

TZM 몰리브덴 막대의 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 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 제공업체가 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

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

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

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

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

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

디렉토리

1. TZM 폴리브덴 막대 소개

- 1.1 TZM 폴리브덴 막대의 정의 및 중요성
- 1.2 TZM 폴리브덴 막대의 역사적 발전과 기술 진화
- 1.3 현대 산업 및 과학 연구에서 TZM 폴리브덴 막대의 역할

2. TZM 폴리브덴 막대의 기본 원리

- 2.1 TZM 폴리브덴 막대의 화학 성분 및 합금 특성
- 2.2 TZM 폴리브덴 막대의 물리적 및 기계적 성질
- 2.3 TZM 폴리브덴 막대와 순수 폴리브덴 및 기타 초합금의 비교
- 2.4 고온 환경에서 TZM 폴리브덴 막대의 작동 메커니즘

3. TZM 폴리브덴 막대의 성능

- 3.1 물리적 및 화학적 특성
 - 3.1.1 용점 및 열 안정성
 - 3.1.2 밀도 및 열전도율
 - 3.1.3 산화 및 내식성
 - 3.1.4 기계적 강도 및 인성
- 3.2 열적 및 기계적 성질
 - 3.2.1 열팽창 및 고온 변형
 - 3.2.2 열충격 저항
 - 3.2.3 크리프 성능 및 장기 안정성
 - 3.2.4 피로 성능 및 재활용 능력
- 3.3 미세구조-물성 관계
 - 3.3.1 입자 구조 및 방향
 - 3.3.2 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 역할
 - 3.3.3 표면 형태 및 고온 특성
- 3.4 서비스 수명 및 신뢰성
 - 3.4.1 서비스 수명에 영향을 미치는 요인
 - 3.4.2 고장 모드 분석(예: 파괴, 부식)
 - 3.4.3 신뢰성 테스트 방법
- 3.5 CTIA GROUP LTD TZM 폴리브덴 막대 MSDS

4. 준비 과정 및 기술

- 4.1 원료 선택 및 준비
 - 4.1.1 폴리브덴 분말 정제 및 품질 요구 사항
 - 4.1.2 티타늄, 지르코늄 및 탄소 첨가제의 선택
 - 4.1.3 합금 비율 최적화
 - 4.1.4 원료 테스트 및 품질 관리
- 4.2 야금 공정
 - 4.2.1 분말 혼합 및 압착
 - 4.2.1.1 기계적 합금

저작권 및 법적 책임 선언문

- 4.2.1.2 등압 프레스
- 4.2.2 소결 공정
 - 4.2.2.1 진공 소결
 - 4.2.2.2 분위기 소결 및 온도 제어
- 4.2.3 단조 및 압연
 - 4.2.3.1 열간 및 냉간 단조
 - 4.2.3.2 압연 장비 및 매개 변수
- 4.2.4 압출 및 드로잉
 - 4.2.4.1 고온 압출
 - 4.2.4.2 인발 다이 및 윤활
- 4.3 가공 및 마무리
 - 4.3.1 터닝 및 밀링
 - 4.3.1.1 CNC 가공
 - 4.3.1.2 가공 정밀도 및 표면 거칠기
 - 4.3.2 연삭 및 연마
 - 4.3.2.1 기계적 연마
 - 4.3.2.2 화학 및 전기 연마
 - 4.3.3 열처리 및 어닐링
 - 4.3.3.1 어닐링 및 입자 제어
 - 4.3.3.2 스트레스 해소 기법
 - 4.3.4 표면 처리
 - 4.3.4.1 항산화 코팅 기술
 - 4.3.4.2 표면 침탄 및 질화
- 4.4 장비 및 자동화
 - 4.4.1 핵심생산설비
 - 4.4.1.1 진공 소결로
 - 4.4.1.2 단조 및 압연 장비
 - 4.4.1.3 CNC 머시닝 센터
 - 4.4.2 생산 라인 자동화 및 인텔리전스
 - 4.4.3 클린 룸 및 환경 제어

5. 품질 관리 및 테스트

- 5.1 온라인 탐지 기술
 - 5.1.1 치수 및 기하학적 정확도 테스트
 - 5.1.2 표면 결함 및 균열 검사
- 5.2 성능 테스트
 - 5.2.1 고온 강도 및 경도
 - 5.2.2 내식성 및 내산화성
 - 5.2.3 열팽창 및 전도성
- 5.3 고장 분석 및 개선
 - 5.3.1 균열 및 파괴 분석
 - 5.3.2 고온 피로 및 크리프
 - 5.3.3 품질 개선 조치

6. TBM 폴리브덴 막대의 응용

6.1 고온로 구성 요소

6.1.1 발열체

6.1.2 진공 소결로 응용 프로그램

6.1.3 열처리로 응용 프로그램

6.2 항공 우주 산업

6.2.1 로켓 노즐 응용 프로그램

6.2.2 고온 구조 부품

6.2.3 우주선 열 보호

6.3 원자력 산업

6.3.1 원자로 구성 요소

6.3.2 핵융합 장치

6.3.3 방사성 물질 취급

6.4 전자 및 반도체 산업

6.4.1 이온 주입 장비

6.4.2 박막 증착

6.4.3 전자 장치 제작

6.5 기타 산업 및 연구 분야

6.5.1 고온 실험 장비

6.5.2 고온 금형 및 도구

6.5.3 적층 제조 응용 프로그램

7. 기술적 과제 및 향후 발전

7.1 기술적 과제

7.1.1 고온 내산화성 강화

7.1.2 복합 형상 및 스케일업 제조

7.1.3 비용 관리

7.2 신소재 및 기술

7.2.1 수정된 합금 디자인

7.2.2 나노 구조 및 복합 재료

7.2.3 경쟁 고온 재료

7.3 지능적이고 친환경적인 제조

7.3.1 스마트 생산 모니터링

7.3.2 에너지 절약 및 친환경 기술

7.3.3 효율적인 폐기물 재활용

7.4 향후의 동향

7.4.1 성능 최적화

7.4.2 산업 간 응용 프로그램

7.4.3 극한 환경 응용 프로그램

8. TBM 폴리브덴 막대 표준 및 사양

8.1 국가 표준 (GB)

8.1.1 폴리브덴 및 합금에 대한 GB/T 표준

저작권 및 법적 책임 선언문

- 8.1.2 초합금 시험 및 평가 기준
- 8.1.3 공정 및 장비 실행 표준
- 8.2 국제 표준 (ISO)
 - 8.2.1 ISO 6892 - 금속 인장 시험
 - 8.2.2 ISO 14001 - 환경경영시스템
 - 8.2.3 ISO 3452 - 비파괴 검사
- 8.3 미국 표준 (US)
 - 8.3.1 ASTM B387 - 몰리브덴 합금 바
 - 8.3.2 ASTM E384 - 미세경도 시험
 - 8.3.3 ASME - 고온 장비 표준
- 8.4 기타 국제 및 산업 표준
 - 8.4.1 JIS G 0571 - 몰리브덴 테스트
 - 8.4.2 DIN EN 10228 - 비파괴 검사
 - 8.4.3 GOST 17431 - 몰리브덴 합금
- 8.5 표준 구현 및 인증
 - 8.5.1 생산 및 테스트에서 표준 적용
 - 8.5.2 품질경영시스템 인증(예: ISO 9001)
 - 8.5.3 수출 규정 준수 및 국제 인증

부록

- A. 용어집
- B. 참조

일. 소개

1.1 TZM 몰리브덴 막대의 정의 및 중요성

TZM 몰리브덴 막대는 몰리브덴 (몰리브덴)을 매트릭스로 만들고 티타늄 (Ti), 지르코늄 (Zr) 및 탄소 (C) 및 기타 원소를 첨가 한 고성능 합금 재료이며 그 이름은 "티타늄-지르코늄-몰리브덴"의 약어에서 유래했습니다. TZM 몰리브덴 막대는 우수한 고온 강도, 우수한 크리프 저항 및 우수한 내식성으로 인해 항공 우주, 원자력 산업, 고온로 제조, 반도체 산업 및 기타 첨단 기술 분야에서 대체할 수 없는 중요한 위치를 차지하고 있습니다. 순수 몰리브덴과 비교하여 TZM 합금은 미량 원소의 도핑을 통해 기계적 특성, 특히 고온 환경에서의 안정성과 내구성을 크게 향상시켜 극한의 작업 조건에서 이상적인 재료 선택입니다.

TZM 몰리브덴 막대의 화학 조성은 일반적으로 약 0.5% 티타늄, 0.08% 지르코늄 및 0.01-0.04% 탄소를 구성되며 나머지는 몰리브덴입니다. 이 특정 합금 비율은 TZM 몰리브덴 막대가 고온(약 1400°C, 순수 몰리브덴의 1000°C 보다 훨씬 높음)에서 더 높은 재결정 온도를 가질 수 있도록 하여 극한 환경에서 구조적 무결성을 유지할 수 있습니다. 또한 TZM 몰리브덴 막대의 내산화성 및 열전도율은 많은 기존 초합금보다 우수하여 높은 열 하중과 기계적 강도가 필요한 시나리오에서 우수합니다.

산업 응용 분야에서 TZM 몰리브덴 막대는 고온로의 발열체, 금형 재료, 로켓 노즐 및 터빈 블레이드와 같은 항공 우주 부품, 원자로의 구조 부품 및 반도체 장비 부품의 제조에 널리 사용됩니다. 그 중요성은 물리적 특성뿐만 아니라 현대 산업에서 고성능 재료에 대한 증가하는 수요를 충족할 수 있는 능력에 있습니다. 예를 들어, 항공 우주 부문에서 TZM 몰리브덴 막대는 높은 용점 (약 2623 ° C)과 낮은 열팽창 계수로 인해 고온 추진 시스템 구성 요소의 제조에 선택되는 재료입니다. 원자력 산업에서 TZM 몰리브덴 막대는 중성자 방사선에 대한 내성과 낮은 열 중성자 흡수 단면으로 인해 원자로의 핵심 구성 요소 제조에 사용됩니다.

또한 TZM 몰리브덴 막대는 과학 연구 분야에서도 중요한 역할을 합니다. 예를 들어, 고온 재료 테스트, 플라즈마 물리학 연구 및 첨단 제조 기술 개발에서 TZM 몰리브덴 막대는 안정적인 특성으로 인해 실험 장비의 핵심 구성 요소로 사용됩니다. 이 연구는 TZM 몰리브덴 막대의 생산 공정 및 품질 관리 기술이 최근 몇 년 동안 지속적으로 개선되어 세계 시장에서의 광범위한 적용을 촉진했음을 보여줍니다. 항공 우주에서 에너지 산업에 이르기까지 TZM 몰리브덴 막대는 현대 하이테크 산업에서 없어서는 안될 부분이 되었으며 기술 발전 및 응용 분야의 확장에 따라 그 중요성이 계속 증가하고 있습니다.

1.2 TZM 몰리브덴 막대의 역사적 발전과 기술 발전

TZM 몰리브덴 막대의 개발은 항공 우주 및 원자력 산업의 급속한 발전으로 고온 재료에 대한 수요가 급격히 증가한 20 세기 중반으로 거슬러 올라갑니다. 순수 몰리브덴은 용점이 높고 전기 및 열 전도성이 우수하지만 고온 강도, 크리프 및 재결정 및 취성이 부족하여 극한 환경에서의 적용이 제한됩니다. 이러한 단점을 극복하기 위해 재료 과학자들은 몰리브덴의 특성을 개선하기 위해 합금을 탐구하기

저작권 및 법적 책임 선언문

시작했습니다.

20 세기 50 년대 미국의 과학 연구 기관과 산업계는 TZM 합금 개발에 앞장섰습니다. 몰리브덴 매트릭스에 미량의 티타늄, 지르코늄 및 탄소를 첨가함으로써 TZM 합금은 고온 강도와 크리프 저항을 크게 향상시킵니다. 티타늄과 지르코늄을 첨가하면 용액 강화 및 2 상 강화 메커니즘을 통해 몰리브덴의 결정 구조가 향상되는 반면, 탄소를 첨가하면 탄화물 입자의 형성을 통해 합금의 강도와 내마모성이 더욱 향상됩니다. 1950 년대 말에 TZM 합금은 예를 들어 로켓 엔진 노즐 및 고온 구조 부품 제조와 같은 항공 우주 부문에서 사용되기 시작했습니다.

20 세기의 60 년대에는 분말 야금 기술의 발전으로 TZM 몰리브덴 막대의 생산 공정이 크게 개선되었습니다. 분말 야금 방법은 원료 분말의 입자 크기와 혼합 비율을 정확하게 제어하여 TZM 합금의 미세 구조를 보다 균일하게 만들고 성능을 보다 안정적으로 만듭니다. 이 기간 동안 TZM 몰리브덴 막대는 고온로 제조 및 원자력 산업에서 널리 사용되기 시작했습니다. 예를 들어, 원자로의 제어봉 및 구조 부품은 고온 및 높은 방사선 환경에 대처하기 위해 TZM 합금을 사용하기 시작했습니다.

70 년대부터 20 세기의 80 년대까지, 반도체 산업의 부상과 함께, TZM 몰리브덴 막대의 응용 분야는 더욱 확대되었습니다. 열전도율이 높고 열팽창 계수가 낮기 때문에 TZM 몰리브덴 막대는 반도체 장치의 고온 설비 및 스퍼터링 타겟 제조에 사용됩니다. 같은 기간 동안 항공 우주 부문의 수요는 예를 들어 열처리 공정 및 표면 처리 기술을 개선하여 내산화성을 향상시킴으로써 TZM 몰리브덴 막대의 최적화를 더욱 주도했습니다.

21 세기에 TZM 몰리브덴 막대의 생산 및 응용 기술은 새로운 단계에 접어들었습니다. 연구에 따르면 현대 TZM 몰리브덴 막대의 생산 공정은 높은 수준의 자동화 및 정밀도를 달성했습니다. 예를 들어, 고급 플라즈마 소결 기술과 진공 열처리 공정을 통해 TZM 몰리브덴 막대의 입자 크기와 성능 일관성이 크게 향상되었습니다. 또한 나노 기술의 도입으로 TZM 합금의 미세 구조를 더욱 최적화하여 극한 환경에서의 내구성을 향상시켰습니다.

최근 몇 년 동안 적층 제조(3D 프린팅) 기술의 발전으로 TZM 몰리브덴 막대의 응용 잠재력이 더욱 탐구되었습니다. 연구원들은 레이저 선택적 용융(SLM)과 같은 기술을 통해 복잡한 TZM 합금 부품의 직접 제작을 모색하기 시작했으며, 이는 생산 비용을 절감했을 뿐만 아니라 항공 우주 및 의료 기기에서 TZM 몰리브덴 막대의 응용 전망을 확장했습니다. 예를 들어, 3D 프린팅 TZM 합금 부품은 복잡한 형상의 로켓 노즐 또는 고온 금형을 만드는 데 사용할 수 있습니다.

1.3 현대 산업 및 과학 연구에서 TZM 몰리브덴 막대의 역할

현대 산업 및 과학 연구에서 TZM 몰리브덴 막대는 고유한 특성 조합으로 인해 여러 역할을 합니다. 우선, 항공 우주 분야에서 TZM 몰리브덴 막대는 로켓 엔진 노즐, 터빈 블레이드 및 고온 구조 부품의 제조에 널리 사용됩니다. 예를 들어, SpaceX 와

저작권 및 법적 책임 선언문

같은 회사는 연소실과 노즐의 고온 및 고압 환경에 대처하기 위해 로켓 엔진 설계에 TZM 합금을 채택했습니다. Chinatungsten Online의 기술 데이터에 따르면 이러한 응용 분야에서 TZM 몰리브덴 막대의 우수한 성능은 높은 용점과 낮은 열팽창 계수로 인해 극도의 열 부하에서 구조적 안정성을 유지할 수 있습니다.

원자력 산업에서 TZM 몰리브덴 막대는 우수한 방사선 저항과 고온 안정성으로 인해 원자로의 구조 부품 및 제어봉 제조에 사용됩니다. 원자로 내부의 고온 및 강렬한 방사선 환경은 재료에 대한 요구가 매우 높으며 TZM 몰리브덴 막대의 낮은 열중성자 흡수 단면적 및 높은 강도로 인해 이상적인 선택입니다. 또한 TZM 몰리브덴 막대는 극한의 열과 입자 충격에 대처하기 위해 핵융합로용 플라즈마 외장재(PFM) 제조에 사용됩니다.

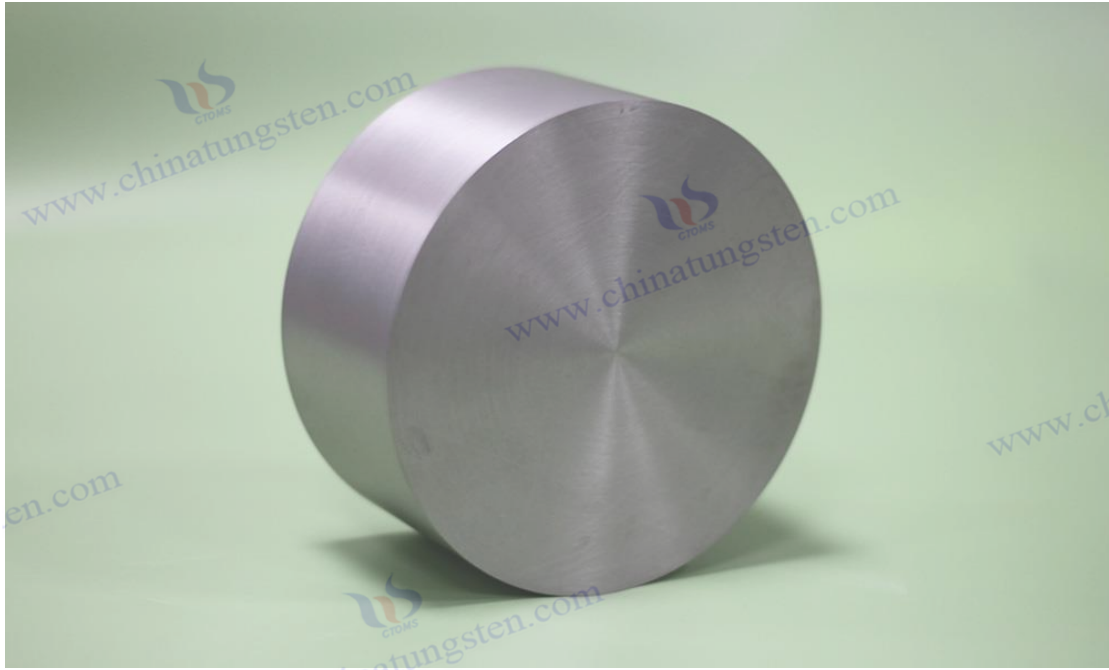
고온로 제조 분야에서 TZM 몰리브덴 막대는 발열체, 지지대 및 도가니 재료로 널리 사용됩니다. 높은 재결정 온도와 우수한 크리프 저항으로 인해 TZM 몰리브덴 막대는 1600°C 이상의 고온 환경에서 장기간 안정적으로 작동할 수 있습니다. 예를 들어, 진공로 및 대기 보호로에서 TZM 몰리브덴 막대는 고온에서 장비의 신뢰성과 내구성을 보장하기 위해 발열체 및 열전대 보호 슬리브의 제조에 사용됩니다.

반도체 산업에서 TZM 몰리브덴 막대는 높은 열전도율과 낮은 열팽창 계수로 인해 스퍼터링 타겟 및 고온 설비로 사용됩니다. 예를 들어, PVD(Physical Vapor Deposition) 공정에서 TZM 몰리브덴 막대는 고성능 박막을 증착하기 위한 타겟으로 사용됩니다. 또한 TZM 몰리브덴 막대는 반도체 제조의 고정밀 및 안정성 요구 사항을 충족하기 위해 이온 주입 장치의 핵심 구성 요소 제조에도 사용됩니다.

과학 연구 분야에서 TZM 몰리브덴 막대는 고온 재료 테스트, 플라즈마 물리학 연구 및 첨단 제조 기술 개발에 널리 사용됩니다. 예를 들어, 고온 재료 물성시험에서 TZM 몰리브덴 막대는 극한의 작동 조건에서 재료 특성을 시뮬레이션하기 위해 시편 그립 및 발열체로 사용됩니다. 플라즈마 물리학 연구에서 TZM 몰리브덴 막대는 우수한 플라즈마 침식 저항으로 인해 실험 설정의 구조 재료로 사용됩니다. 또한 TZM 몰리브덴 막대는 적층 제조 분야에서도 큰 잠재력을 보여주고 있으며 연구원들은 항공 우주 및 의료 분야의 특별한 요구 사항을 충족하기 위해 복잡한 모양의 TZM 합금 부품을 제조하기 위해 3D 프린팅 기술의 사용을 모색하고 있습니다.

Chinatungsten Online의 WeChat 공식 계정 "Chinatungsten Online"은 TZM 몰리브덴 막대에 대한 세계 시장 수요가 최근 몇 년 동안 특히 아시아 태평양 지역에서 계속 증가하고 있다고 보고했습니다. 항공 우주 및 원자력 산업 분야에서 중국, 인도 및 기타 국가의 급속한 발전으로 TZM 몰리브덴 막대의 적용 전망이 더 넓습니다. 앞으로 신소재 기술의 발전으로 TZM 몰리브덴 막대는 재생 에너지 장비(예: 고온 태양열 집열기) 및 생물 의학 분야(예: 고온 살균 장비)와 같은 더 많은 분야에서 중요한 역할을 할 것으로 예상됩니다.

저작권 및 법적 책임 선언문



CTIA GROUP LTD TZM 몰리브덴 막대

이. TZM 몰리브덴 막대의 기본 원리

2.1 TZM 몰리브덴 막대의 화학 성분 및 합금 특성

TZM 몰리브덴 막대의 화학 조성은 일반적으로 약 99.38-99.5% 몰리브덴, 0.4-0.55% 티타늄, 0.06-0.12% 지르코늄 및 0.01-0.04% 탄소를 포함합니다. 이 정밀한 합금 비율은 용액 강화, 석출 강화 및 2 상 강화와 같은 메커니즘을 통해 몰리브덴의 특성을 크게 향상시켜 고온, 응력이 높고 부식성이 높은 환경에서 우수한 안정성을 제공합니다.

화학 성분의 세부 사항 및 역할

몰리브덴은 높은 용점(2623°C), 우수한 열전도율(약 $139\text{W/m}\cdot\text{K}$) 및 낮은 열팽창 계수(약 $5.3\times 10^{-6}/\text{K}$)를 가진 매트릭스 소재로 고온 응용 분야에 이상적입니다. 그러나 순수한 몰리브덴은 고온에서 강도가 낮고 크리프 및 재결정화 취성이 발생하기 쉬워 극한 환경에서의 적용이 제한됩니다. TZM 합금은 미량 원소를 추가하여 이러한 단점을 극복합니다.

티타늄(Ti): 티타늄을 첨가하면 용액 강화 메커니즘을 통해 몰리브덴의 결정 구조를 강화합니다. 몰리브덴 격자에 있는 티타늄 원자의 고용체는 격자 변형을 일으키고 전위 이동을 방해하여 재료의 고온 강도와 크리프 저항을 향상시킵니다. 또한 티타늄은 탄소와 반응하여 티타늄 카바이드(TiC) 입자를 형성하며, 이는 석출 강화에 의해 더욱 강화되어 합금의 경도와 내마모성을 더욱 향상시킵니다.

지르코늄(Zr): 지르코늄은 티타늄과 유사하게 작용하여 용액 강화를 통해 몰리브덴의 강도를 증가시킵니다. 지르코늄 원자는 또한 탄소와 반응하여 지르코늄 카바이드(ZrC) 입자를 형성하며, 이 입자는 몰리브덴 매트릭스에 균일하게 분포되어 재료의 크리프 저항과 고온 안정성을 향상시킵니다. 지르코늄을 첨가하면 TZM 합금의 내산화성이

저작권 및 법적 책임 선언문

향상되어 고온 산화 환경에서 내구성이 향상됩니다.

탄소(C): 탄소의 첨가는 TZM 합금의 성능 향상의 핵심입니다. 탄소와 티타늄 및 지르코늄의 반응에 의해 형성된 탄화물 입자(예: TiC 및 ZrC)는 석출 강화 메커니즘을 통해 합금의 강도와 경도를 크게 향상시킵니다. 고온에서 이러한 입자는 입자 성장을 효과적으로 방지하고 재료의 미세한 입자 구조를 유지하여 재결정화 온도와 크리프 저항을 향상시킬 수 있습니다.

미시구조와 성능의 관계

TZM 몰리브덴 막대의 미세 구조는 그 특성에 중요한 영향을 미칩니다. 분말 야금 공정으로 제조된 TZM 합금은 미세한 입자 크기(일반적으로 3.0-5.0 마이크론)를 가지고 있어 재료의 강도와 인성을 향상시키는 데 도움이 됩니다. 분말 야금은 원료 분말의 입자 크기와 혼합 비율을 정확하게 제어하여 몰리브덴 매트릭스에서 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 균일한 분포를 보장합니다. 어닐링 및 노화와 같은 열처리 공정은 TZM 몰리브덴 막대의 미세 구조를 더욱 최적화합니다. 예를 들어, 고온 어닐링은 가공 중 잔류 응력을 제거할 수 있는 반면, 노화는 탄화물 입자의 침전을 촉진하여 재료의 기계적 특성을 향상시킵니다.

부식 및 산화 저항

TZM 몰리브덴 막대는 다양한 화학 환경, 특히 진공 또는 불활성 가스와 같은 고온 비산화 분위기에서 우수한 내식성을 나타냅니다. 내식성은 몰리브덴 매트릭스의 화학적 안정성과 탄화물 입자의 보호 효과 때문입니다. 고온 산화 환경에서는 TZM 몰리브덴 막대의 표면에 조밀한 산화물 보호층(예: MoO₂)이 형성될 수 있으며, 이는 추가 산화 반응을 늦출 수 있습니다. 대조적으로, 순수한 몰리브덴은 고온에서 휘발성 삼산화몰리브덴(MoO₃)이 형성되기 쉬워 재료 손실이 급격히 발생합니다. Chinatungsten Online의 기술 데이터에 따르면 TZM 몰리브덴 막대는 1000 °C 이하의 산화 환경에서 안정적으로 작동할 수 있으며 더 높은 온도에서는 서비스 수명을 연장하기 위해 산화 방지 코팅(예: 규화물 코팅)이 필요합니다.

합금의 특성에 대한 생산 공정의 영향

TZM 몰리브덴 막대의 생산은 일반적으로 공급 원료 혼합, 압착, 소결 및 열처리와 같은 단계를 포함하는 분말 야금 공정을 사용하여 이루어집니다. Chinatungsten Online의 데이터에 따르면, 현대 생산 공정은 고급 플라즈마 소결 기술 및 진공 열처리 공정을 통해 TZM 몰리브덴 막대의 성능 일관성을 크게 향상시켰습니다. 예를 들어, 플라즈마 소결 기술은 저온에서 고밀도 소결을 가능하게 하여 입자 성장을 줄여 재료의 미세한 입자 구조를 유지합니다. 또한 화학 기상 증착 코팅과 같은 표면 처리 기술은 TZM 몰리브덴 막대의 산화 및 내마모성을 더욱 향상시켜 광범위한 산업 시나리오에 적합합니다.

화학 조성에 대한 적용 시나리오 매칭

TZM 몰리브덴 막대의 화학 성분은 항공 우주, 원자력 산업, 반도체 제조 및 기타 분야에서 널리 사용됩니다. 예를 들어, 항공 우주 부문에서 TZM 몰리브덴 막대의 고온 강도와 크리프 저항은 로켓 노즐 및 터빈 블레이드에 이상적인 재료입니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

원자력 산업에서 TZM 폴리브덴 막대의 낮은 열 중성자 흡수 단면적 및 방사선 저항으로 인해 원자로의 구조 부품 제조에 사용하기에 적합합니다. 반도체 산업에서 TZM 폴리브덴 막대의 낮은 열팽창 계수와 높은 열전도율로 인해 스퍼터링 타겟 및 고온 설비에 선택되는 재료입니다.

2.2 TZM 폴리브덴 막대의 물리적 및 기계적 성질

TZM 폴리브덴 막대의 물리적 및 기계적 특성은 고온 및 고응력 환경에서 광범위하게 적용되는 기초입니다. 다음은 고온 강도, 크리프 저항, 열전도율, 열팽창 계수, 경도, 내마모성 및 내식성을 포함하는 주요 특성에 대한 자세한 분석입니다.

고온 강도

고온에서 TZM 폴리브덴 막대의 인장 강도 및 항복 강도는 순수 폴리브덴보다 훨씬 높습니다. 예를 들어, 1200°C 에서 TZM 폴리브덴 막대의 인장 강도는 400-500MPa 에 도달할 수 있는 반면 순수 폴리브덴은 200-300MPa 에 불과합니다. 이 우수한 고온 강도는 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 강화 때문입니다. 티타늄 및 지르코늄은 용액 강화를 통해 폴리브덴 매트릭스의 격자 강도를 향상시키는 반면, TiC 및 ZrC 와 같은 탄화물 입자의 침전은 전위의 이동을 더욱 방해하여 재료의 변형에 대한 내성을 향상시킵니다. 고온에서 강도가 증가하면 TZM 폴리브덴 막대는 항공 우주 (예: 로켓 노즐) 및 고온 용광로 제조에서 상당한 이점을 제공합니다.

크리프 저항

크리프는 장기간 응력을 받는 고온 재료의 주요 파괴 모드 중 하나입니다. TZM 폴리브덴 막대의 크리프 저항은 순수한 폴리브덴보다 훨씬 우수합니다. 1400°C 및 20MPa 의 응력 조건에서 TZM 폴리브덴 막대의 크리프 속도는 순수 폴리브덴의 1/10 에 불과합니다. 이 우수한 크리프 저항은 탄화물 입자의 피닝 작용 때문이며, 이는 입자 경계 미끄러짐 및 전위 상승을 효과적으로 방지합니다. 또한 TZM 폴리브덴 막대의 미세한 입자 구조는 크리프 저항을 더욱 향상시켜 고온 용광로 및 원자로와 같이 장기간 안정적인 작동이 필요한 시나리오에서 탁월합니다.

높은 재결정화 온도

TZM 폴리브덴 막대의 재결정 온도는 약 1400°C로 순수 폴리브덴의 1000°C보다 훨씬 높습니다. 이는 TZM 폴리브덴 막대가 고온에서 미세한 입자 구조를 유지할 수 있어 입자 성장 및 성능 저하를 방지할 수 있음을 의미합니다. 재결정 온도의 증가는 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 시너지 효과 때문입니다. 티타늄과 지르코늄의 용액 강화는 결정 격자의 안정성을 향상시키는 반면, 탄화물 입자의 침전은 결정립 경계의 이동을 방지합니다. 이 성능을 통해 TZM 폴리브덴 막대는 1600°C 이상의 고온 환경에서 장기간 안정적으로 작동할 수 있으므로 고온 용광로 및 항공 우주 부품에 적합합니다.

열전도율과 열팽창 계수

TZM 폴리브덴 막대는 열전도율(약 139W/m·K)이 우수하고 열팽창 계수(약 $5.3 \times 10^{-6}/K$)가 낮습니다. 열전도율이 높기 때문에 열을 빠르게 발산하고 국부 과열로 인한 성능 저하를 방지할 수 있어 반도체 장치의 고온 설비 및 스퍼터링 대상에

저작권 및 법적 책임 선언문

사용하기에 특히 적합합니다. 낮은 열팽창 계수는 고온에서 재료의 치수 안정성을 보장하여 열 응력으로 인한 균열 및 변형을 줄입니다. 이러한 특성의 조합은 TZM 몰리브덴 막대가 진공로 및 플라즈마 물리학 실험 설정과 같이 높은 열 부하와 치수 정확도가 필요한 응용 분야에서 이점을 제공합니다.

경도와 마모 저항

TZM 몰리브덴 막대의 경도 (비커스 경도 약. 250-300 HV)는 탄화물 입자의 강화 효과 덕분에 순수 몰리브덴 (약 200 HV)보다 높습니다. 티타늄 카바이드 및 지르코늄 카바이드 입자의 균일한 분포는 재료의 표면 경도와 내마모성을 향상시켜 금형, 절삭 공구 및 내마모성 부품 제조에 사용하기에 적합합니다. 예를 들어, 고온 금형 제조에서 TZM 몰리브덴 막대는 높은 응력과 마모를 견딜 수 있어 금형의 수명을 연장할 수 있습니다.

내식성

TZM 몰리브덴 막대는 다양한 화학 환경, 특히 진공, 아르곤 또는 질소와 같은 고온 비산화 분위기에서 우수한 내식성을 나타냅니다. 내식성은 몰리브덴 매트릭스의 화학적 안정성과 탄화물 입자의 보호 효과 때문입니다. 고온 산화 환경에서 TZM 몰리브덴 막대는 고밀도 MoO_2 보호층을 형성하여 산화 반응을 늦출 수 있습니다. 연구에 따르면 TZM 몰리브덴 막대는 1000°C 이하의 산화 환경에서 안정적으로 작동할 수 있으며 더 높은 온도에서는 내구성을 더욱 향상시키기 위해 산화 방지 코팅이 필요합니다.

다른 물리적 특성

밀도 : TZM 몰리브덴 막대의 밀도는 약 10.2g/cm^3 로 텅스텐 합금 (약 19.3g/cm^3)보다 낮아 항공 우주와 같은 무게에 민감한 응용 분야에서 이점을 제공합니다.

전도성: TZM 몰리브덴 막대는 전도성이 우수하고(약 18% IACS) 고온 전극 및 전도성 부품 제조에 적합합니다.

방사선 저항: 원자력 산업에서 TZM 몰리브덴 막대는 열 중성자 흡수 단면적이 낮고 강도가 높기 때문에 고에너지 중성자 및 감마선 조사를 견딜 수 있습니다.

2.3 순수한 몰리브덴 및 다른 superalloys와의 비교

순수한 몰리브덴 및 기타 초합금 (예 : 텅스텐 합금, 니켈 기반 합금, 세라믹 재료)과 비교할 때 TZM 몰리브덴 막대는 고유 한 성능 이점이 있습니다. 다음은 고온 강도, 크리프 저항, 내산화성, 가공성 및 적용 시나리오와 같은 측면을 다루는 특성에 대한 자세한 비교입니다.

순수 몰리브덴과의 비교

순수 몰리브덴 (텅스텐)은 용점이 높고 (2623°C), 전기 및 열전도율이 우수하며 열팽창 계수가 낮지만 고온 강도가 낮고 크리프 및 재결정 취성이 발생하기 쉽습니다. TZM 몰리브덴 막대는 티타늄, 지르코늄 및 탄소를 첨가하여 고온 성능을 크게 향상시킵니다.

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

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

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

- High Melting Point:** Suitable for extreme high-temperature environments.
- Excellent High-Temperature Strength:** Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.
- Good Thermal Stability and Creep Resistance:** Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.
- Superior Corrosion and Oxidation Resistance:** Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.
- Excellent Machinability:** Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

- High-Temperature Furnace Components:** Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.
- Aerospace Industry:** Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.
- Nuclear Industry:** Used in reactor support structures and control rod guide systems.
- Electronics Industry:** Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.
- Mold Manufacturing:** Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

고온 강도 : 1200 °C 에서 TZM 몰리브덴 막대의 인장 강도는 400-500 MPa 이고 순수한 몰리브덴은 200-300 MPa 에 불과합니다. TZM 의 용액 강화 및 석출 강화 메커니즘은 고온에서 변형에 더 강합니다.

크리프 저항: TZM 몰리브덴 막대의 크리프 속도는 순수 몰리브덴의 크리프 속도의 약 1/10 으로 장기 고온 응력 환경에 적합합니다.

재결정 온도: TZM(1400°C)의 재결정 온도는 순수 몰리브덴(1000°C)보다 훨씬 높기 때문에 더 높은 온도에서 구조적으로 안정적입니다.

내산화성: TZM 몰리브덴 막대는 800°C 이하에서 조밀한 산화물 보호층을 형성할 수 있는 반면 순수 몰리브덴은 휘발성 MoO₃가 발생하기 쉬워 빠른 손실이 발생합니다.

가공성: TZM 몰리브덴 막대의 가공성은 순수 몰리브덴보다 약간 낮지만 열처리 공정을 최적화하여 복잡한 형상을 처리할 수 있습니다.

텅스텐 합금과의 비교

텅스텐 합금 은 더 높은 융점 (3422 °C)과 밀도 (19.3 g / cm³)를 갖지만, 가공이 어렵고 비용이 많이 든다. TZM 몰리브덴 막대의 비교 장점은 다음과 같습니다.

밀도 : TZM 몰리브덴 막대 (10.2g / cm³)의 밀도는 텅스텐 합금의 밀도보다 훨씬 낮아 항공 우주와 같은 중량에 민감한 응용 분야에 적합합니다.

가공성 : TZM 몰리브덴 막대의 연성 및 가공성은 텅스텐 합금보다 우수하여 복잡한 형상의 부품을 쉽게 제조 할 수 있습니다.

내산화성 : TZM 몰리브덴 막대는 고온 산화 환경, 특히 1000 °C 이하에서 텅스텐 합금보다 내구성이 뛰어납니다.

비용 : TZM 몰리브덴 막대는 텅스텐 합금보다 생산 비용이 저렴하여 많은 응용 분야에서 더 경제적입니다.

니켈 기반 합금과의 비교

니켈계 합금(예: 인코넬 718)은 고온에서 강도와 내식성이 우수하지만 융점(약 1350°C)은 TZM 몰리브덴 막대보다 훨씬 낮고 1600°C 이상에서 심한 연화가 발생합니다. TZM 몰리브덴 막대의 비교 장점은 다음과 같습니다.

고온 안정성: TZM 몰리브덴 막대는 여전히 1600°C 이상에서 구조적 안정성을 유지할 수 있는 반면 니켈 기반 합금은 이 온도에서 실패했습니다.

열팽창 계수: TZM 의 열팽창 계수($5.3 \times 10^{-6}/K$)는 니켈 기반 합금(약 $13 \times 10^{-6}/K$)보다 낮아 치수 안정성이 필요한 응용 분야에 더 적합합니다.

방사선 저항: TZM 몰리브덴 막대의 낮은 열 중성자 흡수 단면적은 원자력 산업에서 니켈 기반 합금보다 우수합니다.

세라믹 재료와의 비교

지르코니아와 같은 세라믹 재료는 내열성이 매우 높지만 부서지기 쉽고 복잡한 모양으로 가공하기 어렵습니다. TZM 몰리브덴 막대의 비교 장점은 다음과 같습니다.

인성: TZM 몰리브덴 막대는 금속의 인성과 고온의 안정성을 모두 가지고 있어 높은 강도와 인성이 필요한 시나리오에 적합합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

가공성: TZM 몰리브덴 막대는 복잡한 구성 요소를 만들기 위해 단조, 압연 및 가공할 수 있는 반면 세라믹 재료는 종종 값비싼 소결 공정이 필요합니다.

열전도율: TZM($139 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)의 열전도율은 세라믹 재료(약 $2\text{-}30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)보다 훨씬 높기 때문에 빠른 방열이 필요한 응용 분야에 적합합니다.

포괄적인 응용 분야 비교

TZM 몰리브덴 막대는 항공 우주, 원자력 산업, 반도체 제조 및 고온로 제조에 널리 사용됩니다. 순수한 몰리브덴과 비교하여 고온 성능이 더 좋습니다. 텅스텐 합금과 비교하여, 그것은 무게가 가볍고 비용이 저렴합니다. 니켈 기반 합금과 비교하여 더 강한 고온 안정성과 방사선 저항을 가지고 있습니다. 세라믹 재료에 비해 인성과 가공성이 우수합니다. 이러한 특성의 조합으로 인해 TZM 몰리브덴 막대는 광범위한 분야의 고온 응용 분야에 이상적입니다.

2.4 고온 환경에서 작동 메커니즘

고온 환경에서 TZM 몰리브덴 막대의 작동 메커니즘은 용액 강화, 석출 강화, 항산화 메커니즘, 열전도율 및 열팽창 메커니즘, 방사선 저항 메커니즘과 같은 많은 측면을 포함하는 우수한 성능의 핵심입니다. 다음은 이러한 메커니즘에 대한 자세한 분석입니다.

솔루션 강화

몰리브덴 결정에 있는 티타늄 및 지르코늄 원자의 고용체는 격자 변형을 통해 전위의 이동을 방해하여 재료의 고온 강도를 향상시킵니다. 이 메커니즘은 전위의 이동이 고온에서 크리프의 주요 원인인 고온에서 특히 효과적입니다. 티타늄과 지르코늄의 원자 반경은 몰리브덴과 약간 다르기 때문에 결정 격자가 약간 변형되어 전위 이동에 대한 저항이 증가하여 TZM 몰리브덴 막대의 인장 강도와 크리프 저항이 향상됩니다.

강수량 향상

탄소와 티타늄 및 지르코늄의 반응에 의해 형성된 탄화물 입자(예: TiC 및 ZrC)는 몰리브덴 매트릭스에 균일하게 분포되어 있으며, 이러한 입자는 전위 및 결정립계를 고정하여 재료의 강도와 크리프 저항을 향상시킵니다. 고온에서 탄화물 입자는 입자 성장을 효과적으로 방지하고 재료의 미세한 입자 구조를 유지하여 재결정 온도를 높일 수 있습니다. 연구에 따르면 TZM 몰리브덴 막대의 탄화물 입자 크기는 일반적으로 $0.1\text{-}1 \text{ }\mu\text{m}$ 이며 분포의 균일 성이 성능에 중요합니다.

항산화 메커니즘

고온 산화 환경에서는 TZM 몰리브덴 막대의 표면에 MoO_2 의 조밀한 보호 층이 형성되어 추가 산화 반응을 늦춥니다. 대조적으로, 순수한 몰리브덴은 휘발성 MoO_3 가 형성되기 쉬워 재료 손실이 급격히 발생합니다. TZM 몰리브덴 막대의 내산화성은 조밀한 산화물 층의 형성을 촉진하는 티타늄과 지르코늄의 첨가로 인한 것입니다. 1000°C 이하에서 TZM 몰리브덴 막대는 산화 환경에서 안정적으로 작동할 수 있으며 더 높은 온도에서는 서비스 수명을 연장하기 위해 몰리브덴 규화물 또는 알루미늄 코팅과 같은 산화 방지 코팅이 필요합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

열전도율 및 열팽창 메커니즘

TZM 몰리브덴 막대(139W/m·K)의 높은 열전도율로 인해 열을 빠르게 발산하고 국부 과열로 인한 성능 저하를 방지할 수 있습니다. 이 성능은 반도체 장비 및 고온 용광로 제조에서 특히 중요합니다. TZM의 낮은 열팽창 계수($5.3 \times 10^{-6}/K$)는 고온에서 재료의 치수 안정성을 보장하여 열 응력으로 인한 균열 및 변형을 줄입니다. 예를 들어, 진공로에서 TZM 몰리브덴 막대는 구조적으로 손상되지 않은 상태로 유지되면서 빠른 가열 및 냉각 주기를 견디는 발열체로 사용됩니다.

방사선 경화 메커니즘

원자력 산업에서 TZM 몰리브덴 막대는 열 중성자 흡수 단면적이 낮고 강도가 높기 때문에 고 에너지 중성자 및 감마선 조사에 내성이 있습니다. 이 특성은 원자로 및 핵융합 장치에 이상적인 재료입니다. 예를 들어, 핵융합로의 플라즈마 외장 재료(PFM)에서 TZM 몰리브덴 막대는 구조적 안정성을 유지하면서 고에너지 입자의 충격을 견딜 수 있습니다. 또한 TZM의 방사선 저항은 미세한 입자 구조와 탄화물 입자의 강화 효과로 인해 방사선 유도 결정 결함을 줄이기 때문입니다.

고온 환경에서 포괄적인 성능 발휘

고온 환경에서 TZM 몰리브덴 막대의 포괄적인 성능은 여러 강화 메커니즘의 시너지 효과의 이점을 누릴 수 있습니다. 용액 강화 및 석출 강화는 고온 강도와 크리프 저항을 향상시키고, 항산화 메커니즘은 산화 환경에서 재료의 수명을 연장하고, 높은 열전도율 및 낮은 열팽창 계수는 열 안정성을 보장하며, 방사선 저항은 원자력 산업에서 독특한 장점을 가지고 있습니다. 이러한 메커니즘을 통해 TZM 몰리브덴 막대는 1600°C 이상의 극한 환경에서 안정적으로 작동할 수 있어 항공 우주, 원자력 산업 및 반도체 제조의 높은 요구 사항을 충족합니다.

3.5 CTIA GROUP LTD TZM 몰리브덴 막대 MSDS

섹션 1: 화학 제품 식별

화학명 : TZM 몰리브덴 막대

영문 이름 : TZM 몰리브덴 막대

CAS 번호 : 몰리브덴 (7439-98-7), 티타늄 (7440-32-6), 지르코늄 (7440-67-7), 탄소 (7440-44-0)

섹션 2: 성분에 대한 구성 / 정보

화학 성분 :

몰리브덴 (Mo) $\geq 99.38\%$

티타늄(Ti) 0.4–0.55%

지르코늄 (Zr) 0.06–0.12%

탄소 (C) 0.01–0.04%

섹션 3: 위험 식별

건강 위험: 이 제품은 눈과 피부에 자극을 주지 않습니다.

화재 및 폭발 위험: 불연성 및 무자극성.

저작권 및 법적 책임 선언문

섹션 4: 응급 처치 방법

피부 접촉: 오염된 의복을 벗고 흐르는 물로 철저히 행굽니다.

눈 접촉: 눈꺼풀을 들어 올리고 흐르는 물이나 식염수로 행굽니다. 의사의 진료를 받으십시오.

흡입: 영향을 받은 사람을 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기십시오. 호흡이 곤란하면 산소를 공급하십시오. 의사의 진료를 받으십시오.

섭취: 따뜻한 물을 많이 마시고 구토를 유도합니다. 의사의 진료를 받으십시오.

섹션 5: 소방 대책

유해 연소 생성물: 알 수 없는 분해 생성물.

진화 방법: 소방관은 방독면과 완전 보호복을 착용하고 역풍으로 인한 화재를 진압해야 합니다.

소화 매체 : 마른 모래, 분말.

섹션 6: 우발적 방출 조치

비상 대응:

오염된 지역을 격리하고 접근을 제한합니다.

발화원을 제거하십시오.

응급 요원은 방진 마스크(얼굴 전체)와 보호복을 착용해야 합니다.

먼지를 일으키지 마십시오. 재료를 조심스럽게 끌고 안전한 장소로 옮길 수 있도록 가방에 넣으십시오.

큰 엷질러진 경우에는 플라스틱 시트나 방수포로 덮으십시오.

폐기물 처리 시설에서 재활용 또는 폐기를 위해 수거하십시오.

Section 7: 취급 및 보관

처리:

작업자는 특별 교육을 받아야 하며 운영 절차를 엄격하게 따라야 합니다.

권장 PPE에는 자체 프라임 필터 방진 마스크, 화학 안전 고글, 침투 방지 작업복 및 고무 장갑이 포함됩니다.

화기 및 열원에서 멀리 보관하십시오. 직장 내에서는 흡연이 엄격히 금지되어 있습니다.

방폭 환기 시스템 및 장비를 사용하십시오.

분진 발생 및 산화제 및 할로젠과의 접촉을 피하십시오.

포장 및 용기가 손상되지 않도록 주의해서 다루십시오.

적절한 소화 및 유출 대응 장비를 제공하십시오.

빈 용기에는 위험한 잔류물이 남아 있을 수 있습니다.

보관:

화기 및 열원에서 멀리 떨어진 서늘하고 통풍이 잘되는 창고에 보관하십시오.

산화제 및 할로젠과 분리하여 보관하십시오. 혼합 보관을 피하십시오.

적절한 소방 장비와 누출 방지 재료를 제공합니다.

섹션 8: 노출 통제/개인 보호

중국 MAC(mg/m³): 6

저작권 및 법적 책임 선언문

구 소련 MAC(mg/m³): 6

TLVTN(ACGIH): 1mg/m³

TLVWN(ACGIH): 3mg/m³

모니터링 방법: 티오시아네이트-칼륨 티타늄 비색 측정

엔지니어링 제어: 먼지가 없는 생산 및 일반 환기.

호흡기 보호: 먼지 수준이 한계를 초과하면 자가 프라임 필터형 방진 마스크를 사용하십시오. 비상 사태 및 대피를 위해 공기 공급 호흡기를 사용하십시오.

눈 보호: 화학 물질 안전 고글을 착용하십시오.

신체 보호: 침투 방지 보호 작업복을 착용하십시오.

손 보호: 고무 장갑을 착용하십시오.

Section 9: 물리적 및 화학적 특성

주요 성분 : 순수 물질

외관 : 단단하고 금속성 밝은 흰색 (가공); 블랙 표면(원료)

녹는점 (°C): 2620

끓는점 (°C): 5560

상대밀도 (물 = 1): 9.4-10.2 (20°C)

증기 밀도 (공기 = 1): 데이터 없음

포화 증기압 (kPa): 데이터 없음

연소열(kJ/mol): 데이터 없음

임계 온도(°C): 데이터 없음

임계 압력(MPa): 데이터 없음

로그 분배 계수 (n-옥탄올/물): 데이터 없음

인화점(°C): 데이터 없음

자연발화온도(°C): 데이터 없음

폭발 한계 - 상한(% V/V): 데이터 없음

폭발 한계 - 하한(% V/V): 데이터 없음

용해도 : 질산 및 불산에 용해 됨

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

Section 10: 안정성과 반응성

피해야 할 물질: 강산 및 염기.

섹션 11: 독성 정보

급성 독성: 자료없음

LC50: 자료없음(No data available)

섹션 12: 생태 정보

생태 데이터: 사용할 수 없음

섹션 13: 폐기 고려 사항

폐기 방법: 폐기하기 전에 국가 및 지역 규정을 참조하십시오. 가능하면 재활용하십시오.

저작권 및 법적 책임 선언문

섹션 14: 운송 정보

위험물 코드: 사용할 수 없음

포장 카테고리: Z01

교통 주의사항:

포장은 운송 전에 손상되지 않고 적절하게 고정되어야 합니다.

운송 중 누출, 붕괴, 낙하 또는 손상이 없는지 확인하십시오.

산화제, 할로젠 또는 식용 화학 물질과 혼합하지 마십시오.

운송 중 햇빛, 비 및 고온으로부터 보호하십시오.

운송 후 차량을 철저히 청소하십시오.

섹션 15: 규제 정보

관련 규정:

유해화학물질의 안전관리에 관한 규정(국무회, 1987 년 2 월 17 일)

유해 화학 물질의 안전 관리에 관한 규정의 시행 세부 사항 (Hua Lao Fa [1992]

No. 677)

작업장 내 화학물질의 안전한 사용에 관한 규정 ([1996] Lao Bu Fa No. 423)

작업장 공기의 텅스텐에 대한 위생 표준(GB 16229-1996)은 최대 허용 농도 및 검출 방법을 지정합니다.

섹션 16: 공급업체 정보

공급 업체: CTIA GROUP LTD

전화: 0592-5129696 / 5129595



CTIA GROUP LTD TZM 폴리브덴 막대

저작권 및 법적 책임 선언문

3. TZM 몰리브덴 막대의 성능

3.1 TZM 몰리브덴 막대의 물리적 및 화학적 특성

몰리브덴을 기반으로 한 고성능 합금 재료로서 TZM 몰리브덴 막대는 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr) 및 탄소(C)를 첨가하여 우수한 물리적 및 화학적 특성을 나타냅니다. 이러한 특성으로 인해 고온, 고응력 및 부식성 환경에서 광범위한 응용 분야에 적합합니다. 다음은 용점 및 열 안정성, 밀도 및 열전도율, 산화 및 내식성, 기계적 강도 및 인성의 네 가지 측면에서 TZM 몰리브덴 막대의 물리적 및 화학적 특성에 대한 자세한 분석입니다.

3.1.1 TZM 몰리브덴 막대의 용점 및 열 안정성

TZM 몰리브덴 막대의 용점은 순수 몰리브덴의 2623 °C (약 2896 K)에 가깝고 산업에서 일반적으로 사용되는 초합금 중 하나입니다. 높은 용점은 몰리브덴 매트릭스의 BCC(body centered cubic) 결정 구조 때문이며, 이는 고온에서 높은 안정성을 가지며 극한의 열 부하를 견딜 수 있습니다. 순수한 몰리브덴과 비교해, TZM 몰리브덴 막대는 두드러지게 순수한 몰리브덴을 위한 대략 1000°C에서 1400°C 보다는 더 많은 것에 티타늄, 지르코늄 및 탄소를 추가해서 재결정화 온도를 증가시킨다. 이 높은 재결정 온도는 TZM 몰리브덴 막대가 고온에서 미세한 입자 구조를 유지할 수 있음을 의미하여 입자 성장으로 인한 성능 저하를 방지합니다.

열 안정성은 고온 응용 분야에서 TZM 몰리브덴 막대의 주요 장점입니다. 로켓 엔진 노즐 및 연소실 부품과 같은 항공 우주 부문에서 TZM 몰리브덴 막대는 2000°C 이상의 환경에서 순간 열 부하를 견뎌야 합니다. 결과는 TZM 몰리브덴 막대가 1800°C에서 여전히 높은 강도와 구조적 무결성을 유지할 수 있는 반면 순수한 몰리브덴은 동일한 조건에서 상당한 연화와 크리프를 겪었음을 보여줍니다. 결과는 TZM 몰리브덴 막대의 열 안정성이 티타늄 및 지르코늄의 용액 강화와 TiC 및 ZrC와 같은 탄화물 입자의 석출 강화로 인한 것임을 보여주며, 이는 함께 고온 변형에 대한 재료의 내성을 향상시킵니다.

더하여, TZM 몰리브덴 막대의 열 안정성은 그것의 생산 과정과 밀접한 관련있습니다. 분말 야금 공정으로 제조된 TZM 몰리브덴 막대는 균일한 미세 구조를 가지고 있어 고온에서 입계 미끄러짐 및 전위 상승을 효과적으로 줄일 수 있습니다. 어닐링 및 노화와 같은 열처리 공정은 재료의 열 안정성을 더욱 최적화합니다. 예를 들어, 고온 어닐링은 가공 중 잔류 응력을 제거할 수 있는 반면, 노화는 탄화물 입자의 침전을 촉진하고 고온에서 재료의 안정성을 향상시킵니다.

3.1.2 TZM 몰리브덴 막대의 밀도 및 열전도율

TZM 몰리브덴 막대의 밀도는 약 10.2g / cm³이며, 이는 텅스텐 합금 (19.3g / cm³)보다 낮지만 니켈 기반 합금 (약 8.5g / cm³)보다 높습니다. 이 중간 밀도는 항공우주 및 위성 부품과 같은 무게에 민감한 응용 분야에서 상당한 이점을 제공합니다. 텅스텐 합금과 비교하여, TZM 몰리브덴 막대의 낮은 밀도는 고강도 및 고온 안정성을 유지하면서 구조적 무게를 감소시킵니다.

TZM 몰리브덴 막대의 열전도율은 $139 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 이며, 이는 세라믹 재료(약 $2\text{-}30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) 및 니켈 기반 합금(약 $10\text{-}20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)보다 훨씬 높습니다. 열전도율이 높기 때문에 열을 빠르게 발산하고 국부적인 과열로 인한 성능 저하를 방지할 수 있습니다. 예를 들어, 반도체 장비 제조에서 TZM 몰리브덴 막대는 스퍼터링 타겟 및 고온 설비로 사용되며 높은 열전도율은 균일한 열 분포를 보장하고 열 응력으로 인한 균열을 줄입니다. 또한 고온로 제조에서 TZM 몰리브덴 막대는 열을 빠르게 전달하고 용광로의 온도 균일성을 향상시키는 발열체로 사용할 수 있습니다.

열전도율은 TZM 몰리브덴 막대의 미세 구조와 밀접한 관련이 있습니다. 분말 야금 공정은 입자 크기와 탄화물 입자의 분포를 제어하여 열전도 경로의 연속성을 보장합니다. 연구에 따르면 TZM 몰리브덴 막대의 열전도율은 고온(예: 1200°C)에서 약 $10\text{-}15\%$ 만 감소하며, 이는 순수 몰리브덴의 $20\text{-}25\%$ 감소율보다 훨씬 우수합니다. 이 안정적인 열전도율은 고온 사이클링 환경에서 탁월한 성능을 발휘합니다.

3.1.3 TZM 몰리브덴 막대의 산화 및 내식성

TZM 몰리브덴 막대는 진공, 아르곤 또는 질소와 같은 고온 비산화 분위기에서 우수한 내식성을 나타냅니다. 화학적 안정성은 몰리브덴 매트릭스의 불활성과 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 강화 때문입니다. 고온 산화 환경에서 TZM 몰리브덴 막대는 조밀한 MoO_2 산화물 보호층을 형성하여 추가 산화 반응을 늦출 수 있습니다. 대조적으로, 순수한 몰리브덴은 고온 텅스텐 산화물에서 휘발성 특성을 갖기 쉽기 때문에 재료가 급격히 열화됩니다. 연구에 따르면 TZM 몰리브덴 막대는 1000°C 이하의 산화 환경에서 안정적으로 작동할 수 있으며 더 높은 온도에서는 서비스 수명을 연장하기 위해 산화 방지 코팅(예: 몰리브덴 실리사이드 또는 알루미늄 코팅)이 필요합니다.

부식성 환경에서 TZM 몰리브덴 막대는 산, 알칼리 및 염 용액에 대한 저항성이 우수합니다. 예를 들어, 묽은 황산 및 염산 환경에서 TZM 몰리브덴 막대는 스테인리스강 및 니켈 기반 합금보다 부식 속도가 훨씬 낮습니다. 이 내식성은 화학 및 원자력 산업에서 널리 사용됩니다. 예를 들어, 원자로의 냉각수 환경에서 TZM 몰리브덴 막대는 고온 및 화학적 부식을 견딜 수 있어 구조적 무결성을 유지할 수 있습니다.

산화 및 내식성의 개선은 또한 표면 처리 기술과 밀접한 관련이 있습니다. 예를 들어, 화학 기상 증착(CVD) 또는 물리 기상 증착(PVD) 공정에 의해 TZM 몰리브덴 막대 표면에 산화 방지 코팅을 증착하면 고온 산화 환경에서 내구성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 또한 표면 연마 및 플라즈마 스프레이 기술은 표면 결함을 줄이고 내식성을 향상시킬 수 있습니다.

3.1.4 TZM 몰리브덴 막대의 기계적 강도 및 인성

TZM 몰리브덴 막대의 기계적 강도는 고온에서 순수 몰리브덴의 기계적 강도를 훨씬 능가합니다. 예를 들어, 1200°C 에서 TZM 몰리브덴 막대의 인장 강도는 $400\text{-}500\text{MPa}$ 인 반면 순수 몰리브덴은 $200\text{-}300\text{MPa}$ 에 불과합니다. 이 높은 강도는 티타늄과 지르코늄의 용액 강화와 탄화물 입자의 석출 강화 때문입니다. 티타늄 카바이드(TiC)

저작권 및 법적 책임 선언문

및 지르코늄 카바이드(ZrC) 입자는 폴리브덴 매트릭스에 고르게 분포되어 있어 전위와 입자 경계를 고정하여 재료의 경도와 강도를 향상시킵니다. TZM 폴리브덴 막대의 비커스 경도는 약 250-300 HV로 순수 폴리브덴의 200 HV보다 높기 때문에 내마모성 금형 및 절삭 공구 제조에 사용하기에 적합합니다.

인성 측면에서 TZM 폴리브덴 막대는 실온 및 고온에서 우수한 파괴 저항성을 나타냅니다. 세라믹 재료와 비교하여 TZM 폴리브덴 막대는 금속의 연성과 인성을 가지며 부서지기 쉬운 파괴 없이 특정 충격과 변형을 견딜 수 있습니다. 결과는 TZM 폴리브덴 막대의 파괴 인성 (K_{IC})이 실온에서 약 $15-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 순수 폴리브덴 ($10-12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)보다 높음을 보여줍니다. 이 우수한 인성으로 인해 항공 우주 및 원자력 산업의 복잡한 응력 환경을 견딜 수 있습니다.

기계적 강도 및 인성의 향상은 생산 공정과도 관련이 있습니다. 분말 야금 공정에서 소결 온도와 압력을 제어함으로써 TZM 폴리브덴 막대의 입자 크기와 탄화물 분포를 최적화하여 강도와 인성의 균형을 맞출 수 있습니다. 예를 들어, 더 낮은 소결 온도(약 1800°C)는 더 미세한 입자를 얻고 인성을 향상시킬 수 있습니다. 소결 온도(약 2000°C)가 높을수록 강도가 증가합니다.

3.2 TZM 폴리브덴 막대의 열적 및 기계적 성질

TZM 폴리브덴 막대의 열적 및 기계적 특성은 고온 및 고응력 환경에서 광범위하게 적용하기 위한 기초입니다. 다음은 열팽창 계수 및 고온 변형, 열충격 저항, 크리프 성능 및 장기 안정성, 피로 성능 및 재활용 능력의 네 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

3.2.1 TZM 폴리브덴 막대의 열팽창 계수 및 고온 변형

TZM 폴리브덴 막대의 열팽창 계수는 약 $5.3 \times 10^{-6}/\text{K}$ 로 니켈계 합금(약 $13 \times 10^{-6}/\text{K}$) 및 스테인리스강(약 $16 \times 10^{-6}/\text{K}$)보다 훨씬 낮습니다. 낮은 열팽창 계수는 고온에서 TZM 폴리브덴 막대의 치수 안정성을 보장하여 열 응력으로 인한 균열 및 변형을 줄입니다. 예를 들어, 진공로에서 TZM 폴리브덴 막대는 빠른 가열 및 냉각 주기 동안 기하학적 안정성을 유지하기 위해 발열체로 사용됩니다.

고온 변형은 고온 재료 설계에서 중요한 문제입니다. TZM 폴리브덴 막대는 티타늄 및 지르코늄의 고용 강화와 탄화물 입자의 석출 강화에 의해 강화되어 고온에서 변형률을 크게 줄입니다. 1400°C 및 20 MPa 의 응력 조건에서 TZM 폴리브덴 막대의 변형률은 순수 폴리브덴의 변형률의 1/5에 불과합니다. 연구에 따르면 탄화물 입자는 고온에서 결정립계를 고정할 수 있어 결정립계가 미끄러지는 것을 방지하여 변형을 줄일 수 있습니다. 연구에 따르면 1600°C 미만의 TZM 폴리브덴 막대의 변형률은 0.1% 이내로 제어할 수 있으며 이는 고온 금형 및 항공 우주 부품에 적합합니다.

열팽창 계수의 안정성은 TZM 폴리브덴 막대의 미세 구조와도 관련이 있습니다. 미세한 입자 크기(10-50 나노미터)와 균일한 탄화물 분포는 고온에서 결정립계 이동을 줄여 치수 안정성을 보장합니다. 또한 연마 및 코팅과 같은 표면 처리 기술은 열 응력 농도를 더욱 줄이고 변형에 대한 저항을 향상시킬 수 있습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

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

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

3.2.2 TZM 폴리브덴 막대의 열충격 저항

열 충격 저항은 빠르게 변화하는 환경에서 고온 재료의 안정성을 나타내는 중요한 지표입니다. TZM 폴리브덴 막대는 높은 열전도율($139 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), 낮은 열팽창 계수($5.3 \times 10^{-6}/\text{K}$) 및 높은 기계적 강도로 인해 우수한 열충격 저항을 나타냅니다. 열충격 테스트에서 TZM 폴리브덴 막대는 1000°C 에서 실온까지의 빠른 주기에서 명백한 균열 없이 수백 사이클을 견딜 수 있는 반면, 순수 폴리브덴은 일반적으로 동일한 조건에서 50 사이클 후에 미세 균열을 나타냅니다.

열충격 저항의 향상은 TZM 폴리브덴 막대의 미세 구조 및 합금 특성 때문입니다. 탄화물 입자의 석출 강화는 재료의 강도와 인성을 향상시키고 열 응력으로 인한 균열 전파를 줄입니다. 또한 열전도율이 높기 때문에 TZM 폴리브덴 막대는 열을 빠르게 발산하여 온도 구배로 인한 내부 응력을 줄일 수 있습니다. 항공 우주 분야에서 TZM 폴리브덴 막대는 구조적 무결성을 유지하면서 연소실의 급격한 온도 변화를 견딜 수 있는 로켓 노즐 재료로 사용됩니다.

발표된 기술 데이터에 따르면 TZM 폴리브덴 막대의 열충격 저항은 생산 공정을 최적화하여 더욱 향상될 수 있습니다. 예를 들어, 소결 공정 중 냉각 속도를 제어함으로써 미세한 결함을 줄이고 열 충격에 대한 재료의 내성을 향상시킬 수 있습니다. 또한 지르코니아 코팅과 같은 표면 코팅은 열충격 저항을 더욱 향상시키고 재료의 수명을 연장할 수 있습니다.

3.2.3 TZM 폴리브덴 막대의 포복 성능 및 장기 안정성

크리프는 장기간 응력을 받는 고온 재료의 주요 파괴 모드 중 하나입니다. TZM 폴리브덴 막대의 크리프 저항은 순수 폴리브덴보다 훨씬 우수합니다. 1400°C 및 20MPa 의 응력 조건에서 TZM 폴리브덴 막대의 크리프 속도는 순수 폴리브덴의 $1/10$ 에 불과합니다. 이 우수한 크리프 저항은 티타늄 및 지르코늄의 용액 강화와 탄화물 입자의 핀화 때문입니다. 탄화물 입자는 입계 미끄러짐 및 전위 상승을 효과적으로 방지하여 크리프 과정을 늦출 수 있습니다.

장기적인 안정성은 고온 응용 분야에서 TZM 폴리브덴 막대의 주요 장점입니다. 원자로에서 TZM 폴리브덴 막대는 안정적인 성능을 유지하기 위해 고온 및 고방사선 환경에서 수년 동안 작동해야 하는 구조 부품입니다. 연구에 따르면 TZM 폴리브덴 막대는 1600°C 이하에서 최대 5000 시간 동안 안정적인 성능을 유지할 수 있는 반면 순수 폴리브덴은 일반적으로 동일한 조건에서 1000 시간 이내에 상당한 크리프를 겪습니다. 결과는 TZM 폴리브덴 막대의 장기적인 안정성이 미세한 입자 구조 및 균일 한 탄화물 분포와 밀접한 관련이 있음을 보여줍니다.

생산 공정이 크리프 속성에 미치는 영향은 무시할 수 없습니다. 분말 야금 공정에서 소결 온도와 압력을 최적화함으로써 입자 크기와 탄화물 분포를 제어할 수 있어 크리프 저항이 향상됩니다. 예를 들어, 소결 온도(약 1800°C)가 낮을수록 입자가 더 미세해지고 크리프 저항이 향상됩니다. 또한 노화와 같은 열처리 공정은 탄화물 입자의 침전을 촉진하여 장기적인 안정성을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

3.2.4 TZM 폴리브덴 막대의 피로 성능 및 재활용 능력

고온 순환 응력 하에서 TZM 폴리브덴 막대의 피로 성능은 순수 폴리브덴보다 우수합니다. 1200°C 및 $\pm 200\text{MPa}$ 의 주기적 응력 조건에서 TZM 폴리브덴 막대의 피로 수명은 10^5 사이클에 도달할 수 있는 반면 순수 폴리브덴의 피로 수명은 10^4 사이클에 불과합니다. 이 우수한 피로 성능은 높은 강도와 인성뿐만 아니라 탄화물 입자에 의한 균열 전파 억제 때문입니다. 결과는 TZM 폴리브덴 막대의 피로 균열 성장률이 순수 폴리브덴의 약 1/3이며 더 강한 피로 저항을 보여줍니다.

재활용 능력은 고온 사이클링 환경에서 TZM 폴리브덴 막대의 중요한 특성입니다. 예를 들어, 고온로에서 TZM 폴리브덴 막대는 반복되는 가열 및 냉각 주기 동안 안정적인 성능을 유지하기 위해 발열체로 사용됩니다. 테스트에 따르면 TZM 폴리브덴 막대는 상당한 성능 저하 없이 1000°C에서 실온까지 수천 사이클을 견딜 수 있습니다. 이러한 순환성은 고온 용광로 및 반도체 장비 제조에 널리 사용됩니다.

피로 성능 및 재활용 능력의 향상은 표면 품질 및 미세 구조와도 관련이 있습니다. 표면 연마는 표면 결함을 줄이고 피로 균열 시작 가능성을 줄일 수 있습니다. 어닐링과 같은 열처리 공정은 가공 응력을 제거하고 피로 수명을 늘릴 수 있습니다. 또한 산화 방지 코팅을 추가하면 고온 사이클링 중 산화 손실을 줄이고 사이클 수명을 연장할 수 있습니다.

3.3 TZM 폴리브덴 막대의 미세 구조와 특성 사이의 관계

TZM 폴리브덴 막대의 특성은 입자 구조 및 방향, 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 역할, 표면 형태 및 고온 특성을 포함한 미세 구조와 밀접한 관련이 있습니다. 다음은 이러한 세 가지 측면에 대한 자세한 분석입니다.

3.3.1 TZM 폴리브덴 막대의 결정립 구조 및 방향

TZM 폴리브덴 막대의 결정립 구조는 일반적으로 10-50 미크론 사이의 입자 크기를 가진 분말 야금 공정에 의해 제어됩니다. 미세한 입자 크기는 재료의 강도와 인성을 증가시켜 고온에서 입자 경계 미끄러짐 및 크리프를 줄입니다. 연구에 따르면 TZM 폴리브덴 막대는 탄화물 입자를 형성하여 입자 성장을 억제하는 티타늄, 지르코늄 및 탄소가 첨가되어 순수 폴리브덴(약 50-100 미크론)보다 입자 크기가 작다는 것을 보여주었습니다.

결정립 방향은 또한 TZM 폴리브덴 막대의 성능에 중요한 영향을 미칩니다. 압연 또는 단조 공정 중에 TZM 폴리브덴 막대의 입자는 가공 방향을 따라 특정 방향을 형성하여 이방성을 나타냅니다. 압연 방향을 따른 인장 강도는 일반적으로 수직 방향보다 약 10-15% 높습니다. 결과는 압연 온도와 변형을 제어함으로써 입자 배향을 최적화하고 재료의 기계적 특성을 향상시킬 수 있음을 보여줍니다. 예를 들어, 열간 압연(약 1400°C)은 보다 균일한 입자 배향을 얻고 고온에서 강도를 향상시킬 수 있습니다.

입자 구조의 최적화는 열처리 공정과도 관련이 있습니다. 어닐링은 가공 스트레스를 완화하고 입자 크기를 조정할 수 있습니다. 노화 처리는 탄화물 입자의 침전을

저작권 및 법적 책임 선언문

촉진하고 입계 강도를 향상시킵니다. 이러한 공정은 함께 고온에서 TZM 몰리브덴 막대의 성능 안정성을 보장합니다.

3.3.2 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 역할

티타늄, 지르코늄 및 탄소는 TZM 몰리브덴 막대의 성능을 향상시키는 핵심 요소이며 그 역할은 주로 다음과 같은 측면에 반영됩니다.

티타늄(Ti): 티타늄은 용액 강화를 통해 몰리브덴 매트릭스의 격자 강도를 향상시킵니다. 몰리브덴 격자에 있는 티타늄 원자의 고용체는 격자 변형을 일으키고 전위의 이동을 방해하여 고온 강도와 크리프 저항을 향상시킵니다. 또한 티타늄은 탄소와 반응하여 티타늄 카바이드(TiC) 입자를 형성하여 석출 강화를 통해 재료의 경도와 내마모성을 향상시킵니다.

지르코늄(Zr): 지르코늄은 티타늄과 유사하게 작용하여 용액 강화 및 석출 강화를 통해 재료의 강도와 안정성을 향상시킵니다. 지르코늄은 탄소와 반응하여 지르코늄 카바이드(ZrC) 입자를 형성하며, 이 입자는 고온에서 결정립 경계를 고정할 수 있어 입자 성장을 방지하고 재결정 온도를 높일 수 있습니다. 지르코늄은 또한 TZM 몰리브덴 막대의 내산화성을 향상시킵니다.

탄소 (C) : 탄소의 첨가는 TZM 합금의 성능 향상의 핵심입니다. 탄소와 티타늄 및 지르코늄의 반응에 의해 생성된 탄화물 입자는 몰리브덴 매트릭스에 균일하게 분포되어 있으며, 재료의 강도, 크리프 저항 및 재결정 온도는 전위 및 결정립계를 고정하여 향상됩니다. 연구에 따르면 탄화물 입자의 크기와 분포는 탄소 함량이 0.01-0.04%일 때 최적의 상태에 도달합니다.

공개적으로 사용 가능한 정보에 따르면 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 시너지 효과로 인해 TZM 몰리브덴 막대는 순수 몰리브덴보다 훨씬 효율적입니다. 예를 들어, 1400°C 에서 TZM 몰리브덴 막대의 인장 강도는 순수 몰리브덴보다 약 2 배 높고 크리프 속도는 약 90% 감소합니다.

3.3.3 TZM 몰리브덴 막대의 표면 형태 및 고온 특성

TZM 몰리브덴 막대의 표면 형태는 고온 성능에 중요한 영향을 미칩니다. 표면 결함(예: 미세 균열, 다공성)은 응력 집중 지점이 되어 고온에서 균열 전파로 이어질 수 있습니다. 표면 형상은 표면 연마, 플라즈마 스프레이 또는 코팅 기술을 통해 크게 개선되어 고온 성능을 향상시킬 수 있습니다.

고온 산화 환경에서 TZM 몰리브덴 막대의 표면 형태는 조밀한 MoO₂ 보호층을 형성하기 위해 변화합니다. 이 보호층의 형성은 표면 품질과 밀접한 관련이 있습니다. 연구에 따르면 표면 마감이 높은 TZM 몰리브덴 막대는 보다 균일한 산화물 층을 형성하여 내산화성을 향상시킬 수 있습니다. 또한 몰리브덴 규화물 코팅과 같은 산화 방지 코팅은 표면 지형을 더욱 개선하고 고온 산화 환경에서 재료의 수명을 연장할 수 있습니다.

표면 지형은 또한 TZM 몰리브덴 막대의 열충격 저항에 영향을 미칩니다. 매끄러운 표면은 열 응력 집중을 줄이고 열 충격 저항을 향상시킵니다. 항공 우주 부문에서

저작권 및 법적 책임 선언문

TZM 몰리브덴 막대의 표면은 고온 사이클링 환경의 요구 사항을 충족하기 위해 정밀 가공되어야 하는 경우가 많습니다.

3.4 TZM 몰리브덴 막대의 수명과 신뢰성

TZM 몰리브덴 막대의 수명과 신뢰성은 고온 및 고응력 환경에서 적용하기 위한 핵심 지표입니다. 다음은 수명에 영향을 미치는 요인, 고장 모드 분석 및 신뢰성 테스트의 세 가지 측면에 대한 자세한 분석입니다.

3.4.1 TZM 몰리브덴 막대의 수명에 영향을 미치는 요인

TZM 몰리브덴 막대의 수명은 작동 온도, 응력 수준, 주변 분위기, 생산 공정 및 표면 처리 등을 포함한 다양한 요인의 영향을 받습니다.

작동 온도: 온도는 TZM 몰리브덴 막대의 수명에 영향을 미치는 주요 요소입니다. 1600°C 이하에서 TZM 몰리브덴 막대는 장기적인 안정성을 유지할 수 있습니다. 그러나 1800°C 이상에서는 산화 및 크리프 속도가 크게 증가하여 수명이 단축됩니다.

응력 수준: 응력이 높으면 크리프 및 피로 파괴가 가속화될 수 있습니다. 예를 들어, 1400°C 및 50MPa의 응력에서 TZM 몰리브덴 막대의 수명은 순수 몰리브덴의 약 1/3입니다.

주변 분위기 : 진공 또는 불활성 가스에서 TZM 몰리브덴 막대의 수명은 수천 시간에 달할 수 있습니다. 산화 환경에서는 수명을 연장하기 위해 산화 방지 코팅이 필요합니다.

생산 공정: 분말 야금 공정의 소결 온도, 압력 및 열처리 공정은 입자 크기와 탄화물 분포에 직접적인 영향을 미치며 이는 차례로 수명에 영향을 미칩니다. 프로세스를 최적화하면 수명을 20-30% 늘릴 수 있습니다.

표면 처리: 산화 방지 코팅 및 표면 연마는 산화 및 균열 시작을 줄이고 수명을 연장할 수 있습니다. 예를 들어, 규화물 몰리브덴 코팅은 1200°C의 산화 환경에서 TZM 몰리브덴 막대의 수명을 2-3 배 연장할 수 있습니다.

3.4.2 TZM 몰리브덴 막대의 고장 모드 분석(예: 파괴, 부식)

TZM 몰리브덴 막대의 고장 모드는 주로 파괴, 부식 및 크리프 실패를 포함합니다.

파괴: 파괴는 일반적으로 피로 또는 열 응력으로 인해 발생합니다. 고온 사이클링에서 표면 결함은 균열 전파를 유발하여 취성 또는 연성 파괴를 유발할 수 있습니다. 결과는 TZM 몰리브덴 막대(15-20 Mpa·m^{1/2})의 파괴 인성이 순수 몰리브덴보다 높지만 파괴 위험을 줄이기 위해 표면 품질을 최적화해야 한다는 것을 보여줍니다.

부식 : 고온 산화 환경에서 TZM 몰리브덴 막대는 산화물 층의 파편으로 인해 실패 할 수 있습니다. 휘발성 MoO₃의 형성은 재료 손실을 가속화합니다. 산화 방지 코팅은 부식을 효과적으로 늦출 수 있습니다.

크리프 파괴: 장기간의 고온 응력은 크리프 파괴로 이어질 수 있으며, 이는 재료의 느린 변형과 강도 손실로 나타납니다. 카바이드 입자의 피닝 작용은 크리프 속도를 크게 감소시키지만 높은 응력은 여전히 고장으로 이어질 수 있습니다.

고장 모드 분석은 표면 품질 및 코팅 기술을 최적화하는 것이 TZM 폴리브덴 막대의 수명을 향상시키는 열쇠임을 보여줍니다. 예를 들어, CVD 에 의해 증착된 알루미늄 코팅은 산화적 부식을 크게 줄일 수 있습니다.

3.4.3 TZM 폴리브덴 막대 신뢰성 테스트

TZM 폴리브덴 막대의 신뢰성 시험은 일반적으로 고온 강도 시험, 크리프 시험, 열충격 시험 및 피로 시험을 포함합니다.

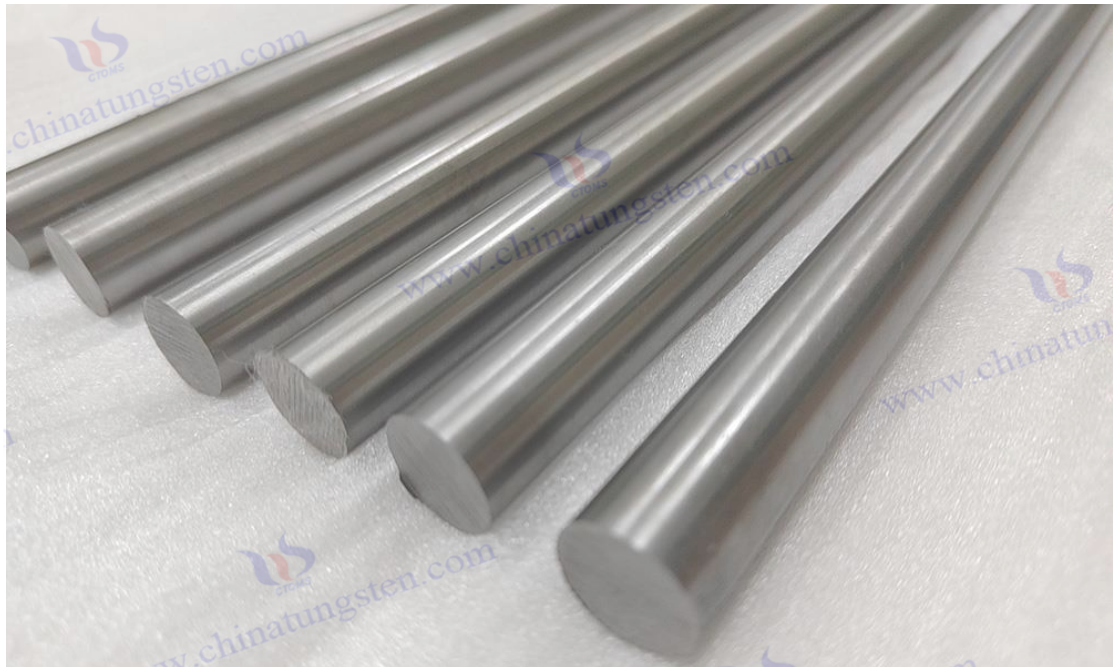
고온 강도 시험: 인장 강도 및 항복 강도는 재료가 설계 요구 사항을 충족하는지 확인하기 위해 인장 시험기로 1200-1600°C 에서 테스트됩니다.

크리프 시험: 1400°C 및 20-50Mpa 응력에서 크리프 속도를 테스트하여 장기 안정성을 평가합니다. 테스트 결과는 TZM 폴리브덴 막대의 크리프 수명이 순수 폴리브덴의 수명을 훨씬 능가한다는 것을 보여줍니다.

열충격 시험: 열충격 저항은 빠른 가열 및 냉각 주기(실온까지 1000°C)로 테스트됩니다. TZM 폴리브덴 막대는 일반적으로 균열없이 수백 사이클을 견딜 수 있습니다.

피로 시험: 1200°C 및 $\pm 200\text{Mpa}$ 의 반복 응력 하에서 피로 수명을 테스트하여 반복 능력을 평가합니다.

신뢰성 테스트 결과는 TZM 폴리브덴 막대가 고온 및 고응력 환경에서 우수한 신뢰성을 가지며 항공 우주, 원자력 산업 및 반도체 제조에 사용하기에 적합하다는 것을 보여줍니다. 엄격한 품질 관리 및 테스트를 통해 TZM 폴리브덴 막대의 신뢰성은 99.9% 이상에 도달할 수 있습니다.



CTIA GROUP LTD TZM 폴리브덴 막대

저작권 및 법적 책임 선언문

4. TZM 폴리브덴 막대의 준비 과정 및 기술

4.1 TZM 폴리브덴 막대의 원료 선택 및 준비

고성능 합금 재료로서 TZM 폴리브덴 막대의 성능은 원료의 품질과 비율에 크게 좌우됩니다. 원료의 선택 및 준비는 TZM 폴리브덴 막대 준비의 기초이며, 이는 최종 제품의 미세 구조와 특성에 직접적인 영향을 미칩니다. 다음은 폴리브덴 분말 정제, 티타늄 지르코늄 탄소 첨가제 선택, 합금 비율 최적화, 원료 테스트 및 품질 관리의 네 가지 측면에서 상세한 분석입니다.

4.1.1 폴리브덴 분말의 정제 및 품질 요구 사항

폴리브덴 분말은 TZM 폴리브덴 막대의 주요 원료이며 순도와 품질은 합금 특성에 매우 중요합니다. 폴리브덴 분말은 일반적으로 과라 텅스텐 산 암모늄을 감소시켜 제조됩니다. 정제 과정은 주로 다음 단계로 구성됩니다.

광석 정제 : 폴리브덴 분말은 일반적으로 폴리브덴과 같은 폴리브덴 농축액에서 추출됩니다. 폴리브데나이트는 고순도 삼산화폴리브덴을 얻기 위해 황 및 규소와 같은 불순물을 제거하기 위해 부유 선광 및 로스팅을 거칩니다.

화학적 환원 : 삼산화 폴리브덴은 수소 분위기 하에서 단계적으로 폴리브덴 분말로 환원됩니다. 환원 공정은 저온 환원(400-600 °C, MoO₃)과 고온 환원(800-1000 °C, 폴리브덴 금속 분말)으로 나뉩니다. 이 연구는 현대 환원 공정이 폴리브덴 분말의 순도가 99.95% 이상에 도달하도록 보장하기 위해 다단계 환원로를 채택한다는 것을 보여줍니다.

입자 크기 제어: 폴리브덴 분말의 입자 크기는 일반적으로 1-5 미크론으로 제어되며 입자 크기가 너무 크면 소결이 고르지 않고 입자 크기가 너무 작으면 생산 비용이 증가합니다. 미세하고 균일한 입자 크기는 TZM 폴리브덴 막대의 밀도와 기계적 특성을 향상시키는 데 도움이 됩니다.

폴리브덴 분말에 대한 품질 요구 사항에는 고순도($\geq 99.95\%$), 낮은 산소 함량($\leq 0.005\%$), 낮은 불순물 함량(예: 철, 실리콘, 알루미늄 등의 $\leq 0.01\%$) 및 균일한 입자 크기 분포가 포함됩니다. 이러한 요구 사항은 고온에서 TZM 폴리브덴 막대의 안정성과 내식성을 보장합니다.

4.1.2 티타늄, 지르코늄 및 탄소 첨가제의 선택

TZM 폴리브덴 막대의 합금 원소에는 티타늄(Ti, 0.4-0.55%), 지르코늄(Zr, 0.06-0.12%) 및 탄소(C, 0.01-0.04%)가 포함되며 이러한 첨가제의 선택은 합금 특성에 매우 중요합니다.

티타늄(Ti): 티타늄은 일반적으로 고순도 티타늄 분말($\geq 99.9\%$ 순도) 또는 티타늄 화합물(예: TiH₂)의 형태로 첨가됩니다. 티타늄 분말의 입자 크기는 폴리브덴 분말과 균일 한 혼합을 보장하기 위해 1-10 미크론으로 제어됩니다. 티타늄을 첨가하면 용액 강화 및 석출 강화(TiC 입자 생성)를 통해 합금의 고온 강도와 크리프 저항이 향상됩니다.

지르코늄(Zr): 지르코늄은 고순도 지르코늄 분말(순도 $\geq 99.9\%$) 또는 지르코늄

저작권 및 법적 책임 선언문

화합물(예: ZrH_2)의 형태로 첨가되며 일반적으로 입자 크기는 1-5 미크론입니다. 지르코늄은 용액 강화 및 ZrC 입자 형성을 통해 합금의 내산화성 및 재결정화 온도를 향상시킵니다.

탄소(C): 탄소는 일반적으로 흑연 분말 또는 카본 블랙의 형태로 첨가되며 순도는 99.99% 이상에 도달해야 하며 입자 크기는 0.5-2 미크론으로 제어됩니다. 탄소는 티타늄 및 지르코늄과 반응하여 탄화물 입자(TiC 및 ZrC)를 형성하며, 이는 합금의 경도와 크리프 저항을 향상시키기 위해 침전에 의해 강화됩니다.

연구에 따르면 첨가제는 화학적 활성, 입자 크기 분포 및 폴리브덴 분말과의 호환성에 따라 선택되는 것으로 나타났습니다. 예를 들어, 티타늄과 지르코늄의 수소화물은 소결 과정에서 분해되어 수소를 방출하여 산소 함량을 줄이고 합금 순도를 개선하는 데 도움이 됩니다.

4.1.3 합금 비율의 최적화

TZM 폴리브덴 막대(Mo: 99.38-99.5%, Ti: 0.4-0.55%, Zr: 0.06-0.12%, C: 0.01-0.04%)의 합금 비율은 강도, 인성 및 내산화성의 균형을 맞추기 위해 실험 및 시뮬레이션을 통해 최적화해야 합니다. 비율 최적화의 핵심 포인트는 다음과 같습니다.

티타늄과 지르코늄의 비율: 티타늄과 지르코늄의 비율은 일반적으로 5:1 에서 8:1 로 용액 강화의 시너지 효과를 보장합니다. 티타늄 함량이 너무 높으면 취성이 증가할 수 있으며 지르코늄 함량이 너무 높으면 비용이 증가할 수 있습니다.

탄소 함량 제어: 탄소 함량은 0.01-0.04%로 정확하게 제어해야 하며 너무 낮으면 탄화물 입자가 부족해지고 강화 효과가 감소합니다. 너무 높으면 너무 많은 탄화물이 형성되고 인성이 감소할 수 있습니다.

균질성: 폴리브덴 분말에서 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 균일한 분포는 성능에 영향을 미치는 국부적 분리를 피하기 위해 기계적 혼합 또는 볼 밀링 공정에 의해 보장됩니다.

결과는 최적의 비율이 TZM 폴리브덴 막대의 인장 강도를 10-15% 증가시키고 크리프 속도를 20-30% 감소시킬 수 있음을 보여줍니다.

4.1.4 원료의 테스트 및 품질 관리

원료의 품질 관리는 TZM 폴리브덴 막대의 성능 일관성을 보장하는 핵심 부분입니다. 분석에는 다음이 포함됩니다.

화학 성분 분석: 유도 결합 플라즈마 방출 분광법(ICP-OES) 또는 X 선 형광 분광법(XRF)을 사용하여 폴리브덴, 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 함량을 검출하여 비율 요구 사항이 충족되었는지 확인했습니다.

입자 크기 분석: 분말의 입자 크기 분포는 입자 크기 균일성을 보장하기 위해 레이저 입자 크기 분석기로 측정됩니다.

불순물 검출: 글로우 방전 질량 분석법(GDMS)은 산소, 질소 및 철과 같은 불순물의 함량을 검출하여 표준 한계 미만인지 확인하는 데 사용됩니다.

미세 구조 분석: 주사 전자 현미경(SEM) 및 X 선 회절(XRD)은 분말의 지형 및

저작권 및 법적 책임 선언문

결정 구조를 분석하여 결함 및 분리가 없는지 확인하는 데 사용됩니다.

연구에 따르면 세계 최고의 TZM 폴리브덴 막대 생산업체는 ISO 9001 품질 관리 시스템을 사용하여 다단계 테스트를 통해 원료의 품질을 보장합니다. 품질 관리에는 공급업체 감사, 배치 추적 및 생산 공정 모니터링도 포함되어 원자재의 일관성과 추적성을 보장합니다.

4.2 TZM 폴리브덴 막대 야금 공정

TZM 폴리브덴 막대의 야금 공정에는 분말 혼합 및 압착, 소결, 단조 및 압연, 압출 및 인발과 같은 단계가 포함됩니다. 이러한 공정은 TZM 폴리브덴 막대의 미세 구조와 특성을 직접 결정합니다. 다음은 각 하위 공정의 세부 사항 및 기술 포인트에 대한 분석입니다.

4.2.1 분말 혼합 및 압착

4.2.1.1 기계합금 기술

기계적 합금은 폴리브덴 분말, 티타늄 분말, 지르코늄 분말 및 토너 분말이 고 에너지 볼 밀링에 의해 균일하게 혼합되는 TZM 폴리브덴 막대 준비의 핵심 단계입니다. 기계적 합금의 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

공 선반 장비: 행성 공 선반 또는 진동 공 선반은, 가는 매체 보통 텅스텐 탄화물 분말 공입니다.

펠릿 비율: 일반적으로 10:1 에서 20:1 로 효율적인 혼합 및 분쇄를 보장합니다.

분쇄 시간: 6-12 시간, 너무 길면 불순물이 유입될 수 있고 너무 짧으면 고르게 섞이지 않습니다.

대기 제어: 산화를 피하기 위해 아르곤 또는 질소의 보호 하에 수행됩니다.

기계적 합금은 분말의 균일한 혼합을 달성할 뿐만 아니라 고에너지 충돌에 의한 미세 구조 변화를 통해 티타늄, 지르코늄 및 폴리브덴의 고용체 효과를 향상시킵니다. 연구에 따르면 기계적 합금은 분말의 혼합 균일성을 99% 이상으로 증가시켜 후속 소결의 품질을 크게 향상시킬 수 있습니다.

4.2.1.2 등압 프레스 공정

등압 프레스 성형(CIP)은 혼합 분말을 블랭크에 압착하는 핵심 공정입니다. 등압 형성은 물이나 기름과 같은 액체 매체에 균일한 압력을 가하여 블랭크의 균일한 밀도를 보장합니다. 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

압력: 150-300 MPa, 너무 높으면 빌렛에 균열이 발생할 수 있으며 너무 낮으면 밀도가 충분하지 않습니다.

금형 재료: 고강도 고무 또는 폴리우레탄 금형, 내압성 및 우수한 유연성.

빌렛 밀도 : 이론 밀도의 60-70 %로 후속 소결의 기초를 제공합니다.

등압 프레스의 장점은 복잡한 모양의 블랭크를 준비할 수 있어 후속 처리량을 줄일 수 있다는 것입니다. 연구에 따르면 냉간 등압 압착(CIP)과 열간 등압 압착(HIP)의

저작권 및 법적 책임 선언문

조합은 빌릿의 밀도를 이론 밀도의 90% 이상으로 더욱 증가시킬 수 있습니다.

4.2.2 소결 공정

4.2.2.1 진공 소결 기술

진공 소결은 고온 소결을 통해 블랭크를 고밀도 합금으로 응고시키는 TZM 폴리브덴 막대 제조의 핵심 공정입니다. 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

온도 : 1800-2000 °C, 폴리브덴의 용점 (2623 °C)보다 낮으면 액상 소결을 피하십시오.

진공 : 산소 및 질소 오염을 줄이기 위해 10 °C -10 °C Pa.

유지 시간: 탄화물 입자의 균일한 침전을 보장하기 위해 2-4 시간.

진공 소결은 블랭크의 기공을 효과적으로 제거하고 밀도를 이론 밀도의 98% 이상으로 증가시킬 수 있습니다. 세계 최고의 진공 소결로는 텅스텐 와이어 발열체를 사용하여 온도 균일성을 보장합니다.

4.2.2.2 분위기 소결 및 온도 제어

어떤 경우에는 TZM 폴리브덴 막대가 비용을 줄이기 위해 대기(예: 수소 또는 아르곤 분위기)에서 소결됩니다. 분위기 소결의 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

분위기 : 고순도 수소 (순도 $\geq 99.999\%$) 또는 아르곤, 산화를 피하십시오.

온도 제어: 다단계 가열 곡선(예: 1000°C 사전 소결, 1800°C 메인 소결)은 급격한 온도 상승으로 인한 균열을 방지하는 데 사용됩니다.

냉각 속도: 열 응력으로 인한 균열을 방지하기 위해 5-10°C/min 으로 제어됩니다.

대기 소결의 장점은 비용이 저렴하지만 불순물에 의한 오염을 방지하기 위해 대기 순도를 엄격하게 제어해야 한다는 것입니다. 연구에 따르면 대기 소결 TZM 폴리브덴 막대의 밀도는 이론 밀도의 95-97%에 도달할 수 있습니다.

4.2.3 단조 및 압연

4.2.3.1 열간 단조 및 냉간 단조 공정

단조는 블랭크의 밀도와 기계적 특성을 향상시키기 위해 TZM 폴리브덴 막대를 준비하는 데 중요한 단계입니다. 열간 단조 및 냉간 단조 공정은 다음과 같습니다.

열간 단조 : 1200-1600 °C 에서 수행되며 폴리브덴의 연성을 사용하여 입자 구조를 개선합니다. 열간 단조 압력은 일반적으로 50-100 MPa 이고 변형은 30-50 %로 제어됩니다.

냉간 단조: 표면 마감 및 품질 향상을 위해 실온에서 수행됩니다. 냉간 단조는 더 높은 압력(100-200 MPa)이 필요하지만 강도를 크게 증가시킬 수 있습니다.

열간 단조는 소결 블랭크의 미세 기공을 제거하고 밀도를 이론 밀도의 99% 이상으로 증가시킵니다. 냉간 단조는 입자 방향을 더욱 최적화하고 이방성 강도를 향상시킵니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

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

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

- High Melting Point:** Suitable for extreme high-temperature environments.
- Excellent High-Temperature Strength:** Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.
- Good Thermal Stability and Creep Resistance:** Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.
- Superior Corrosion and Oxidation Resistance:** Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.
- Excellent Machinability:** Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

- High-Temperature Furnace Components:** Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.
- Aerospace Industry:** Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.
- Nuclear Industry:** Used in reactor support structures and control rod guide systems.
- Electronics Industry:** Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.
- Mold Manufacturing:** Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

4.2.3.2 압연 장비 및 공정 매개 변수

압연은 단조된 블랭크를 바로 가공하는 핵심 공정입니다. 압연 장비에는 4 단 압연기와 다중 높이 압연기가 포함되며 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

압연 온도: 재료의 연성을 보장하기 위해 1000-1400°C.

변형 : 단일 압연의 변형은 균열을 피하기 위해 10-20 %로 제어됩니다.

압연 속도: 0.5-2m/s, 균형 효율과 품질.

압연 공정은 TZM 폴리브덴 막대의 표면 품질과 치수 정확도를 크게 향상시킬 수 있습니다. 이 연구는 현대 압연 장비가 압연 매개 변수의 정확한 제어를 보장하기 위해 서보 제어 시스템을 채택한다는 것을 보여줍니다.

4.2.4 압출 및 드로잉

4.2.4.1 고온 압출 기술

고온 압출은 압연 블랭크를 일반적으로 1200-1600°C 에서 길쭉한 막대로 가공하는 공정입니다. 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

압출 비율: 5:1 - 10:1 로 균일한 변형을 보장합니다.

금형 재료: 텅스텐 카바이드 또는 고온 합금, 내마모성 및 고온 내성.

윤활제: 마찰 과 다이 마모를 줄이기 위해 흑연 또는 이황화 폴리브덴.

고온 압출은 고정밀 바의 제조에 적합한 TZM 폴리브덴 바의 밀도와 기계적 특성을 크게 향상시킬 수 있습니다.

4.2.4.2 인발 다이 및 윤활제

드로잉은 높은 정밀도와 매끄러운 표면을 얻기 위해 TZM 폴리브덴 막대를 마무리하는 과정입니다. 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

금형 재료: 텅스텐 카바이드 또는 다이아몬드 몰드, 높은 경도, 내마모성.

드로잉 속도: 표면의 흠집을 방지하기 위해 0.1-0.5m/s.

윤활제: 건식 윤활(예: 흑연 분말) 또는 습식 윤활(예: 유성 윤활제).

드로잉 프로세스는 TZM 폴리브덴 막대의 표면 거칠기를 개선하고 피로 저항을 향상시킬 수 있습니다.

4.3 TZM 폴리브덴 막대 가공 및 마무리

TZM 폴리브덴 막대의 가공 및 마무리 공정에는 선삭 및 밀링, 연삭 및 연마, 열처리 및 어닐링, 표면 처리가 포함됩니다. 이러한 공정은 TZM 폴리브덴 막대의 치수 정확도, 표면 품질 및 성능 안정성을 보장합니다.

4.3.1 터닝 및 밀링

4.3.1.1 CNC 가공 기술

수치 제어 가공(CNC)은 복잡한 형상의 부품 제조를 위해 TZM 폴리브덴 막대를

저작권 및 법적 책임 선언문

마무리하는 주요 방법입니다. 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

공구 재료: 텅스텐 카바이드 또는 다결정 다이아몬드(PCD), 높은 경도 및 내마모성.

절삭 속도 : 50-100 m / min, 과열을 피하십시오.

피드 : 0.05-0.2 mm / rev, 효율과 표면 품질의 균형.

CNC 가공을 통해 TZM 폴리브덴 막대의 치수 정확도는 항공 우주 및 반도체 장비의 요구 사항을 충족하는 $\pm 0.05\text{mm}$ 에 도달 할 수 있습니다. 연구에 따르면 최신 CNC 머시닝 센터는 5 축 연결 기술을 사용하여 복잡한 형상을 가공할 수 있습니다.

4.3.1.2 가공 정확도 및 표면 거칠기

TZM 폴리브덴 막대의 가공 정확도와 표면 거칠기는 성능에 중요한 영향을 미칩니다. 표면 거칠기(Ra)를 높이면 응력 집중과 균열 시작이 줄어듭니다. 가공 정확도의 제어는 고정밀 공작 기계와 공정 매개변수의 엄격한 최적화에 달려 있습니다. 예를 들어, 저속 절삭 및 절삭유를 사용하면 열 영향 영역을 줄이고 표면 품질을 향상시킬 수 있습니다.

4.3.2 연삭 및 연마

4.3.2.1 기계연마기술

기계적 연마는 연삭 휠 또는 연마 천을 통해 TZM 폴리브덴 막대 표면의 작은 결함을 제거하여 표면 마감을 향상시킵니다. 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

연마제: 다이아몬드 또는 알루미나, 입자 크기 0.5-5 미크론.

연마 속도: 1000-3000rpm, 마찰열 제어.

연마 매체 : 수성 또는 유성 연마 슬러리.

기계적 연마는 표면 거칠기를 개선하고 피로 저항을 크게 향상시킵니다.

4.3.2.2 화학적 연마 및 전기 연마

화학적 연마 및 전해 연마는 TZM 폴리브덴 막대의 표면 품질을 더욱 향상시키는 데 사용됩니다.

화학적 연마: 표면 거칠기가 최대 0.02 미크론인 산성 용액(예: 질산과 황산의 혼합물)으로 표면 미세 결함의 부식.

Electropolishing: 전해질에서 양극 용해에 의한 표면 물질 제거, 고정밀 부품에 적합합니다. 전기 연마 전압은 일반적으로 10-20V 이고 전류 밀도는 $0.5\text{-}2\text{A}/\text{cm}^2$ 입니다.

화학적 연마 및 전기 연마는 TZM 폴리브덴 막대의 내식성과 표면 마감을 크게 향상시킬 수 있습니다.

4.3.3 열처리 및 어닐링

4.3.3.1 어닐링 온도 및 입자 제어

저작권 및 법적 책임 선언문

어닐링은 가공 스트레스를 완화하고 입자 구조를 최적화하기 위한 핵심 공정입니다. TZM 폴리브덴 막대의 어닐링은 일반적으로 1000-1400 °C 의 온도에서 진공 또는 불활성 분위기에서 수행됩니다. 주요 매개변수는 다음과 같습니다.

어닐링 온도: 대부분의 응력을 완화하기 위해 1200°C, 입자 크기를 조정하기 위해 1400°C.

유지 시간: 곡물 균질화를 보장하기 위해 1-2 시간.

냉각 속도: 열 응력을 피하기 위해 5-10°C/min.

어닐링은 TZM 폴리브덴 막대의 입자 크기를 10-30 미크론으로 제어하여 인성과 크리프 저항을 향상시킬 수 있습니다.

4.3.3.2 스트레스 해소 기법

응력 제거 기술에는 저온 어닐링(800-1000°C) 및 진동 응력 제거가 포함됩니다. 저온 어닐링은 기계 가공된 부품에 적합하며, 진동 응력 완화는 기계적 진동을 통해 잔류 응력을 완화합니다. 이러한 기술은 TZM 폴리브덴 막대의 피로 수명과 치수 안정성을 향상시킬 수 있습니다.

4.3.4 표면 처리

4.3.4.1 항산화 코팅 기술

산화 방지 코팅은 고온 산화 환경에서 TZM 폴리브덴 막대의 수명을 연장하는 핵심 기술입니다. 일반적으로 사용되는 코팅은 다음과 같습니다.

폴리브덴 실리사이드(MoSi₂) 코팅: 화학 기상 증착(CVD) 또는 플라즈마 스프레이 증착에 의한 증착은 1500°C 에서 재료를 보호합니다.

알루미나(Al₂O₃) 코팅: 물리 기상 증착(PVD) 증착에 의한 고온 산화 및 부식에 강합니다.

항산화 코팅은 1200°C 의 산화 환경에서 TZM 폴리브덴 막대의 수명을 2-3 배 연장할 수 있습니다.

4.3.4.2 표면 침탄 및 질화

표면 침탄 및 질화는 TZM 폴리브덴 막대의 표면에 탄소 또는 질소 원자를 도입하여 표면 경도와 내마모성을 향상시킵니다.

침탄 : 1000-1200 °C 의 탄소 분위기에서 수행되어 최대 500 HV 의 경도를 가진 탄화물 층을 생성합니다.

질화: 800-1000°C 의 질소 분위기에서 수행하여 질화층을 생성하고 내식성을 향상시킵니다.

침탄 및 질화 공정은 TZM 폴리브덴 막대의 내마모성과 피로 저항을 크게 향상시킬 수 있습니다.

4.4 TZM 폴리브덴 막대 생산 설비 및 자동화

TZM 폴리브덴 막대의 생산 장비 및 자동화 기술은 생산 효율성과 제품 품질에 매우 중요합니다. 다음은 주요 생산 장비, 생산 라인 자동화 및 인텔리전스, 클린룸 및 환경 제어의 세 가지 측면에서 분석됩니다.

4.4.1 주요생산설비

4.4.1.1 진공 소결로

진공 소결로는 분말 블랭크를 고밀도 합금으로 소결하는 데 사용되는 TZM 폴리브덴 막대 생산의 핵심 장비입니다. 주요 기능은 다음과 같습니다.

발열체 : 텅스텐 히터, 고온 저항 및 균일 한 열전도.

진공 : 산화 오염을 줄이기 위해 $10^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C Pa}$.

온도 제어: 소결의 균일성을 보장하기 위해 $5^{\circ}\text{C} \pm$ 정확도.

세계 최고의 진공 소결로는 다단 가열 및 정확한 온도 제어를 달성할 수 있는 PLC 제어 시스템을 채택합니다.

4.4.1.2 단조 및 압연 장비

단조 및 압연 장비에는 유압 단조 기계와 4 단 압연기가 포함되며 주요 특징은 다음과 같습니다.

위조 기계: 압력 500-2000 톤, 뜨거운 위조 및 찬 위조를 위해 적당한.

압연기 : 서보 제어 시스템, 압연 속도 $0.5-2\text{m/s}$, 정확도 $\pm 0.05\text{mm}$.

이 기계는 TZM 폴리브덴 막대의 고밀도 및 고정밀 가공이 가능합니다.

4.4.1.3 CNC 머시닝 센터

CNC 머시닝 센터는 TZM 폴리브덴 막대의 마무리에 사용되며 복잡한 형상의 가공을 실현할 수 있는 5 축 연결 시스템과 텅스텐 카바이드 공구가 장착되어 있습니다. 가공 정확도는 $\pm 0.01\text{mm}$ 에 달하고 표면 거칠기 R_a 는 $1.6 \mu\text{m}$ 이하로 도달할 수 있습니다.

4.4.2 생산 라인의 자동화 및 지능화

TZM 폴리브덴 막대 생산 라인의 자동화 및 지능은 생산 효율성과 품질 일관성을 크게 향상시킵니다. 핵심 기술은 다음과 같습니다.

자동 제어: PLC 및 SCADA 시스템은 소결, 단조 및 처리 매개변수를 실시간으로 모니터링하는 데 사용됩니다.

Intelligent Inspection: 인라인 X-ray 검사 및 초음파 검사를 통해 블랭크 및 완제품에 대한 결함을 실시간으로 모니터링합니다.

데이터 분석: 빅 데이터와 인공지능을 활용하여 프로세스 매개변수를 최적화하고 제품 일관성을 개선합니다.

연구에 따르면 지능형 생산 라인은 생산 효율성을 30% 높이고 불량률을 1%

저작권 및 법적 책임 선언문

미만으로 줄일 수 있습니다.

4.4.3 생산 시 클린룸 및 환경 제어

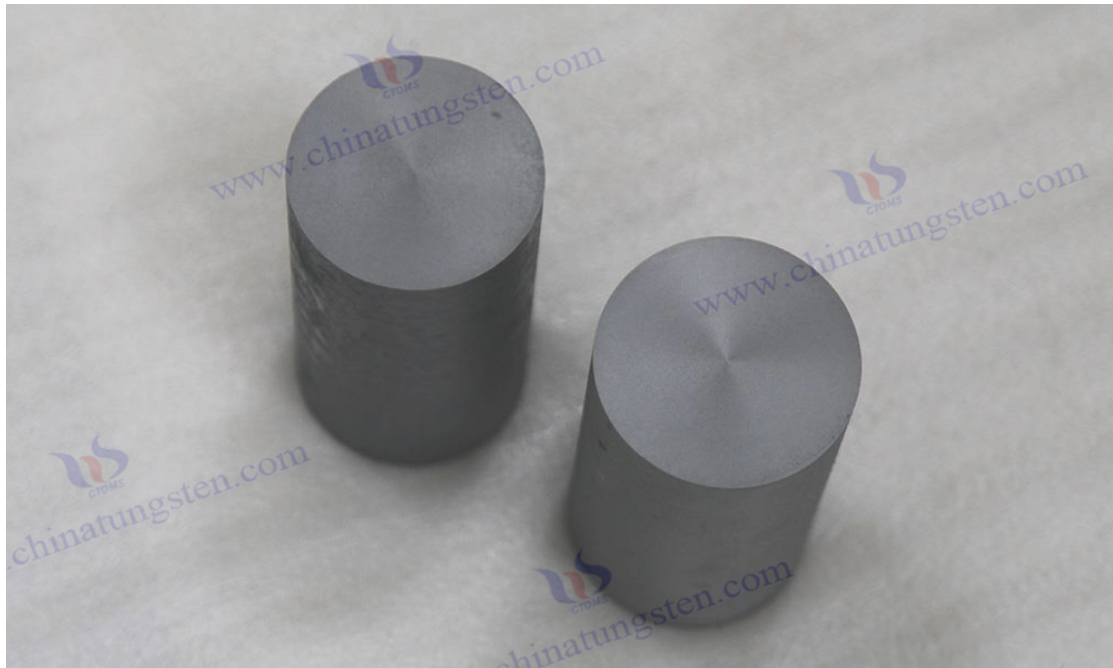
TZM 폴리브덴 막대의 생산은 환경적으로 까다롭고 먼지 및 불순물 오염을 피하기 위해 클린룸에서 수행해야 합니다. 주요 조치는 다음과 같습니다.

청결도: ISO Class 7 클린룸, 입자 농도 $< 10,000 \text{ particles/m}^3$.

환경 제어: 온도 20-25°C, 습도 40-60%, 분말 수분 흡수를 피하십시오.

분위기 보호 : 분말 혼합 및 소결은 산소 함량이 10ppm < 아르곤 또는 수소의 보호 하에서 수행됩니다.

클린룸 및 환경 제어는 TZM 폴리브덴 막대의 고순도 및 성능 안정성을 보장하여 반도체 및 항공 우주 응용 분야에 특히 적합합니다.



CTIA GROUP LTD TZM 폴리브덴 막대

5. TZM 폴리브덴 막대의 품질 관리 및 테스트

고성능 합금 재료로서 TZM 폴리브덴 막대의 품질 관리 및 검사는 고온, 고응력 및 부식성 환경에서 안정적인 작동을 보장하는 핵심입니다. 품질 관리는 원료 선택에서 완제품 검사에 이르기까지 전체 생산 공정에서 실행되며 온라인 테스트 기술, 성능 테스트 및 고장 분석과 같은 여러 측면을 포함합니다. 다음은 온라인 테스트 기술, 성능 테스트, 고장 분석 및 개선의 세 가지 하위 장에서 TZM 폴리브덴 막대의 품질 관리 및 테스트 기술에 대한 자세한 분석입니다.

5.1 TZM 폴리브덴 막대 온라인 감지 기술

인라인 검사 기술은 TZM 폴리브덴 막대의 생산 공정에서 중요한 부분으로, 제품 품질을 실시간으로 모니터링하고 치수 정확도, 표면 품질 및 내부 구조의 무결성을

저작권 및 법적 책임 선언문

보장하는 데 사용됩니다. 다음은 치수 및 기하학적 정확도 검사와 표면 결함 및 균열 감지의 두 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

5.1.1 치수 및 기하학적 정확도 테스트

TZM 폴리브덴 막대의 크기와 기하학적 정확도는 항공 우주, 원자력 산업 및 반도체 장비의 적용 효과에 직접적인 영향을 미칩니다. 치수 및 기하학적 정확도 테스트에는 주로 다음 기술이 포함됩니다.

레이저 거리 측정 및 3 좌표 측정 : 레이저 거리 측정기는 $\pm 0.01\text{mm}$ 의 정확도로 비접촉 고정밀 측정을 달성 할 수 있으며 이는 TZM 폴리브덴 막대의 직경, 길이 및 진원도를 감지하는 데 적합합니다. 좌표 측정 기계(CMM)는 촉각 프로브로 바의 형상을 측정하고 복잡한 형상의 치수 편차를 감지할 수 있습니다. 예를 들어, 항공 우주 산업에서 TZM 폴리브덴 막대는 $\pm 0.02\text{mm}$ 이내의 직경 공차를 가져야 하며 CMM 은 이 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

광학 프로파일러: 광학 프로파일러는 백색광 간섭계로 TZM 폴리브덴 막대의 표면 프로파일과 형상을 측정하며, 이는 막대의 원통도와 직진도를 감지하는 데 적합합니다. 최대 0.1 마이크론의 해상도로 고정밀 응용 분야에 적합합니다.

온라인 육안 검사 시스템: 현대 생산 라인은 CCD 카메라 및 이미지 처리 기술을 채택하여 TZM 폴리브덴 막대의 크기와 형상을 실시간으로 모니터링합니다. 이 시스템은 기계 학습 알고리즘을 사용하여 치수 편차를 식별하고 감지 속도가 초당 10 개에 달할 수 있어 생산 효율성이 크게 향상됩니다.

연구에 따르면 치수 및 기하학적 정확도 검사는 종종 ISO 1101 표준과 결합되어 TZM 폴리브덴 막대가 항공 우주(예: 로켓 노즐) 및 반도체 장비(예: 스퍼터링 대상)의 엄격한 요구 사항을 충족하는지 확인합니다. 주위 온도($20\text{-}25^{\circ}\text{C}$)와 습도($40\text{-}60\%$)는 열팽창 또는 습도로 인한 측정 오류를 방지하기 위해 검사 과정에서 제어해야 합니다.

5.1.2 표면 결함 및 균열 감지

표면 결함(예: 긁힘, 균열, 다공성) 및 내부 균열은 TZM 폴리브덴 막대의 기계적 특성과 서비스 수명을 크게 감소시킬 수 있습니다. 표면 결함 및 균열 감지는 다음과 같은 기술을 사용합니다.

초음파 검사(UT): 초음파 검사는 고주파 음파를 통해 TZM 폴리브덴 막대 내부의 균열, 기공 및 개재물을 감지합니다. 검사 빈도는 일반적으로 $5\text{-}10\text{MHz}$ 이고 프로브 직경은 $5\text{-}10\text{mm}$ 이며 0.1mm 이상의 결함을 감지할 수 있습니다. 초음파 검사는 특히 원자력 산업에서 바 내부 구조의 무결성을 평가하는 데 적합합니다.

와전류 탐상검사(ET): 와전류 탐상검사는 전자기 유도에 의해 TZM 폴리브덴 막대 표면의 미세한 균열 및 전도도 변화를 감지합니다. 검출 감도는 0.05mm 에 도달할 수 있으며 이는 인라인 감지에 적합합니다. 와전류 탐상검사의 장점은 빠르고(최대 1m/s) 대량 생산에 적합하다는 것입니다.

X-ray 검사(RT): X-ray 검사는 TZM 폴리브덴 막대 내부의 다공성 및 개재물과 같은 깊은 결함을 감지하는 데 사용됩니다. 최신 디지털 X-ray 이미징 시스템은 신뢰성이 높은 구성 요소를 검사할 수 < 고해상도 이미지(해상도 0.1mm)를

저작권 및 법적 책임 선언문

제공합니다.

표면 육안 검사: 인공 지능 알고리즘과 결합된 고해상도 CCD 카메라는 최대 0.01mm의 정확도로 TZM 폴리브덴 막대 표면의 균열, 구덩이 및 산화물 층을 감지할 수 있습니다. 연구에 따르면 육안 검사 시스템은 TZM 폴리브덴 막대 생산에서 불량률을 0.5% 미만으로 줄일 수 있습니다.

이러한 검사 기술은 표면 및 내부 결함에 대한 포괄적인 검사를 달성하기 위해 종종 조합되어 사용됩니다. 예를 들어, 초음파 및 X 선 검사는 내부 결함에 사용되며 와전류 및 육안 검사는 표면 결함에 사용됩니다. 시험 결과는 ASTM E1444(와전류 탐상검사) 및 ASTM E1742(X 선 검사)와 같은 국제 표준의 적용을 받습니다.

5.2 TZM 폴리브덴 막대 성능 테스트

성능 테스트는 고온, 고응력 및 부식성 환경에서 TZM 폴리브덴 막대의 성능을 평가하는 데 중요한 단계입니다. 다음은 고온 강도 및 경도 시험, 내식성 및 내산화성 시험, 열팽창 및 열전도율 시험의 세 가지 측면에서 상세한 분석입니다.

5.2.1 고온 강도 및 경도 시험

TZM 폴리브덴 막대의 고온 강도와 경도는 항공 우주 및 원자력 산업의 핵심 성능 지표입니다. 테스트 방법은 다음과 같습니다.

고온 인장 시험: 고온 인장 시험기(예: Instron 5980 시리즈)를 사용하여 1200-1600°C의 진공 또는 불활성 분위기에서 수행됩니다. 테스트 결과는 1200°C에서 TZM 폴리브덴 막대의 인장 강도가 400-500 MPa로 200-300 MPa에서 순수 폴리브덴보다 훨씬 높음을 보여줍니다. 이 테스트는 5°C± 온도 제어 정확도를 보장하기 위해 ASTM E21 표준을 준수해야 합니다.

고온 압축 시험: 고온에서 TZM 폴리브덴 막대의 압축 강도를 평가하는 데 사용되며 일반적으로 1400°C 및 50MPa에서 수행됩니다. 테스트 결과에 따르면 TZM 폴리브덴 막대의 항복 강도는 약 300-400 MPa로 고온 금형 응용 분야에 적합합니다.

경도 시험: 비커스 경도 시험기(HV) 또는 로크웰 경도 시험기(HRC)는 TZM 폴리브덴 막대의 경도를 테스트하는 데 사용됩니다. 실온에서 TZM 폴리브덴 막대의 비커스 경도는 250-300 HV로 200 HV에서 순수 폴리브덴보다 높습니다. 고온 경도 시험(1000°C)은 TZM 폴리브덴 막대의 경도가 10-15%만 감소하여 우수한 고온 안정성을 나타내는 것으로 나타났습니다.

마이크로 경도 시험: TZM 폴리브덴 막대의 미세한 경도는 나노 압입 기술로 측정하여 탄화물 입자(예: TiC 및 ZrC)의 강화 효과를 평가합니다. 테스트 결과는 탄화물 입자 영역의 경도가 최대 500HV 임을 보여주었습니다.

연구에 따르면 고온 강도 및 경도 테스트는 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 강화 효과를 평가하기 위해 미세 구조 분석(예: SEM, XRD)과 결합됩니다.

5.2.2 내식성 및 내산화성 시험

TZM 폴리브덴 막대의 내식성 및 내산화성은 고온 화학 환경에서 적용의 핵심입니다. 테스트 방법은 다음과 같습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

항산화 시험 : 1000-1200 °C 의 공기 또는 산소 분위기에서 실시하여 TZM 몰리브덴 막대의 산화 중량 증가율 및 산화물 층 두께를 측정했습니다. 테스트 결과에 따르면 TZM 몰리브덴 막대는 1000°C 이하에서 조밀한 MoO₂ 보호층을 형성할 수 있으며 산화 중량 증가율은 0.1mg/cm²·h 미만으로 순수 몰리브덴(1-2mg/cm²·h)보다 훨씬 우수합니다. 몰리브덴 실리사이드와 같은 산화 방지 코팅은 사용 온도를 최대 1500°C 까지 높일 수 있습니다.

내식성 시험: 묽은 황산, 염산 및 알칼리성 용액의 부식 속도 시험. 테스트 결과는 5 % 황산 용액에서 TZM 몰리브덴 막대의 부식 속도가 약 0.01mm / 년으로 스테인레스 스틸 0.1mm / 년보다 훨씬 낮다는 것을 보여줍니다.

전기화학 시험: TZM 몰리브덴 막대의 부식 잠재력 그리고 부식 현재 조밀도는 부식성 환경에 있는 그것의 안정성을 평가하기 위하여 전위차 스캐닝 방법에 의해 측정됩니다. 테스트 결과는 TZM 몰리브덴 막대의 부식 잠재력이 순수 몰리브덴보다 높고 더 나은 내식성을 보여줍니다.

연구에 따르면 산화 및 내식성 테스트는 테스트 결과의 신뢰성을 보장하기 위해 원자로 냉각수 또는 반도체 제조 환경과 같은 실제 응용 환경과 결합되어야 합니다.

5.2.3 열팽창 및 열전도율 시험

열팽창 및 열전도율은 고온 응용 분야에서 TZM 몰리브덴 막대의 핵심 성능 매개변수입니다. 테스트 방법은 다음과 같습니다.

열팽창 시험: TZM 몰리브덴 막대의 열팽창 계수는 팽창계(예: NETZSCH DIL 402)를 사용하여 실온에서 1600°C 까지 측정합니다. 테스트 결과에 따르면 TZM 몰리브덴 막대의 열팽창 계수는 5.3×10⁻⁶/K 로 13×10⁻⁶/K 의 니켈 기반 합금보다 낮아 우수한 치수 안정성을 보여줍니다.

열전도율 시험: TZM 몰리브덴 막대의 열전도율은 레이저 플래시 방법(LFA)으로 측정됩니다. 테스트 결과는 TZM 몰리브덴 막대의 열전도율이 139 W/m·K 이며 1200°C 에서 10-15%만 감소하여 고온 방열 응용 분야에 적합함을 보여줍니다.

열확산율 시험: TZM 몰리브덴 막대의 열확산율은 레이저 플래시 방식으로 밀도와 비열 데이터를 결합하여 계산하고 열전도 효율을 평가합니다. 테스트 결과는 TZM 몰리브덴 막대의 열 확산율이 고온에서 안정적으로 유지됨을 보여줍니다.

이러한 테스트는 데이터 정확성과 반복성을 보장하기 위해 ASTM E228(열팽창) 및 ASTM E1461(열전도율) 표준을 준수해야 합니다. 측정 결과에 영향을 미치는 산화를 방지하기 위해 테스트 중에 대기(예: 아르곤 또는 진공)를 제어해야 합니다.

5.3 TZM 몰리브덴 막대의 고장 분석 및 개선

고장 분석은 TZM 몰리브덴 막대의 품질과 신뢰성을 향상시키는 중요한 수단이며, 균열, 파괴, 고온 피로 및 크리프와 같은 고장 모드를 분석하여 목표 개선 조치를 제안합니다. 다음은 균열 및 파괴 해석, 고온 피로 및 크리프 해석, 품질 개선 조치의 세 가지 측면에 대한 자세한 분석입니다.

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

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

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

저작권 및 법적 책임 선언문

5.3.1 균열 및 파괴 분석

균열 및 파괴는 고온 및 고응력 환경에서 TZM 폴리브덴 막대의 주요 고장 모드입니다. 분석 방법에는 다음이 포함됩니다.

파괴 분석: 주사 전자 현미경(SEM)으로 TZM 폴리브덴 막대의 파괴 형태를 관찰하여 파괴 유형(연성 파괴 또는 취성 파괴)을 결정합니다. 결과는 TZM 폴리브덴 막대의 파괴 인성이 $15\text{-}20\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 로 순수 폴리브덴 $10\text{-}12\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 보다 높지만 고온 순환 응력으로 인해 미세 균열이 발생할 수 있음을 보여줍니다.

균열 전파 분석: 전자 후방 산란 회절(EBSD)은 입자 경계 및 탄화물 입자의 역할을 평가하기 위해 균열 전파 경로를 분석하는 데 사용됩니다. 결과는 탄화물 입자가 균열 전파를 효과적으로 방해하고 파괴 저항을 향상시킬 수 있음을 보여줍니다.

응력 집중 분석: 고온에서 TZM 폴리브덴 막대의 응력 분포는 균열 시작 위치를 식별하기 위해 유한 요소 분석(FEA)에 의해 시뮬레이션됩니다. 표면 결함(예: 긁힘, 다공성)은 주요 응력 집중입니다.

연구에 따르면 균열 및 균열은 종종 표면 품질 및 미세 구조 결함과 관련이 있습니다. 예를 들어, 가공 중 표면 긁힘은 피로 균열을 유발할 수 있으며 소결 중 기공은 취성 파괴를 유발할 수 있습니다.

5.3.2 고온 피로 및 크리프 해석

고온 피로 및 크리프는 장기 고온 응력 환경에서 TZM 폴리브덴 막대의 주요 고장 모드입니다. 분석 방법에는 다음이 포함됩니다.

고온 피로 시험: 피로 시험은 TZM 폴리브덴 막대의 피로 수명을 평가하기 위해 $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 및 $\pm 200\text{ MPa}$ 의 반복 응력 하에서 수행되었습니다. 테스트 결과에 따르면 TZM 폴리브덴 막대의 피로 수명은 10^5 사이클로 순수 폴리브덴 10^4 사이클보다 훨씬 높습니다. 피로 균열은 일반적으로 표면 결함 또는 결정립계에서 발생하며 탄화물 입자는 균열 전파를 늦출 수 있습니다.

크리프 테스트: 크리프 테스트는 TZM 폴리브덴 로드와 크리프 속도와 수명을 측정하기 위해 $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 및 20 MPa 에서 수행되었습니다. 테스트 결과는 TZM 폴리브덴 막대의 크리프 속도가 순수 폴리브덴의 약 $1/10$ 이고 서비스 수명이 5000 시간에 달할 수 있음을 보여줍니다. 크리프 파괴는 주로 입계 미끄러짐 및 전위 상승으로 인해 발생하며 탄화물 입자의 고정 효과는 크리프 속도를 크게 감소시킵니다.

미세 구조 분석: 투과 전자 현미경(TEM)을 사용하여 고온 피로 및 크리프 과정에서 TZM 폴리브덴 막대의 전위 및 결정립 경계 변화를 관찰했습니다. 결과는 티타늄 및 지르코늄의 용액 강화와 탄화물 입자의 석출 강화가 피로 저항과 크리프 저항을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 보여줍니다.

연구에 따르면 고온 피로 및 크리프 해석은 고장 메커니즘을 정확하게 평가하기 위해 항공우주 고온 사이클 또는 장기 원자로 작동과 같은 실제 응용 환경과 결합되어야 합니다.

5.3.3 품질 개선 조치

고장 분석 결과를 바탕으로 TZM 몰리브덴 막대의 품질 개선 조치에는 주로 다음과 같은 측면이 포함됩니다.

최적화된 표면 품질: 기계적, 화학적 및 전기 연마를 통해 표면 거칠기를 1.6 미크론 미만으로 줄이고 균열 시작 지점을 줄입니다. 산화 방지 코팅(예: 몰리브덴 실리사이드, 알루미늄)은 내식성을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

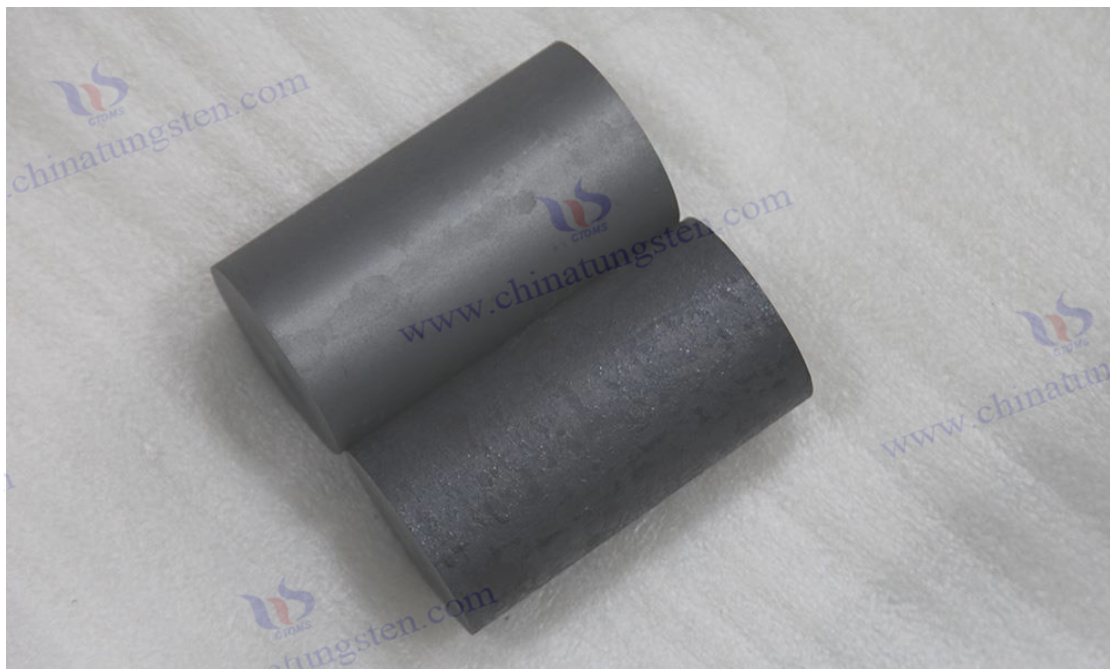
개선된 미세 구조: 분말 야금 공정을 최적화하여(예: 소결 온도를 1800°C 로 낮추고 냉각 속도를 제어) 피로와 크리프 저항을 개선하여 더 미세한 입자(3.0~5.0 미크론)를 얻습니다.

향상된 생산 공정 제어: 온라인 검사 기술(예: 초음파, X 선)과 지능형 생산 라인을 채택하여 결함 및 성능 매개변수를 실시간으로 모니터링하여 제품 일관성을 보장합니다.

새로운 코팅의 개발: 1500°C 이상의 환경에서 TZM 몰리브덴 막대의 수명을 향상시키기 위한 새로운 산화 방지 및 부식 방지 코팅(예: 나노 복합 코팅)에 대한 연구.

품질 경영 시스템: ISO 9001 및 AS9100(항공우주) 품질 경영 시스템을 구현하여 원자재에서 완제품에 이르기까지 품질 관리를 보장합니다.

이 연구는 위의 개선 조치를 통해 TZM 몰리브덴 막대의 불량률을 0.5% 미만으로 줄일 수 있고 수명을 20-30% 늘릴 수 있음을 보여주며, 이는 항공 우주, 원자력 산업 및 반도체 장비의 높은 신뢰성 요구 사항을 충족합니다.



CTIA GROUP LTD TZM 몰리브덴 막대

6. TZM 몰리브덴 막대의 사용

고성능 합금 재료로서 TZM 몰리브덴 막대는 우수한 고온 강도, 크리프 저항, 낮은 열팽창 계수 및 높은 열전도율로 인해 많은 첨단 기술 분야에서 널리 사용되었습니다. TZM 몰리브덴 막대(몰리브덴)에 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr) 및 탄소(C)를 추가하면 몰리브덴의 특성이 크게 향상되어 고온 용광로, 항공 우주, 원자력 산업, 전자 및 반도체 산업 및 기타 산업 및 과학 분야에 이상적입니다. 다음은 5 가지 측면에서 TZM 몰리브덴 막대의 사용에 대한 자세한 설명입니다.

6.1 고온로에 적용

TZM 몰리브덴 막대는 높은 융점(약 2623°C), 우수한 크리프 저항 및 내산화성으로 인해 고온로 제조에서 중요한 역할을 하며 1600°C 이상의 고온 환경에서 장기간 안정적으로 작동할 수 있습니다. 다음은 발열체, 진공 소결로 및 열처리로의 세 가지 측면에서 적용을 분석합니다.

6.1.1 발열체로

TZM 몰리브덴 막대는 높은 열전도율(139 W/m·K)과 고온 변형에 대한 우수한 내성으로 인해 고온로에서 발열체로 널리 사용됩니다. 순수 몰리브덴과 비교하여 TZM 몰리브덴 막대는 최대 1400°C의 재결정 온도를 가지며 고온에서 미세한 입자 구조를 유지하고 입자 성장으로 인한 성능 저하를 방지할 수 있습니다. 저항로에서 TZM 몰리브덴 막대는 빠른 가열 및 냉각 사이클을 견디는 발열체로 사용되어 장기적인 안정성을 유지합니다.

구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

진공로: TZM 몰리브덴 막대는 진공 환경에서 발열체 역할을 하며 1600-1800°C에서 수천 시간 동안 작동할 수 있어 금속 및 세라믹의 소결에 적합합니다. 예를 들어, 티타늄 합금 및 지르코니아 소결로에서 TZM 몰리브덴 막대는 온도 균일성과 안정성을 보장합니다.

분위기 보호로: 아르곤 또는 질소 보호 분위기에서 TZM 몰리브덴 막대의 내산화성으로 인해 고온 산화 응력을 견디고 수명을 연장할 수 있습니다. Chinatungsten Online에 따르면 TZM 몰리브덴 막대의 발열체의 수명은 순수 몰리브덴의 수명보다 약 50% 길다.

고온 어닐링로: TZM 몰리브덴 막대는 어닐링로의 발열체를 만드는 데 사용되며, 이는 고성능 합금의 열처리에 적합한 1400°C 이상의 안정적인 열장을 제공할 수 있습니다.

TZM 몰리브덴 막대의 표면은 일반적으로 산화 방지 코팅(예: 몰리브덴 실리사이드, MoSi₂)으로 코팅되어 산화 대기에서 내구성을 더욱 향상시킵니다. 세계 최고의 스토브 제조업체는 산업 및 과학적 요구를 충족하기 위해 고온 용광로 설계에 TZM 몰리브덴 막대를 광범위하게 사용합니다.

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

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

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

6.1.2 진공 소결로에 적용

진공 소결로는 고성능 재료(예: 세라믹, 금속 합금)의 제조에 중요한 장비이며 TZM 몰리브덴 막대는 높은 강도와 내식성으로 인해 소결로의 지지대, 도가니 및 발열체로 사용됩니다. 주요 응용 분야는 다음과 같습니다.

지지대 및 도가니: TZM 몰리브덴 막대는 고온에서 재료의 중력과 열 응력을 견딜 수 있는 소결로용 지지 프레임과 도가니를 만드는 데 사용됩니다. 예를 들어, 알루미늄 세라믹 소결로에서 TZM 몰리브덴 막대 지지대는 기하학적 안정성을 유지하고 변형을 방지합니다.

고온 고정구: TZM 몰리브덴 막대는 소결 재료를 고정하고 소결 공정 중에 치수 정확도를 보장하는 데 사용되는 고정구로 가공됩니다. 낮은 열팽창 계수($5.3 \times 10^{-6}/K$)는 고온에서 설비의 안정성을 보장합니다.

열전대 보호 슬리브: TZM 몰리브덴 막대는 $1800^{\circ}C$ 이상의 진공 환경에서 열전대를 부식 및 기계적 손상으로부터 보호할 수 있는 열전대 보호 슬리브의 제조에 사용됩니다.

6.1.3 열처리로에 적용

열처리로는 금속 및 합금의 어닐링, 담금질 및 템퍼링에 사용되며 TZM 몰리브덴 막대는 우수한 크리프 저항성과 높은 열전도율로 인해 열처리로의 구조 부품 및 발열체에 널리 사용됩니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

발열체: TZM 몰리브덴 막대는 $1400-1600^{\circ}C$ 에서 안정적인 열장을 제공할 수 있는 열처리로에서 발열체로 사용되며 고강도 강철 및 티타늄 합금의 열처리에 적합합니다.

용광로 내부: TZM 몰리브덴 막대는 고온에서 재료의 무게와 열 응력을 견딜 수 있는 용광로 지지 프레임, 트레이 및 파티션의 제조에 사용됩니다. 예를 들어, 항공 우주 부품용 열처리로에서 TZM 몰리브덴 막대 지지대는 장기적인 안정성을 유지합니다.

분위기 제어: 수소 또는 아르곤 분위기의 열처리로에서 TZM 몰리브덴 막대의 내식성으로 인해 화학적 공격을 견디고 용광로의 수명을 연장 할 수 있습니다.

결과는 열처리로에 TZM 몰리브덴 막대를 적용하면 $\pm 5^{\circ}C$ 이내의 노의 온도 균일성을 제어하고 열처리 품질을 크게 향상시킬 수 있음을 보여줍니다. 글로벌 열처리로 제조업체는 항공 우주 및 자동차 산업의 요구 사항을 충족하기 위해 고급 장비에서 TZM 몰리브덴 막대를 선호합니다.

6.2 항공우주 분야

높은 용점, 우수한 고온 강도 및 낮은 열팽창 계수로 인해 TZM 몰리브덴 막대는 항공 우주 분야에서 대체할 수 없는 역할을 하며 로켓 노즐, 고온 구조 부품 및 우주선 열 보호 시스템에 널리 사용됩니다. 다음은 이러한 세 가지 측면에 대한 자세한 분석입니다.

6.2.1 로켓 노즐의 응용

로켓 노즐은 항공 우주 산업에서 가장 까다로운 응용 분야 중 하나이며 $2000^{\circ}C$

저작권 및 법적 책임 선언문

이상의 고온과 강한 열 충격을 견딥니다. TZM 폴리브덴 막대는 높은 용점(2623°C)과 우수한 열충격 저항으로 인해 로켓 노즐에 선택되는 재료가 되었습니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

노즐 인후: TZM 폴리브덴 막대는 연소실의 고온 및 고압 가스 흐름을 견딜 수 있는 로켓 노즐의 인후를 만드는 데 사용됩니다. 예를 들어, SpaceX 의 Raptor 엔진 노즐은 액체 산소/메탄 연소로 인한 극한의 열 부하에 대처하기 위해 TZM 합금을 사용합니다.

노즐 확장: TZM 폴리브덴 막대는 노즐 확장에 사용되며 기하학적 안정성을 유지하고 열 응력으로 인한 변형을 줄일 수 있습니다. 낮은 열팽창 계수($5.3 \times 10^{-6}/K$)는 급격한 온도 변화 중에 노즐이 균열되지 않도록 합니다.

산화 방지 코팅: 산화 연소 환경에서 내구성을 향상시키기 위해 TZM 폴리브덴 막대 노즐은 일반적으로 폴리브덴 실리사이드 또는 지르코니아 코팅으로 코팅되어 수명을 연장합니다.

6.2.2 고온 구조 부품에 적용

TZM 폴리브덴 막대는 터빈 블레이드, 연소실 벽 및 추진 시스템 구성 요소와 같은 항공 우주 고온 구조 부품에 널리 사용됩니다. 우수한 고온 강도(1200°C 에서 인장 강도 400-500MPa)와 크리프 저항성으로 인해 복잡한 응력 환경을 견딜 수 있습니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

터빈 블레이드: TZM 폴리브덴 막대는 1400°C 이상에서 강도와 안정성을 유지할 수 있는 항공기 엔진 터빈 블레이드의 지지 구조를 만드는 데 사용됩니다.

연소실 벽: TZM 폴리브덴 막대는 고온 연소 가스의 정련 및 열 충격을 견딜 수 있는 연소실 벽을 만드는 데 사용됩니다. 예를 들어, NASA 의 X-33 우주 왕복선 연소실은 TZM 합금 부품을 사용합니다.

커넥터: TZM 폴리브덴 막대는 항공 우주 장비의 고온 조립에 적합한 고온 볼트 및 커넥터로 가공됩니다.

6.2.3 우주선 열 보호에 적용

우주선은 재진입 시 섭씨 수천 도의 온도에 노출되며, TZM 폴리브덴 막대는 높은 열전도율과 열충격 저항으로 인해 열 보호 시스템(TPS)에 사용됩니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

열 보호판: TZM 폴리브덴 막대는 우주선 외부의 단열 보호층에 사용되는 얇은 판으로 가공되어 열을 빠르게 발산하고 내부 구조를 보호할 수 있습니다.

열 차폐 : TZM 폴리브덴 막대는 민감한 부품에 대한 고온 전도를 방지하기 위해 우주선의 열 차폐를 만드는 데 사용됩니다. 예를 들어, 국제 우주 정거장의 일부 열 차폐는 TZM 합금으로 만들어집니다.

제거 방지 코팅: TZM 폴리브덴 막대의 표면은 일반적으로 극한의 열 환경에서 내구성을 향상시키기 위해 내마모성 재료(예: 탄소/탄소 복합재)로 코팅됩니다.

6.3 원자력 산업

TZM 폴리브덴 막대는 원자로, 핵융합 장치 및 방사성 물질 취급을 포괄하는 낮은 열 중성자 흡수 단면, 고온 강도 및 방사선 저항으로 인해 원자력 산업에서 중요한 응용 분야를 가지고 있습니다. 다음은 이러한 세 가지 측면에 대한 자세한 분석입니다.

6.3.1 원자로에 있는 신청

TZM 폴리브덴 막대는 원자로에서 제어봉, 구조 부품 및 연료 클래딩을 만드는 데 사용되며 고온 및 높은 방사선 환경을 견딜 수 있습니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

제어봉: TZM 폴리브덴 막대는 고온(800-1200°C) 및 중성자 조사에서 안정성을 유지할 수 있는 제어봉의 지지 구조를 제조하는 데 사용됩니다. 열 중성자 흡수 단면적이 낮아 (약 2.6 헷간)으로 인해 스테인리스 스틸보다 우수합니다.

구조 부품: TZM 폴리브덴 막대는 반응기 내부의 지지 프레임과 배관에 사용되며 고온 냉각수의 부식 및 기계적 응력을 견딜 수 있습니다. 예를 들어, China Experimental Fast Reactor와 같은 고속 반응기는 TZM 합금 구조 부품을 사용합니다.

연료 클래딩: TZM 폴리브덴 막대는 고온 및 높은 방사선에서 기밀성을 유지하고 방사성 물질의 누출을 방지할 수 있는 핵 연료 클래딩을 만드는 데 사용됩니다.

6.3.2 핵융합 장치에 있는 신청

토카막 및 관성 감금 핵융합 장치와 같은 핵융합 장치는 재료에 대한 요구 사항이 매우 높으며 TZM 폴리브덴 막대는 플라즈마 공격에 대한 내성과 높은 열전도율로 인해 널리 사용됩니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

플라즈마 외장재(PFM): TZM 폴리브덴 로드는 고에너지 플라즈마 충격과 2000°C 이상의 순간 열 부하를 견딜 수 있는 토카막 장치의 디플렉터와 1 차 벽을 제작하는 데 사용됩니다. 예를 들어, ITER(International Experimental Thermonuclear Fusion Reactor)은 TZM 합금을 디플렉터 재료로 사용합니다.

방열판 재료: TZM 폴리브덴 막대의 높은 열전도율로 인해 열을 빠르게 발산하고 융합 장치의 민감한 부분을 보호할 수 있는 방열판 재료입니다.

구조적 지원: TZM 폴리브덴 막대는 고온 및 강한 자기장에서 안정성을 유지할 수 있는 융합 장치의 지지 구조를 제작하는 데 사용됩니다.

6.3.3 방사성 물질 취급의 응용

TZM 폴리브덴 막대는 방사성 물질의 가공에 사용되어 용기, 차폐 재료 및 작동 도구를 만드는 데 사용되며 높은 수준의 방사선 및 화학적 부식에 강합니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

방사성 폐기물 용기 : TZM 폴리브덴 막대는 장기간 방사선 및 부식을 견딜 수 있는 고 방사성 폐기물을 저장하기 위한 용기로 가공됩니다.

차폐 재료: TZM 폴리브덴 막대는 고밀도 (10.2 g / cm³) 및 낮은 열 중성자 흡수 단면으로 인해 기존의 납 차폐 재료보다 우수한 방사선 차폐 재료의 제조에 사용됩니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

작동 도구: TZM 폴리브덴 막대는 고방사선 환경에서 안전하게 작동할 수 있는 매니플레이터 및 지그와 같은 고온 작동 도구를 제조하는 데 사용됩니다.

6.4 전자 및 반도체 산업

TZM 폴리브덴 막대는 이온 주입 장치, 박막 증착 및 전자 장치 제조를 포함하여 높은 열전도율, 낮은 열팽창 계수 및 내식성으로 인해 전자 및 반도체 산업에서 널리 사용됩니다. 다음은 이러한 세 가지 측면에 대한 자세한 분석입니다.

6.4.1 이온 주입 장치의 응용

이온 주입 장치는 반도체 칩 제조에 사용되며 TZM 폴리브덴 막대는 높은 강도와 플라즈마 공격에 대한 내성으로 인해 핵심 부품으로 사용됩니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

이온 소스 구성 요소: TZM 폴리브덴 막대는 고 에너지 이온 빔의 충격을 견딜 수 있는 이온 소스의 전극 및 빔 안내 구성 요소를 제조하는 데 사용됩니다. 높은 열전도율(139 W/m·K)은 빠른 열 방출을 보장하고 국부적인 과열을 방지합니다.

설비 및 대상: TZM 폴리브덴 막대는 고온 및 고진공 환경에서 치수 안정성을 유지할 수 있는 실리콘 웨이퍼를 고정하기 위한 설비로 가공됩니다. 예를 들어, TSMC의 이온 주입 장치는 TZM 폴리브덴 막대 고정 장치를 사용합니다.

차폐 구성 요소: TZM 폴리브덴 막대는 고에너지 입자의 방사선 및 부식에 강한 이온 주입 장치의 차폐판 제조에 사용됩니다.

6.4.2 박막 증착에 응용

박막 증착(예: 물리 기상 증착, PVD)은 반도체 및 전자 장치 제조의 핵심 공정이며, TZM 폴리브덴 막대는 높은 열전도율과 내식성으로 인해 스퍼터링 타겟 및 고정 장치로 사용됩니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

스퍼터링 타겟: TZM 폴리브덴 로드는 금속 전도성 및 절연층과 같은 고성능 박막을 증착하기 위해 스퍼터링 타겟으로 가공됩니다. 그것의 균질한 미세구조는 스퍼터링된 필름의 균질성을 보장합니다.

지그 및 지지대: TZM 폴리브덴 막대는 PVD 장비에서 지그 및 지지대를 만드는 데 사용되며, 이는 고온 및 고진공에서 안정성을 유지할 수 있습니다. 예를 들어, OLED 스크린 제조에서 TZM 폴리브덴 막대 고정 장치는 기판을 고정하는 데 사용됩니다.

발열체: TZM 폴리브덴 막대는 800-1200°C에서 안정적인 열장을 제공할 수 있는 PVD 장비용 발열체를 만드는 데 사용됩니다.

6.4.3 전자 장치 제조의 응용

TZM 폴리브덴 막대는 고온 설비, 전극 및 커넥터를 제조하기 위한 전자 장치 제조에 사용됩니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

고온 설비 : TZM 폴리브덴 막대는 웨이퍼 가공에서 설비를 제조하는 데 사용되며 고온 어닐링 및 확산 공정에서 안정성을 유지할 수 있습니다. 예를 들어,

저작권 및 법적 책임 선언문

인텔의 칩 제조 장비는 TZM 폴리브덴 막대 고정 장치를 사용합니다.

전극 : TZM 폴리브덴 막대는 고온 및 고전류를 견딜 수 있는 진공관 및 마이크로파 장치의 전극과 같은 전자 장치의 폴리브덴 전극 제조에 사용됩니다.

커넥터: TZM 폴리브덴 막대는 열 순환 및 기계적 응력을 견딜 수 있는 전자 장치 조립을 위한 고온 커넥터로 가공됩니다.

6.5 기타 산업 및 과학 연구 분야

TZM 폴리브덴 막대는 고온 실험 장비, 고온 금형 및 도구, 적층 제조와 같은 다른 산업 및 과학 분야에서도 널리 사용됩니다. 다음은 이러한 세 가지 측면에 대한 자세한 분석입니다.

6.5.1 고온 실험 장비에 적용

TZM 폴리브덴 막대는 고온 안정성과 내식성으로 인해 재료 시험로, 플라즈마 물리학 실험 장치 및 고온 반응기와 같은 고온 실험 장비에 널리 사용됩니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

재료 시험로: TZM 폴리브덴 막대는 1600°C 이상의 안정적인 열장을 제공할 수 있는 고온 인장 및 압축 시험로용 고정 장치 및 발열체를 제조하는 데 사용됩니다. 예를 들어, ASTM E21 표준 테스트 장비는 TZM 폴리브덴 막대 고정 장치를 사용합니다.

플라즈마 물리학 실험 : TZM 폴리브덴 막대는 고 에너지 플라즈마의 침식을 견딜 수 있는 플라즈마 실험 장치의 전극 및 지지대를 제조하는 데 사용됩니다. 예를 들어, 레이저 플라즈마 실험 설정은 TZM 합금 전극을 사용합니다.

고온 반응기 : TZM 폴리브덴 막대는 고온 및 부식성 대기에서 안정적으로 작동할 수 있는 화학 반응기의 발열체 및 지지 구조를 만드는 데 사용됩니다.

6.5.2 고온 금형 및 도구에 적용

TZM 폴리브덴 막대는 높은 경도 (250-300 HV) 및 내마모성으로 인해 고온 금형 및 도구 제조에 사용됩니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

다이 캐스팅 금형 : TZM 폴리브덴 막대는 800-1000 °C 에서 높은 응력과 마모를 견딜 수 있는 알루미늄 합금 및 마그네슘 합금 용 다이 캐스팅 금형을 만드는 데 사용됩니다.

열간 단조 금형 : TZM 폴리브덴 막대는 1200 °C 이상의 강도와 치수 안정성을 유지할 수 있는 항공 우주 부품 용 열간 단조 금형을 제조하는 데 사용됩니다.

절삭 공구 : TZM 폴리브덴 막대는 텅스텐 합금 및 고온 합금 가공에 적합한 고온 절삭 공구로 가공됩니다.

6.5.3 적층 제조의 응용

적층 제조(3D 프린팅)는 레이저 선택적 용융(SLM) 또는 전자빔 용융(EBM) 기술로 복잡한 모양의 TZM 합금 부품을 제조할 수 있는 TZM 폴리브덴 막대의 새로운 응용 분야입니다. 구체적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

항공 우주 구성 요소: TZM 몰리브덴 막대 분말은 3D 프린팅 로켓 노즐 및 터빈 블레이드에 사용되어 복잡한 형상을 가능하게 하고 가공 비용을 절감합니다. 예를 들어, NASA의 3D 프린팅 TZM 합금 노즐은 30% 더 가볍습니다.

의료 기기: TZM 몰리브덴 막대는 고온 및 부식성 환경에서 안정성을 유지할 수 있는 오토클레이브 장비 부품을 3D 프린팅하는 데 사용됩니다.

과학 연구 모델: TZM 몰리브덴 막대 분말은 재료 테스트 및 물리적 실험의 요구를 충족시키기 위해 3D 인쇄 고온 실험 모델에 사용됩니다.



CTIA GROUP LTD TZM 몰리브덴 막대

7. TZM 몰리브덴 막대의 기술적 과제 및 향후 개발

고성능 초합금으로서 TZM 몰리브덴 막대는 우수한 고온 강도, 크리프 저항 및 낮은 열팽창 계수로 인해 항공 우주, 원자력 산업, 반도체 제조 및 기타 분야에서 널리 사용됩니다. 그러나 점점 더 가혹해지는 적용 환경과 산업 기술의 급속한 발전으로 인해 TZM 몰리브덴 막대의 준비 및 적용은 고온 산화 저항, 복잡한 형상 제조 및 생산 비용 관리를 포함한 많은 기술적 과제에 직면해 있습니다. 동시에 신소재, 지능형 제조 및 녹색 생산 기술은 TZM 몰리브덴 막대의 미래 개발을 위한 새로운 기회를 제공합니다. 이 장에서는 기술적 과제, 신소재 및 기술, 지능형 및 친환경 제조, 미래 개발 동향의 네 가지 측면에서 TZM 몰리브덴 막대의 현재 상황과 미래에 대해 종합적으로 논의합니다.

7.1 기술적 과제

TZM 몰리브덴 막대의 준비 및 적용은 고온 산화 저항 개선, 복잡한 형상 및 대형 제조의 어려움, 생산 비용 통제를 포함한 많은 기술적 과제에 직면해 있습니다. 이러한 과제는 고급 응용 분야에서 TZM 몰리브덴 막대의 성능과 경제성에 직접적인 영향을 미칩니다. 다음은 세 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

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

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

- High Melting Point:** Suitable for extreme high-temperature environments.
- Excellent High-Temperature Strength:** Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.
- Good Thermal Stability and Creep Resistance:** Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.
- Superior Corrosion and Oxidation Resistance:** Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.
- Excellent Machinability:** Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

- High-Temperature Furnace Components:** Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.
- Aerospace Industry:** Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.
- Nuclear Industry:** Used in reactor support structures and control rod guide systems.
- Electronics Industry:** Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.
- Mold Manufacturing:** Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

7.1.1 고온 내산화성 향상

고온 환경(>1000°C)에서 TZM 몰리브덴 막대의 내산화성은 적용의 주요 병목 현상입니다. TZM 몰리브덴 막대는 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr) 및 탄소(C)를 첨가하여 내산화성을 향상시키지만 여전히 산화 분위기에서 세라믹 또는 일부 니켈 기반 합금만큼 성능이 좋지 않습니다. 구체적인 과제는 다음과 같습니다.

산화물 휘발: 1200°C 이상의 산화 환경에서 TZM 몰리브덴 막대 표면에 휘발성 삼산화몰리브덴(MoO_3)이 형성되어 재료 손실이 급격히 발생합니다. 결과는 1200°C에서 공기 중 TZM 몰리브덴 막대의 산화적 중량 증가율이 약 $0.5\text{-}1\text{mg/cm}^2\cdot\text{h}$ 로 세라믹 재료($0.01\text{mg/cm}^2\cdot\text{h}$)보다 훨씬 높음을 보여줍니다.

보호층 안정성: TZM 몰리브덴 막대는 몰리브덴 실리사이드(MoSi_2) 또는 알루미늄(Al_2O_3) 코팅을 통해 내산화성을 향상시킬 수 있지만 이러한 코팅은 1500°C 이상 또는 장기간 열 주기 동안 박리 또는 균열이 발생하기 쉽습니다. 예를 들어, MoSi_2 코팅은 1600°C에서 100 회 열처리 후 20-30%의 박리율을 달성할 수 있습니다.

복잡한 환경 적응성: 항공 우주(예: 로켓 노즐) 및 핵융합 장치에서 TZM 몰리브덴 막대는 고온, 산화 및 플라스마 공격을 동시에 견뎌야 하며 단일 산화 방지 코팅은 여러 환경 요구 사항을 충족하기 어렵습니다.

개선 사항은 다음과 같습니다.

신규 코팅 개발: 구배 구조를 통해 코팅 및 기판의 접착 강도 및 열 순환 안정성을 향상시키기 위한 다층 복합 코팅(예: $\text{MoSi}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$)에 대한 연구. 최근 연구에 따르면 나노 복합 코팅은 1500°C에서 TZM 몰리브덴 막대의 수명을 최대 50%까지 연장할 수 있습니다.

표면 개질: 항산화 원소(예: 실리콘 및 알루미늄)는 레이저 표면 처리 또는 이온 침투 기술을 통해 TZM 몰리브덴 막대의 표면에 도입되어 현장 보호층을 형성합니다. 예를 들어, 레이저 클래딩 실리사이드 층은 산화 중량 증가를 $0.1\text{mg/cm}^2\cdot\text{h}$ 로 줄일 수 있습니다.

합금 최적화: 티타늄, 지르코늄 및 탄소의 함량을 조정하여 탄화물 입자(TiC , ZrC)의 분포 및 크기를 최적화하고 매트릭스의 내산화성을 향상시킵니다. 실험은 지르코늄 함량을 0.15%로 증가시키면 산화 속도를 크게 줄일 수 있음을 보여주었습니다.

7.1.2 복잡한 형상 및 대규모 제조

TZM 몰리브덴 막대의 복잡한 모양과 큰 치수는 특히 복잡한 형상(예: 곡선형 노즐) 또는 대규모 구성 요소(예: 원자로 지지 빔)를 제조해야 하는 항공 우주 및 원자력 산업에서 기술적인 어려움에 직면해 있습니다. 구체적인 과제는 다음과 같습니다.

분말 야금의 한계: TZM 몰리브덴 막대는 일반적으로 분말 야금 공정으로 제조되지만이 공정은 복잡한 모양의 거의 그물 모양을 얻기가 어렵습니다. 등압 프레스(CIP)은 복잡한 블랭크를 준비할 수 있지만 치수 정확도는 $\pm 0.5\text{mm}$ 에 불과하여 항공우주에 필요한 0.01mm 의 $\pm$ 충족하기 어렵습니다.

가공 난이도: TZM 몰리브덴 막대의 높은 경도 (250-300 HV)와 낮은 인성으로

저작권 및 법적 책임 선언문

인해 선삭, 밀링 및 드릴링 중에 균열이 발생하기 쉽습니다. 예를 들어, 내부 나사산 또는 마이크로 홀과 같은 복잡한 형상을 가공하면 공구 마모가 급격히 증가하고 가공 비용이 30-50% 증가할 수 있습니다.

대규모 균일성: 대형 TZM 폴리브덴 막대(직경 > 100mm 및 길이 > 1m)의 제조는 미세 구조 및 특성의 균일성을 보장해야 합니다. 소결 공정 중 온도 구배와 불균일한 수축으로 인해 내부 다공성 또는 균열이 발생할 수 있으며 거부율은 최대 10-15%입니다.

개선 사항은 다음과 같습니다.

적층 제조(3D 프린팅): 레이저 선택적 용융(SLM) 또는 전자빔 용융(EBM) 기술을 사용하여 복잡한 모양의 TZM 폴리브덴 막대 부품을 직접 프린팅합니다. SLM 기술은 치수 정확도를 $\pm 0.05\text{mm}$ 로 높이고 스크랩 비율을 5% 미만으로 줄입니다. 최신 NASA 연구에 따르면 SLM 으로 준비된 TZM 노즐은 30% 더 가볍고 20% 더 성능이 좋습니다.

정밀 단조 및 압연: 다축 단조 및 정밀 압연 장비를 사용하여 대형 TZM 폴리브덴 막대의 입자 방향과 밀도를 최적화합니다. 예를 들어, 독일 SMS Group 의 4 단 밀은 대형 막대의 밀도를 이론적 밀도의 99.5%까지 증가시킵니다.

HIP(Hot Isostatic Pressing): 소결 후 열간 등압 프레스 기술을 사용하여 대형 블랭크의 미세 기공을 제거하고 균일성을 개선합니다. HIP 공정(2000°C , 200MPa)은 불량률을 2% 미만으로 줄입니다.

7.1.3 생산 원가 관리

TZM 폴리브덴 막대의 높은 생산 비용은 일부 분야에서 광범위한 적용을 제한합니다. 비용 출처에는 원자재, 공정 복잡성 및 품질 관리가 포함됩니다. 구체적인 과제는 다음과 같습니다.

원료 비용 : 고순도 폴리브덴 분말 (순도 $\geq 99.95\%$)과 티타늄 및 지르코늄 첨가제의 가격이 더 높으며 총 비용의 40-50 %를 차지합니다. 예를 들어, 2023 Chinatungsten 온라인 보고서에 따르면 고순도 폴리브덴 분말의 가격은 약 US\$50-70/kg 입니다.

공정 복잡성: TZM 폴리브덴 로드와 분말 야금, 진공 소결 및 고온 가공에는 최대 수백만 달러의 단일 장비 투자로 고가의 장비(예: 진공 소결로, 정밀 압연기)가 필요합니다. 또한 가공 중 공구 마모 및 폐기율(약 10%)은 비용을 더욱 증가시킵니다.

품질 관리 비용: 인라인 테스트(초음파, X 선) 및 성능 테스트(고온 인장 및 크리프 테스트)에는 생산 비용의 20-30%를 차지하는 고정밀 기기와 전문가가 필요합니다.

개선 사항은 다음과 같습니다.

원료 최적화: 폴리브덴 분말 정제 공정(예: 플라즈마 감소)을 개선함으로써 산소 함량과 불순물을 줄이고 첨가제의 양을 줄입니다. 예를 들어, H.C. Starck 의 혈장 환원 기술은 폴리브덴 분말의 비용을 15%까지 절감할 수 있습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

공정 단순화: SLM 또는 HIP 와 같은 그물에 가까운 형상 기술은 후속 가공 단계, 폐기물 및 가공 비용을 줄여줍니다. 연구에 따르면 그물에 가까운 모양은 가공 비용을 20-30% 절감할 수 있습니다.

자동화된 생산: 지능형 생산 라인(예: PLC 제어 및 온라인 감지 시스템)을 통해 생산 효율성을 높이고 인건비를 절감합니다.

7.2 신소재 및 기술

새로운 재료 및 기술의 개발은 TZM 몰리브덴 막대의 성능 향상과 응용 분야의 확장을위한 새로운 기회를 제공합니다. 다음은 변형 합금 설계, 나노 구조 및 복합 재료, 다른 고온 재료와의 경쟁의 세 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

7.2.1 수정된 합금 디자인

합금 설계를 수정하고 TZM 몰리브덴 막대의 조성 및 미세 구조를 최적화함으로써 그 특성을 더욱 향상시킬 수 있습니다. 방법은 다음과 같습니다.

새로운 원소 추가: 소량의 희토류 원소(예: 란타늄, 세륨) 또는 레늄(Re)을 TZM 합금에 도입하여 내산화성과 고온 강도를 향상시킵니다. 예를 들면, 0.1% 란타늄의 추가는 10-15%에 의하여 1500°C 및 장력 강도에 TZM 몰리브덴 막대의 재결정화 온도를 증가합니다.

탄화물 최적화: 탄소 함량(0.02-0.05%)의 정밀한 제어와 소결 공정을 통해 탄화물 입자(0.5-2 미크론)와 분포를 최적화하여 석출 강도를 향상시킵니다. 연구에 따르면 균일하게 분포된 나노 스케일 탄화물은 크리프 속도를 최대 20%까지 줄일 수 있습니다.

용액 강화 : 티타늄과 지르코늄 (Ti : 0.6-0.8 %, Zr : 0.15-0.2 %)의 고용체 함량을 증가시킴으로써 몰리브덴 매트릭스의 격자 변형을 개선하고 고온 강도 및 내식성을 향상시킵니다.

7.2.2 나노 구조 및 복합 재료

나노 구조 및 복합 재료 기술은 TZM 몰리브덴 막대의 성능 최적화를 위한 새로운 방향을 제공합니다. 방법은 다음과 같습니다.

나노 결정 구조 : TZM 몰리브덴 막대의 입자 크기는 고 에너지 볼 밀링 및 신속한 소결 기술을 통해 50-100 nm 에서 제어됩니다. 나노 결정 구조는 재료의 강도와 인성을 크게 향상시킵니다. 예를 들어, 나노 결정 TZM 몰리브덴 막대의 파괴 인성은 25 MPa·m^{1/2} 에 도달할 수 있으며, 이는 기존 TZM(15-20 MPa·m^{1/2})보다 높습니다.

복합 재료: TZM 몰리브덴 막대는 세라믹(예: SiC, Al₂O₃) 또는 탄소 기반 재료(예: 그래핀)와 혼합되어 금속 매트릭스 복합 재료(MMC)를 형성합니다. SiC/TZM 복합재의 내산화성은 1500°C 에서 2 배 더 높으며 이는 핵융합 장치의 편향기에 적합합니다.

나노 코팅: 나노 스케일 산화 방지 코팅(예: Al₂O₃/ZrO₂)은 화학 기상 증착(CVD) 또는 물리 기상 증착(PVD) 기술에 의해 TZM 몰리브덴 막대 표면에 증착됩니다. 나노 코팅의 열팽창 계수는 기판과 더 잘 호환되며 박리율은 5% 미만으로 감소합니다.

7.2.3 다른 고온 재료와의 경쟁

TZM 폴리브덴 막대는 텅스텐 합금, 니켈 기반 합금, 세라믹 및 탄소 기반 복합 재료와 같은 다른 고온 재료와의 경쟁에 직면 해 있습니다. 구체적인 비교는 다음과 같습니다.

텅스텐 합금 : 텅스텐 합금 (밀도 19.3 g/cm^3)은 더 높은 용점 (3422°C)과 강도를 갖지만 TZM 폴리브덴 막대 (10.2 g/cm^3)보다 훨씬 높은 밀도를 가지므로 무게에 민감한 항공 우주 응용 분야에서 제한됩니다. TZM 폴리브덴 막대는 내산화성을 최적화하여 1600°C 이하의 일부 텅스텐 합금 응용 분야를 대체 할 수 있습니다.

니켈 기반 합금: 니켈 기반 합금(예: Inconel 718)은 $1000\text{-}1200^\circ\text{C}$ 에서 우수한 내산화성과 인성을 갖지만 고온 강도($200\text{-}300 \text{ MPa}$)는 TZM 폴리브덴 막대($400\text{-}500 \text{ MPa}$)보다 낮습니다. TZM 폴리브덴 막대는 나노 코팅 기술을 통해 더 높은 온도에서 경쟁합니다.

세라믹 및 탄소 기반 복합 재료 : 세라믹 (예 : SiC , ZrB_2)은 내 산화성이 우수하지만 취성이 높습니다. 탄소/탄소 복합재는 가볍지만 산화 환경에서 복잡한 코팅 보호가 필요합니다. TZM 폴리브덴 막대는 금속 인성과 세라믹 내산화성을 결합하기 위해 복합 재료(예: TZM/SiC)로 설계되었습니다.

개선 사항에는 TZM 매트릭스 복합재 개발, 코팅 기술 최적화 및 생산 비용 절감이 포함되어 고온 재료 시장에서 TZM 폴리브덴 막대의 경쟁력을 강화합니다.

7.3 지능적이고 친환경적인 제조

지능적이고 친환경적인 제조 기술은 생산 효율성을 높이고 에너지 소비를 줄이며 환경 오염을 줄일 수 있는 TZM 폴리브덴 막대 생산의 발전 방향입니다. 다음은 지능형 생산 모니터링, 에너지 절약 및 환경 친화적 생산, 폐기물 재활용의 세 가지 측면에 대한 자세한 분석입니다.

7.3.1 지능형 생산 모니터링 기술

지능형 생산 모니터링 기술은 실시간 데이터 수집 및 분석을 통해 TZM 폴리브덴 막대의 생산 공정을 최적화하여 품질 일관성과 효율성을 향상시킵니다. 구체적인 기술은 다음과 같습니다.

인라인 검사 시스템: 초음파, X 선 및 육안 검사 기술을 사용하여 TZM 폴리브덴 막대의 크기, 결함 및 미세 구조를 실시간으로 모니터링합니다. 예를 들어, X 선 이미징 시스템은 0.1mm 이상의 내부 결함을 감지하고 거부율을 0.5% 미만으로 줄일 수 있습니다.

산업용 사물 인터넷(IIoT): 센서 및 PLC 시스템을 통해 소결 온도, 단조 압력 및 처리 매개변수를 실시간으로 수집하고 분석을 위해 클라우드로 전송합니다. IIoT 시스템은 생산성을 최대 20% 까지 높이고 장비 고장률을 15% 줄일 수 있습니다.

AI 최적화: 머신 러닝 알고리즘을 사용하여 공정 매개변수가 성능에 미치는 영향을 예측하고 소결 온도, 압연 변형 및 코팅 두께를 최적화합니다. 예를 들어, AI 최적화는 TZM 폴리브덴 막대의 입자 크기를 $10\text{-}20$ 마이크로미터로 제어하여 크리프 저항을 향상시킬 수 있습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

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

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

- High Melting Point:** Suitable for extreme high-temperature environments.
- Excellent High-Temperature Strength:** Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.
- Good Thermal Stability and Creep Resistance:** Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.
- Superior Corrosion and Oxidation Resistance:** Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.
- Excellent Machinability:** Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

- High-Temperature Furnace Components:** Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.
- Aerospace Industry:** Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.
- Nuclear Industry:** Used in reactor support structures and control rod guide systems.
- Electronics Industry:** Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.
- Mold Manufacturing:** Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

7.3.2 에너지 절약 및 친환경 생산 기술

TZM 폴리브덴 막대의 생산 공정(예: 진공 소결, 열간 단조)은 에너지 집약적이므로 탄소 발자국을 줄이기 위해 에너지 절약 및 환경 친화적인 기술이 필요합니다. 구체적인 조치는 다음과 같습니다.

고효율 소결로: 고효율 진공 소결로(예: 텅스텐 히터)를 사용하여 가열 곡선과 유지 시간을 최적화하여 에너지 소비를 15-20% 줄입니다. 예를 들어, 독일의 ALD 소결로는 단일 소결의 에너지 소비를 500kWh 미만으로 제어할 수 있습니다.

재생 에너지: 생산 장비의 전원을 태양열 또는 풍력으로 전환하여 탄소 배출량을 줄입니다. 예를 들어, 유럽의 일부 TZM 폴리브덴 막대 생산업체는 50%의 재생 가능 에너지 공급을 달성했습니다.

배기 가스 처리: 분말 야금 및 표면 처리 과정에서 고효율 여과 시스템(예: HEPA 필터)을 사용하여 휘발성 산화물 및 산성 폐가스를 처리하여 배기 가스가 EU RoHS 표준을 충족하는지 확인합니다.

연구에 따르면 에너지 절약 및 환경 친화적인 기술은 TZM 폴리브덴 막대 생산의 탄소 배출량을 30% 줄일 수 있으며, 이는 녹색 제조의 세계적인 추세와 일치합니다.

7.3.3 폐기물의 효율적 재활용

TZM 폴리브덴 막대 생산의 스크랩(예: 절단 칩, 소결 잔류물)에는 고가의 폴리브덴, 티타늄 및 지르코늄이 포함되어 있으며 효율적인 재활용 기술은 비용과 환경 영향을 줄입니다. 방법은 다음과 같습니다.

화학적 재활용: 폴리브덴, 티타늄 및 지르코늄은 산 용해 및 전기화학적 분리 기술을 통해 폐기물에서 추출됩니다. 회수율은 95%에 달할 수 있으며 비용은 20% 감소할 수 있습니다. 예를 들어, H.C. Starck의 화학 회수 공정은 폴리브덴 회수율을 98%까지 증가시킵니다.

기계적 재활용: 스크랩은 파쇄, 스크리닝 및 재소결 기술에 의해 TZM 폴리브덴 바 블랭크로 재처리됩니다. 기계적 재활용은 재활용률이 약 90%인 대형 스크랩에 적합합니다.

폐쇄 루프 재활용 시스템: 폐기물을 분말 야금 공정에 직접 재사용하여 자원 낭비를 줄이기 위해 생산 라인의 폐쇄 루프 재활용 시스템을 구축합니다. Chinatungsten Online에 따르면 폐쇄 루프 재활용은 스크랩 비율을 5% 미만으로 줄일 수 있습니다.

폐기물 재활용 기술은 생산 비용을 절감할 뿐만 아니라 순환 경제의 요구 사항을 충족하고 TZM 폴리브덴 막대 산업의 지속 가능한 발전을 촉진합니다.

7.4 향후의 동향

TZM 폴리브덴 막대의 향후 개발은 항공 우주, 핵융합, 새로운 에너지 및 기타 분야의 요구를 충족시키기 위해 고성능 설계, 교차 도메인 응용 프로그램 확장 및 극한 환경 응용 분야에 중점을 둘 것입니다. 다음은 세 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

7.4.1 고성능 설계 및 최적화

고성능 설계는 재료, 공정 및 구조 최적화를 통해 TZM 폴리브덴 막대의 성능을 더욱 향상시킵니다. 구체적인 추세는 다음과 같습니다.

다중 스케일 시뮬레이션: 분자 역학 및 유한 요소 해석은 고온 및 고응력 환경에서 TZM 폴리브덴 막대의 성능을 시뮬레이션하고 합금 조성 및 미세 구조를 최적화하는 데 사용됩니다. 예를 들어, 시뮬레이션에 따르면 0.1% 레늄을 첨가하면 인장 강도가 15% 증가합니다.

맞춤형 디자인: TZM 폴리브덴 막대의 구성, 코팅 및 모양은 응용 프로그램 요구 사항(예: 로켓 노즐 또는 융합 디플렉터)에 따라 사용자 정의할 수 있습니다. 예를 들어, 항공우주 부품에는 강도를 위해 높은 티타늄 함량(0.8%)을 장착할 수 있으며, 핵융합 장치에는 향상된 산화 저항을 위해 높은 지르코늄 함량(0.2%)을 장착할 수 있습니다.

FGM(Functionally Graded Materials): TZM 기반 기능성 그래디언트 재료는 재료 내에 성능 그래디언트(예: 표면 산화층, 내부 고인성 매트릭스)를 형성하여 전반적인 특성을 개선하기 위해 개발되었습니다. FGM 은 1600 °C 에서 TZM 폴리브덴 막대의 수명을 2 배 연장 할 수 있습니다.

7.4.2 도메인 간 응용 프로그램 확장

TZM 폴리브덴 막대의 응용 분야는 전통적인 고온 산업에서 새로운 에너지, 의료 및 국방 분야로 확장되고 있습니다. 구체적인 추세는 다음과 같습니다.

새로운 에너지 : TZM 폴리브덴 막대는 800-1000 °C 에서 안정적으로 작동 할 수있는 고체 산화물 연료 전지 (SOFC) 용 커넥터 및 전극을 만드는 데 사용됩니다. 예를 들어, Bloom Energy 의 SOFC 는 TZM 합금 커넥터를 사용합니다.

의료 기기: TZM 폴리브덴 막대는 고온 및 높은 방사선을 견딜 수 있는 고온 살균 장비 및 방사성 동위원소 용기의 부품 제조에 사용됩니다. 예를 들어, 의료용 코발트-60 용기의 TZM 구성 요소 수명은 최대 20 년입니다.

방위 산업: TZM 폴리브덴 막대는 3000°C 이상의 순간 열 부하를 견딜 수 있는 극초음속 차량용 열 보호 시스템 및 미사일 노즐 제조에 사용됩니다.

부문 간 응용 프로그램의 확장은 2030 년까지 20% 성장할 것으로 예상되는 TZM 폴리브덴 막대 시장의 성장을 주도할 것입니다.

7.4.3 극한 환경에서의 응용 프로그램

극한 환경(예: 초고온, 강한 방사선 및 강한 부식)에서 TZM 폴리브덴 막대를 적용하는 것은 향후 개발의 초점입니다. 구체적인 추세는 다음과 같습니다.

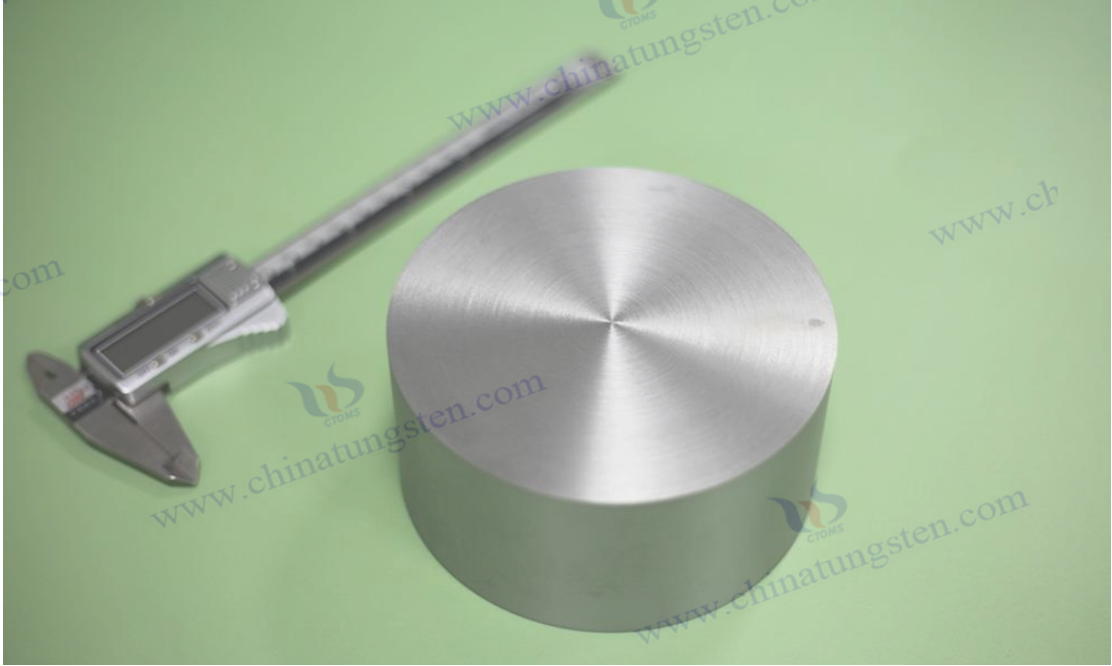
초고온 환경: 새로운 산화 방지 코팅 및 복합 재료의 개발을 통해 TZM 폴리브덴 막대는 차세대 로켓 엔진 및 플라즈마 추진기와 같은 2000°C 이상의 초고온 환경에 적용할 수 있습니다.

강한 방사선 환경: 핵융합 및 우주 탐사에서 TZM 폴리브덴 막대는 고에너지 중성자 및 감마선 조사에 노출되어야 합니다. 희토류 원소를 추가하고 미세 구조를

저작권 및 법적 책임 선언문

최적화하면 ITER 및 달 기지의 요구 사항을 충족하기 위해 방사선 저항을 향상시킬 수 있습니다.

부식성이 높은 환경: 해양 및 화학 산업에서 TZM 몰리브덴 막대는 산성 가스 및 염수 분무에 내성이 있어야 합니다. 표면 질화 및 복합 코팅 기술은 부식 속도를 0.005mm/년으로 줄입니다.



CTIA GROUP LTD TZM 몰리브덴 막대

8. TZM 몰리브덴 막대 표준 및 사양

고성능 초합금으로서 TZM 몰리브덴 막대는 항공 우주, 원자력 산업, 반도체 제조 및 기타 분야에서 널리 사용되며 생산, 테스트 및 적용은 엄격한 표준 및 사양을 따라야 합니다. 이 표준은 TZM 몰리브덴 막대의 품질 일관성, 안전성 및 국제 시장 경쟁력을 보장하기 위해 재료 구성, 성능 테스트, 생산 공정, 품질 관리 및 환경 관리를 다룹니다. 이 장에서는 국가 표준(국가 표준), 국제 표준(ISO), 미국 표준(미국 표준), 기타 국제 및 산업 표준, 표준 구현 및 인증의 다섯 가지 측면에서 TZM 몰리브덴 막대와 관련된 표준 및 사양에 대해 종합적으로 설명합니다.

8.1 국가 표준 (GB)

세계 최대의 몰리브덴 자원 생산국이자 TZM 몰리브덴 막대 제조업체인 중국은 TZM 몰리브덴 막대의 생산 및 적용을 규제하기 위해 일련의 국가 표준(GB/T)을 공식화했습니다. 이 표준은 재료 특성, 테스트 방법 및 장비 프로세스를 다루며 국내 기업 및 국제 무역을 위한 통일된 기반을 제공합니다. 다음은 세 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

8.1.1 GB/T 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 재료 표준

중국 국가 표준(GB/T)은 몰리브덴 및 몰리브덴 합금(예: TZM)의 화학적 조성, 물리적 특성 및 가공 요구 사항을 자세히 지정하며 주요 표준은 다음과 같습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

GB/T 3462-2017 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 막대: 이 표준은 TZM 몰리브덴 막대의 화학 성분을 지정합니다(Mo≥99.38%, Ti: 0.4-0.55%, Zr: 0.06-0.12%, C: 0.01-0.04%), 치수 공차(직경±0.02mm, 길이±1mm), 표면 품질(Ra≤3.2 마이크론) 및 기계적 특성(인장 강도≥ 400 MPa, 1200°C). 이 표준은 밀도가 이론 밀도의 98% 이상에 도달하도록 진공 소결 또는 대기 소결로 TZM 몰리브덴 막대를 준비할 것을 요구합니다.

GB/T 4194-2015 몰리브덴 및 몰리브덴 합금에 대한 화학 분석 방법: 이 표준은 유도 결합 플라즈마 방출 분광법(ICP-OES) 및 X 선 형광 분광법(XRF)을 포함하여 TZM 몰리브덴 막대의 몰리브덴, 티타늄, 지르코늄, 탄소 및 불순물 원소 분석 방법을 자세히 지정합니다. 예를 들어, 산소 함량은 ≤0.005%로 제어해야 하며 철 및 실리콘과 같은 불순물은 0.01%로 ≤해야 합니다.

GB/T 17792-2014 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 바에 대한 일반 기술 조건: 이 표준은 TZM 몰리브덴 막대의 미세 구조 요구 사항, 표면 결함 감지 및 포장 및 운송 요구 사항을 다룹니다. 이 표준은 바 표면에 스케일, 균열 또는 다공성이 없어야 함을 강조합니다.

8.1.2 초합금에 대한 시험 및 평가 기준

초합금 테스트 및 평가 표준은 고온 환경에서 TZM 몰리브덴 막대의 기계적 특성, 내산화성 및 크리프 저항을 평가하는 데 사용됩니다. 주요 기준은 다음과 같습니다.

GB/T 4338-2015 금속 재료에 대한 고온 인장 시험 방법: 이 표준은 환경을 테스트하기 위해 진공 또는 불활성 대기(예: 아르곤)를 사용해야 하는 1000-1600°C 에서 TZM 몰리브덴 막대에 대한 인장 시험 방법을 지정하며 온도 제어 정확도는 ± 5°C 입니다. 테스트 결과는 1200 °C 에서 TZM 몰리브덴 막대의 인장 강도가 400-500 MPa 이고 연신율이 5-10 %임을 보여줍니다.

금속 재료에 대한 GB/T 2039-2012 크리프 및 내구성 강도 시험 방법: 이 표준은 1400°C 및 20MPa 에서 TZM 몰리브덴 막대의 크리프 성능을 테스트하는 데 사용되며 10⁻⁶/s 미만의 크리프 속도와 ≥ 5000 시간의 수명이 필요합니다. 시험에는 고온 크리프 시험기(예: Instron 5980 시리즈)가 필요합니다.

금속 재료의 고온 경도에 대한 GB/T 16878-1997 시험 방법: 이 표준은 1000°C 에서 TZM 몰리브덴 막대에 대한 비커스 경도(HV) 시험 방법을 지정하며 경도는 200-250HV 에서 유지되어야 합니다. 테스트 결과는 TZM 몰리브덴 막대의 고온 경도가 순수 몰리브덴 (150-200 HV)의 경도보다 우수하다는 것을 보여줍니다.

이러한 표준은 로켓 노즐, 원자로 구성 요소와 같은 고온 응용 분야에서 TZM 몰리브덴 막대의 신뢰성을 보장합니다. Chinatungsten Online 의 기술 보고서에 따르면 GB / T 4338 및 GB / T 2039 의 구현은 항공 우주 분야에서 TZM 몰리브덴 막대의 적용 품질을 크게 향상 시켰습니다.

8.1.3 실행 장비 및 공정 사양

장비 및 공정 사양은 TZM 몰리브덴 막대 생산 공정의 표준화 및 안전을 보장합니다. 주요 기준은 다음과 같습니다.

GB/T 15067-2016 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 가공 장비에 대한 기술 조건: 이

저작권 및 법적 책임 선언문

표준은 진공 소결로, 단조 기계 및 압연 장비에 대한 성능 요구 사항을 지정합니다. 예를 들어, 진공 소결로는 10^{-3} - 10^{-5} Pa 의 진공도와 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 온도 균일성에 도달해야 합니다. 단조 기계의 압력 범위는 500-2000 톤입니다.

GB 50828-2012 초합금 생산을 위한 안전 사양: 이 표준은 TZM 몰리브덴 막대 생산 작업장에 방폭 장치, 배기 가스 처리 시스템(예: HEPA 필터) 및 클린룸(ISO 클래스 7, 입자 농도 $< 10,000$ 입자/ m^3)을 갖추어야 한다고 요구합니다. 이 표준은 또한 분말 야금 공정에서 먼지 및 산화를 방지하기 위한 조치를 지정합니다.

GB/T 29490-2013 기업 에너지 관리 시스템에 대한 요구 사항: 이 표준은 TZM 몰리브덴 막대 제조업체가 고효율 소결로(에너지 소비 $< 500\text{kWh/시간}$) 및 재생 에너지 전원 공급 장치 사용과 같은 에너지 소비를 최적화하도록 안내합니다.

이러한 사양은 TZM 몰리브덴 막대 생산의 안전성, 효율성 및 환경 친화성을 보장합니다. 예를 들어, TZM 몰리브덴 막대의 중국 제조업체는 GB/T 15067 을 구현하여 생산 효율성을 20% 높이고 스크랩 비율을 5% 미만으로 줄였습니다.

8.2 국제 표준 (ISO)

ISO(International Organization for Standardization) 표준은 재료 시험, 환경 관리 및 비파괴 검사를 포함하여 TZM 몰리브덴 막대의 글로벌 생산 및 적용을 위한 통일된 사양을 제공합니다. 다음은 세 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

8.2.1 ISO 6892 금속 재료의 인장 시험

ISO 6892-1:2019 및 ISO 6892-2:2018 을 포함한 ISO 6892 시리즈 표준은 실온 및 고온에서 TZM 몰리브덴 막대의 인장 시험 방법을 지정합니다.

ISO 6892-1:2019(실온 인장): 만능 재료 시험기(예: Instron 5982)를 사용하여 TZM 몰리브덴 봉의 인장 강도(600-700 MPa), 항복 강도(500-600 MPa) 및 연신율(10-15%)을 시험해야 합니다. 시험은 $R_a \leq 0.4$ 미크론의 표면 거칠기로 일정한 변형률($10^{-3}/\text{s}$)로 수행됩니다.

ISO 6892-2:2018(고온 인장): 1000-1600 $^{\circ}\text{C}$ 에서 인장 시험 방법을 지정하며, 진공 또는 불활성 대기(예: 아르곤, 순도 $\geq 99.999\%$)를 사용하고 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 온도 제어 정확도를 필요로 합니다. 테스트 결과는 1200 $^{\circ}\text{C}$ 에서 TZM 몰리브덴 막대의 인장 강도가 400-500 MPa 로 200-300 MPa 에서 순수 몰리브덴보다 우수하다는 것을 보여줍니다.

8.2.2 ISO 14001 환경 경영 시스템

ISO 14001:2015 는 TZM 몰리브덴 막대 제조업체가 환경에 미치는 영향을 줄이도록 안내하는 환경 관리 시스템에 대해 세계적으로 인정되는 표준입니다. 구체적인 요구 사항은 다음과 같습니다.

에너지 관리: 고효율 발열체(텅스텐 히터) 및 재생 에너지원의 사용과 같은 소결로 및 가공 장비의 에너지 소비를 최적화해야 합니다. TZM 몰리브덴 막대 제조업체의 에너지 소비는 500kWh/ton 이하로 제어되어야 합니다.

폐기물 관리: 분말 야금 및 표면 처리 과정에서 발생하는 폐기물(예: 몰리브덴

저작권 및 법적 책임 선언문

분진, 산 폐기물)은 분류 및 재활용이 필요합니다. 예를 들어, 화학적 재활용은 폴리브덴 회수율을 98%까지 증가시킬 수 있습니다.

배기가스 배출 제어: 휘발성 산화물(MoO_3) 및 산성 가스 배출이 현지 규정(예: EU RoHS 표준)을 준수하도록 고효율 배기 가스 처리 시스템(예: HEPA 필터)을 설치해야 합니다.

Plansee 와 같은 TZM 폴리브덴 로드와 세계 주요 생산업체는 ISO 14001 인증을 받아 친환경 제조 추세에 따라 탄소 배출량을 30% 줄입니다.

8.2.3 비파괴 검사를 위한 ISO 3452 표준

ISO 3452-1:2021 을 포함한 ISO 3452 시리즈 표준은 표면 균열 및 결함 감지를 위한 TZM 폴리브덴 막대의 침투 테스트 방법을 지정합니다. 구체적인 요구 사항은 다음과 같습니다.

침투 탐상 검사(PT): 형광 또는 가시광선 염료 투과를 사용하여 TZM 폴리브덴 막대 표면의 균열, 기공 및 굽힘을 감지합니다. 로켓 노즐과 같은 항공우주 부품에 대해 최대 0.05mm 의 감지 감도.

검사 프로세스: 표면 청소, 투과 적용, 현상액 적용 및 결함 관찰을 포함합니다. 이 표준은 500-1000lx 의 주변 조도와 20-25°C 의 온도를 요구합니다.

허용 기준: 표면 균열 길이 $\leq 0.1\text{mm}$, 기공 직경 $\leq 0.05\text{mm}$. TZM 폴리브덴 막대는 항공 우주 응용 분야에 대한 100% 침투 테스트를 통과해야 합니다.

8.3 미국 표준 (US 표준)

미국 표준(ASM, ASME)은 특히 항공 우주 및 원자력 산업에서 TZM 폴리브덴 막대의 글로벌 적용에 중요한 영향을 미칩니다. 다음은 세 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

8.3.1 폴리브덴 및 폴리브덴 합금 바에 대한 ASTM B387 표준

ASTM B387-18 은 재료 구성, 특성 및 가공 요구 사항을 지정하는 TZM 폴리브덴 막대의 핵심 표준입니다.

화학 성분 : $\text{Mo} \geq 99.38\%$, $\text{Ti} : 0.4-0.55\%$, $\text{Zr} : 0.06-0.12\%$, $\text{C} : 0.01-0.04\%$, 불순물 (예 : Fe, Si) $\leq 0.01\%$.

기계적 성질: 실온에서 인장 강도 600-700 MPa, 연신율 10-15%; 1200°C 에서 인장 강도 400-500 MPa. 이 표준은 ASTM E8(실온 인장) 및 ASTM E21(고온 인장)에 따른 시험을 요구합니다.

치수 & 표면: 직경 허용 오차 $\pm 0.02\text{mm}$, 표면 거칠기 $Ra \leq 0.4$ 미크론, 균열, 산화물 스케일 또는 다공성 없음.

미세 구조 : 입자 크기 10-30 미크론, 밀도 $\geq 98\%$ 이론적 밀도.

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

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

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

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

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

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

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

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

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

8.3.2 ASTM E384 미세경도 시험

ASTM E384-17 은 재료 경도 및 미세 구조 균일성을 평가하기 위해 TZM 몰리브덴 막대에 대한 미세 경도 시험 방법을 지정합니다.

시험 방법: 비커스 경도 시험기(HV)가 사용되며 하중력은 0.5-1kg, 압입 시간은 10-15 초입니다. 테스트 결과는 TZM 몰리브덴 막대의 경도가 250-300 HV 이고 탄화물 입자 면적이 500 HV 에 도달 할 수 있음을 보여줍니다.

고온 경도 : 1000 °C 에서 테스트 한 경도는 200-250 HV 로 유지되며 이는 순수 몰리브덴의 150-200 HV 보다 우수합니다.

미세 구조 분석: 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하여 압흔 주변의 미세 구조를 관찰하여 탄화물 입자의 분포 및 강화 효과를 평가했습니다.

ASTM E384 는 고온 금형 및 항공 우주 부품에서 TZM 몰리브덴 막대의 신뢰성을 보장합니다. 예를 들어, Boeing 은 터빈 블레이드 지지대의 성능을 보장하기 위해 ASTM E384 를 사용하여 TZM 몰리브덴 막대의 경도를 테스트합니다.

8.3.3 고온 장비 제조를 위한 ASME 표준

ASME (American Society of Mechanical Engineers) 표준은 원자로, 항공기 엔진과 같은 고온 장비에서 TZM 몰리브덴 막대의 제조 및 적용을 규제합니다. 주요 기준은 다음과 같습니다.

ASME BPVC Section II: 인장 강도, 크리프 특성 및 내산화성과 같은 TZM 몰리브덴 막대에 대한 재료 특성 및 인증 요구 사항을 지정합니다. 이 표준은 1400°C 에서 TZM 몰리브덴 막대에 대해 10⁻⁶/s 미만의 크리프 속도를 요구합니다.

ASME BPVC Section VIII: 고온 압력 용기에서 TZM 몰리브덴 막대의 용접, 열처리 및 비파괴 검사와 같은 제조 공정을 지정합니다. 이 표준은 100% 초음파 검사(UT) 및 X 선 검사(RT)를 요구합니다.

ASME Y14.5 치수 및 공차: 고온 장비에서의 설치 정확성을 보장하기 위해 TZM 몰리브덴 막대의 기하학적 허용 오차(예: 진원도, 직진도)를 지정합니다.

8.4 기타 국제 및 산업 표준

중국 및 미국 표준 외에도 일본(JIS), 독일(DIN) 및 러시아(GOST)의 표준은 TZM 몰리브덴 막대의 생산 및 적용에 대한 사양을 제공합니다. 다음은 세 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

8.4.1 몰리브덴 재료에 대한 JIS G 0571 테스트 표준

JIS G 0571:2012 는 몰리브덴 및 몰리브덴 합금(TZM 포함)의 화학적 조성 및 특성을 테스트하는 방법을 지정하는 일본 산업 표준입니다.

화학 성분 : Mo ≥ 99.38 %, Ti : 0.4-0.55 %, Zr : 0.06-0.12 %, 불순물 (예 : O, N) ≤ TZM 몰리브덴 막대의 0.005 %.

기계적 성질 시험: 실내 온도 장력 (장력 강도 600-700 MPa), 고열 장력 (1200°C,

저작권 및 법적 책임 선언문

400-500 MPa) 및 경도 시험 (HV 250-300)를 포함하여.

표면 품질: 표면 거칠기는 균열 및 산화물 스케일이 없는 $Ra \leq 3.2$ 미크론이어야 합니다. 이 표준은 또한 표면 결함의 침투 테스트 방법을 지정합니다.

JIS G 0571 은 일본의 반도체 및 고온로 제조 산업에서 널리 사용됩니다. 예를 들어, 일본의 Toshiba Corporation 은 JIS G 0571 을 사용하여 이온 주입 장치에 사용되는 TZM 폴리브덴 막대를 테스트합니다.

8.4.2 DIN EN 10228 비파괴 검사 표준

DIN EN 10228-3:2016 을 포함한 DIN EN 10228 시리즈 표준은 초음파 검사(UT)에 중점을 두고 TZM 폴리브덴 막대에 대한 비파괴 검사 방법을 지정합니다.

초음파 테스트: 5-10MHz 프로브를 사용하여 TZM 폴리브덴 막대 내부의 균열, 기공 및 개재물을 감지합니다. 최대 0.1mm 의 감지 감도로 항공 우주 및 원자력 산업의 부품에 적합합니다.

허용 기준: 내부 결함 크기 $\leq 0.1mm$, 표면 균열 길이 $\leq 0.05mm$. 이 표준은 신뢰성이 높은 구성 요소(예: 원자로 제어봉)에 대한 100% 검사를 요구합니다.

테스트 장비: 테스트 결과의 반복성을 보장하기 위해 고정밀 초음파 검출기(예: 독일 Krautkramer)를 사용해야 합니다.

8.4.3 GOST 17431 폴리브덴 합금 표준

GOST 17431-72 는 TZM 폴리브덴 막대의 생산 및 테스트에 적합한 폴리브덴 합금에 대한 러시아 표준입니다.

화학 성분 : $Mo \geq 99.38\%$, $Ti : 0.4-0.55\%$, $Zr : 0.06-0.12\%$, $C : 0.01-0.04\%$, 불순물 $\leq 0.01\%$.

기계적 성질: 실온에서 인장 강도 600-700 MPa, 1200°C 에서 인장 강도 400-500 MPa, 크리프 수명 ≥ 5000 시간(1400°C, 20 MPa).

가공 요구 사항: $\geq 98\%$ 의 이론 밀도와 $Ra \leq 0.8$ 미크론의 표면 거칠기로 진공 소결 또는 분위기 소결로 준비해야 합니다.

GOST 17431 은 러시아 원자력 산업 및 항공 우주 부문에서 널리 사용되며, 예를 들어 러시아 회사 인 Rosatom 은 이 표준을 사용하여 원자로 용 TZM 폴리브덴 막대를 생산합니다.

8.5 표준 구현 및 인증

표준 구현 및 인증은 생산 테스트, 품질 관리 시스템 및 수출 규정 준수를 포함하여 국제 시장에서 TZM 폴리브덴 막대의 품질과 경쟁력을 보장하는 핵심 부분입니다. 다음은 세 가지 측면에서 자세히 분석한 것입니다.

8.5.1 프로덕션 및 테스트의 표준 애플리케이션

TZM 폴리브덴 막대의 생산 및 테스트는 위에서 언급한 국내, 국제 및 산업 표준을 엄격히 따라야 합니다. 구체적인 구현은 다음과 같습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

원료 관리: GB/T 4194 및 ASTM B387 에 따라 몰리브덴 분말, 티타늄 분말 및 지르코늄 분말의 조성을 ICP-OES 및 XRF 를 사용하여 분석하여 불순물 함량이 0.01%로 ≤되도록 했습니다.

공정 제어: GB/T 15067 및 ASME BPVC Section VIII 에 따른 소결, 단조 및 가공 공정. 예를 들어, 진공 소결로는 10^{-3} - 10^{-5} Pa 의 진공 수준과 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 온도 균일성을 유지해야 합니다.

성능 테스트: ISO 6892, GB/T 4338 및 ASTM E384 에 따라 TZM 몰리브덴 막대의 인장 강도, 크리프 특성 및 경도를 테스트합니다. 예를 들어, 고온 인장 시험은 1200°C 에서 인장 강도 $\geq 400\text{MPa}$ 로 수행됩니다.

비파괴 검사: ISO 3452 및 DIN EN 10228 에 따라 항공 우주 및 원자력 산업용 TZM 몰리브덴 막대를 100% 검사하여 침투 검사 및 초음파 검사를 통해 균열과 기공이 없는지 확인합니다.

8.5.2 품질경영시스템 인증(e.g. ISO 9001)

ISO 9001:2015 는 TZM 몰리브덴 막대 제조업체의 품질 관리 및 지속적인 개선을 안내하는 세계적으로 인정받는 품질 관리 시스템 표준입니다. 구체적인 요구 사항은 다음과 같습니다.

프로세스 관리: TZM 몰리브덴 막대의 원료 조달, 생산 프로세스, 테스트 및 포장의 전체 프로세스를 기록하고 추적해야 합니다. 예를 들어, TZM 몰리브덴 막대의 각 배치를 원료로 추적할 수 있도록 배치 관리 시스템을 구축해야 합니다.

고객 만족 : 고객 피드백 및 품질 감사를 통해 TZM 몰리브덴 막대의 성능 및 생산 효율성의 지속적인 개선이 필요합니다. 예를 들어, 항공 우주 고객은 치수 공차가 $0.01\text{mm} \leq \pm$ TZM 몰리브덴 막대를 필요로 합니다.

지속적인 개선: 데이터 분석 및 프로세스 최적화를 통해 불량률과 생산 비용을 줄입니다. 예를 들어, Plansee 는 ISO 9001 인증을 받아 TZM 몰리브덴 막대의 생산 비용을 15% 절감합니다.

또한 항공우주 부문의 TZM 몰리브덴 막대 제조업체는 100% 비파괴 검사 및 공급망 투명성과 같은 항공우주 산업의 특수 요구 사항을 충족하기 위해 AS9100 인증을 받아야 합니다.

8.5.3 수출 및 국제 표준 준수

TZM 몰리브덴 막대의 수출은 다국적 표준의 조화 및 인증을 포함하는 목표 시장의 표준 및 규정의 적용을 받습니다. 구체적인 요구 사항은 다음과 같습니다.

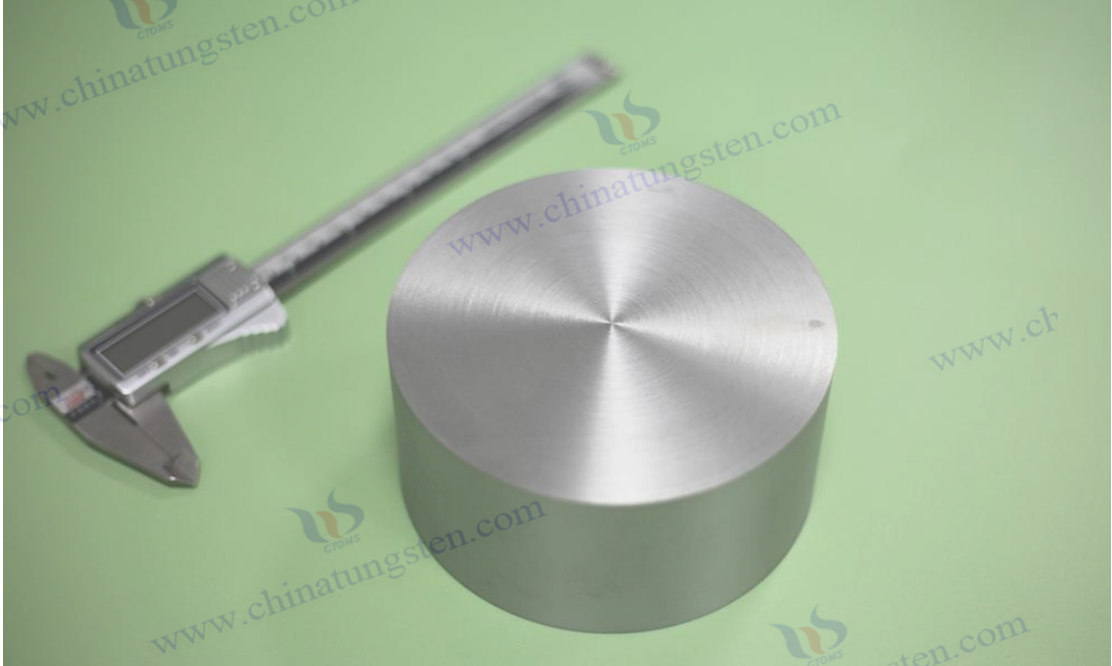
표준 조화 : TZM 몰리브덴 막대는 미국 수출을 위한 ASTM B387 및 ASME 표준, 유럽 수출의 경우 DIN EN 10228 및 ISO 14001, 일본 수출의 경우 JIS G 0571 을 준수해야 합니다.

인증 요구 사항: 수출 제품은 유럽 연합의 CE 인증, 미국의 UL 인증 또는 러시아의 GOST-R 인증과 같은 목표 시장에 대한 인증을 획득해야 합니다. 인증 프로세스에는 재료 테스트, 프로세스 감사 및 환경 규정 준수 검사가 포함됩니다.

규정 준수 관리: 규정 준수 관리 시스템을 구축하고 정기적으로 제 3 자 감사를

저작권 및 법적 책임 선언문

수락해야 합니다. 예를 들어, SGS 와 TÜV 는 TZM 몰리브덴 막대 수출을 위한 공통 인증 기관으로, 제품이 국제 규정(예: RoHS, REACH)을 준수하도록 보장합니다.



CTIA GROUP LTD TZM 몰리브덴 막대

부록

A. 용어집

1. 관련 약관

TZM 합금

정의: 몰리브덴(Mo)을 매트릭스로 하여 티타늄(Ti, 0.4-0.55%), 지르코늄(Zr, 0.06-0.12%) 및 탄소(C, 0.01-0.04%)를 첨가하는 초합금으로 고온 강도, 크리프 저항 및 낮은 열팽창 계수가 우수합니다.

몰리브덴 기반 합금

정의: 몰리브덴을 주성분으로 하고 기타 원소(예: 티타늄, 지르코늄, 레늄)를 사용하여 특성을 개선하기 위해 첨가된 합금. TZM 은 몰리브덴 기반 합금의 대표적인 대표자입니다.

고온 합금

정의: 니켈계 합금, 텅스텐계 합금 및 몰리브덴계 합금을 포함하여 600°C 이상의 고온 환경에서 기계적 응력 및 화학적 부식을 장기간 견딜 수 있는 금속 재료.

항산화 코팅

정의: 고온 산화 및 재료 손실을 줄이기 위해 TZM 몰리브덴 막대의 표면에 적용되는 보호층(예: 몰리브덴 실리사이드, Al_2O_3).

열팽창 계수(CTE)

저작권 및 법적 책임 선언문

정의: 온도 변화에 따른 재료의 단위 길이당 팽창률, TZM 몰리브덴 막대의 열팽창 계수는 $5.3 \times 10^{-6}/K$ 입니다.

크리프 저항

정의: 고온과 일정한 응력 하에서 느린 변형에 저항하는 재료의 능력. $1400^{\circ}C$ 에서 TZM 몰리브덴 막대의 크리프 속도는 순수 몰리브덴의 약 1/10 입니다.

파괴 인성

정의: 균열 전파에 저항하는 물자의 능력, TZM 몰리브덴 막대의 파괴 강인성은 순수한 몰리브덴 $10-12 MPa \cdot m^{1/2}$ 의 그것 보다는 더 높은 $15-20 MPa \cdot m^{1/2}$ 입니다.

2. 준비 및 처리 용어

분말 야금술

정의: 금속 분말을 혼합하고, 압착 성형하고, 고온 소결하여 금속 재료를 제조하는 방법. TZM 몰리브덴 막대는 일반적으로 분말 야금 공정으로 만들어지며 소결 온도는 $1800-2000^{\circ}C$ 입니다.

진공 소결

정의: 금속 분말의 블랭크를 진공($10^{-3}-10^{-5} Pa$)에서 가열하여 밀도가 높은 물질로 결합하는 과정. TZM 몰리브덴 막대의 진공 소결은 밀도를 이론 밀도의 98% 이상으로 증가시킬 수 있습니다.

Hot Isostatic Pressing

정의: 고온 ($1800-2000^{\circ}C$) 및 고압 ($100-200 MPa$)에서 재료의 등방성 압축으로 내부 다공성 및 결함을 제거합니다.

냉간 등방압 프레스

정의: 등방성 압력은 고밀도 빌렛을 형성하기 위해 실온에서 액체 매체에 의해 분말에 가해집니다. TZM 몰리브덴 막대의 CIP 압력은 일반적으로 $200-300 MPa$ 입니다.

정밀 단조

정의: 밀도 및 기계적 특성을 향상시키기 위해 고온($1200-1400^{\circ}C$) 다축 단조 장비에 의한 TZM 몰리브덴 막대의 소성 변형.

가공

정의: 최대 $\pm 0.01mm$ 의 공차를 가진 터닝, 밀링, 드릴링 및 기타 공정에 의한 TZM 몰리브덴 막대의 형상 가공.

표면 연마

정의: 균열 시작 지점을 줄이기 위해 기계적, 화학적 또는 전기화학적 방법으로 TZM 몰리브덴 막대($Ra \leq 0.05$ 마이크론)의 표면 거칠기를 줄입니다.

비파괴 검사

저작권 및 법적 책임 선언문

정의: 최대 0.05mm 의 감도로 초음파, X 선 또는 침투 탐상 테스트 방법으로 TZM 폴리브덴 막대의 내부 및 표면 결함을 검사합니다.

Near-Net-Shape 형성

정의: 준비 프로세스(예: SLM 또는 HIP)를 최적화하여 최종 형상에 가까운 부품을 직접 형성하여 후처리를 줄입니다.

3. 고온 적용 용어

고온 강도

정의: 재료가 고온(>1000°C)에서 인장, 압축 또는 전단 변형에 저항할 수 있는 능력. 1200°C 에서 TZM 폴리브덴 막대의 인장 강도는 400-500 MPa 입니다.

열충격 저항

정의: 급격한 온도 변화에서 균열이나 파괴에 저항하는 재료의 능력. TZM 폴리브덴 막대는 열팽창 계수($5.3 \times 10^{-6}/K$)가 낮기 때문에 내열충격성이 우수합니다.

열전도율

정의: 열을 전도하는 물자의 능력, TZM 폴리브덴 막대의 열 전도도는 1200°C 에 단지 10-15%에 의해서만 감소하는 139 W/m·K 입니다.

내산화성

정의: 고온 산화 환경에서 산화물 형성 및 손실에 저항하는 재료의 능력. TZM 폴리브덴 막대는 1000 °C 에서 MoO_2 의 보호 층을 형성했으며 산화 중량 증가율은 $0.1 \text{ mg} / \text{cm}^2 \cdot \text{h}$ < 했다.

플라즈마 침식

정의: 고에너지 플라즈마에 충격을 받는 물질의 표면 손실 현상. TZM 폴리브덴 막대는 10^6 플라즈마 충격을 견딜 수 있으며 이는 순수 폴리브덴보다 우수합니다.

열 보호 시스템

정의: 재진입과 같은 고온에서의 열 손상으로부터 우주선을 보호하는 데 사용되는 시스템입니다. TZM 폴리브덴 막대는 열 차폐 및 열 차폐 장치의 제조에 사용됩니다.

고온 피로

정의: 고온 순환 응력 하에서 균열 시작 및 전파에 저항하는 재료의 능력. 1200°C 에서 TZM 폴리브덴 막대의 피로 수명은 10^5 사이클입니다.

열 순환 안정성

정의: 반복적인 가열 및 냉각 중에 재료가 특성과 구조를 유지하는 능력. TZM 폴리브덴 막대는 1000 회의 열 주기(실온 -1600°C)를 견딜 수 있습니다.

4. 재료 과학 및 야금 용어

고용체 강화

저작권 및 법적 책임 선언문

정의: 티타늄과 지르코늄 원자를 폴리브덴 매트릭스에 용해시킴으로써, 격자 왜곡은 재료의 강도와 경도를 향상시키기 위해 발생합니다.

강수 강화

정의: 폴리브덴 매트릭스에 탄화물 입자(예: TiC, ZrC)를 형성하여 전위 이동을 방해하고 고온 강도와 크리프 저항을 향상시킵니다.

입자 크기

정의: 재료에 있는 결정의 평균 크기, TZM 폴리브덴 막대의 입자 크기는 일반적으로 10-30 마이크로미터이며 이는 강도와 인성에 영향을 미칩니다.

재결정화 온도

정의: 재료의 입자가 고온에서 새로운 입자를 형성하기 위해 재배열되는 온도입니다. TZM 폴리브덴 막대의 재결정 온도는 1400-1500°C 로 1100°C 에서 순수 폴리브덴보다 높습니다.

전위

정의: 재료의 소성 변형과 강도에 영향을 미치는 결정 내부의 선형 결함. TZM 폴리브덴 막대는 크리프 저항을 향상시키기 위해 탄화물 입자에 의해 전위에 고정됩니다.

입자 경계

정의: 재료의 강도, 인성 및 부식 특성에 영향을 미치는 입자 간의 계면입니다. TZM 폴리브덴 막대의 결정립계는 고온 미끄러짐을 줄이기 위해 지르코늄으로 강화됩니다.

주사 전자 현미경

정의: 최대 1 나노미터의 해상도로 TZM 폴리브덴 막대의 표면 지형 및 파괴 특성을 관찰하기 위한 현미경.

투과 전자 현미경

정의: 최대 0.1nm 의 분해능으로 TZM 폴리브덴 막대의 내부 미세 구조(예: 전위, 탄화물 입자)를 관찰하기 위한 현미경.

X 선 회절

정의: TZM 폴리브덴 막대의 결정 구조, 상 조성 및 응력 상태에 대한 X 선 분석.

유한 요소 해석

정의: 고온 및 높은 응력 하에서 TZM 폴리브덴 막대의 성능에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 응력 분포 및 고장 위험을 예측합니다.

B. 참조

- [1] Chinatungsten Online, "TZM 몰리브덴 합금의 생산 공정 및 기술", www.chinatungsten.com
- [2] Chinatungsten 온라인, 몰리브덴 분말 정제 및 합금 기술, www.ctia.com.cn
- [3] Chinatungsten 온라인, WeChat 공식 계정, "TZM 몰리브덴 막대 생산 공정 최적화", 2023
- [4] 《분말 야금: 과학, 기술 및 응용》, C. 수리야나라야나
- [5] 《내화 금속 가공의 발전》, Journal of Materials Processing Technology
- [6] 《TZM 합금의 진공 소결》, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials
- [7] Chinatungsten Online, "TZM 몰리브덴 막대의 자동화 생산 기술", news.chinatungsten.com
- [8] 《내화 금속의 표면 공학》, 표면 및 코팅 기술
- [9] Chinatungsten 온라인, "TZM 몰리브덴 막대 생산 설비 및 품질 관리", baike.ctia.com.cn
- [10] 《재료 과학 및 공학: 소개》, William D. Callister Jr.
- [11] 《내화 금속 및 합금의 발전》, 재료 과학 저널
- [12] 《TZM 합금의 분말 야금》, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials
- [13] 《고온 응용 분야의 TZM 합금》, 재료 및 디자인
- [14] 《TZM 합금의 분말 야금》, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials