기술 발전에는 퍼니스의 온도를 실시간으로 모니터링하는 지능형 온도 제어 시스템의 적용이 포함됩니다(정확도  $1^{\circ}C \pm$ ). 원격 작동 기술은 로봇을 통해 화기 작업을 완료하여 인명에 대한 위험을 줄입니다.

### 9.5.2 화학 물질 취급 안전 사양

화학적 처리(예: 산세, 코팅 준비)는 화학적 손상을 방지하기 위해 엄격한 안전 규정의 적용을 받습니다. 작업은 산성 가스를 흡수하기 위해 배기 가스 처리 장치(예: 활성탄 흡착)가 장착된 흡 후드에서 수행됩니다. 작업자는 피부 접촉 및 유해 가스 흡입을 방지하기 위해 내산성 장갑, 고글 및 호흡기를 착용해야 합니다. 산세 용액은 표시된 농도(예: 10% 질산)의 특수 용기에 보관하고 정기적으로 누출 여부를 확인해야 합니다.

화학 처리의 안전성에 영향을 미치는 요소에는 화학 물질 저장, 폐기물 처리 및 모범 사례가 포함됩니다. 폐액은 GB 25466-2010 표준에 따라 배출 전에 중화( $pH 6-9$ )해야 합니다. 기술 발전에는 인간 접촉을 줄이기 위한 자동화된 화학 처리 장비의 개발이 포함됩니다. 실시간 모니터링 시스템은 센서를 사용하여 가스 농도( $< 1ppm$ )를 감지하여 안전성을 높입니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문



CTIA GROUP LTD 폴리브덴 막대

## Chapter 10 폴리브덴 막대의 재활용과 지속 가능한 개발

고부가가치 내화 금속 재료로서 폴리브덴 막대의 생산 및 사용은 자원과 환경에 중요한 영향을 미칩니다. 지속 가능한 개발에 대한 전 세계적인 강조와 함께 폴리브덴 막대의 재활용 및 녹색 생산은 산업 발전의 핵심 방향이 되었습니다. 이 장에서는 폴리브덴 막대의 재활용 과정, 환경 영향 및 녹색 생산 개선, 순환 경제 및 지속 가능성 전략을 자세히 살펴봅니다. 효율적인 재활용 기술, 환경 보호 프로세스 최적화 및 순환 경제 모델의 구현을 통해 자원 소비 및 환경 오염을 크게 줄일 수 있으며 폴리브덴 막대 산업의 지속 가능한 발전을 촉진할 수 있습니다. 이는 생산자에게 기술 지침을 제공하는 동시에 글로벌 환경 규제 및 친환경 재료에 대한 시장 수요에 대응합니다.

### 10.1 폴리브덴 막대 재활용 공정

폴리브덴 막대의 재활용 공정은 폐기물에서 고순도 폴리브덴을 추출하여 생산에 재사용하여 버린 미네랄에 대한 의존도를 줄이도록 설계되었습니다. 재활용 프로세스에는 폐기물 수집 및 분류뿐만 아니라 폴리브덴의 품질을 유지하면서 효율적인 재활용을 보장하기 위한 재활용 및 정화 기술이 포함됩니다.

#### 10.1.1 폐기물 수집 및 분류

스크랩 수집 및 분류는 폴리브덴 막대 재활용의 첫 번째 단계이며, 여기에는 생산 및 사용에서 스크랩 폴리브덴 막대, 가공 된 칩 및 수명이 다한 부품을 회수하는 작업이 포함됩니다. 스크랩 공급원에는 폴리브덴 막대 생산에서 발생하는 스크랩(예: 절단 및 선삭 칩), 사용된 고장난 폴리브덴 막대(예: 고온로 발열체, 유리 용융 전극) 및 폐화된 폴리브덴 기반 부품(예: 항공우주 구조 부품)이 포함됩니다. 수거 과정에는 공장, 사용자 및 재활용 스테이션에서 폐기물을 효율적으로 수거할 수 있도록 강력한

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

재활용 시스템이 필요합니다.

분류는 폐기물의 형태, 구성 및 오염 정도에 따라 수행됩니다. 고체 몰리브덴 막대(예 : 폐 전극)는 육안 검사 및 화학 분석을 통해 고순도 몰리브덴과 도핑 된 몰리브덴(예 : TZM, Mo-La)을 구별합니다. 분말 스크랩(예: 칩)을 스크리닝하고 자기적으로 분리하여 금속 불순물(예: 철 파일링)을 제거합니다. 심하게 오염된 폐기물(예: 표면이 산화된 부품 또는 오일로 오염된 부품)은 산화물 또는 유기물을 제거하기 위해 사전 세척해야 합니다. 분류 장비에는 진동 스크린, 자기 분리기 및 광학 분류 시스템이 포함되어 있어 폐기물이 유형 및 순도에 따라 그룹화되도록 합니다.

폐기물 수거 및 분류의 효율성에 영향을 미치는 요인에는 재활용 시스템의 적용 범위, 폐기물 오염 정도 및 분류의 정확성이 포함됩니다. 심하게 오염된 폐기물은 후속 정화 비용을 증가시킬 수 있으며 전처리 공정을 최적화해야 합니다. 기술 발전에는 분류 효율성을 개선하기 위해 머신 비전 및 인공 지능을 통해 폐기물 유형을 식별하는 자동 분류 기술의 적용이 포함됩니다. 블록체인 기술의 도입은 폐기물 출처의 추적성을 보장하고 공급망 관리를 최적화합니다.

### 10.1.2 재활용 및 정화 기술

재활용 및 정제 기술은 분류된 폐기물 몰리브덴 막대를 고순도 몰리브덴 분말 또는 재사용 가능한 몰리브덴 막대로 변환하는 데 사용되며, 여기에는 화학 정제 및 야금 처리가 포함됩니다. 화학적 정제는 주로 습식 제련 공정을 통해 이루어지며, 이는 폐기물을 산성 또는 알칼리성 용액(예: 암모니아 또는 질산)에 용해시켜 몰리브덴산 또는 몰리브덴 산화물을 추출합니다. 용액을 여과하고 침전시켜 불순물(예: 철, 구리)을 제거합니다. 그 후, 고순도 몰리브덴 산화물은 결정화 또는 로스팅에 의해 생성되며, 이는 수소 분위기 하에서 몰리브덴 분말(순도 $\geq 99.95\%$ )로 환원됩니다. 장비에는 반응기, 필터 및 관형 환원로가 포함되어 산화를 방지하기 위해 대기(이슬점  $< -40^{\circ}\text{C}$ )를 엄격하게 제어해야 합니다.

야금술 처리는 고순도 몰리브덴 주괴를 생성하기 위하여 진공 녹거나 전자빔 녹는 것을 통해 휘발성 불순물(탄소와 같은 산소와 같은) 제거하기 위하여 단단한 몰리브덴 막대에 적용됩니다. 진공 용해로는 용융 공정에 무공해가 발생하도록 높은 진공 수준( $< 10^{-3}$  Pa)을 유지해야 합니다. 정제된 몰리브덴 잉곳은 분말 야금 또는 열처리에 의해 몰리브덴 막대로 다시 만들 수 있습니다. 정제 결과에 영향을 미치는 요인에는 스크랩의 초기 순도, 정제 공정 매개변수 및 장비 기밀성이 포함됩니다. 오염이 심한 폐기물은 에너지 소비를 증가시키기 위해 여러 단계의 정화가 필요할 수 있습니다.

기술 진보에는 폐액 오염을 줄이기 위해 강산 대신 환경 친화적인 용제(구연산)를 사용하는 것과 같은 녹색 정화 기술의 개발이 포함됩니다. 이온 교환 기술의 적용은 불순물 제거의 효율성을 향상시킵니다. 또한 자동 정제 시스템은 용액 조성 및 대기 매개변수를 실시간으로 모니터링하여 정제 효율과 몰리브덴 회수를 최적화합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

**CTIA GROUP LTD**  
**Molybdenum Rods Introduction**

**1. Overview of Molybdenum Rods**

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

**2. Main Application Fields of Molybdenum Rods**

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

**3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)**

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

**4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD**

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

**5. Procurement Information**

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)  
 Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
 Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

저작권 및 법적 책임 선언문

## 10.2 폴리브덴 막대와 녹색 생산의 환경 영향

폴리브덴 막대의 생산 공정에는 높은 에너지 소비와 잠재적인 환경 오염이 포함되며 녹색 생산 기술의 적용은 환경 영향을 크게 줄이고 지속 가능한 개발 목표를 달성할 수 있습니다.

### 10.2.1 생산 공정에서의 에너지 소비 및 배출량

폴리브덴 막대 생산에는 원료 정제, 분말 야금, 열처리 및 표면 처리가 포함되며 각각은 많은 에너지를 소비하고 배기 가스를 생성합니다. 원료의 정제(예: 로스팅 및 환원)는 고온(600–1000°C)에서 수행되며, 이는 많은 전기를 소비하고 로스팅 과정에서 황산화물(예: SO<sub>2</sub>)을 방출할 수 있습니다. 분말 야금의 소결 공정은 에너지 소비를 증가시키기 위해 고온(1500–1800°C)과 고순도 분위기를 유지해야 하는 진공로 또는 수소로를 사용합니다. 열간 가공(예: 단조, 압연)은 반복적인 가열이 필요하고 많은 전기를 소비합니다. 표면 처리(예: 산세)는 산성 폐액 및 배기 가스를 생성하며, 이는 환경 규정(예: GB 25466-2010)을 준수하기 위해 적절하게 처리해야 합니다.

배출에는 주로 배기 가스(예: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), 폐수(산 또는 중금속 포함) 및 고형 폐기물(예: 슬래그)이 포함됩니다. 폐가스는 습식 스크러빙 또는 활성탄 흡착으로 처리해야 하고, 폐수는 배출 전에 중화(pH 6–9)해야 하며, 고형 폐기물은 분류 및 재활용 또는 안전하게 매립해야 합니다. 환경 영향에 영향을 미치는 요인에는 생산 규모, 장비 효율성 및 폐기물 처리 용량이 포함됩니다. 기술 발전에는 센서를 통해 전력 소비 및 배출 데이터를 실시간으로 기록하는 에너지 소비 모니터링 시스템의 적용이 포함됩니다. 폐열 회수 기술의 개발은 고온로의 폐열을 사용하여 원료를 예열하고 에너지 소비를 줄입니다.

### 10.2.2 환경보호 프로세스 개선

환경 공정 개선은 폴리브덴 막대 생산에서 에너지 소비와 배출을 줄이고 자원 활용을 개선하는 것을 목표로 합니다. 개선 사항에는 로스팅 공정 최적화, 기존 회전로를 유동층 로스터로 교체, 열 효율 개선 및 순환 가스 스트림을 통한 SO<sub>2</sub> 배출 감소가 포함됩니다. 감축 공정은 바이오매스 유래 수소와 같은 친환경 환원제를 사용하여 기존 화학 연료를 대체하고 탄소 발자국을 줄입니다. 소결 공정은 중간 주파수 유도 가열로를 채택하여 온도(±1°C)를 정확하게 제어하고 가열 시간을 단축하며 에너지 소비를 줄입니다.

폐기물 처리 측면에서 폐수 재활용 시스템은 이온 교환 및 역삼투 기술을 통해 산과 물을 회수하여 배출량을 줄입니다. 배기 가스 처리는 SCR 기술과 같은 고효율 촉매를 사용하여 NO<sub>x</sub> 를 무해한 가스로 변환합니다. 고형 폐기물은 매립지의 폴리브덴 양을 줄이기 위해 고온 제련으로 재활용됩니다. 개선의 효과에 영향을 미치는 요인에는 장비 투자, 프로세스 안정성 및 기술 성숙도가 포함됩니다. 기술 발전에는 AI 를 통해 프로세스 매개변수를 최적화하고 에너지 소비를 줄이기 위한 지능형 제어 시스템의 적용이 포함됩니다. ISO 14001 과 같은 친환경 인증 시스템의 구현은 기업이 환경 친화적인 생산을 달성할 수 있도록 안내합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

### 10.3 순환경제와 폴리브덴 막대의 지속 가능한 개발 전략

순환 경제 및 지속 가능한 개발 전략은 폴리브덴 막대 산업의 녹색 개발을 촉진하고 자원 재활용 및 산업 시너지를 통해 1차 자원에 대한 의존도를 줄입니다.

순환 경제 모델은 생산에서 재활용에 이르기까지 폴리브덴 막대의 전체 수명 주기 관리를 강조합니다. 폐 폴리브덴 막대는 재활용 및 정제되어 생산 체인에 재투입되어 새로운 폴리브덴 막대 또는 폴리브덴 기반 제품을 만들어 폴리브데나이트 채굴을 줄입니다. 순환 모델에는 폐기물 재활용 네트워크 구축, 폐기물의 효율적인 수거를 보장하기 위해 사용자 및 재활용 스테이션과 협력하는 것이 포함됩니다. 회수율을 향상시키기 위해 정제 공정을 최적화합니다(목표 > 95%). 재활용 폴리브덴을 스퍼터링 타겟 또는 3D 프린팅 분말과 같은 고부가가치 제품으로 가공하기 위한 재제조 기술 개발.

지속 가능성 전략에는 자원 보존, 환경 친화성 및 사회적 책임이 포함됩니다. 자원 보존: 등은 단조와 같은 효율적인 생산 공정을 통한 원료 폐기물 감소; 환경 친화적인: 녹색 기술 및 폐기물 재활용을 통해 배출량을 줄입니다. 사회적 책임에는 직원의 환경 인식을 높이고 지역 사회의 지속 가능성 프로젝트를 지원하는 것이 포함됩니다. 순환 경제의 구현에 영향을 미치는 요인에는 재활용 시스템의 완전성, 기술 비용 및 시장 수요가 포함됩니다. 기술 발전에는 가상 모델을 통해 재활용 및 생산 프로세스를 최적화하기 위한 디지털 트윈 기술의 적용이 포함됩니다. 블록체인 기술은 재활용 체인의 투명성을 보장합니다. 또한 중국의 순환 경제 촉진법과 같은 정책 지원은 폴리브덴 막대 산업이 지속 가능한 개발을 촉진할 수 있도록 인센티브를 제공합니다.



CTIA GROUP LTD 폴리브덴 막대

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

## Chapter 11 몰리브덴 막대의 최신 기술과 미래 동향

고성능 내화 금속 재료로서 몰리브덴 막대는 항공 우주, 전자, 신 에너지 및 기타 분야에서 지속적으로 확장되고 있으며 기술 연구 개발 및 산업 업그레이드는 보다 효율적이고 친환경적이며 지능적인 방향으로 산업 발전을 촉진하고 있습니다. 이 장에서는 몰리브덴 기반 합금의 연구 개발 진행 상황, 나노 구조 몰리브덴 막대의 개발, 지능형 생산 및 테스트 기술, 신에너지 분야에서 몰리브덴 막대의 잠재력, 향후 연구 방향 및 과제에 대해 자세히 설명합니다. 몰리브덴 막대 기술의 최신 지평을 반영하는 이 콘텐츠는 제조업체, 연구원 및 사용자에게 업계가 지속 가능성 및 기술 혁신의 과제를 해결하는 동시에 글로벌 경쟁에서 앞서 나가는 데 도움이 되는 기술 통찰력을 제공하도록 설계되었습니다.

### 11.1 몰리브덴계 합금의 연구 개발 진행 상황

몰리브덴 기반 합금은 구성 및 미세 구조를 최적화하여 몰리브덴 막대의 높은 성능, 크리프 저항 및 내식성을 크게 향상시켜 항공 우주 및 원자력 산업과 같은 까다로운 응용 분야의 요구 사항을 충족합니다. R&D 는 TZM 및 Mo-La 합금의 최적화와 새로운 도핑 기술에 중점을 두고 있습니다.

#### 11.1.1 TZM 및 Mo-La 합금의 최적화

TZM (티타늄 지르코늄 몰리브덴) 합금은 소량의 티타늄, 지르코늄 및 탄소를 첨가하여 몰리브덴의 강도, 크리프 저항 및 높은 안정성을 크게 향상시키고 높은 용광로, 항공 우주 구조 부품 및 기타 분야에서 널리 사용됩니다. 최신 R&D 는 도핑 원소 비율 및 열처리 공정의 정밀한 제어를 통해 TZM 합금의 특성을 더욱 최적화합니다. 예를 들어, 등은 단조 및 제어 냉각 기술을 사용하여 입자 크기를 미세 조정하고 열 피로 저항을 향상시킵니다. 열처리 공정 중에 분위기 및 온도 구배를 정밀하게 제어하여 결정립계 산화를 줄이고 고온에서 합금의 장기 안정성을 향상시킵니다.

Mo-La(몰리브덴-란타넘) 합금에는 란탄 산화물( $La_2O_3$ )이 도핑되어 크리프 및 내산화성을 개선하여 유리 용융 전극 및 고온 발열체에 특히 적합합니다. R&D 진행에는 란탄 산화물 입자의 분포 및 크기를 최적화하고, 액상 도핑 및 고온 소결 기술을 통해 산화물 입자를 몰리브덴 매트릭스에 균일하게 분산시켜 계면 결합 강도를 향상시키는 것이 포함됩니다. 산화 환경에서의 내구성을 향상시키기 위해 화학 기상 증착(CVD)에 의한  $MoSi_2$  코팅의 적용과 같이 Mo-La 합금의 산화 방지 코팅 기술도 개선되고 있습니다.

TZM 및 Mo-La 합금의 최적화에 영향을 미치는 요인에는 도핑 균일성, 열처리 공정 및 생산 비용이 포함됩니다. 불균일한 도핑은 불안정한 성능으로 이어질 수 있으며 고정밀 혼합 장비로 해결해야 합니다. 기술 발전에는 싱크로트론 방사선 기술의 적용과 도핑된 원소의 분포에 대한 실시간 분석이 포함됩니다. 새로운 열처리로는 유도 가열을 사용하여 온도 균일성을 개선하고 합금 특성을 최적화합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

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

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

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

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

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

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)  
 Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
 Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

저작권 및 법적 책임 선언문

### 11.1.2 새로운 도핑 기술

새로운 도핑 기술은 희토류 원소(예: 세륨 및 이트륨) 또는 기타 금속 원소(예: 텅스텐 및 레늄)를 도입하여 폴리브덴 막대의 포괄적인 특성을 더욱 향상시킵니다. 희토류 도핑은 나노 크기의 산화물 입자를 형성하여 폴리브덴의 크리프 저항성과 고온 강도를 향상시켜 원자로 및 고온 초전도 응용 분야에 적합합니다. 예를 들어, Mo-Ce 합금은 산화세륨을 첨가하여 방사선 저항을 크게 향상시킵니다. 텅스텐 또는 레늄 도핑은 용액 강화를 통해 폴리브덴 막대의 경도와 내식성을 향상시켜 항공 우주 추진 시스템 구성 요소에 적합합니다.

도핑 공정은 분말 야금 또는 제련 기술로 구현되어야 하며, 액상 도핑 및 플라즈마 도핑은 나노미터 수준에서 균일한 분포를 달성할 수 있는 새로운 방법이 되었습니다. 도핑 효과에 영향을 미치는 요인에는 도펀트 선택, 입자 크기 및 공정 제어가 포함됩니다. 기술 발전에는 볼 밀링 또는 증기 증착에 의해 초미세 도핑 입자를 제조하기 위한 나노 도핑 기술의 개발이 포함됩니다. X 선 회절과 같은 현장 분석 기술은 도핑 공정을 실시간으로 모니터링하고 일관성을 개선합니다. 또한 녹색 도펀트(예: 바이오 기반 환원제)의 적용은 환경 오염을 줄입니다.

### 11.2 나노구조 폴리브덴 봉 개발

나노 구조 폴리브덴 막대는 마이크로 일렉트로닉스 및 3D 프린팅과 같은 최첨단 분야에 적합한 나노 스케일(입자 크기 < 100nm)로 미세 구조를 제어하여 강도, 인성 및 내식성을 크게 향상시킵니다. 개발 공정에는 나노 분말 준비, 소결 및 성형 기술이 포함됩니다. 나노 폴리브덴 분말은 고 에너지 볼 밀링 또는 기상 증착에 의해 제조되며 입자 크기는 균일 성을 보장하기 위해 정밀하게 제어됩니다. 소결은 스파크 플라즈마 소결(SPS) 기술을 사용하여 나노 구조를 보존하면서 단기간에 고온 및 고압(1500–1800°C, 50–100MPa)에서 고밀도 성형을 달성합니다.

나노 구조 폴리브덴 막대의 과제는 고온에서 성장하기 쉽고 도핑 또는 코팅으로 억제해야 하는 나노 결정의 안정성을 유지하는 것입니다. 란탄 산화물 또는 이트륨 산화물 도핑은 입자 경계를 못 박고 입자 성장을 방지할 수 있습니다. SiC 또는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅은 표면 내식성을 향상시킵니다. 개발 결과에 영향을 미치는 요인에는 분말 품질, 소결 매개변수 및 비용 관리가 포함됩니다. 기술 발전에는 가열 속도를 정확하게 제어하고 곡물 성장을 줄이는 초고속 레이저 소결 기술의 적용이 포함됩니다. 싱크로트론 방사선 현미경은 나노 구조의 진화를 분석하는 데 사용됩니다. 또한 나노 구조 폴리브덴 막대의 3D 프린팅 기술은 레이저 용융 증착을 통해 복잡한 형상의 직접 성형을 실현합니다.

### 11.3 지능형 생산 및 테스트 기술

자동화, 데이터 분석 및 인공 지능을 통해 지능형 생산 및 검사 기술은 폴리브덴 막대 생산의 효율성, 품질 및 추적성을 크게 향상시켜 인더스트리 4.0의 개발 추세에 적응했습니다.

#### 11.3.1 온라인 모니터링 및 빅데이터 분석

인라인 모니터링 시스템은 센서를 사용하여 공정 최적화 및 품질 관리를 위해 온도, 압력, 크기 및 대기 조성과 같은 생산 공정의 주요 매개변수를 실시간으로

저작권 및 법적 책임 선언문

캡처합니다. 예를 들어, 소결로의 적외선 온도계(정확도  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ )는 온도 분포를 실시간으로 모니터링하고, 레이저 캘리퍼(정확도  $\pm 0.01\text{mm}$ )는 폴리브덴 막대의 크기를 감지하며, 적외선 분광계는 대기 중의 산소 및 수분 함량(이슬점  $<-40^{\circ}\text{C}$ )을 분석합니다. 빅 데이터 분석은 방대한 양의 생산 데이터를 수집하여 프로세스 이상을 식별하고 매개변수 설정을 최적화합니다. 예를 들어, 소결 온도와 밀도 사이의 관계를 분석함으로써 소결 시간을 단축하고 에너지 소비를 줄일 수 있습니다.

온라인 모니터링의 효율성에 영향을 미치는 요인에는 센서 정확도, 데이터 수집 빈도 및 시스템 통합이 포함됩니다. 기술 발전에는 장치 상호 연결 및 데이터 공유를 가능하게 하는 사물 인터넷(IoT) 기술의 적용이 포함됩니다. 클라우드 플랫폼은 빅 데이터 알고리즘을 통해 장비 고장을 예측하고 다운타임을 줄입니다. 또한 디지털 트윈 기술은 가상 모델을 통해 생산 프로세스를 시뮬레이션하여 프로세스 매개변수를 최적화합니다.

### 11.3.2 폴리브덴 막대 생산에 인공 지능 적용

인공 지능(AI)은 공정 최적화, 품질 예측 및 결함 진단을 위해 폴리브덴 막대 생산에 사용됩니다. 머신 러닝 알고리즘은 과거 데이터를 분석하여 분말 야금 및 열 처리 매개변수를 최적화합니다. 예를 들어, 신경망 모델은 소결 과정에서 폴리브덴 막대의 밀도와 입자 크기를 예측하여 온도 및 압력 설정을 안내합니다. AI 는 또한 현미경 이미지(50-100 배 배율)를 분석하여 다공성 또는 개재물과 같은 미세한 결함을 감지하기 위해 이미지 인식에 사용됩니다. 고장 진단 시스템은 AI 를 통해 센서 데이터를 분석하여 장비 마모 또는 고장을 예측하고 사전에 유지 보수 일정을 계획합니다.

AI 애플리케이션의 효율성에 영향을 미치는 요인에는 데이터 품질, 알고리즘 정확도 및 컴퓨팅 성능이 포함됩니다. 기술 발전에는 폴리브덴 막대의 미세 구조 진화를 시뮬레이션하기 위한 GAN(Generative Adversarial Network)의 적용이 포함됩니다. 엣지 컴퓨팅 기술의 도입으로 생산 현장에서 실시간으로 데이터를 처리하여 대기 시간을 줄일 수 있습니다. 또한 AI 는 블록체인과 결합되어 생산 데이터의 보안과 추적성을 보장합니다.

## 11.4 신 에너지 분야에서 폴리브덴 막대의 잠재력

신 에너지 분야에서 폴리브덴 막대의 적용 가능성은 특히 수소 에너지, 에너지 저장 및 고온 초전도 분야에서 계속 나타나고 있으며 고온 성능 및 화학적 안정성으로 고유한 이점을 보여줍니다.

### 11.4.1 수소 에너지 및 에너지 저장 응용 분야

폴리브덴 막대는 전도성과 내식성이 우수하기 때문에 물 전기 분해 수소 생산 장비의 전극 및 고온 부품용 수소 에너지 분야에 사용됩니다. 전극 재료로서 Mo-La 합금 막대는 고온 알칼리 전해질에서 안정적으로 작동하고 전극의 수명을 연장할 수 있습니다. 에너지 저장 분야에서 폴리브덴 막대는 고온( $>600^{\circ}\text{C}$ ) 및 부식성 환경에 노출되는 고온 액체 금속 배터리의 전극 또는 집전체에 사용됩니다. 생산에는 내식성을 향상시키기 위해 정밀 가공과 표면 코팅(예:  $\text{MoSi}_2$ )이 필요합니다.

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

응용 프로그램의 효율성에 영향을 미치는 요인에는 전극 표면 상태, 전해질 구성 및 작동 온도가 포함됩니다. 기술 발전에는 전극의 촉매 효율을 향상시키기 위한 나노 코팅 기술의 적용이 포함됩니다. 복잡한 형상의 몰리브덴 기반 전극을 제조하기 위한 적층 제조 기술 개발. 또한, 고체 배터리에 몰리브덴 막대를 적용하면 도핑을 통해 전기 전도성을 향상시킬 수 있는 잠재력이 나타났습니다.

#### 11.4.2 고온 초전도 재료 지지체

몰리브덴 막대는 지지 구조 또는 전극의 고온 초전도 분야에서 사용되며 초전도 자석 및 동력 전달 장비에 사용됩니다. TZM 또는 Mo-W 합금 막대는 높은 강도와 낮은 열팽창 계수로 인해 액체 질소 또는 헬륨 환경(-196°C에서 -269°C)에서 안정적입니다. 치수 정확도( $\pm 0.01\text{mm}$ )를 보장하고 표면 연마( $Ra < 0.4\mu\text{m}$ )를 통해 저항을 줄이기 위해서는 초정밀 가공이 필요합니다. 작동 환경은 초전도 물질에 의한 오염을 방지하기 위해 산소와 수분을 엄격하게 제어해야 합니다.

응용 프로그램의 효율성에 영향을 미치는 요소에는 재료 순도, 가공 정확도 및 저온 성능이 포함됩니다. 기술 발전에는 저온 인성을 개선하기 위한 Mo-Re 합금 개발이 포함됩니다. 현장 테스트 기술은 저온 인장 테스트를 통해 몰리브덴 로드의 성능을 평가합니다. 또한, 토카막 장치의 지지 부품과 같은 핵융합로에 몰리브덴 막대를 적용하는 것에 대한 연구는 장기적인 잠재력을 보여주고 있다.

#### 11.5 몰리브덴 막대의 향후 연구 방향과 과제

몰리브덴 막대의 향후 연구 방향은 다음과 같습니다.

고성능 합금 개발: 원자력 산업 및 항공 우주의 요구를 충족시키기 위해 방사선 저항 및 고온 강도를 개선하기 위해 새로운 몰리브덴 기반 합금(예: Mo-Re, Mo-Nb)의 연구 개발.

나노 기술 응용: 나노 전극 또는 이식형 센서와 같은 마이크로 일렉트로닉스 및 생물 의학에서의 응용을 탐구하기 위해 안정적인 나노 구조 몰리브덴 막대를 개발합니다.

친환경 생산 기술: 탄소 중립이라는 목표에 따라 폐가스 및 폐수 배출을 줄이기 위해 저에너지 정화 및 재활용 기술을 촉진합니다.

지능형 제조: 생산에 AI 및 디지털 트윈 기술의 적용을 심화하여 전체 프로세스의 자동화 및 최적화를 실현합니다.

새로운 에너지 확장: 핵융합, 페로브스카이트 태양 전지 및 고성능 에너지 저장에서 몰리브덴 막대의 새로운 응용 분야를 탐색합니다.

주요 과제는 다음과 같습니다.

비용 관리: 새로운 도핑 및 나노 기술의 비용이 높으며 생산 비용을 줄이기 위해 공정을 최적화해야 합니다.

환경 압력: 엄격한 환경 규제에 의해 폐기물 관리 및 에너지 관리를 개선하고 기술에 대한 투자를 늘려야 합니다.

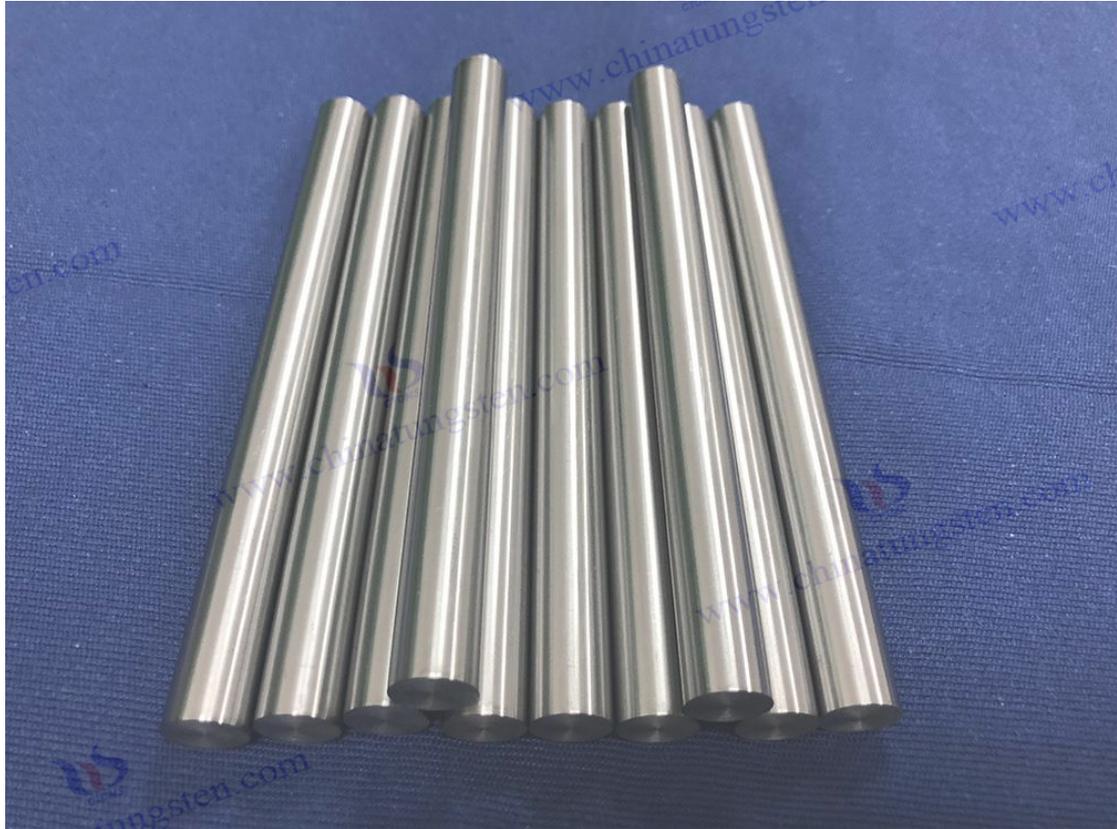
기술적 안정성: 나노 구조 및 스마트 기술의 장기적인 안정성은 추가로 검증되어야 합니다.

시장 경쟁: 몰리브덴 막대는 텅스텐 및 니오븀과 같은 대체 재료와 경쟁해야 하며

#### 저작권 및 법적 책임 선언문

가격 대비 성능 비율을 개선해야 합니다.

기술 발전에는 재료 과학, 인공 지능 및 새로운 에너지 기술의 융합을 통해 혁신을 가속화하기 위한 학제 간 협력이 포함됩니다. 기술 공유 및 표준 조화를 촉진하기 위한 국제 협력 프로젝트 증가.



CTIA GROUP LTD 폴리브텐 막대

## 부록

### A. 용어집

**몰리브덴 막대:** 고순도 몰리브덴 또는 몰리브덴 합금으로 만들어진 막대와 같은 재료로 고온 또는 고성능 응용 분야에 일반적으로 사용됩니다.

**TZM 합금:** 티타늄-지르코늄-몰리브덴 합금으로 고온 강도와 크리프 저항성이 우수합니다.

**Mo-La 합금 :** 몰리브덴 - 란탄 합금으로 고온에서 내산화성과 연성을 향상시킵니다.

**분말 야금:** 금속 분말을 압착 및 소결하여 재료를 준비하는 과정.

**소결:** 금속 분말을 녹는점보다 낮은 온도로 가열하여 고체 물질을 형성하는 과정.

**열간 가공:** 고온에서 금속의 소성 변형 과정.

**비파괴 검사(NDT):** 초음파 검사, X 선 검사와 같이 재료의 구조를 손상시키지 않고 내부 결함을 감지하는 방법입니다.

**산화 방지 코팅 :** 고온 산화 환경에서 몰리브덴 막대의 표면 코팅을 보호하는 데 사용됩니다.

**크리프(Creep):** 재료가 고온과 지속적인 응력 하에서 서서히 변형되는 현상입니다.

**스퍼터링 타겟(Sputtering Target):** PVD(Physical Vapor Deposition)에 의한 박막의 제조에 사용되는 재료입니다.

### B. 참조

- [1] Chinatungsten 온라인. 표준 사양을 가진 몰리브덴 막대 생산.
- [2] GB/T 3462-2017 년. 몰리브덴 막대 및 몰리브덴 막대에 대한 국가 표준.
- [3] 재료 과학 및 공학 저널. 몰리브덴 막대 재활용 및 환경 보호 생산에 관한 연구.
- [4] YS/T 495-2005 년. 몰리브덴 및 몰리브덴 합금에 대한 화학 분석 방법.
- [5] 기가바이트 25466-2010. 비철금속 산업 오염 물질 배출 기준.
- [6] GB/T 4188-2015 년. TZM 몰리브덴 합금 바 표준.
- [7] 재료 과학 및 공학 저널. 몰리브덴 기반 합금 바의 특성 및 제조.
- [8] 몰리브덴 산업 개발 보고서. 중국 비철금속 산업 협회.
- [9] 자연 재료. 에너지 응용 분야를 위한 고성능 몰리브덴 합금.
- [10] 고급 재료. 재료 제조의 AI.
- [11] 재생 에너지. 수소 및 에너지 저장의 몰리브덴.
- [12] 국제 몰리브덴 협회 (IMOA). 몰리브덴 재활용 및 지속 가능성.
- [13] ASTM B387-18. 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 막대, 막대 및 와이어에 대한 표준 사양.
- [14] ISO 6892-1:2019. 금속 재료 - 인장 시험.
- [15] ASTM E8/E8M-21. 금속 재료의 인장 시험을 위한 표준 시험 방법.
- [16] ASTM E9-19. 금속 재료의 압축 시험의 표준 시험 방법.
- [17] ASTM E290-14. 연성을 위한 재료의 굽힘 시험을 위한 표준 시험 방법.
- [18] 국제 몰리브덴 협회 (IMOA). 몰리브덴 테스트 및 분석.
- [19] 국제 몰리브덴 협회(IMOA). 글로벌 몰리브덴 시장 개요.

### 저작권 및 법적 책임 선언문