

조명용 몰리브덴 와이어 백과사전

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

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	5.5×10 ⁻⁸ Ω·m	6.0×10 ⁻⁸ Ω·m	6.5×10 ⁻⁸ Ω·m
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

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

디렉토리

1 장 소개

- 1.1 정의 및 개요 몰리브덴 와이어의
 - 1.1.1 몰리브덴 와이어의 화학적 조성 및 물리적 특성
 - 1.1.2 조명 분야에서 몰리브덴 와이어의 핵심 기능
 - 1.1.3 몰리브덴 와이어와 다른 금속 재료의 비교
- 1.2 몰리브덴 와이어의 역사와 발전
 - 1.2.1 몰리브덴의 발견 및 초기 산업 응용
 - 1.2.2 조명 기술에서 몰리브덴 와이어의 진화
 - 1.2.3 주요 기술 혁신 및 이정표
- 1.3 현대 조명 산업에서 몰리브덴 와이어의 중요성
 - 1.3.1 몰리브덴 와이어와 기존 텅스텐 와이어의 성능 비교
 - 1.3.2 고효율 조명에서 몰리브덴 와이어의 전략적 위치
 - 1.3.3 에너지 절약 램프에서 몰리브덴 와이어의 역할
- 1.4 몰리브덴 와이어의 연구 및 적용 현황
 - 1.4.1 국내외 몰리브덴 와이어 기술 연구 진행 상황
 - 1.4.2 글로벌 시장 규모 및 애플리케이션 분포
 - 1.4.3 기술적 병목 현상 및 향후 과제

Chapter 2 조명용 몰리브덴 와이어의 분류

- 2.1 화학 성분에 따른 분류
 - 2.1.1 순수 몰리브덴 와이어
 - 2.1.2 몰리브덴 란타넘 와이어
 - 2.1.3 몰리브덴 레늄 와이어
 - 2.1.4 기타 도핑 된 몰리브덴 와이어
- 2.2 용도에 따른 분류
 - 2.2.1 백열램프용 몰리브덴 와이어
 - 2.2.2 할로겐 램프용 몰리브덴 와이어
 - 2.2.3 형광등 및 가스 방전 램프용 몰리브덴 와이어
 - 2.2.4 특수 램프용 몰리브덴 와이어
- 2.3 사양에 따른 분류
 - 2.3.1 직경 범위 및 공차
 - 2.3.2 표면처리 유형
 - 2.3.3 와이어 형태

Chapter 3 조명용 몰리브덴 와이어의 특성

- 3.1 조명용 몰리브덴 와이어의 물리적 특성
 - 3.1.1 조명용 몰리브덴 와이어의 밀도 및 용점
 - 3.1.2 조명용 몰리브덴 와이어의 열팽창 계수 및 온도 의존성
 - 3.1.3 조명용 몰리브덴 와이어의 열전도율 및 전도도 분석
- 3.2 조명용 몰리브덴 와이어의 화학적 특성
 - 3.2.1 조명용 몰리브덴 와이어의 내산화성 및 고온 안정성

저작권 및 법적 책임 선언문

- 3.2.2 조명용 폴리브덴 와이어의 내식성
- 3.2.3 조명용 폴리브덴 와이어와 불활성 가스 및 진공 환경 간의 상호 작용
- 3.3 조명용 폴리브덴 와이어의 기계적 특성
 - 3.3.1 조명용 폴리브덴 와이어의 고온 인장 강도 및 크리프 특성
 - 3.3.2 조명용 폴리브덴 와이어의 연성 및 인성
 - 3.3.3 조명용 폴리브덴 와이어의 피로 저항 및 파괴 저항
- 3.4 조명용 폴리브덴 와이어의 전기적 특성
 - 3.4.1 조명용 폴리브덴 와이어의 저항 및 온도 계수
 - 3.4.2 조명용 폴리브덴 와이어의 전류 전달 용량
 - 3.4.3 조명용 폴리브덴 와이어의 아크 안정성
- 3.5 조명용 폴리브덴 와이어의 광학적 특성
 - 3.5.1 조명용 폴리브덴 와이어의 표면 마감 및 반사율
 - 3.5.2 조명용 폴리브덴 와이어의 고온 복사 특성 및 스펙트럼 분석
 - 3.5.3 조명용 폴리브덴 와이어의 표면 산화가 광학적 특성에 미치는 영향
- 3.6 CTIA GROUP LTD 의 MSDS 조명용 폴리브덴 와이어

Chapter 4 조명용 폴리브덴 와이어의 제조 및 생산 기술

- 4.1 조명용 폴리브덴 와이어의 원료 선정 및 전처리
 - 4.1.1 폴리브덴 분말 순도 요구 사항 및 입자 크기 제어
 - 4.1.2 도핑 물질의 선정 및 비율 (탄타늄, 레늄 등)
 - 4.1.3 원료 전처리(세정, 스크리닝, 혼합)
- 4.2 조명용 폴리브덴 와이어의 제련 및 성형
 - 4.2.1 분말 야금 공정
 - 4.2.2 진공 소결 및 고온 소결 기술
 - 4.2.3 열간 프레스, 단조 및 압연 공정
- 4.3 조명용 폴리브덴 와이어의 인발 과정
 - 4.3.1 조악한 인발, 정밀한 인발 및 초미세 인발 기술
 - 4.3.2 윤활유 선정 및 금형 설계 최적화
 - 4.3.3 중간 어닐링 및 최종 어닐링 공정
- 4.4 조명용 폴리브덴 와이어의 표면처리 기술
 - 4.4.1 화학적 세척 및 전해 연마
 - 4.4.2 검은색 폴리브덴 와이어와 청소된 폴리브덴 와이어의 공정 차이점
 - 4.4.3 표면 코팅 기술(예: 산화 방지 코팅)
- 4.5 조명용 폴리브덴 와이어의 도핑 공정
 - 4.5.1 탄타늄, 레늄 및 기타 원소의 도핑 방법
 - 4.5.2 도핑 균일성 제어
 - 4.5.3 고온 성능 향상을 위한 도핑의 메커니즘
- 4.6 조명용 폴리브덴 와이어의 품질 관리 및 공정 최적화
 - 4.6.1 프로세스 매개변수의 온라인 모니터링
 - 4.6.2 결함 제어(균열, 다공성, 개재물)
 - 4.6.3 생산성 및 비용 최적화

5 장 조명용 몰리브덴 와이어의 사용

5.1 백열 램프

5.1.1 필라멘트 지지 및 전도성 기능

5.1.2 고온 환경에서의 안정성과 수명

5.2 할로겐 램프

5.2.1 할로겐 사이클에서 몰리브덴 와이어의 주요 역할

5.2.2 고온 저항 및 화학적 내식성

5.3 가스 방전 램프

5.3.1 고강도 방전 램프용 몰리브덴 와이어(HID)

5.3.2 형광등 전극 재료

5.4 특수 조명

5.4.1 헤드램프 및 안개등

5.4.2 프로젝션 램프, 무대 조명 및 사진 조명

5.4.3 자외선 램프, 적외선 램프 및 의료용 조명

5.5 기타 적용 영역

5.5.1 진공 전자 장치(튜브, X 선관)

5.5.2 방전 가공용 몰리브덴 와이어(EDM)

5.5.3 고온로 발열체 및 열전대

Chapter 6 조명용 몰리브덴 와이어 생산 장비

6.1 램프용 몰리브덴 와이어 원료 가공 장비

6.1.1 몰리브덴 분말 분쇄 및 스크리닝 장비

6.1.2 도관 혼합 및 균질화 장비

6.1.3 원료 정제 장비

6.2 램프용 몰리브덴 와이어 채련 및 성형 장비

6.2.1 진공 소결로 및 대기 보호로

6.2.2 핫 프레스 및 다방향 단조 장비

6.2.3 정밀 압연기

6.3 조명용 몰리브덴 와이어용 와이어 드로잉 장비

6.3.1 다중 통과 철사 그림 기계 및 지속적인 철사 그림 장비

6.3.2 고정밀 금형 및 윤활 시스템

6.3.3 소둔로 및 온도 제어 시스템

6.4 조명용 몰리브덴 와이어용 표면 처리 장비

6.4.1 전해 연마 및 화학 세척 장비

6.4.2 표면 코팅 증착 장비

6.4.3 표면 품질 시험 장비

6.5 조명용 몰리브덴 와이어에 대한 테스트 및 품질 관리 장비

6.5.1 현미경 (광학, 전자) 및 표면 분석기

6.5.2 인장 시험기 및 경도 시험기

6.5.3 조성 분석기(ICP, XRF)

6.5.4 환경 시뮬레이션 테스트 장비

Chapter 7 조명용 몰리브덴 와이어에 대한 국내외 표준

7.1 조명용 몰리브덴 전선에 대한 국내 표준

7.1.1 GB/T 3462-2017 년

7.1.2 GB/톤 4191-2015

7.1.3 GB/톤 4182-2000

7.1.4 기타 관련 국가 표준

7.2 조명용 몰리브덴 와이어에 대한 국제 표준

7.2.1 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 막대, 막대 및 와이어에 대한 ASTM B387 표준 사양

7.2.2 ISO 22447 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 제품

7.2.3 JIS H 4461

7.2.4 기타 ISO 표준

7.3 조명용 몰리브덴 와이어의 서로 다른 표준 간의 비교 및 변환

7.3.1 국내외 표준의 기술 매개 변수 비교

7.3.2 표준 변환 방법

7.3.3 국제기준과 국내기준의 상호인정 분석

7.4 조명용 몰리브덴 와이어의 환경 보호 및 RoHS 규정

7.4.1 몰리브덴 와이어 재료에 대한 RoHS 지침(EU 2011/65/EU) 요구 사항

7.4.2 중국 RoHS (전자정보제품 오염 통제 대책)

7.4.3 몰리브덴 와이어 생산시 환경 준수

7.4.4 녹색 제조 및 지속 가능한 개발 요구 사항

7.5 조명용 몰리브덴 와이어에 대한 산업 표준 및 기업 사양

7.5.1 중국 비철금속 산업 협회 표준

7.5.2 조명 산업 내부 사양

Chapter 8 조명용 몰리브덴 와이어의 검출 기술

8.1 조명용 몰리브덴 와이어의 화학 성분 테스트

8.1.1 X 선 형광 분석(XRF)

8.1.2 유도 결합 플라즈마 발광 분석법(ICP-OES)

8.1.3 원자 흡수 분광법 (AAS)

8.2 조명용 몰리브덴 와이어의 물리적 특성 테스트

8.2.1 치수 및 공차 측정 (Laser Micrometry, Microscopy)

8.2.2 밀도 테스트 및 품질 분석

8.2.3 인장 강도, 연성 및 경도 시험

8.3 조명용 몰리브덴 와이어의 표면 품질 검사

8.3.1 광학 현미경 및 표면 거칠기 테스트

8.3.2 주사 전자 현미경 (SEM) 및 에너지 분광법 (EDS)

8.3.3 표면 결함 감지 기술

8.4 조명용 몰리브덴 와이어의 고온 성능 테스트

8.4.1 고온 내산화성 및 열안정성시험

8.4.2 열 사이클링 및 크리프 저항 테스트

8.4.3 고온 기계적 물성 시험

8.5 조명용 몰리브덴 와이어의 전기적 성능 테스트

8.5.1 비저항 및 전도도 테스트

저작권 및 법적 책임 선언문

- 8.5.2 온도 계수 및 아크 안정성 분석
- 8.5.3 고온 전기 성능 테스트
- 8.6 조명용 몰리브덴 와이어의 비파괴 검사
- 8.6.1 초음파 탐상기 기술
- 8.6.2 X선 결함 탐지 및 CT 스캐닝
- 8.6.3 자분 탐상 검사 및 와전류 검사

Chapter 9 조명용 몰리브덴 와이어의 미래 개발 동향

- 9.1 신소재 및 도핑 기술
 - 9.1.1 새로운 도핑된 원소 탐색
 - 9.1.2 나노 스케일 몰리브덴 와이어의 R&D 및 응용
 - 9.1.3 복합재 및 몰리브덴 기반 합금
- 9.2 지능적이고 친환경적인 생산 공정
 - 9.2.1 지능형 제조 및 인더스트리 4.0 기술
 - 9.2.2 친환경 생산 공정 및 폐기물 재활용
 - 9.2.3 에너지 최적화 및 저탄소 제조
- 9.3 조명용 몰리브덴 와이어의 대체 재료
 - 9.3.1 텅스텐 기반 재료 및 새로운 합금
 - 9.3.2 세라믹 및 탄소계 재료
 - 9.3.3 고온 도전성 물질의 등장
- 9.4 시장 및 응용 프로그램 확장
 - 9.4.1 LED 및 레이저 조명의 잠재적 응용 분야
 - 9.4.2 항공우주 및 고온 산업으로의 확대
 - 9.4.3 글로벌 시장 수요 및 신흥 시장 분석

부록

- A. 용어집
- B. 참조

1 장 소개

1.1 몰리브덴 와이어의 정의 및 개요

1.1.1 몰리브덴 와이어의 화학적 조성 및 물리적 특성

몰리브덴 와이어는 몰리브덴 금속을 주성분으로 하는 길쭉한 금속 재료이며, 몰리브덴(화학 기호 Mo, 원자 번호 42)은 고유한 물리적 및 화학적 특성으로 인해 고온 환경의 산업 제품에 널리 사용되는 내화 금속입니다. 몰리브덴 와이어는 일반적으로 순도가 매우 높은 고순도 형태로 생산되어 일관된 성능을 보장합니다. 일부 몰리브덴 와이어는 란탄 또는 레늄과 같은 미량 원소로 도핑되어 다양한 응용 시나리오의 요구에 맞게 특정 특성을 향상시킵니다. 몰리브덴의 결정 구조는 신체 중심의 입방체로 몰리브덴 와이어에 우수한 기계적 강도와 고온에서의 변형에 대한 내성을 제공하여 극한의 작동 조건을 견딜 수 있습니다.

몰리브덴 와이어는 용점이 매우 높아 조명 장치의 고온 환경에 대처하기에 충분합니다. 그것의 고밀도는 물자에 단단한 유형 자산을 주는 동안, 그것의 열과 전기 전도도 성과는 우수하, 그것에게 전기 신청에 있는 이점을 주는 동안. 몰리브덴 와이어는 실온에서 화학적 안정성이 우수하고 산, 알칼리 및 기타 화학 물질의 침식에 저항할 수 있지만 고온에서 공기에 노출되면 산소와 반응하여 산화물을 형성하기 쉽기 때문에 진공 또는 불활성 가스(예: 아르곤 또는 질소) 환경 보호는 일반적으로 램프 및 랜턴에서 산화 반응으로 인한 재료 특성 손상을 방지하기 위해 필요합니다.

몰리브덴 와이어의 열팽창 특성은 조명 분야에서의 적용을 위한 중요한 요소 중 하나입니다. 열팽창 계수는 붕규산 유리화 같은 특정 유리 재료와 매우 일치하므로 몰리브덴 와이어는 조명기구 제조의 유리 대 금속 밀봉 공정에서 이상적인 선택으로 기밀성과 구조적 안정성을 보장합니다. 또한 몰리브덴 와이어의 표면 특성은 그 특성에 상당한 영향을 미칩니다. 전해 연마 또는 화학적 세척을 통해 몰리브덴 와이어의 표면은 높은 마감율 달성하여 아크 방전 중 불균일을 줄여 등기구의 안정성과 광학 성능을 향상시킬 수 있습니다. 도핑된 몰리브덴 와이어(e.사. 몰리브덴 란타넘 철사 또는 몰리브덴 레늄 철사) 희토류 또는 다른 원소를 추가해서, 고열에 물자의 포복 저항 그리고 재결정화 온도는 현저하게 개량되, 지나치게 요구하는 점화 신청 대본을 위해 적당한 만드.

1.1.2 조명 분야에서 몰리브덴 와이어의 핵심 기능

조명 분야에서 몰리브덴 와이어를 적용하는 것은 필라멘트 지원, 전극 재료, 밀봉 구성 요소, 할로겐 사이클링 지원 등을 포함한 다양한 주요 기능을 포함하며 아래에 자세히 설명되어 있습니다.

필라멘트 지지대: 백열등 및 할로겐 램프에서 몰리브덴 필라멘트는 종종 텅스텐 필라멘트를 지지하는 구조 재료로 사용됩니다. 텅스텐 필라멘트는 고온에서 작업할 때 변형이나 처짐이 발생하기 쉬운 반면, 고온 강도와 크리프 저항성이 우수한 몰리브덴 필라멘트는 필라멘트를 단단히 지지하고 형상을 유지할 수 있으므로 램프의 발광 효율과 서비스 수명을 보장합니다. 이 지지 기능은 필라멘트가 장기간 용융점에

저작권 및 법적 책임 선언문

근접할 수 있는 고온 환경에서 특히 중요합니다.

전극 재료: 가스 방전 램프(예: 고강도 방전 램프, 형광등)에서 몰리브덴 와이어는 아크를 안내하고 전류를 전달하는 역할을 하는 전극 재료로 작용합니다. 높은 전도성과 아크 부식에 대한 내성으로 인해 순간적인 고전압 및 고온 아크의 영향을 견딜 수 있어 전극 구조의 무결성을 유지할 수 있습니다. 예를 들어, 고압 나트륨 또는 메탈 할라이드 램프에서 몰리브덴 와이어 전극은 등기구가 켜져 있고 계속해서 빛을 방출할 수 있도록 극한 조건에서 안정적으로 작동해야 합니다.

씰링 구성 요소: 몰리브덴 와이어는 유리의 열팽창 계수와 일치하여 등기구 제조에서 유리 대 금속 밀봉에 선택되는 재료입니다. 씰링 구성 요소는 등기구 내부의 기밀성을 보장하고 불활성 가스 누출 또는 외부 공기 침투를 방지하여 램프 내부 환경을 보호하고 서비스 수명을 연장해야 합니다. 몰리브덴 와이어의 화학적 안정성으로 인해 램프 내부의 고온 가스 환경에서 부식에 저항할 수 있어 밀봉 부분의 장기적인 신뢰성을 보장합니다.

할로젠 사이클 지원: 할로젠 램프에서 몰리브덴 필라멘트는 램프의 할로젠 가스(예: 요오드 또는 브롬)와 함께 할로젠 사이클 공정에 관여합니다. 할로젠 사이클은 화학 반응을 통해 증발된 텅스텐을 필라멘트에 다시 증착하여 필라멘트 수명을 크게 연장하는 동시에 발광 효율을 높입니다. 몰리브덴 와이어의 내화학적 성질은 할로젠 환경에서 공격을 받지 않도록 하여 순환 공정의 안정성을 유지하고 할로젠 램프의 고성능을 지원합니다.

몰리브덴 와이어의 다양성은 전통적인 조명(예: 백열등, 할로젠 램프)과 특수 조명(예: 자동차 램프, 무대 램프, 의료용 램프) 모두에서 없어서는 안될 역할을 합니다. 고출력 방전 램프와 같은 새로운 조명 기술에서의 잠재력은 현대 조명 산업의 중요한 기둥이 되고 있습니다.

1.1.3 몰리브덴 와이어와 다른 금속 재료의 비교

조명에서 몰리브덴 와이어의 고유한 장점은 텅스텐, 구리, 니켈 및 백금과 같이 일반적으로 사용되는 금속 재료와의 자세한 비교를 통해 입증할 수 있습니다.

텅스텐과의 대조 : 텅스텐은 용점이 매우 높기 때문에 백열 필라멘트에 선택되는 재료이므로 발광 원소로 직접 사용하기에 적합합니다. 고온에서 텅스텐의 발광 효율은 몰리브덴보다 우수하지만 열팽창 계수는 유리의 발광 계수와 약간 덜 호환되며 고온에서 재결정화가 쉬워 물질이 취화됩니다. 대조적으로, 몰리브덴 와이어는 고온에서 크리프 저항성과 구조적 안정성이 우수하여 필라멘트 지지체 또는 전극 재료로 특히 적합합니다. 또한 몰리브덴의 원료 비용 및 가공 난이도가 텅스텐보다 낮아 고온 안정성과 밀봉 기능이 필요한 시나리오에서 더 경제적이고 널리 사용됩니다.

구리와 대조: 구리는 전기 전도성이 매우 높고 연성이 우수하지만 녹는점이 낮아 조명 장치에서 볼 수 있는 고온을 견딜 수 없습니다. 또한 구리의 열팽창 계수는

저작권 및 법적 책임 선언문

유리와 상당히 다르기 때문에 유리 대 금속 밀봉에 적합하지 않습니다. 몰리브덴 와이어의 고온 안정성과 유리와의 호환성은 등기구 제조, 특히 고온 저항과 기밀성이 필요한 응용 분야에서 구리보다 훨씬 우수합니다.

니켈과의 비교: 니켈은 내식성과 가공성으로 인해 일부 저전력 램프의 전극 재료로 사용됩니다. 그러나 니켈은 녹는점이 낮고 고온에서 강도가 부족하여 고강도 방전 또는 할로겐 램프의 까다로운 요구 사항을 충족하지 못합니다. 고온 아크 및 화학적 부식성 환경에서 몰리브덴 와이어의 우수한 특성으로 인해 고성능 조명 응용 분야에 더 적합한 재료입니다.

백금과 대조: 백금은 높은 화학적 안정성과 내산화성으로 인해 고급 특수 램프에 때때로 사용됩니다. 그러나 백금은 몰리브덴보다 녹는점이 낮고 비용이 매우 높아 산업에서의 대규모 적용에 제한이 있습니다. 몰리브덴 와이어는 성능과 비용 간의 균형이 잘 유지되어 광범위한 조명 및 고온 응용 분야에 적합합니다.

요약하면, 몰리브덴 와이어는 고온 성능, 밀봉 능력, 화학적 안정성 및 비용 효율성의 조합으로 인해 특히 고온 안정성과 밀폐 연결이 필요한 응용 분야에서 조명 분야에서 독특한 위치를 차지합니다.

1.2 몰리브덴 와이어의 역사와 발전

1.2.1 몰리브덴의 발견 및 초기 산업 응용

몰리브덴의 발견은 18 세기 말로 거슬러 올라갑니다. 1778 년 스웨덴의 화학자 칼 빌헬름 셰러(Carl Wilhelm Scheerer)는 화학 실험을 통해 몰리브데나이트에서 몰리브덴산을 분리하여 몰리브덴 연구의 토대를 마련했습니다. 1781 년 Peter Jacob Hiyem 은 몰리브덴산을 환원시켜 몰리브덴 금속을 성공적으로 제조하여 몰리브덴의 공식 발견을 표시했습니다. 19 세기 말, 야금 기술의 발전과 함께 몰리브덴은 산업 분야에 진출하기 시작했으며, 처음에는 강철의 강도, 내열성 및 내식성을 향상시키기 위해 강철 합금 제조에 주로 사용되었습니다. 20 세기 초에 몰리브덴의 내화성이 점차 인식되었고, 높은 용점과 고온 강도로 인해 전기로 발열체 및 진공 장비와 같은 고온 산업에 적용되었습니다.

조명 분야에서 몰리브덴의 적용은 19 세기 말 백열등의 개발과 함께 시작되었습니다. 초기 백열등은 탄소 필라멘트 또는 백금 필라멘트를 필라멘트로 사용했지만 탄소 필라멘트는 수명이 짧고 백금 필라멘트의 비용이 높아 대규모 생산 요구를 충족시키기가 어려웠습니다. 몰리브덴은 특히 진공 또는 불활성 가스 환경에서 높은 용점과 우수한 기계적 특성으로 인해 필라멘트 지지 및 전극 재료에 대해 시도되었습니다. 20 세기 초, 몰리브덴 와이어는 백열등의 밀봉 부품에 사용되기 시작했는데, 이는 다른 금속보다 유리의 열팽창과 더 잘 일치하고 램프의 기밀성과 신뢰성을 크게 향상시켰기 때문입니다.

1.2.2 조명 기술에서 몰리브덴 와이어의 진화

조명 기술에 몰리브덴 와이어를 적용하는 것은 등기구 기술의 발전과 함께 여러 단계의 진화를 거쳤습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

백열등 시대(19 세기 후반에서 20 세기 초반): 백열등의 발명은 몰리브덴 와이어의 초기 적용을 주도했습니다. 토마스 에디슨(Thomas Edison)과 다른 사람들이 백열등을 개발했을 때, 그들은 필라멘트 지지대와 밀봉 재료를 선택하는 문제에 직면했습니다. 몰리브덴 와이어는 텅스텐 필라멘트를 지지하고 고온 강도와 유리와의 호환성으로 인해 밀폐된 조인트를 형성하는 데 사용되었습니다. 1900 년대에는 몰리브덴 와이어의 인발 공정이 점차 성숙하여 백열등의 정밀 제조 요구 사항을 충족하는 더 미세하고 균일한 몰리브덴 와이어를 생산했습니다.

할로겐 램프의 부상(20 세기 중반): 1950 년대에 할로겐 램프의 발명으로 몰리브덴 와이어에 대한 요구 사항이 높아졌습니다. 할로겐 램프는 매우 높은 온도에서 작동하며 화학적 활성 할로겐 가스로 채워져 있습니다. 몰리브덴 와이어는 고온 및 내화학성으로 인해 전극 및 지지 재료에 이상적인 선택입니다. 도핑된 몰리브덴 와이어(예: 몰리브덴 란타넘 와이어)는 이 기간 동안 고온 성능을 더욱 향상시키기 위해 개발되었습니다.

가스 방전 램프 및 특수 조명(20 세기 후반): 고휘도 방전 램프(HID), 형광등 및 특수 조명(예: 자동차 램프, 프로젝션 램프)의 인기로 몰리브덴 와이어의 적용 범위가 더욱 확장되었습니다. 아크 방전 환경에서의 안정성과 유리에 대한 밀봉의 신뢰성으로 인해 가스 방전 램프 전극 및 밀봉 구성 요소에 선택되는 재료입니다.

현대 조명 기술(21 세기): LED 조명이 점차 기존 조명기구를 대체하고 있지만 몰리브덴 와이어는 고출력 특수 조명(예: 무대 조명, 의료용 램프) 및 기존 조명기구의 주식 시장에서 여전히 없어서는 안 될 필수품입니다. 또한 진공 전자 장치, 항공 우주 고온 부품 및 기타 분야에서 몰리브덴 와이어의 적용 잠재력이 더욱 탐구되어 교차 필드 적응성을 보여주었습니다.

1.2.3 주요 기술 혁신 및 이정표

조명 분야에서 몰리브덴 와이어의 광범위한 적용은 다음과 같은 주요 기술 혁신에 기인합니다.

분말 야금 기술의 성숙 : 20 세기 초, 분말 야금 기술의 발전으로 고순도 몰리브덴 와이어를 대규모로 생산할 수 있게되었습니다. 몰리브덴 분말을 블랭크로 압착, 소결 및 단조함으로써 후속 인발 공정을위한 고품질 원료를 제공합니다.

와이어 드로잉 프로세스 개선: 1920 년대에는 다중 패스 와이어 드로잉 기술과 다이 설계의 최적화로 몰리브덴 와이어의 직경이 크게 감소하여 정밀 램프의 요구 사항을 충족하는 마이크론 크기의 필라멘트를 생산할 수 있었습니다. 어닐링 공정의 도입은 몰리브덴 와이어의 연성과 인성을 향상시키고 가공 중 파괴율을 줄입니다.

도핑 기술의 발전 : 1950 년대에는 란탄 산화물 또는 레늄과 같은 도핑 원소에 의해 몰리브덴 와이어의 고온 크리프 저항 및 재결정 온도가 크게 향상되었습니다. 예를 들어, 몰리브덴 란타넘 와이어는 순수한 몰리브덴 와이어보다 섭씨 수백 도의 재결정

저작권 및 법적 책임 선언문

온도를 가지므로 더 까다로운 조건에서 사용할 수 있습니다.

표면 처리 기술의 발전: 1980년대에는 전해 연마 및 화학 세척 기술을 적용하여 몰리브덴 와이어의 표면 마감을 크게 개선하고 아크 방전의 불균일성을 줄였으며 등기구의 수명을 연장했습니다.

자동화 생산의 도입: 21세기 초, 자동화 생산 라인의 광범위한 적용은 몰리브덴 와이어 생산의 일관성과 효율성을 향상시키고 생산 비용을 절감하며 세계 시장에서 몰리브덴 와이어의 경쟁력을 더욱 향상시켰습니다.

이러한 기술 혁신은 조명 분야에서 몰리브덴 와이어의 적용을 촉진할 뿐만 아니라 다른 고온 산업 분야로의 확장을 위한 기반을 마련합니다.

1.3 현대 조명 산업에서 몰리브덴 와이어의 중요성

1.3.1 몰리브덴 와이어와 기존 텅스텐 와이어의 성능 비교

몰리브덴 와이어와 텅스텐 와이어는 조명 산업에서 가장 일반적으로 사용되는 두 가지 고온 금속 재료입니다. 다음은 여러 측면에서 자세히 비교한 것입니다.

고온 성능: 텅스텐의 녹는점은 몰리브덴의 녹는점보다 높기 때문에 백열등의 발광 필라멘트로 더 적합하고 고온 발광 작업을 직접 견딜 수 있습니다. 그러나 몰리브덴은 고온에서 크리프 저항성과 구조적 안정성이 우수하여 특히 장기간 형상 유지가 필요한 시나리오에서 지지 재료 또는 전극으로 적합합니다.

열팽창 특성: 몰리브덴의 열팽창 계수는 붕규산 유리와 같은 밀봉 재료와 매우 일치하여 신뢰할 수 있는 밀폐 밀봉을 형성할 수 있습니다. 텅스텐의 열팽창 계수는 유리와 약간 덜 호환되며 밀봉을 위해 추가 전이 재료가 필요한 경우가 많아 제조 복잡성이 가중됩니다.

화학적 안정성: 할로겐 램프의 할로겐 가스 환경에서 몰리브덴 와이어의 내식성은 텅스텐보다 우수하여 할로겐 가스의 화학적 공격에 효과적으로 저항하고 할로겐 사이클 공정을 지원하며 램프의 수명을 연장할 수 있습니다.

비용 및 가공성: 몰리브덴은 텅스텐보다 원료 및 가공 비용이 저렴하고 인발 및 성형 공정이 비교적 간단하여 대규모 생산에 적합합니다. 텅스텐은 특히 초미세 와이어 생산에서 가공이 어렵고 수율이 낮습니다.

전기적 특성 : 텅스텐과 몰리브덴의 저항률은 비슷하지만 몰리브덴은 가스 방전 램프에서 아크 안정성이 우수하며 순간 고전압 및 고온 아크의 충격을 견딜 수 있는 전극 재료로 적합합니다.

요약하면, 몰리브덴 와이어와 텅스텐 와이어는 조명 장치에서 보완적인 관계를 형성하며, 몰리브덴 와이어는 우수한 밀봉 성능, 화학적 안정성 및 경제성으로 인해 지지, 전극 및 밀봉 기능에 널리 사용되는 반면 텅스텐 와이어는 주로 발광

저작권 및 법적 책임 선언문

필라멘트에 사용됩니다.

1.3.2 고효율 조명에서 몰리브덴 와이어의 전략적 위치

고효율 조명(예: 할로겐 램프, 고강도 방전 램프)은 재료의 고온 성능, 화학적 안정성 및 전기적 특성에 대한 더 높은 요구 사항을 제시하며 몰리브덴 와이어는 다음과 같은 측면에서 전략적 위치를 보여주었습니다.

할로겐 램프의 핵심 역할: 할로겐 램프는 할로겐 사이클링을 통해 더 높은 발광 효율과 더 긴 수명을 달성합니다. 전극 및 지지 재료로서 몰리브덴 와이어는 할로겐 가스의 고온 및 화학적 공격을 견뎌야 하며 우수한 내식성과 고온 강도로 램프의 안정적인 작동을 보장하여 할로겐 램프의 고효율을 위한 핵심 지원을 제공합니다.

고강도 방전 램프의 적용: 메탈 할라이드 램프 및 고압 나트륨 램프와 같은 고강도 방전 램프에서 전극 재료인 몰리브덴 와이어는 순간적인 고전압 및 극도의 고온 아크 환경을 견뎌야 합니다. 아크 안정성과 고온 저항으로 인해 대체할 수 없는 소재로 되어 등기구의 빠른 시동과 지속적인 발광을 보장합니다.

특수 조명의 신뢰성: 자동차 헤드램프, 프로젝션 램프 및 무대 조명에서 조명기구는 진동 및 고온과 같은 복잡한 환경에서 안정적으로 작동해야 합니다. 몰리브덴 와이어의 높은 신뢰성과 유리로 밀봉할 수 있는 능력은 등기구의 내구성과 성능 안정성을 보장합니다.

에너지 절약 및 환경 보호 지원: 몰리브덴 와이어의 고효율 및 긴 수명 특성은 에너지 효율성 및 환경 보호에 대한 현대 조명 산업의 요구 사항을 충족하는 에너지 절약 램프 및 랜턴의 설계를 지원합니다. 생산 및 사용 공정은 또한 유럽 연합의 RoHS 지침과 같은 엄격한 환경 표준을 충족합니다.

몰리브덴 와이어의 전략적 위치는 특히 전통적인 조명을 고효율 조명으로 전환하는 데 고성능, 긴 수명 및 에너지 절약 방향으로 조명 기술의 발전을 촉진하는 능력에 반영됩니다.

1.3.3 에너지 절약 램프에서 몰리브덴 와이어의 역할

에너지 절약형 조명기구(예: 할로겐 램프, 소형 형광램프, 고강도 방전 램프)는 현대 조명의 주류이며 몰리브덴 와이어는 여기에서 중요한 역할을 합니다.

할로겐 램프: 몰리브덴 필라멘트는 할로겐 사이클을 지원하여 필라멘트 수명을 연장하고 에너지 소비를 줄입니다. 몰리브덴 필라멘트의 신뢰성은 기존 백열등에 비해 할로겐 램프의 발광 효율이 상당히 높기 때문에 이러한 이점을 달성하는 데 핵심적이며, 고온 및 화학적 공격 환경에서 조명기구의 안정적인 작동을 보장합니다.

소형 형광등: 소형 형광램프에서 몰리브덴 와이어는 전극 물질로 작용하여 형광 방전을 시작하고 유지하는 역할을 합니다. 높은 전도성과 아크 부식에 대한 내성은 조명기구의 빠른 시동과 장기적인 안정성을 보장하여 에너지 효율적인 조명의 고효율 요구 사항을 충족합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

고휘도 방전 램프: 고휘도 방전 램프의 발광 효율은 기존 백열램프의 발광 효율을 훨씬 증가하며 고효율 조명의 대표자입니다. 전극 및 밀봉 재료로서 몰리브덴 와이어는 고온 및 고압 환경에서 램프의 작동을 지원하고 에너지 효율을 크게 향상시킵니다.

환경 보호 특성: 몰리브덴 와이어의 생산 및 사용은 엄격한 환경 보호 규정을 준수하고 납, 수은 및 기타 유해 물질을 포함하지 않으며 녹색 조명의 요구 사항을 충족합니다. 또한 높은 내구성으로 인해 조명기구 교체 빈도가 줄어들어 자원 소비와 폐기물 발생이 줄어듭니다.

에너지 절약형 램프 및 랜턴에 몰리브덴 와이어를 적용하면 램프 및 랜턴의 소형화, 고성능 및 환경 보호를 촉진하고 저탄소 및 지속 가능한 개발에 대한 현대 사회의 요구를 충족시킵니다.

1.4 몰리브덴 와이어의 연구 및 적용 현황

1.4.1 국내외 몰리브덴 와이어 기술 연구 진행 상황

전 세계적으로 몰리브덴 와이어 기술에 대한 연구는 주로 다음 방향에 중점을 둡니다.

도핑 기술: 국내외 연구 기관은 고온 크리프 저항 및 내산화성을 향상시키기 위해 희토류 원소(예: 란타넘, 세륨, 이트륨) 또는 귀금속(예: 레늄)을 추가하여 새로운 도핑 몰리브덴 와이어 개발에 전념하고 있습니다. 예를 들어, 중국과학원(Chinese Academy of Sciences)의 금속연구소(Institute of Metal Research)에서 개발한 고성능 몰리브덴 란타넘 와이어는 재결정 온도가 훨씬 더 높으며 보다 까다로운 고온 환경에 적합합니다. 유럽과 미국의 연구는 연성과 내산화성을 개선하기 위해 몰리브덴-레늄 합금의 개발에 중점을 두었습니다.

생산 공정 최적화: 독일과 오스트리아의 기업들은 지능형 제조 기술과 정밀 와이어 드로잉 장비를 도입하여 몰리브덴 와이어의 표면 품질과 생산 일관성을 크게 개선했습니다. 중국 기업들은 분말 야금 및 와이어 드로잉 공정에서 획기적인 발전을 이루어 생산 효율성을 최적화하고 비용을 절감했습니다.

나노 스케일 몰리브덴 와이어: 나노 기술의 부상으로 일부 연구 기관에서는 고정밀 전자 장치 및 새로운 조명 기술을 위한 나노 스케일 몰리브덴 와이어의 준비를 모색했습니다. 나노 몰리브덴 와이어의 강도와 전도성은 더욱 향상되어 차세대 조명 기술의 가능성을 제공할 것으로 예상됩니다.

친환경 제조: 유럽과 일본에서의 연구는 소결 공정에서 에너지 소비 및 배기 가스 배출을 줄이는 것과 같은 환경 친화적인 생산 기술에 중점을 둡니다. 중국은 또한 몰리브덴 와이어의 저탄소 생산을 촉진하고 폐기물 재활용 기술 및 친환경 공정을 개발하며 글로벌 환경 보호 추세에 대응하고 있습니다.

1.4.2 글로벌 시장 규모 및 애플리케이션 분포

업계 분석에 따르면 글로벌 몰리브덴 와이어 시장은 최근 몇 년 동안 꾸준한 성장을

저작권 및 법적 책임 선언문

유지해 왔으며 조명 분야는 주요 응용 시나리오 중 하나입니다. 시장 규모의 성장은 주로 다음과 같은 요인에 의해 주도됩니다.

지역 분포: 중국은 세계 최대의 몰리브덴 와이어 생산국으로 풍부한 몰리브덴 광석 자원과 성숙한 가공 기술을 갖추고 있으며 전 세계 생산량의 상당한 점유율을 차지합니다. 유럽(독일, 오스트리아) 및 미국은 고부가가치 제품에 중점을 둔 고급 도핑 몰리브덴 와이어 생산에서 기술적 우위를 가지고 있습니다.

응용 분포: 조명 분야에서 할로겐 램프와 고강도 방전 램프는 몰리브덴 와이어의 주요 응용 시나리오이며 조명용 몰리브덴 와이어의 큰 시장 점유율을 차지합니다. 다른 응용 분야로는 특수 조명(예: 자동차 조명, 의료 조명) 및 진공 전자 장치(예: X 선관)가 있습니다.

시장 동인: 고효율 조명에 대한 수요 증가, 자동차 조명 시장의 급속한 확장, 항공 우주 및 의료 분야의 특수 조명 사용은 몰리브덴 와이어 시장의 지속적인 성장을 주도하고 있습니다. 에너지 효율적이고 친환경적인 조명에 대한 세계적인 강조는 또한 몰리브덴 와이어의 적용을 더욱 촉진했습니다.

1.4.3 기술적 병목 현상 및 향후 과제

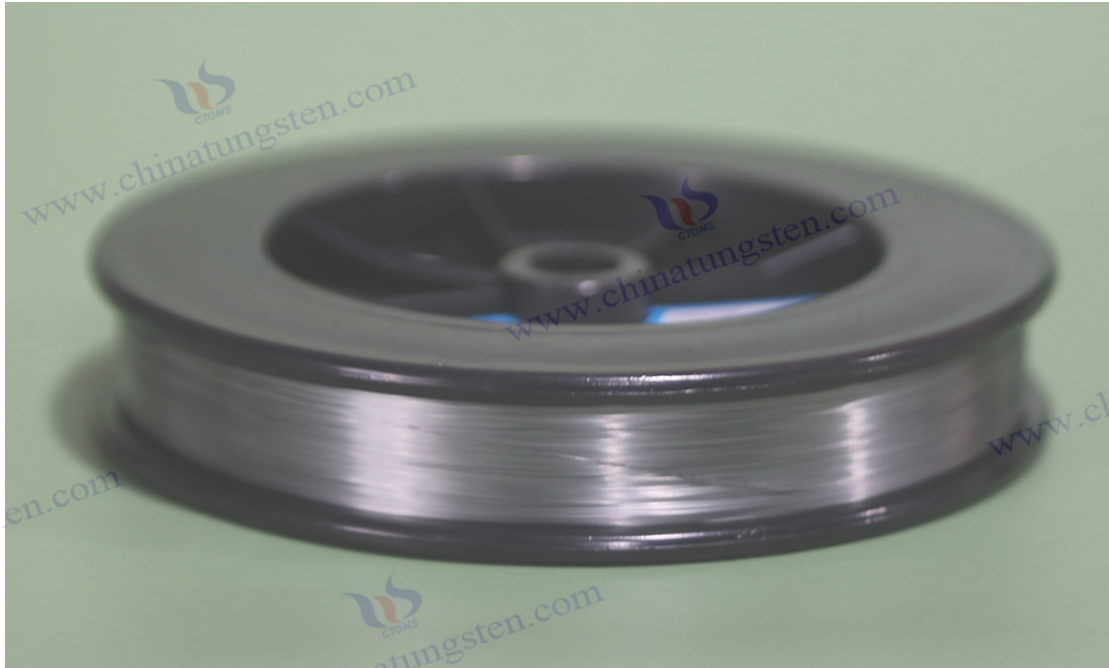
몰리브덴 와이어는 조명 분야에서 널리 사용되지만 여전히 다음과 같은 기술적 병목 현상과 과제에 직면해 있습니다.

고온 산화 문제: 몰리브덴 와이어는 고온 공기에서 쉽게 산화되므로 비진공 또는 불활성 가스 환경에서의 적용이 제한됩니다. 산화 방지 코팅 또는 새로운 도핑 재료의 개발은 응용 시나리오를 더욱 확장하기 위한 향후 연구의 초점입니다.

초극세 몰리브덴 와이어 생산의 어려움: 초극세 몰리브덴 와이어(직경 0.02mm 미만)의 생산은 매우 높은 공정 정확도와 낮은 수율을 필요로 하므로 비용이 증가합니다. 생산 일관성을 개선하고 비용을 절감하는 것은 업계의 중요한 과제입니다.

LED 조명의 경쟁: LED 램프의 인기로 인해 기존 램프(예: 백열등 및 할로겐 램프)에 대한 수요가 크게 감소했으며 조명 분야에서 몰리브덴 와이어의 시장 점유율이 어느 정도 영향을 받았습니다. LED 관련 고온 부품 또는 신흥 분야에서 몰리브덴 와이어의 응용 분야를 개발하는 것은 이러한 과제를 해결하는 데 중요합니다.

환경 보호 및 지속 가능성: 몰리브덴 와이어 생산에서 에너지 소비 및 폐기물 처리는 점점 더 엄격해지는 환경 규정(예: 유럽 연합의 RoHS 및 REACH 지침)의 적용을 받습니다. 녹색 제조 기술 및 폐기물 재활용 시스템의 개발은 업계의 중요한 발전 방향이 되었습니다.



CTIA의 조명용 폴리브덴 와이어

Chapter 2 조명용 폴리브덴 와이어의 분류

조명 산업의 핵심 소재인 조명용 폴리브덴 와이어는 다양한 화학 성분, 용도 및 물리적 사양으로 인해 다양한 특성과 응용 시나리오를 가지고 있습니다. 화학 성분에 따르면, 폴리브덴 와이어는 순수 폴리브덴 와이어, 폴리브덴 란타넘 와이어, 폴리브덴 레늄 와이어 및 기타 도핑 된 폴리브덴 와이어로 나눌 수 있습니다. 응용 프로그램에 따라 백열등, 할로겐 램프, 형광등 및 가스 방전 램프와 특수 램프용 폴리브덴 와이어로 나뉩니다. 사양에 따라 다양한 직경 범위, 표면 처리 유형 및 와이어 모양으로 나뉩니다. 이 장에서는 글로벌 연구 및 산업 관행과 결합된 각 분류의 특성, 준비 프로세스, 응용 시나리오, 기술적 과제 및 시장 상태에 대한 포괄적이고 상세한 분석을 제공합니다.

2.1 화학 성분에 의한 분류

폴리브덴 와이어의 화학적 조성은 물리적, 화학적, 기계적 및 전기적 특성을 결정하는 핵심 요소입니다. 폴리브덴 매트릭스의 다양한 원소를 도핑하거나 고순도를 유지함으로써 폴리브덴 와이어는 저가의 백열등에서 고성능 특수 램프에 이르기까지 다양한 요구를 충족시킬 수 있습니다. 다음은 순수 폴리브덴 와이어, 폴리브덴 란타넘 와이어, 폴리브덴 레늄 와이어 및 기타 도핑 된 폴리브덴 와이어의 특성, 생산 공정 및 적용에 대한 자세한 소개입니다.

2.1.1 순수 폴리브덴 와이어

순수 폴리브덴 와이어는 도핑 요소를 첨가하지 않고 폴리브덴 함량이 $99.95 \geq$ 폴리브덴 와이어를 말하며 조명에 가장 기본적이고 널리 사용되는 폴리브덴 와이어 유형입니다. 높은 순도와 우수한 물리 화학적 특성으로 인해 기존 조명 장치에 선택되는 재료입니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	5.5×10 ⁻⁸ Ω·m	6.0×10 ⁻⁸ Ω·m	6.5×10 ⁻⁸ Ω·m
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

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

화학적 조성 및 순도: 순수 몰리브덴 와이어는 고순도 몰리브덴을 기반으로 하며 불순물의 총 함량(예: 철, 니켈, 탄소, 산소, 실리콘 등)은 일반적으로 0.05% 미만으로 제어되며 일부 수요가 많은 응용 분야에서는 0.01%만큼 낮을 수 있습니다. 몰리브덴 분말을 제조하기 위해 몰리브덴 암모늄 몰리브덴 (AMT) 또는 삼산화 몰리브덴 (MoO_3)의 수소 환원에 의해 고순도가 달성됩니다. 몰리브덴 와이어의 전도성(저항률 약 $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)과 내식성에 대한 불순물의 엄격한 제어가 중요합니다. 예를 들어, 산소 수치가 너무 높으면 고온에서 산화가 가속화되어 휘발성 MoO_3 가 발생하고 조명기구의 수명에 영향을 미칠 수 있습니다.

물리적 특성: 순수 몰리브덴 와이어는 높은 융점(2623°C), 높은 밀도(10.2g/cm^3) 및 낮은 열팽창 계수($4.8 \times 10^{-6}/\text{K}$)를 가지고 있습니다. 열전도율 ($138 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$)은 텅스텐 ($174 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$)보다 우수하여 열 및 전기 전도성에 적합합니다. 몰리브덴 와이어의 몸체 중심 입방체(BCC) 결정 구조는 기계적 강도가 우수하지만 고온($>1000^\circ\text{C}$)에서 재결정화가 일어나기 쉬워 입자 성장 및 취성이 발생합니다.

기계적 성질: 실온에서 순수 몰리브덴 와이어의 인장 강도는 800-1000MPa 이고 파단 신율은 약 5%-10%입니다. 고온(1500°C)에서는 인장 강도가 200-300MPa 로 떨어지고 크리프 저항이 약하여 매우 높은 온도 환경에서의 적용이 제한됩니다. 몰리브덴 와이어의 연성으로 인해 다중 패스 드로잉으로 직경이 0.01mm 에 불과한 초미세 와이어로 가공할 수 있습니다.

화학적 안정성: 순수 몰리브덴 와이어는 실온에서 산, 알칼리 및 물에 대한 내식성이 우수하지만 고온($>600^\circ\text{C}$)에서 공기에 노출되면 빠르게 산화되어 MoO_3 를 형성합니다. 따라서 조명용 순수 몰리브덴 와이어는 일반적으로 산화 손실을 피하기 위해 진공 또는 불활성 가스(예: 아르곤, 질소) 환경에서 사용됩니다.

준비 과정:

원료 준비 : 고순도 몰리브덴 분말 (입자 크기 1-5 μm)은 수소에 의한 몰리브덴 암모늄 또는 삼산화 몰리브덴을 환원하여 제조됩니다. 분말 내의 산소 및 탄소와 같은 불순물은 엄격하게 제어해야 합니다.

분말 야금: 몰리브덴 분말을 냉간 등압 프레스(CIP)에 의해 빌렛에 압착하고 진공 또는 수소 분위기에서 소결($1800-2000^\circ\text{C}$)하여 조밀한 몰리브덴 빌렛을 형성합니다.

열간 가공: 블랭크는 열간 단조, 열간 압연 또는 회전 단조로 직경이 1-5mm로 감소된 몰리브덴 막대를 형성합니다.

와이어 드로잉: 몰리브덴 막대는 다이아몬드 다이와 흑연 에멀전과 같은 윤활제를 사용하여 다중 패스(10-20 회 통과)를 통해 목표 직경까지 늘어납니다. 중간 어닐링($800-1200^\circ\text{C}$)은 가공 경화를 제거하기 위해 인발 과정에서 수행됩니다.

표면 처리: 응용 프로그램 요구 사항에 따라 산화물 층(검은색 몰리브덴 와이어)을 유지하거나 청소할 수 있으며 몰리브덴 와이어는 산세 및 전해 연마로 만들 수 있습니다.

적용 시나리오: 순수 몰리브덴 와이어는 주로 저전력 백열등(40-100W)의 필라멘트 지지 필라멘트 및 밀봉 전극에 사용되며, 이는 붕규산 유리의 열팽창 계수(차이

저작권 및 법적 책임 선언문

$<0.5 \times 10^{-6}(\text{K})$ 와 매우 일치하기 때문에 신뢰할 수 있는 밀폐 결합을 형성할 수 있습니다. 또한 순수 몰리브덴 와이어는 형광등의 전극 재료로도 사용되며 방전을 시작하는 역할을 합니다. 비용 효율적이고 대규모 생산에 적합합니다.

시장 및 기술 현황 : 순수 몰리브덴 와이어의 생산 기술은 세계에서 매우 성숙했으며 중국은 전 세계 생산량의 60 % 이상을 차지합니다.

장점과 한계 :

장점: 저렴한 비용(사양에 따라 약 \$1-2/kg), 우수한 가공 성능, 저비용 조명 장치에 적합합니다. 순수 몰리브덴 와이어의 생산 공정은 간단하고 수율이 높습니다(>95%).

제한 사항: 고온에서 불량한 크리프 및 내산화성으로 인해 고출력 할로겐 또는 가스 방전 램프에 적용되는 데 제한이 있습니다. > 1500°C 환경에서 순수 몰리브덴 와이어의 수명은 일반적으로 1000 시간 미만입니다.

기술적 과제: 순수 몰리브덴 와이어의 고온 성능을 개선하려면 입자 성장과 산화 손실을 줄이기 위해 최적화된 어닐링 공정 또는 표면 부동태화가 필요합니다. 미래에는 저비용 산화 방지 코팅의 개발이 획기적인 방향이 될 수 있습니다.

2.1.2 몰리브덴 란타넘 와이어

몰리브덴 란타넘 와이어는 몰리브덴 매트릭스에 란탄 산화물(La_2O_3 , 함량 0.3%-1.0%)을 도핑하여 만들어지며, 이는 우수한 고온 성능과 크리프 저항으로 인해 고급 조명 장치에 널리 사용됩니다.

화학 성분: 몰리브덴 란탄 철사는 높 순수성 몰리브덴 ($\geq 99.5\%$)에 근거를 두고 란탄 산화물 입자 (입자 크기 10-100 nm)로 진한 액체로 처리됩니다. 란타넘 산화물은 몰리브덴 입자 경계에서 확산 상의 형태로 분포되어 입자 성장과 전위 슬립을 억제하여 고정 효과를 통해 미끄러집니다. 불순물(예: 철, 탄소)은 성능 저하를 방지하기 위해 0.03% 미만으로 제어해야 합니다.

유형 자산: 몰리브덴 란탄 철사의 용해점은 순수한 몰리브덴 (대략 2620 °C)의 그것에 가깝습니다, 그러나 재결정화 온도는 1800-2000 °C (순수한 몰리브덴 철사를 위한 1400-1600 °C)에 현저하게 증가합니다. 열팽창 계수($4.8 \times 10^{-6}(\text{K})$)와 열전도율(약 135W/m·K)은 순수 몰리브덴 와이어와 비슷하지만 란탄 산화물 입자가 산소 확산을 늦출 수 있기 때문에 내산화성이 약간 향상됩니다.

기계적 성질: 고열 (2000°C)에 몰리브덴 란탄 철사의 장력 강도는 300-500 MPa 이고, 포복 저항은 순수한 몰리브덴 철사의 그것 보다는 더 높은 2-3 시간입니다. 파단 신율은 실온에서 8%-12%이며 고온에서 여전히 특정 인성을 유지합니다. 란탄 산화물의 pinning 효과는 몰리브덴 란탄 철사를 열 주기 도중 피로 저항하는 더 만듭니다.

화학적 안정성: 몰리브덴 란타넘 와이어는 할로겐 가스 환경(예: 요오드, 브롬)에서 잘

저작권 및 법적 책임 선언문

수행되며 순수 몰리브덴 와이어보다 내산화성이 우수합니다. 진공 또는 불활성 가스에서 내산화성은 >2000 시간의 조명기구 수명을 지원할 수 있습니다.

준비 과정:

진한 액체로 처리 준비: 젖은 진한 액체로 처리(탄산 산화물 해결책과 몰리브덴 분말을 섞기) 또는 분무 건조에 의하여 탄산 산화물의 확실한 배급을 지키십시오. 도핑 비율은 정밀하게 제어되어야 하며(0.3%-1.0%), 너무 높으면 재료가 취화될 수 있습니다.

분말 야금: 도핑된 몰리브덴 분말을 블랭크로 압착하고 수소 분위기(1900-2100 °C)에서 소결하여 균일한 확산상 구조를 형성합니다.

열간 가공 및 와이어 드로잉 : 블랭크는 열간 단조 및 열간 압연 후 다중 패스 와이어 드로잉으로 형성됩니다. 연성을 유지하기 위해 인발 과정에서 여러 번의 어닐링(900-1300°C)이 필요합니다. 금형과 윤활제의 선택은 표면 품질에 매우 중요합니다.

표면 처리: 일반적으로 청소된 몰리브덴 와이어로 만들어지며 전해 연마로 산화물 층을 제거하여 아크 안정성과 내식성을 향상시킵니다.

적용 시나리오: 몰리브덴 란타넘 와이어는 할로겐 램프 및 고강도 방전 램프(HID)의 전극 및 지지 재료로 널리 사용됩니다. 예를 들어, 자동차 헤드라이트에서 몰리브덴 란타넘 와이어는 고온(>2500°C)과 진동을 견딜 수 있어 2000 시간 이상의 램프 수명을 보장합니다. 메탈 할라이드 램프에 전극을 적용하면 방전 안정성도 크게 향상됩니다.

시장 및 기술 상태 : 몰리브덴 란타넘 와이어는 램프 몰리브덴 와이어 시장의 약 30 %를 차지합니다. 기술 도입과 독립적인 연구 개발을 통해 중국은 유럽과 북미에 수출되는 몰리브덴 란타넘 와이어의 대규모 생산을 실현했습니다. 세계 시장은 연간 약 5%의 비율로 성장하고 있으며 자동차 조명에 대한 수요에 의해 주도되고 있습니다.

장점과 한계 :

장점: 고온에서 크리프 저항 및 내산화성은 순수 몰리브덴 와이어보다 훨씬 우수하여 고성능 램프에 적합합니다. 서비스 수명은 순수 몰리브덴 와이어의 2-3 배에 도달 할 수 있습니다.

제한 사항 : 도핑 공정은 생산 비용 (약 3-5 USD / kg)을 증가시키고 탄산 산화물의 균일 한 분포는 장비 및 공정에 대한 높은 요구를 제기합니다. 부적절한 도핑은 입자 응집과 성능 저하를 초래할 수 있습니다.

기술적 과제: 도핑 균일성을 최적화하고 비용을 절감하는 것이 주요 방향입니다. nanoscale 탄산 산화물 입자의 준비 그리고 분산 기술은 미래 연구와 개발의 초점입니다.

2.1.3 몰리브덴 레늄 와이어

몰리브덴 레늄 와이어는 몰리브덴 매트릭스에 레늄(Re)을 도핑하여 만든 합금 와이어로, 연성과 내산화성이 우수하여 특수 조명에서 고유한 장점이 있습니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

화학 성분 : 몰리브덴 레늄 와이어는 몰리브덴을 기본으로하며 레늄 금속으로 도핑되어 고용체를 형성합니다. 레늄의 첨가는 몰리브덴의 결정 구조를 향상시키고 저온에서 취성을 감소시킵니다. 안정적인 성능을 보장하기 위해 불순물(예: 산소 및 질소)을 0.02% 미만으로 제어해야 합니다.

물리적 특성: 레늄 (3186 °C)의 용점이 약간 낮기 때문에 몰리브덴 레늄 와이어의 용점은 순수 몰리브덴(약 2600°C)보다 약간 낮습니다. 열팽창 계수 ($4.9 \times 10^{-6} / K$) 및 열전도율 (약 $130 W / m \cdot K$)은 순수 몰리브덴과 유사하지만 내산화성이 크게 향상되고 고온에서 산화 속도가 약 30 % 감소합니다.

기계적 성질: 실온에서 몰리브덴 레늄 와이어의 인장 강도는 900-1200 MPa 이고 파단 신율은 15%-20%로 순수 몰리브덴 와이어(5%-10%)보다 훨씬 높습니다. 2000°C 에서 인장 강도는 300-400 MPa 이며 내피로성은 몰리브덴 란타늄 와이어보다 우수하여 빈번한 열 순환 환경에 적합합니다.

화학적 안정성 : 몰리브덴 레늄 와이어는 할로젠 가스 및 진공 환경에서 잘 작동하며 화학적 내식성은 순수 몰리브덴 와이어 및 몰리브덴 란탄 와이어보다 우수합니다. 항산화 특성은 레늄에 의해 형성된 보호 산화물 층으로 인해 발생하며, 이는 MoO_3 의 휘발을 늦춥니다.

준비 과정:

도핑 제제: 레늄 분말은 기계적 혼합 또는 화학적 공동 침전에 의해 몰리브덴 분말과 혼합되며, 이는 레늄 산화를 방지하기 위해 진공 또는 불활성 분위기 하에서 작동해야 합니다.

분말 야금: 도핑된 분말을 블랭크로 압착하고 수소 또는 진공(1900-2100°C)에서 소결합니다. 레늄 휘발을 피하기 위해 소결 온도를 정밀하게 제어해야 합니다.

열간 가공 및 와이어 드로잉 : 블랭크는 열간 단조 및 열간 압연 후 정밀 와이어 드로잉으로 형성됩니다. 인성을 유지하기 위해 와이어 드로잉 과정에서 저온 어닐링(700-1000°C)이 필요합니다.

표면 처리: 청소된 몰리브덴 와이어가 주로 사용되며 전해 연마 또는 화학적 세척으로 표면 마감이 향상됩니다.

적용 시나리오: 몰리브덴 레늄 와이어는 주로 프로젝션 램프, 무대 조명, 의료용 자외선 램프 및 항공 조명과 같은 특수 램프에 사용됩니다. 높은 연성은 복잡한 전극 형상 설계(예: 나선형 또는 곡선 전극)에 적합하며 내산화성으로 인해 등기구의 수명이 연장됩니다(최대 3000 시간 이상).

시장 및 기술 현황 : 몰리브덴 레늄 와이어는 램프용 몰리브덴 와이어 시장의 약 10%를 차지합니다. 중국은 최근 몇 년 동안 기술 도입을 통해 소규모 생산을 달성했지만 레늄의 희소성과 높은 가격으로 인해 시장 규모가 제한됩니다.

장점과 한계 :

장점 : 연성과 내산화성은 순수한 폴리브덴 와이어 및 폴리브덴 란타넘 와이어보다 우수하여 복잡한 모양과 극한 환경에 적합합니다. 높은 인성과 열 순환에 대한 강한 저항.

제한 사항 : 레늄의 높은 비용으로 인해 폴리브덴 레늄 와이어의 가격이 순수 폴리브덴 와이어의 약 3-5 배로 높아져 대규모 적용이 제한됩니다. 도핑 비율이 너무 높으면 재료가 연화될 수 있으므로 정밀하게 제어해야 합니다.

기술적 과제: 레늄의 양을 줄이거나 대체 원소(예: 루테튬, 오스뮴)를 개발하는 것이 비용 최적화의 핵심입니다. 도핑 균일성과 생산 효율성을 개선하는 것도 앞으로 나아가는 길입니다.

2.1.4 기타 도핑된 폴리브덴 와이어

폴리브덴 란타넘 와이어 및 폴리브덴 레늄 와이어 외에도 다른 도핑 된 폴리브덴 와이어에는 텅스텐, 이트륨, 세륨 또는 특정 고급 응용 분야에 최적화 된 다중 요소 복합 도핑 된 폴리브덴 와이어가 포함됩니다.

폴리브덴 텅스텐 와이어 :

특성: 텅스텐(W, 함량 1%-10%)이 도핑된 폴리브덴 와이어는 폴리브덴의 밀봉 특성과 텅스텐(3422°C)의 높은 용점을 결합합니다. 인장 강도는 2000°C 에서 600MPa 에 달할 수 있어 고출력 조명기구에 적합합니다.

응용 프로그램: 고출력 백열 램프 및 메탈 할라이드 램프를 위한 전극 및 지지 재료.

제한 사항: 연성이 좋지 않음(파단 신율<5%), 가공 난이도가 높고 비용이 순수 폴리브덴 와이어의 약 2 배입니다.

폴리브덴 이트륨 와이어:

특성: 이트륨 산화물(Y_2O_3 , 함량 0.5%-2%), 최대 1900°C 의 재결정 온도, 우수한 내산화성 및 크리프 저항성으로 도핑됨.

응용 프로그램: 항공 우주 특수 램프(예: 항해등) 및 고온 적외선 램프에 사용됩니다.

제한 사항 : 이트륨 산화물의 도핑 공정은 복잡하고 수율이 낮습니다 (약 80 %).

폴리브덴 및 세륨 와이어 :

특성: 도핑된 산화세륨(CeO_2 , 함량 0.3%-1%), 강한 아크 내식성, 고주파 방전 환경에 적합합니다.

응용 프로그램: 자외선 램프 및 의료용 광원에 사용됩니다.

제한 사항: 비용이 많이 들고 시장 적용이 좁습니다.

다중 요소 도핑 된 폴리브덴 와이어 :

특성: 란타넘, 레늄 및 이트륨으로 도핑된 복합 폴리브덴 와이어와 같은 고온 강도, 연성 및 산화 저항을 결합합니다.

응용 분야: 고압 방전 램프 및 과학적인 광원과 같은 극한 환경에서 사용됩니다.

제한 사항: 준비 과정이 복잡하고 비용이 높으며 소량 생산으로 제한됩니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

준비 과정: 몰리브덴 란탄 와이어와 유사하게 습식 도핑 또는 분무 건조로 균일화해야 하며 소결 온도는 1900-2200°C 이며 와이어 드로잉에는 고정밀 금형 및 다중 패스 어닐링이 필요합니다.

시장 및 기술 현황 : 다른 도핑 된 몰리브덴 와이어는 주로 외국 기업에서 생산하는 램프 몰리브덴 와이어 시장의 5 %를 차지합니다. 중국은 몰리브덴 이트륨 와이어와 몰리브덴 및 세륨 와이어 분야에서 약간의 진전을 이루었지만 기술은 여전히 돌파해야 합니다.

장점과 한계 :

이점: 고급 응용 프로그램의 특정 요구 사항에 맞게 최적화된 성능.

제한 사항: 높은 비용, 작은 시장 규모, 복잡한 생산 기술.

기술적 과제: 저비용 도핑 성분의 개발과 단순화된 공정이 핵심입니다. 나노 스케일 도핑 기술의 적용은 성능을 더욱 향상시킬 것으로 예상됩니다.

2.2 용도에 따른 분류

다양한 유형의 램프의 기능 및 응용 시나리오에 따라 조명용 몰리브덴 와이어는 백열등, 할로겐 램프, 형광등 및 가스 방전 램프, 특수 램프용 몰리브덴 와이어로 나눌 수 있습니다. 각 응용 분야에는 고온 안정성, 내식성, 전기적 특성 및 가공성과 관련된 몰리브덴 와이어에 대한 성능 요구 사항이 다릅니다.

2.2.1 백열등용 몰리브덴 와이어

백열등용 몰리브덴 와이어는 주로 필라멘트 지지 및 유리 대 금속 밀봉에 사용되며 기존 조명에서 가장 일반적인 몰리브덴 와이어 응용 분야입니다.

기능 및 기능 : 백열등에서 몰리브덴 와이어는 주로 텅스텐 필라멘트를 고정하여 고온 (2500-3000 °C)에서 처지거나 파손되는 것을 방지하도록 지지선으로 사용됩니다. 밀봉 전극으로서 전류가 전구에 유입되고 유리 와 밀폐 연결이 형성되어 램프의 진공 또는 불활성 가스(예: 아르곤, 질소)가 누출되지 않도록 합니다.

성능 요구 사항:

고온 안정성: 2000°C 이상의 작동 온도를 견뎌야 하며 고온에서 인장 강도가 200MPa 이상으로 유지됩니다.

열팽창 정합: 열팽창 계수는 붕규산 유리($4.3-5.0 \times 10^{-6}/K$)와 매우 일치해야 하며 차이는 $0.5 \times 10^{-6}/K$ 이하여야 합니다.

전도성: 전류 전송의 효율성을 보장하기 위해 저항률이 낮아야 합니다(약 $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$).

표면 품질: 세척된 몰리브덴 와이어가 일반적으로 사용되며 $Ra < 0.5 \mu m$ 의 표면 거칠기를 사용하여 아크 불안정성을 줄입니다.

적용 특성: 백열 램프는 발광 효율이 낮고(10-15lm/W) 수명이 약 1000 시간이며 주로 가정 조명, 장식 조명(예: 복고풍 전구) 및 저비용 장면에서 사용됩니다. 몰리브덴

저작권 및 법적 책임 선언문

와이어는 산화를 방지하기 위해 진공 또는 불활성 가스 환경에서 작동해야 합니다.

준비 과정:

원료 선택 : 고순도 몰리브덴 분말 ($\geq 99.95\%$)을 사용하여 수소 환원으로 제조합니다.
형성 & 그립 : 0.1-0.5 mm 의 직경을 가진 몰리브덴 와이어는 분말 야금과 다중 패스 드로잉으로 만들어집니다. 연성을 유지하기 위해 인발 과정에서 여러 번의 어닐링(800-1200°C)이 필요합니다.

표면 처리: 세척된 몰리브덴 와이어는 일반적으로 유리 및 아크 안정성에 대한 접착력을 보장하기 위해 전해 연마 또는 산세(HNO_3 -HF 혼합물)로 만들어집니다.

시장 현황: LED 조명의 인기로 백열등 시장이 위축되었으나 여전히 세계 조명 시장의 약 10%를 차지하고 있으며, 몰리브덴 와이어의 양은 램프 몰리브덴 와이어의 약 20%를 차지하고 있습니다. 주요 시장은 동남아시아 및 아프리카와 같은 개발도상국에 집중되어 있으며 중국이 주요 공급 업체입니다.

장점과 한계 :

장점: 성숙한 기술, 저렴한 비용(약 1USD/kg), 대규모 생산에 적합합니다. 순수 몰리브덴 와이어는 밀봉 성능이 우수하고 수율이 높습니다(>95%).

제한 사항: 고온에서 크리프 저항이 좋지 않고 수명이 짧으며 고출력 또는 수명이 긴 램프에는 적합하지 않습니다.

기술적 과제: 몰리브덴 와이어의 고온 성능과 수명을 개선하고 백열등의 수명을 연장하기 위해 저비용 산화 방지 코팅을 개발합니다.

2.2.2 할로젠 램프용 몰리브덴 와이어

할로젠 램프용 몰리브덴 와이어는 할로젠 가스에 의한 고온 및 화학적 공격을 받는 전극, 지지대 및 씰에 널리 사용되는 고급 조명 응용 분야의 핵심 재료입니다.

기능 및 기능: 할로젠 램프에서 몰리브덴 와이어는 전류를 안내하고 아크를 시작하는 전극, 텅스텐 필라멘트를 고정하기 위한 지지 와이어, 기밀성을 보장하기 위한 밀봉 재료로 사용됩니다. 할로젠 사이클은 할로젠 가스(예: 요오드, 브롬)와 증발된 텅스텐의 반응을 포함하여 텅스텐을 필라멘트에 다시 증착하여 수명을 연장합니다.

성능 요구 사항:

고온 성능: 작동 온도는 3000°C 에 도달할 수 있으며 인장 강도 > 300MPa 와 우수한 크리프 저항이 필요합니다.

내화학성: 할로젠 가스의 공격에 저항해야 하며 표면은 고온 화학 반응에 저항력이 있어야 합니다.

아크 안정성: 높은 표면 마감($R_a < 0.3\mu\text{m}$)과 낮은 저항률로 균일한 아크를 보장합니다.

열팽창 일치: 석영 유리(열팽창 계수 $0.5-1.0 \times 10^{-6}/\text{K}$) 또는 붕규산 유리와 일치합니다.

적용 특성: 할로젠 램프는 발광 효율이 20-30lm/W 이고 수명이 2000-4000 시간이며 자동차 헤드라이트, 무대 조명 및 가정용 고급 조명에 널리 사용됩니다. 몰리브덴

저작권 및 법적 책임 선언문

와이어는 고온, 열 순환 및 화학적 부식의 조합을 받습니다.

준비 과정:

원료 선택: 진한 액체로 처리한 몰리브덴 분말은 (진한 액체로 처리한 란탄 산화물과 같은, 내용 0.3%-1.0%)는 주로 고열 성과를 개량하기 위하여 이용됩니다.

성형 및 드로잉 : 직경이 0.05-0.3 mm 인 몰리브덴 와이어는 분말 야금, 열간 단조 및 멀티 패스 와이어 드로잉으로 만들어집니다. 어닐링 온도(900-1300°C)는 결정립 구조를 최적화하기 위해 정밀하게 제어되어야 합니다.

표면 처리: 세척된 몰리브덴 와이어는 전해 연마 또는 화학적 세척으로 이루어지며 일부 고급 응용 분야에는 부식 방지 코팅(예: MoSi₂)의 증착이 필요합니다.

시장 현황: 할로겐 램프는 전 세계 조명 시장의 15%를 차지하고 있으며, 몰리브덴 와이어의 양은 램프에 사용되는 몰리브덴 와이어의 30% 이상을 차지합니다. 자동차 조명은 주요 동인이며 2025 년부터 2030 년까지 안정적인 수요가 예상됩니다. 중국, 유럽 및 일본이 주요 시장입니다.

장점과 한계 :

장점: 몰리브덴 란탄 와이어의 고온 성능과 내식성은 긴 수명과 안정적인 성능으로 할로겐 램프의 요구를 충족시킵니다.

제한 사항: 고온에서의 산화는 여전히 불활성 가스 보호로 해결해야 하며 도핑 공정은 비용을 증가시킵니다.

기술적 과제: 극한 환경에서 몰리브덴 와이어의 수명을 개선하기 위해 할로겐 내성 표면 코팅 및 저비용 도핑 기술을 개발합니다.

2.2.3 형광등 및 가스 방전 램프용 몰리브덴 와이어

형광등 및 가스 방전 램프(예: 고강도 방전 램프, HID)용 몰리브덴 와이어는 주로 전극 및 밀봉재로 사용되며 고전압 및 아크 온도를 견뎌야 합니다.

기능과 기능: 형광등에서, 몰리브덴 와이어는 형광 방전을 시작하고 유지하는 전극 역할을 합니다. HID 램프(예: 메탈 할라이드 램프, 고압 나트륨 램프)에서 몰리브덴 와이어는 과도 고전압(>10kV) 및 아크 온도(최대 6000°C)를 견디는 전극으로 사용되며 밀폐성을 보장하는 밀봉재로 작용합니다.

성능 요구 사항:

전기적 특성: 높은 전도성(저항률< $6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) 및 아크 내식성으로 방전 안정성을 보장합니다.

고온 성능: 구조는 아크의 고온에서 손상되지 않아야 하며 인장 강도는 300MPa>.

화학적 안정성: 램프에서 고압 가스(예: 수은 증기, 나트륨 증기)의 화학적 공격에 저항해야 합니다.

열팽창 일치: 붕규산 유리 또는 석영 유리와 일치합니다.

적용 특성: 형광등의 발광 효율은 50-100lm/W 이고 HID 램프는 100-150lm/W 로

저작권 및 법적 책임 선언문

상업용 조명(사무실, 쇼룸), 도로 조명 및 산업용 조명에 널리 사용됩니다. 몰리브덴 와이어는 고주파 방전 및 화학적 부식에 강해야 합니다.

준비 과정:

원료 선택: 몰리브덴 란탄 와이어 또는 몰리브덴 레늄 와이어가 주로 사용되며 도핑 비율은 0.3%-2%로 아크 내식성을 향상시킵니다.

성형 및 드로잉 : 직경이 0.03-0.2 mm 인 몰리브덴 와이어는 정밀 인발로 만들어지며 인성을 유지하기 위해 저온 (700-1000 °C)에서 어닐링해야 합니다.

표면 처리: 전해 연마 또는 패시베이션 처리 및 HID 램프용 일부 몰리브덴 와이어는 부식 방지 코팅으로 증착해야 합니다.

시장 현황 : 형광등 시장은 LED 경쟁으로 인해 축소되고 있으며, HID 램프는 여전히 실외 조명 시장 점유율의 20 %를 차지하고 있으며, 램프에 사용되는 몰리브덴 와이어의 25 %를 차지합니다. 미국의 GE Lighting 과 중국의 NVC Lighting 이 주요 사용자입니다.

장점과 한계 :

장점: 몰리브덴 란타늄 와이어와 몰리브덴 레늄 와이어의 고성능은 고효율 조명의 요구를 충족시키고 강력한 아크 안정성을 가지고 있습니다.

제한 사항: 고주파 방전 환경에서의 서비스 수명을 더욱 개선해야 하며 표면 처리 비용이 높습니다.

기술적 과제: 아크 방지 코팅을 개발하고 전극 설계를 최적화하여 방전 효율과 수명을 개선합니다.

2.2.4 특수 램프용 몰리브덴 와이어 (자외선 램프, 적외선 램프 등)

특수 램프용 몰리브덴 와이어는 의료, 과학, 항공 우주 및 산업 응용 분야의 특정 스펙트럼 또는 극한 환경을 위해 설계되었습니다.

기능과 기능: 자외선 램프에서 몰리브덴 와이어는 자외선 방전을 시작하는 전극으로 사용됩니다. 적외선 램프에서 몰리브덴 와이어는 지지 또는 전극으로 고온 복사를 받습니다. 의료용 램프(예: 수술용 조명) 또는 항공 램프에서 몰리브덴 와이어는 높은 신뢰성과 복잡한 모양의 요구 사항을 충족해야 합니다.

성능 요구 사항:

아크 내식성: 고주파 방전 및 수은 증기 부식에 저항해야 합니다.

고온 안정성: 작동 온도는 2000°C 이상에 도달할 수 있으며 인장 강도는 300MPa>.

연성: 복잡한 전극 모양(예: 나선형, 굽힘)을 지지해야 합니다.

표면 품질: 스펙트럼 순도를 보장하기 위해 높은 마감が必要です.

적용 특징: UV 램프는 살균 및 의료에 사용되고, 적외선 램프는 난방 및 산업 가공에 사용되며, 항공 램프는 높은 신뢰성이 필요합니다. 몰리브덴 와이어는 복잡한 화학 환경과 고온 방사선에 저항해야 합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

준비 과정:

원료 선택 : 폴리브덴 레늄 와이어 또는 폴리브덴 이트륨 와이어가 주로 사용되며 도핑 비율은 0.5 % -2 %입니다.

성형 및 인발: 직경 0.02-0.1mm 의 폴리브덴 와이어는 저온 어닐링 및 고급 성형이 필요한 초정밀 인발로 만들어집니다.

표면 처리: 산화 방지 코팅을 위한 CVD 또는 PVD(예: Al_2O_3 , MoSi_2).

시장 현황 : 특수 램프의 시장 규모는 작지만(세계 조명 시장의 5% 차지) 부가가치가 높고 폴리브덴 와이어의 양은 램프에 사용되는 폴리브덴 와이어의 10%를 차지합니다.

장점과 한계 :

장점: 고성능은 전문적인 요구와 긴 수명(최대 5000 시간)을 충족합니다.

제한 사항: 높은 비용(약 \$10/kg), 맞춤형 생산 필요.

기술적 과제: 저비용 코팅 및 복잡한 형상 가공 기술을 개발하여 특수 램프의 적용 범위를 확장합니다.

2.3 사양에 따른 분류

조명용 폴리브덴 와이어의 사양은 직경 범위, 표면 처리 유형 및 와이어 형태에 따라 분류되며 이는 성능과 적용에 직접적인 영향을 미칩니다.

2.3.1 직경 범위 및 공차

폴리브덴 와이어의 직경과 허용 오차는 전기적, 기계적 및 가공 특성을 결정하는 사양의 핵심 매개변수입니다.

직경 범위:

초미세 폴리브덴 와이어(0.01-0.05mm): 높은 연성과 표면 마감이 요구되는 고정밀 특수 램프(예: UV 램프, 의료용 램프)에 사용됩니다. 높은 저항률(약 $6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$), 고전압 전극에 적합합니다.

미세 폴리브덴 와이어(0.05-0.2mm): 할로겐, HID 및 형광램프용 전극 또는 지지선으로 시장의 60% 이상을 차지합니다.

중간 거친 폴리브덴 와이어(0.2-0.5mm): 기계적 강도가 높은 백열등용 지지 와이어 및 밀봉재.

거친 폴리브덴 와이어(0.5-2.0mm): 고출력 조명기구용 구조 부품(예: 산업용 적외선 램프).

공차 요구 사항: GB/T 4191-2015 및 ASTM B387 에 따르면 초미세 폴리브덴 와이어의 허용 오차는 $\pm 0.001\text{mm}$, 미세 폴리브덴 와이어는 $\pm 0.002\text{mm}$, 거친 폴리브덴 와이어는 $\pm 0.01\text{mm}$ 입니다. 공차 제어는 레이저 마이크로미터 및 인라인 검사에 의해 이루어집니다.

영향 요인 : 직경이 작을수록 저항률이 높아져 전극에 적합합니다. 직경이 클수록 강도가 높아지고 지지에 적합합니다. 공차 정확도는 밀봉 신뢰성과 아크 안정성에

저작권 및 법적 책임 선언문

영향을 미칩니다.

준비 과정: 초미세 몰리브덴 와이어는 다이아몬드 몰드 및 저온 어닐링(700-900 °C)을 사용하여 20-30 회 인발이 필요합니다. 굵은 몰리브덴 와이어는 고강도 금형과 고온 어닐링(1000-1200°C)이 필요합니다.

시장 현황 : 미세 몰리브덴 와이어 (0.05-0.2 mm)가 가장 수요가 많으며 중국은 독일 장비 도입을 통해 고정밀 생산을 달성했습니다.

기술적 과제: 초미세 몰리브덴 와이어의 수율(현재 약 85%)을 높이고 허용 오차 제어 비용을 절감합니다.

2.3.2 표면 처리 유형 (까만 몰리브덴 철사, 청소된 몰리브덴 철사, 입히는 몰리브덴 철사)

표면 처리 유형은 몰리브덴 와이어의 전기적 특성, 내식성 및 적용 시나리오에 상당한 영향을 미칩니다.

까만 몰리브덴 철사:

특성: 표면은 흑색 산화물 층 (MoO_2 또는 MoO_3)과 Ra 0.5-2.0 μm 의 거칠기를 가지고 있습니다. 산화물 층은 유리에 대한 접착력을 향상시킵니다.

준비 과정: 드로잉 후 공기 또는 저진공 상태에서 어닐링(800-1000°C)하여 산화물 층을 형성합니다.

응용 프로그램: 백열 램프를 위한 필라멘트 및 저비용 밀봉을 지원하여 시장의 20%를 차지합니다.

장점 및 한계: 비용은 저렴하지만 아크 안정성이 좋지 않아 고성능 조명기구에 적합하지 않습니다.

청소된 몰리브덴 와이어:

특성: 전해 연마 또는 산세에 의한 산화물 층 제거, 매끄러운 표면(Ra 0.1-0.5 μm), 우수한 전도성 및 내식성.

준비 과정 : HNO_3 -HF 혼합 용액 산세 또는 NaOH 용액 전해 연마, 환경 보호 폐액 처리.

응용 분야 : 할로겐, HID 및 특수 램프 용 전극 및 실편, 시장의 70 %를 차지합니다.

장점과 한계 : 우수한 성능과 긴 수명, 그러나 높은 처리 비용.

코팅된 몰리브덴 와이어:

특성: 0.1-1.0 μm 두께의 산화 또는 부식 방지 코팅(예: Al_2O_3 , MoSi_2)을 증착합니다.

준비 과정: CVD 또는 PVD 기술이 채택되고 진공 환경 및 고정밀 장비가 필요합니다.

응용 프로그램: 자외선 램프 및 적외선 램프와 같은 극한 환경에서 사용되며 시장의 5%를 차지합니다.

장점과 한계 : 수명은 2-3 배 연장되지만 비용은 높습니다 (약 10 USD / kg).

시장 현황 : 세척 된 몰리브덴 와이어가 주류이며 코팅 된 몰리브덴 와이어는 유럽과

미국 시장에서 빠르게 성장하고 있습니다.

기술적 과제: 저비용 코팅 기술 및 환경 친화적인 표면 처리 공정 개발.

2.3.3 와이어 형태 (직선 와이어, 코일 와이어, 절단 와이어)

와이어 모양은 폴리브덴 와이어가 처리, 운송 및 적용되는 방식에 영향을 미칩니다.

스트레이트 와이어:

특성: 고정 길이(10-100cm), 자동 조립에 적합합니다.

준비 과정: 드로잉 후 고정밀 절단기로 절단하며 절개 부위는 매끄럽고 버가 없어야 합니다.

응용 프로그램: 백열 램프 및 할로겐 램프의 필라멘트 지원 및 밀봉에 사용되며 시장의 30%를 차지합니다.

장점과 한계: 설치 효율은 높지만 운송은 변형이 용이합니다.

감기:

특성: 릴에 감겨 길이가 연속 가공에 적합한 수 킬로미터에 도달 할 수 있습니다.

준비 과정: 드로잉 후 와인더에 감겨 장력을 조절해야 합니다.

신청: 시장의 50%를 차지하는 대규모 램프 생산용.

장점 및 제한 사항: 보관 및 운반이 쉽고 장비를 풀어야 합니다.

절단 철사:

특성: 정밀 조립을 위한 짧은 길이(1-10mm).

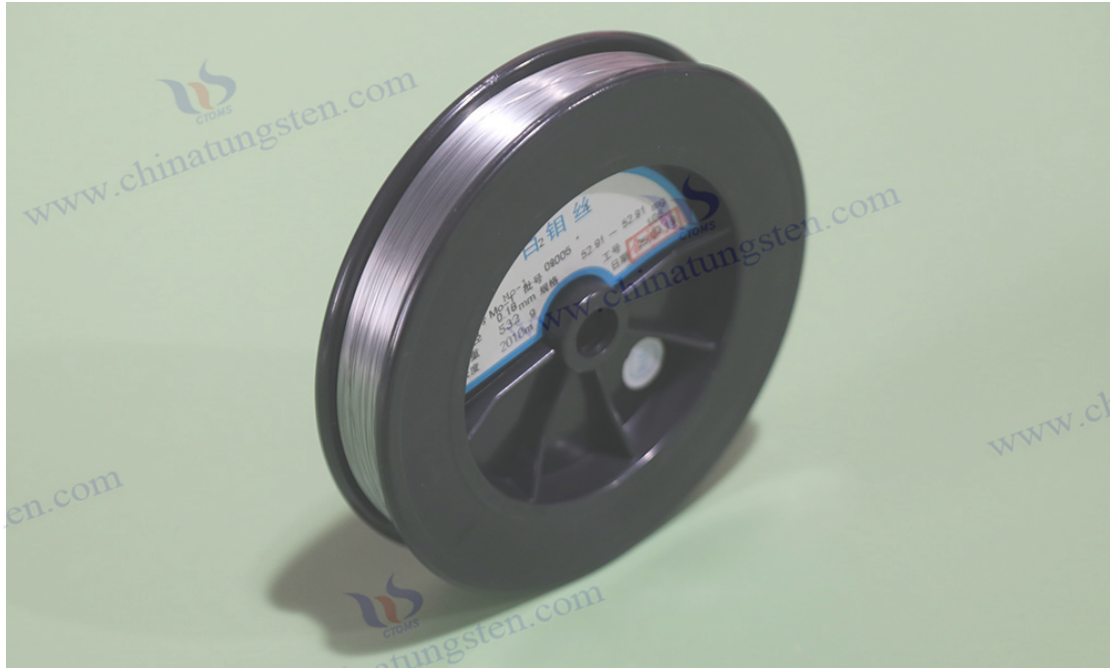
준비 과정: 길이 일관성을 보장하기 위한 고정밀 절단.

응용 프로그램: 시장의 10%를 차지하는 특수 램프용 복합 전극.

장점과 한계: 사용자 정의에 적합하고 생산 효율이 낮습니다.

시장 현황: 코일 와이어가 주류이며 직선 와이어 및 절단 와이어는 주로 고급 응용 분야에 사용됩니다.

기술적 과제: 절단된 와이어의 정확도를 높이고 직선 와이어의 운송 비용을 절감합니다.



CTIA의 조명용 폴리브덴 와이어

Chapter 3 조명용 폴리브덴 와이어의 특성

조명용 폴리브덴 와이어의 특성은 물리적, 화학적, 기계적, 전기적, 광학 및 관련 물질안전보건자료(MSDS) 정보를 포함하는 조명 분야 적용의 핵심입니다. 이 장에서는 이러한 특성을 자세히 살펴보고, 조명 장치의 성능에 미치는 영향을 분석하고, 글로벌 연구 및 업계 사례를 기반으로 포괄적인 기술 설명을 제공합니다.

3.1 조명용 폴리브덴 와이어의 물리적 특성

조명용 폴리브덴 와이어의 물리적 특성은 주로 밀도 및 융점, 열팽창 계수 및 온도 의존성, 열전도율 및 전기 전도성을 포함하여 고온, 고압 및 복잡한 환경에서의 성능을 결정합니다. 이러한 특성은 조명기구에서 폴리브덴 와이어의 구조적 안정성, 열 관리 능력 및 전기적 성능에 직접적인 영향을 미칩니다.

3.1.1 조명용 폴리브덴 와이어의 밀도 및 융점

밀도가 10.2g/cm^3 인 폴리브덴 와이어는 고밀도 금속 재료이며 텅스텐(19.25g/cm^3)보다 약간 낮습니다. 이 밀도는 폴리브덴 와이어에 높은 질량 안정성을 제공하여 등기구의 지지 구조 또는 전극에서 기계적 응력과 진동을 견딜 수 있도록 합니다. 예를 들어, 자동차 헤드라이트에서 폴리브덴 와이어는 주행 중 차량의 진동에 저항해야 하며, 적당히 조밀한 폴리브덴 와이어는 과도한 무게로 인해 램프 설계의 어려움을 증가시키지 않고 충분한 강도를 제공할 수 있습니다.

폴리브덴 와이어의 융점은 $2623^\circ\text{C}(2896\text{K})$ 로 내화 금속으로서의 핵심 장점 중 하나이며 텅스텐(3422°C)과 레늄(3186°C)에 이어 두 번째입니다. 이 높은 융점으로 인해 폴리브덴 필라멘트는 백열등(필라멘트 온도 최대 2500°C), 할로겐 램프(필라멘트 온도 최대 3000°C) 및 고강도 가스 방전 램프(HID, 아크 중심 온도 최대 6000°C)에서

저작권 및 법적 책임 선언문

용융이나 심각한 변형 없이 안정적으로 작동할 수 있습니다. 실제 응용 분야에서 몰리브덴 와이어는 일반적으로 용점(1000-2000°C)보다 훨씬 낮은 온도에서 작동하여 용점에 접근할 때 재료가 연화되는 것을 방지합니다. 몰리브덴 와이어는 텅스텐보다 용점이 약간 낮지만 가공 비용이 저렴하고 2000°C 미만의 크리프 저항으로 필라멘트 지지 및 밀봉 재료에 이상적입니다.

몰리브덴 와이어의 밀도와 용점도 결정 구조와 밀접한 관련이 있습니다. 몰리브덴의 몸체 중심 입방체(BCC) 결정 구조는 고온에서 안정적으로 유지되며 온도가 증가함에 따라 약간 팽창하는 격자 상수의 작은 변화는 열 순환 동안 구조적 무결성을 보장합니다. 생산에서 몰리브덴 와이어의 밀도는 고순도 몰리브덴 분말(순도 $\geq 99.95\%$)의 소결 공정에 의해 제어되며, 재결정 온도(약 1400°C 에서 1800°C 이상)를 증가시키기 위해 란타넘 산화물과 같은 미량 원소를 도핑하여 용점을 더욱 최적화합니다.

3.1.2 조명용 몰리브덴 와이어의 열팽창 계수 및 온도 의존성

몰리브덴 와이어의 열팽창 계수는 $4.8 \times 10^{-6}/K$ (20-1000°C 범위)로 붕규산 유리(약 $4.5 \cdot 5.0 \times 10^{-6}/K$)와 상용성이 높습니다. 이러한 특성으로 인해 몰리브덴 와이어는 램프의 유리 대 금속 밀봉을 위해 선택되는 재료가 되며, 몰리브덴 와이어와 유리가 고온에서 작동할 때 열팽창의 차이로 인해 응력 균열을 일으키지 않도록 합니다(예: 할로겐 램프의 밀봉 부품 온도는 600-800°C 에 도달할 수 있음). 대조적으로, 텅스텐은 열팽창 계수 ($4.5 \times 10^{-6} / K$)가 약간 낮고 추가 전이 재료가 필요할 수 있지만 구리 ($16.5 \times 10^{-6} / K$)는 유리의 열팽창과 일치하지 않으며 밀봉에 사용할 수 없습니다.

몰리브덴 와이어의 열팽창 계수는 온도가 증가함에 따라 약간 증가합니다(예: 1500°C/K 에서 최대 5.2×10^{-6}). 이러한 온도 의존성은 조명기구 설계, 특히 열 주기가 잦은 할로겐 또는 HID 램프에서 특별히 고려해야 합니다. 열팽창의 효력을 감소시키기 위하여는, 몰리브덴 철사는 수시로 란탄 산화물 또는 rhenium 로 결정 구조를 낙관하고 고열에 격자 확장을 감소시키기 위하여 진한 액체로 처리된다. 또한, 몰리브덴 와이어의 열팽창 계수는 표면 처리와 밀접한 관련이 있으며, 세척 된 몰리브덴 와이어 (전기 분해 연마)는 표면 결함이 적기 때문에 흑색 몰리브덴 와이어 (표면에 산화물 층이 있음)보다 고온에서 더 균일하게 팽창합니다.

실제 적용에서 열팽창 계수의 일치는 조명기구의 기밀성과 서비스 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 예를 들어, 고압 나트륨 램프에서 몰리브덴 와이어 씰은 500-700°C 의 주기적 온도 변화를 받으며 열팽창 계수의 불일치로 인해 유리 균열이나 가스 누출이 발생할 수 있습니다. 따라서 씰의 신뢰성을 보장하기 위해 생산 시 정밀한 열팽창 테스트(예: 팽창계 측정)와 유리 조성 최적화가 필요합니다.

3.1.3 조명용 몰리브덴 와이어의 열전도율 및 전도도 분석

몰리브덴 와이어의 열전도율은 138 W/m·K(20°C)로 금속 중 적당히 높으며 구리(401 W/m·K)보다 낮지만 텅스텐(173 W/m·K)보다 높습니다. 높은 열전도율로 인해 몰리브덴 와이어는 조명기구 작동 중에 발생하는 열을 뜨거운 영역(예: 아크 또는 필라멘트 근처)에서 저온 영역(예: 밀봉 사이트)으로 빠르게 전달할 수 있으므로 국부 과열

저작권 및 법적 책임 선언문

위험을 줄이고 조명기구 구조를 보호할 수 있습니다. 예를 들어, 할로겐 램프에서 유리 밀봉의 과열을 방지하기 위해 필라멘트의 열을 효과적으로 발산하기 위해 몰리브덴 와이어를 지지 와이어로 사용해야 합니다(> 800°C에서는 유리가 부드러워질 수 있음).

몰리브덴 와이어의 전도도는 약 1.8×10^7 S/m(저항 $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)입니다. m)은 고온 금속에서 잘 작동하며 구리(5.9×10^7 S/m)보다 약간 낮지만 텅스텐(1.9×10^8 S/m)에 가깝습니다. 전기 전도성은 몰리브덴 와이어가 전극 또는 전도성 구성 요소에 전류를 효율적으로 전송하여 에너지 손실을 줄일 수 있도록 합니다. 가스 방전 램프에서 몰리브덴 와이어 전극은 고전압(수백에서 수천 볼트)과 순간적인 고전류(수 암페어)에 노출되며 높은 전도성은 줄 가열을 줄이고 전극 수명을 연장할 수 있습니다.

열전도율과 전기 전도성의 온도 의존성은 설계의 핵심 요소입니다. 온도가 증가함에 따라 몰리브덴 와이어의 열전도율은 약간 감소하고(1000°C 에서 약 120W/m·K) 저항률(1000°C 에서 약 $2.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$)이 증가합니다. 몰리브덴 란타넘 와이어와 같은 도핑된 몰리브덴 와이어는 결정 구조를 최적화하여 고온에서 전도성 감소를 늦출 수 있습니다. 예를 들어, 1% 란타넘 산화물로 도핑된 몰리브덴 와이어는 1500°C 에서 순수 몰리브덴 와이어보다 약 10% 낮은 저항률을 갖습니다. 생산에서 열전도율과 전기 전도성은 몰리브덴 와이어의 순도, 입자 크기 및 표면 마감을 제어하여 최적화됩니다.

3.2 조명용 몰리브덴 와이어의 화학적 특성

조명용 몰리브덴 와이어의 화학적 특성은 주로 내산화성, 내식성 및 불활성 가스 및 진공 환경과의 상호 작용을 포함하여 램프의 복잡한 화학적 환경(예: 할로겐 가스, 고온 진공)에서 안정성과 수명을 결정합니다.

3.2.1 조명용 몰리브덴 와이어의 내산화성 및 고온 안정성

몰리브덴 와이어는 실온에서 내산화성이 우수하며 표면에 얇은 산화물 보호층(MoO_2)을 형성하여 추가 산화를 방지할 수 있습니다. 그러나 고온(>600°C)에서 공기에 노출되면 몰리브덴 필라멘트가 빠르게 폭발하여 휘발성인 삼산화몰리브덴(MoO_3)을 형성하여 재료 손실 및 성능 저하를 초래합니다. 조명 응용 분야에서 조명기구는 산화를 방지하기 위해 진공 또는 불활성 가스(예: 아르곤, 질소)에서 작동되는 경우가 많습니다. 예를 들어, 백열등은 몰리브덴 와이어가 산화되는 것을 방지하기 위해 아르곤 가스와 소량의 할로겐 가스로 채워져 있습니다.

항산화 성능을 향상시키기 위해 도핑 된 몰리브덴 와이어 (예 : 몰리브덴 란타넘 와이어, 몰리브덴 레늄 와이어)가 널리 사용됩니다. 란타넘 산화물의 첨가는 결정립계를 고정시킴으로써 고온에서 몰리브덴 원자의 확산을 늦추고 산화 반응의 발생을 지연시킵니다. 레늄의 용액 강화 효과로 인해 몰리브덴 레늄 와이어는 1000°C 이상에서 보다 안정적인 표면 산화물 층을 형성하고 MoO_3 의 휘발을 늦출 수 있습니다. 연구에 따르면 1200°C 에서 공기 중 1% 란탄 산화물로 도핑된 몰리브덴 와이어의 산화율은 순수 몰리브덴 와이어보다 약 30% 낮습니다. 또한 알루미늄 또는 몰리브덴 실리화물 코팅과 같은 표면 코팅 기술은 내산화성을 더욱 향상시켜 특수

저작권 및 법적 책임 선언문

조명기구에 적합합니다.

고온 안정성 측면에서 몰리브덴 와이어의 재결정 온도(순수 몰리브덴의 경우 약 1400°C)가 핵심 지표입니다. 재결정화는 입자 성장 및 재료의 취성으로 이어져 기계적 강도를 감소시킵니다. 도핑된 몰리브덴 와이어는 재결정 온도(몰리브덴 란타넘 와이어의 경우 최대 1800°C, 몰리브덴 레늄 와이어의 경우 약 1700°C)를 증가시켜 고온에서 수명을 크게 연장합니다. 할로겐 램프에서 몰리브덴 와이어는 1500-2000°C 에서 장기간 작동해야 하며 도핑된 몰리브덴 와이어의 우수한 고온 안정성은 구조적 무결성을 보장합니다.

3.2.2 조명용 몰리브덴 와이어의 내식성

램프에서 몰리브덴 와이어의 내식성은 주로 할로겐 가스(예: 요오드, 브롬), 수은 증기 및 기타 화학 물질에 대한 내성에 반영됩니다. 할로겐 램프에서 몰리브덴 와이어는 할로겐 가스와 직접 접촉하며 고온(1000-1500°C)에서 화학적 공격에 저항해야 합니다. 몰리브덴의 화학적 안정성으로 인해 휘발성 화합물이나 심각한 부식이 형성되지 않고 요오드 또는 브롬 환경에서 잘 작동할 수 있습니다. 대조적으로, 텅스텐은 할로겐 환경에서 휘발성 할로겐화물(예: WBr₆)이 형성되기 쉬워 필라멘트 손실이 발생합니다.

고압 수은 램프 또는 메탈 할라이드 램프와 같은 가스 방전 램프에서 몰리브덴 와이어 전극은 수은 증기 및 메탈 할라이드(예: 요오드화 나트륨)에 저항해야 합니다. 결과는 몰리브덴 와이어가 0.01mg/cm²·h 미만의 부식 속도로 수은 증기(500-800°C)에서 표면 무결성을 유지할 수 있음을 보여줍니다. 몰리브덴 란타넘 와이어와 같은 도핑된 몰리브덴 와이어는 안정적인 표면 구조를 형성하여 내식성을 더욱 향상시킵니다. 예를 들어, 란타넘 산화물로 도핑된 몰리브덴 와이어는 요오드화나트륨 환경에서 부식 손실을 약 20% 줄일 수 있습니다.

내식성은 또한 몰리브덴 와이어의 표면 처리와 관련이 있습니다. 세척된 몰리브덴 와이어(전해 연마)는 검은색 몰리브덴 와이어(표면에 산화물 층 포함)보다 표면 결함이 적고 부식 속도가 낮습니다. 생산에서 몰리브덴 와이어는 내식성을 향상시키기 위해 산세(HNO₃-HF 혼합물) 또는 전해 연마(NaOH 용액)로 표면 산화물을 제거하는 데 자주 사용됩니다. 또한 몰리브덴 실리사이드 코팅과 같은 코팅된 몰리브덴 와이어는 UV 램프의 수은 증기와 같은 매우 부식성이 높은 환경에서 잘 작동하지만 비용이 더 많이 듭니다.

3.2.3 조명용 몰리브덴 와이어와 불활성 가스 및 진공 환경 간의 상호 작용

조명용 몰리브덴 와이어는 일반적으로 산화를 방지하고 수명을 연장하기 위해 진공 또는 불활성 가스(예: 아르곤, 질소, 크립톤)에서 작동됩니다. 진공 환경(예: 백열등 내부, 압력이 <10⁻³ Pa)에서 몰리브덴 와이어의 화학적 안정성이 매우 높고 가스와의 반응이 거의 없으며 표면이 안정적으로 유지됩니다. 진공 환경은 또한 열 대류 손실을 줄여 몰리브덴 와이어의 열이 주로 열전도와 복사를 통해 발산되도록 하여 램프의 에너지 효율에 기여합니다.

불활성 가스 환경(예: 아르곤과 소량의 할로겐 가스로 채워진 할로겐 램프, 압력 0.1-

저작권 및 법적 책임 선언문

1MPa)에서 몰리브덴 와이어는 아르곤 또는 질소와 뚜렷한 화학 반응이 없지만 고온에서 할로젠 가스와 약한 표면 흡착 또는 화학적 결합이 있을 수 있습니다. 연구에 따르면 몰리브덴 필라멘트는 요오드 함유 아르곤 가스(1200°C) 표면에 요오드화 몰리브덴(MoI₃)의 얇은 층을 형성할 수 있지만 이 화합물은 램프의 성능에 영향을 주지 않고 고온에서 빠르게 분해됩니다. 몰리브덴 란타넘 와이어와 같은 도핑된 몰리브덴 와이어는 표면 구조를 최적화하여 이러한 흡착 효과를 줄일 수 있습니다.

가스 방전 램프에서 몰리브덴 와이어 전극은 복잡한 가스 혼합물(수은 증기, 금속 할로겐화물, 불활성 가스)과 상호 작용합니다. 몰리브덴 와이어의 높은 화학적 안정성은 이러한 환경에서 심각한 화학적 열화를 겪지 않도록 보장하지만 아크는 입자 경계 부식과 같은 표면 미세 구조 변화를 일으킬 수 있습니다. 이러한 이유로 몰리브덴 와이어의 안정성은 종종 생산에서 표면 부동태화 또는 도핑 기술에 의해 향상됩니다.

3.3 조명용 몰리브덴 와이어의 기계적 특성

조명용 몰리브덴 와이어의 기계적 특성은 인장 강도 및 크리프 특성, 연성 및 인성, 피로 저항 및 고온에서의 파괴 저항을 포함하여 램프의 구조적 안정성과 내구성에 직접적인 영향을 미칩니다. 이러한 특성은 고온, 열 순환 및 기계적 진동 환경에서 특히 중요합니다.

3.3.1 조명용 몰리브덴 와이어의 고온 인장 강도 및 크리프 특성

몰리브덴 와이어의 인장 강도는 실온에서 800-1000 MPa 이지만 고온(>1000°C)에서는 크게 감소합니다. 예를 들어, 1500°C 에서 순수 몰리브덴 와이어의 인장 강도는 약 200MPa 입니다. 도핑된 몰리브덴 와이어는 입계 강화를 통해 고온 강도를 크게 향상시키고 몰리브덴 란타넘 와이어는 1500°C 에서 300-500MPa 에 도달할 수 있으며 몰리브덴-레늄 와이어는 약 250-400MPa 입니다. 이 높은 강도로 인해 몰리브덴 와이어는 백열등 또는 할로젠 램프의 고온 하중을 견디는 필라멘트 지지 재료로 작용할 수 있습니다.

크리프 성능은 고온에서 장기간 작동하기 위한 몰리브덴 와이어의 핵심 지표입니다. 크리프(Creep)는 재료가 지속적인 응력 하에서 천천히 변형되는 과정을 말하며, 이로 인해 필라멘트 지지대가 고장나거나 전극이 변형될 수 있습니다. 순수 몰리브덴 와이어는 약 10^{-5} s^{-1} (100MPa 응력에서)의 크리프 속도로 1200°C 이상에서 크리프하기 쉽습니다. 도핑된 몰리브덴 와이어는 결정립 경계 전위를 고정하여 크리프 속도를 크게 감소시키는데, 예를 들어 1% 란타넘 산화물로 도핑된 몰리브덴 와이어는 1500°C 에서 순수 몰리브덴 와이어보다 50% 이상 낮은 크리프 속도를 갖습니다. 레늄의 고용 강화 효과로 인해 몰리브덴 레늄 와이어의 크리프 성능도 순수 몰리브덴 와이어보다 우수합니다.

할로젠 램프에서 몰리브덴 와이어 지지대는 열 순환(실온에서 1500°C 까지 급격한 램프업)을 받으며 고온에서의 인장 강도와 크리프 저항은 램프 수명을 직접 결정합니다. 몰리브덴 와이어의 크리프 저항은 입자 크기(일반적으로 10-50 μm)와

저작권 및 법적 책임 선언문

도핑 공정을 최적화하여 생산에서 향상됩니다.

3.3.2 조명용 몰리브덴 와이어의 연성 및 인성

몰리브덴 와이어의 연성은 늘어났을 때 소성 변형되는 능력을 말하며, 순수 몰리브덴 와이어의 파단 연신율은 실온에서 10%-15%입니다. 도핑 된 몰리브덴 와이어 (예 : 몰리브덴 레늄 와이어)는 용액 강화에 의해 연성을 크게 향상시키고 파단 신율은 20 % -25 %에 도달 할 수 있습니다. 높은 연성으로 인해 몰리브덴 와이어는 인발 및 성형 과정에서 쉽게 끊어지지 않으며 복잡한 형상의 전극 또는 지지 구조물 제조에 적합합니다.

인성은 몰리브덴 와이어가 충격 에너지를 흡수하고 부서지기 쉬운 파괴를 방지하는 능력을 반영합니다. 조명기구에서 몰리브덴 전선은 진동(예: 자동차 램프) 또는 열 충격(예: 할로겐 램프의 잦은 전환)을 받습니다. 고온(>1000°C)에서 순수 몰리브덴 와이어는 재결정화로 인해 부서지기 쉽고 인성이 감소합니다. 몰리브덴 란타넘 철사는 고열 강인성을 유지하는 란탄 산화물 입자의 dispersion에 의해 강화되고, 파괴 강인성 (K_{IC})는 $7 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 의 순수한 몰리브덴 철사의 그것 보다는 더 높은 1500°C 에 대략 $10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 입니다. 몰리브덴 레늄 와이어는 인성이 우수하고 진동이 심한 환경에 적합합니다.

생산에서 연성과 인성의 최적화는 어닐링 온도(800-1200°C)와 인발 공정에서 도핑 원소의 균일한 분포에 따라 달라집니다. 초극세 몰리브덴 와이어(직경 <0.05mm)는 더 높은 연성이 필요하며 저온 어닐링 및 정밀 성형이 필요합니다.

3.3.3 조명용 몰리브덴 와이어의 피로 저항 및 파괴 저항

피로 저항은 주기적 응력 하에서 몰리브덴 와이어의 내구성을 반영합니다. 자동차 헤드램프나 무대 조명에서 몰리브덴 와이어는 잦은 열 순환과 기계적 진동을 받아 피로 균열을 유발할 수 있습니다. 순수 몰리브덴 와이어의 피로 수명은 고온(약 10^4 사이클, 100MPa 응력)에서 더 짧고, 도핑된 몰리브덴 와이어(예: 몰리브덴 란타넘 와이어)의 피로 수명은 입계 강화를 통해 10^5 사이클 이상으로 증가할 수 있습니다.

파괴 저항은 몰리브덴 와이어의 입자 크기 및 표면 결함과 밀접한 관련이 있습니다. 미세한 입자(10-20 μm)는 응력 농도를 분산시키고 파괴 저항성을 향상시킵니다. 표면 마감이 높고($R_a < 0.5\mu\text{m}$) 균열 시작 지점이 적기 때문에 청소된 몰리브덴 와이어는 검은색 몰리브덴 와이어($R_a 0.5\text{-}2.0\mu\text{m}$)보다 파괴 저항성이 우수합니다. 생산에서 표면 연마 및 결함 감지(예: 초음파 결함 감지)는 파괴 저항성을 개선하는 데 핵심입니다.

HID 램프에서 몰리브덴 와이어 전극은 아크 충격으로 인한 응력 집중에 저항해야 하며 도핑된 몰리브덴 와이어(예: 몰리브덴 레늄 와이어)는 높은 인성과 피로 저항으로 인해 파손 위험을 효과적으로 줄일 수 있습니다.

3.4 조명용 몰리브덴 와이어의 전기적 특성

조명용 몰리브덴 와이어의 전기적 특성은 저항 및 온도 계수, 전류 전달 용량 및 아크 안정성을 포함하여 전극 또는 전도성 부품으로서의 성능을 결정합니다.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	5.5×10 ⁻⁸ Ω·m	6.0×10 ⁻⁸ Ω·m	6.5×10 ⁻⁸ Ω·m
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

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

3.4.1 조명용 폴리브덴 와이어의 저항 및 온도 계수

폴리브덴 와이어의 저항은 $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot 20^\circ\text{C m}$ 에서 구리($1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)보다 약간 높지만 텅스텐($5.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)에 가깝습니다. 저항률은 온도에 따라 증가하며 약 $2.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot 1000^\circ\text{C m}$ 에서 최대 $4.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot 2000^\circ\text{C m}$ 에서. 저항률의 온도 계수(TCR)는 $0.0045\text{K}^{-1}(20-1000^\circ\text{C})$ 이며, 이는 온도가 증가함에 따라 전도도가 급격히 감소함을 나타냅니다.

도핑된 폴리브덴 와이어는 결정 구조를 최적화하여 고온 저항을 줄일 수 있습니다. 예를 들어, 1% 란타넘 산화물로 도핑된 폴리브덴 와이어는 란탄 산화물 입자가 입계 산란을 감소시키기 때문에 1500°C 에서 순수한 폴리브덴 와이어보다 약 10% 낮은 저항률을 갖습니다. 레늄의 고용 효과로 인해 폴리브덴 레늄 와이어의 저항률은 약간 높지만(20°C 에서 약 $6.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$) 온도 계수가 더 안정적이며 고주파 방전 환경에 적합합니다.

조명기구에서 저항률은 에너지 손실과 발열에 직접적인 영향을 미칩니다. 낮은 저항률 폴리브덴 와이어는 줄 가열을 줄이고 등기구 효율을 향상시킵니다. HID 램프에서 폴리브덴 와이어 전극의 저항은 아크 시동의 안정성을 보장하기 위해 정밀하게 제어되어야 합니다.

3.4.2 조명용 폴리브덴 와이어의 전류 전달 용량

폴리브덴 와이어의 전류 전달 용량은 직경, 재료 순도 및 작동 온도에 따라 다릅니다. 직경이 0.1mm 인 순수 폴리브덴 와이어는 20°C 에서 약 10A 의 전류를 전달할 수 있으며 1000°C 에서 약 5A 로 떨어질 수 있습니다. 도핑 된 폴리브덴 와이어 (예 : 폴리브덴 란타넘 와이어)는 고온에서 강도가 높기 때문에 전류 전달 용량이 약간 더 우수하며 1500°C 에서 4-6 A (직경 0.1mm)를 전달할 수 있습니다.

가스 방전 램프에서 폴리브덴 와이어 전극은 순간적인 고전류(몇 밀리초 동안 10-100A)에 노출되어 높은 전도성과 열 충격 저항이 필요합니다. 우수한 연성과 인성으로 인해 폴리브덴 레늄 와이어는 파손 없이 반복적인 전류 충격을 견딜 수 있습니다. 생산에서 전류 전달 용량의 최적화는 입자 크기를 늘리고 표면 결함을 줄임으로써 달성되어야 합니다.

3.4.3 조명용 폴리브덴 와이어의 아크 안정성

아크 안정성은 전극 재료로서 폴리브덴 와이어의 핵심 특성이며, 특히 HID 램프 및 형광등에서 사용됩니다. 폴리브덴 와이어의 높은 용점과 아크 내식성으로 인해 높은 아크 온도($>4000^\circ\text{C}$)에서 구조적 무결성을 유지할 수 있습니다. 높은 표면 마감($Ra < 0.5\mu\text{m}$)으로 인해 청소된 폴리브덴 와이어는 아크 방전 중 국부 과열 및 스파터를 줄이고 안정성을 향상시킬 수 있습니다.

도핑된 폴리브덴 와이어(예: 폴리브덴 란타넘 와이어, 폴리브덴 레늄 와이어)는 표면 미세 구조를 최적화하여 아크로 인한 입계 부식을 줄입니다. 예를 들어, 란탄 산화물 도핑 폴리브덴 와이어는 고주파 방전 (10-100kHz)에서 순수 폴리브덴 와이어보다 약 20 % 높은 아크 안정성을 가지고 있습니다. 생산 시 아크 안정성은 전극의 장기적인

저작권 및 법적 책임 선언문

신뢰성을 보장하기 위해 고전압 임펄스 테스트와 같은 조명기구 작동 조건을 시뮬레이션하여 테스트하는 경우가 많습니다.

3.5 조명용 몰리브덴 와이어의 광학적 특성

조명용 몰리브덴 와이어의 광학적 특성은 주로 표면 마감 및 반사율, 고온 방사선 특성 및 표면 산화가 광학 특성에 미치는 영향을 포함하여 램프의 방사선 효율 및 광 출력 품질에 영향을 미칩니다.

3.5.1 조명용 몰리브덴 와이어의 표면 마감 및 반사율

몰리브덴 와이어의 표면 마감은 반사율과 아크 방전의 균일성에 직접적인 영향을 미칩니다. 전해 연마 또는 화학적 세척을 통해 세척된 몰리브덴 와이어의 표면 거칠기는 $Ra\ 0.1-0.5\mu m$ 에 도달할 수 있으며 반사율(가시광선 범위)은 약 60%-70%입니다. 표면 산화물 층(MoO_2)으로 인해 흑색 몰리브덴 와이어의 거칠기가 높고 ($Ra\ 0.5-2.0\mu m$) 반사율은 30 %-40 %에 불과합니다.

고마감 몰리브덴 와이어는 할로겐 및 HID 램프의 광 출력 균일성을 개선하고 표면 결함으로 인한 국부 과열을 줄입니다. 프로젝션 램프에서 몰리브덴 와이어의 반사율은 빛의 초점 효과에 영향을 미치고 청소된 몰리브덴 와이어의 높은 반사율은 광 활용도를 향상시킬 수 있습니다. 생산에서 표면 마감의 제어는 정밀 연마 장비와 온라인 검사를 통해 달성되어야 합니다.

3.5.2 조명용 몰리브덴 와이어의 고온 복사 특성 및 스펙트럼 분석

고온에서 몰리브덴 와이어의 복사 특성은 전극 또는 지지 재료로서의 성능과 밀접한 관련이 있습니다. $1500-2000^{\circ}C$ 에서 몰리브덴 와이어의 방사 스펙트럼은 주로 적외선 및 근적외선 영역(파장 $0.7-2.5\mu m$)에 집중되어 있으며 가시광선($0.4-0.7\mu m$)은 상대적으로 낮습니다. 이것은 적외선 램프에 이점을 제공하지만 주로 백색광 조명의 보조 재료로 사용됩니다.

몰리브덴 란타넘 와이어와 같은 도핑된 몰리브덴 와이어는 결정 구조를 최적화하여 가시 영역의 방사선 효율을 약간 높일 수 있습니다. 예를 들어, 1% 란타넘 산화물이 도핑된 몰리브덴 와이어는 순수한 몰리브덴 와이어보다 $2000^{\circ}C$ 에서 약 10% 더 높은 방사선 출력을 갖습니다. 스펙트럼 분석은 몰리브덴 와이어의 방사선 피크가 온도 증가에 따라 단파장으로 이동하는 것을 보여주며, 이는 플랑크의 흑체 복사 법칙을 준수합니다. 실제로, 몰리브덴 필라멘트의 방사선 특성은 원하는 광 출력을 얻기 위해 필라멘트(일반적으로 텅스텐)와 함께 최적화되어야 합니다.

3.5.3 조명용 몰리브덴 와이어의 표면 산화가 광학적 특성에 미치는 영향

표면 산화는 몰리브덴 와이어의 광학적 특성에 큰 영향을 미칩니다. 검은색 몰리브덴 와이어의 산화물층(MoO_2 또는 MoO_3)은 가시광선 및 적외선의 일부를 흡수하여 반사율과 방사선 효율을 감소시킵니다. 할로겐 램프에서 산화물 층의 증발은 전구 내벽의 증착으로 이어져 광 출력의 효율성을 감소시킬 수 있습니다. 산화물 층을 제거함으로써 청소된 몰리브덴 와이어는 광학 성능을 크게 향상시키고 반사율과 방사선 효율이 검은색 몰리브덴 와이어보다 우수합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

고온(>1000°C)에서는 몰리브덴 와이어 표면에 소량의 산화가 발생할 수 있으며, 이는 스펙트럼 특성에 영향을 미칩니다. 도핑된 몰리브덴 와이어(예: 몰리브덴 란타넘 와이어)는 안정적인 표면 구조를 형성하여 산화 과정을 늦추고 광학적 특성의 안정성을 유지합니다. 알루미늄 코팅과 같은 코팅된 몰리브덴 와이어는 표면 산화에 대한 추가 보호 기능을 제공하며 고성능 특수 램프에 적합합니다.

3.6 CTIA GROUP LTD 의 MSDS 조명용 몰리브덴 와이어

물질안전보건자료(MSDS)는 조명용 몰리브덴 와이어의 안전한 사용, 보관 및 운송에 대한 지침을 제공합니다. 다음은 CTIA 의 조명용 몰리브덴 와이어 MSDS 의 주요 내용입니다.

파트 I: 화학 이름

화학 이름 : 몰리브덴 와이어

CAS 번호: 7439-98-7

분자 공식: Mo

분자량 : 99.95

파트 II: 작곡/작곡 정보

함량 : 99.3 % ~ 99.95 % 몰리브덴

파트 III: 위험 개요

건강 위험: 이 제품은 눈과 피부에 자극을 주지 않습니다.

폭발 위험: 이 제품은 불연성이며 자극성이 없습니다.

파트 IV: 응급 처치 방법

피부 접촉: 오염된 의복을 벗고 흐르는 물로 충분히 헹굽니다.

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

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

섭취: 구토를 유도하기 위해 따뜻한 물을 충분히 마십니다. 치료.

파트 V: 화재 예방 조치

유해한 연소 생성물: 자연 분해 생성물은 알려져 있지 않습니다.

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

파트 VI.: 유출 사고의 비상 처리

저작권 및 법적 책임 선언문

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

파트 VII: 취급, 취급 및 보관

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

보관 주의 사항: 서늘하고 통풍이 잘되는 창고에 보관하십시오. 화기 및 열원에서 멀리 보관하십시오. 산화제 및 할로젠과 분리하여 보관해야 하며 혼합해서는 안 됩니다. 해당 다양성과 수량의 소방 장비를 갖추고 있습니다. 보관 장소에는 유출을 담을 수 있는 적절한 재료가 구비되어 있어야 합니다.

파트 VIII: 노출 제어/개인 보호

중국 MAC(mg/m3): 6

소련 MAC(mg/m3): 6

TLVTN : ACGIH 1mg / m3

TLVWN : ACGIH 3mg / m3

모니터링 방법: 칼륨 티오시안화물-염화티타늄 분광 발광 방법

엔지니어링 제어: 생산 공정은 먼지가 없고 완전히 환기됩니다.

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

눈 보호: 화학 물질 보안경을 착용하십시오.

신체 보호: 독 침투 방지 작업복을 착용하십시오.

손 보호: 고무 장갑을 착용하십시오.

파트 IX : 물리 화학적 특성

주성분 : 순수

외관 및 속성 : 단단하고 금속성 밝은 흰색; 블랭크, 블랙 마감

녹는점 (°C): 2620

끓는점 (°C): 5560

상대밀도 (물 = 1): 9.4~10.2 (20 °C)

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

증기 밀도 (공기 = 1): 데이터 없음
포화 증기압 (kPa): 사용 가능한 데이터 없음
연소열(kJ/mol): 데이터 없음
임계 온도(°C): 사용 가능한 데이터 없음
임계 압력(MPa): 사용 가능한 데이터 없음
물 분배 계수의 로그: 데이터 없음
인화점(°C): 사용 가능한 데이터 없음
점화 온도 (°C): 데이터 없음
폭발 한계 % (V/V): 데이터 없음
폭발 하한 % (V/V): 데이터 없음
용해도 : 질산, 불산에 용해
주요 용도 : 금형, 몰리브덴 와이어, 전자 부품 등의 생산에 사용됩니다.

파트 X: 안정성 및 반응성
금지 물질: 강산 및 알칼리.

파트 11 :

급성 독성: 사용 가능한 데이터 없음
LC50: 데이터가 없습니다

파트 XII: 생태 데이터

이 섹션에 대한 데이터가 없습니다.

파트 XIII: 폐기

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

파트 XIV: 배송 정보

위험물 번호: 정보 없음

포장 카테고리: Z01

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

파트 XV: 규정 정보

규제 정보: 위험 화학 물질의 안전 관리에 관한 규정(1987년 2월 17일 국무원 공포),

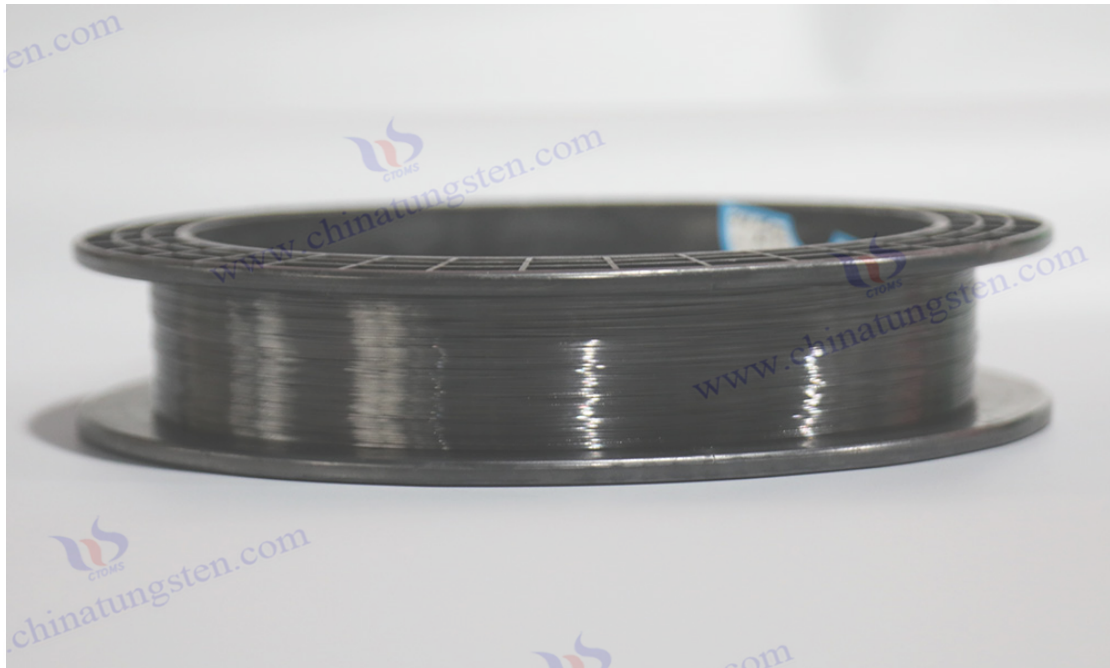
저작권 및 법적 책임 선언문

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

파트 XVI: 공급업체 정보

공급 업체: CTIA GROUP LTD

전화: 0592-5129696/5129595



CTIA의 조명용 폴리브덴 와이어

Chapter 4 조명용 폴리브덴 와이어의 제조 및 생산 기술

조명을 위한 폴리브덴 와이어의 준비는 원료 선택에서 최종 제품에 이르기까지 여러 프로세스 링크를 포함하는 복잡하고 정밀한 프로세스이며 생산 기술 및 프로세스 최적화는 폴리브덴 와이어의 품질과 성능을 직접 결정합니다. 이 장에서는 원료 선택 및 전처리, 제련 및 성형, 와이어 드로잉 공정, 표면 처리 기술, 도핑 공정, 품질 관리 및 공정 최적화를 포함하여 조명용 폴리브덴 와이어의 준비 및 생산 공정에 대해 자세히 설명합니다.

4.1 조명용 폴리브덴 와이어의 원료 선택 및 전처리

조명용 폴리브덴 와이어의 성능은 원료의 품질과 전처리 공정에 크게 좌우됩니다. 원료 선택 및 전처리는 생산의 첫 번째 단계이며, 이는 후속 제련, 성형 및 와이어 드로잉의 성공률과 최종 제품의 성능에 직접적인 영향을 미칩니다. 다음은 폴리브덴 분말의 순도 및 입자 크기 제어, 도핑 재료 선택 및 비율, 전처리 공정의 세 가지

저작권 및 법적 책임 선언문

측면에 대한 자세한 분석입니다.

4.1.1 몰리브덴 분말 순도 요구 사항($\geq 99.95\%$) 및 입자 크기 제어

몰리브덴 와이어의 준비는 일반적으로 고순도 몰리브덴 분말로 만들어지며 고온 환경에서 몰리브덴 와이어의 화학적 안정성과 전기적 특성을 보장하기 위해 순도가 99.95% 이상에 도달해야 합니다. 불순물(예: 철, 니켈, 실리콘, 탄소 등)의 함량은 미량의 불순물조차도 고온에서 입계 부식 또는 아크 불안정을 유발할 수 있기 때문에 매우 낮은 수준(총 불순물의 0.05% 미만)으로 유지해야 합니다. 예를 들어, 0.01% 이상의 철 불순물은 몰리브덴 필라멘트가 할로겐 램프의 할로겐 가스와 반응하여 휘발성 화합물을 형성하고 램프의 수명을 단축시킬 수 있습니다.

몰리브덴 분말의 제조는 일반적으로 몰리브덴 나이트 (MoS_2)를 정제하여 얻습니다. 이 공정은 삼산화몰리브덴(MoO_3)을 생산하기 위한 몰리브데나이트 로스팅과 수소 환원($600-1000^\circ\text{C}$ 의 관로에서 두 번의 환원)으로 구성되어 고순도 몰리브덴 분말을 생산합니다. 환원 과정에서 수소의 순도($\geq 99.999\%$)와 환원 온도를 제어하여 산소 잔류물을 방지해야 합니다. 환원된 몰리브덴 분말은 순도를 확인하고 ASTM B386 또는 GB/T 3462 표준을 준수하기 위해 화학적으로 분석(예: ICP-OES)해야 합니다.

입자 크기 제어는 원료 전처리의 핵심 부분입니다. 조명용 몰리브덴 와이어는 입자 크기가 $1-5\mu\text{m}$ 이고 입자 크기 분포가 균일한 몰리브덴 분말이 필요합니다(D50은 약 $2-3\mu\text{m}$). 미세하고 균일한 입자 크기는 소결 빌렛의 밀도를 증가시키고 다공성 및 개재물을 줄이는 데 도움이 됩니다. 입자 크기가 너무 크면($>10\mu\text{m}$) 불균일한 소결이 발생하고 몰리브덴 와이어의 기계적 강도에 영향을 미칩니다. 입자 크기가 너무 작으면($<1\mu\text{m}$) 소결 수축이 증가하고 블랭크가 균열될 수 있습니다. 입자 크기 제어는 기류 분류 또는 진동 스크리닝에 의해 이루어지며 일반적인 장비에는 기류 분류기 및 초음파 체가 포함됩니다. 또한, 몰리브덴 분말의 형태는 후속 압축 및 소결 효과에 결정적이며, 구형 분말은 플라즈마 구상화 기술에 의해 제조될 수 있습니다.

4.1.2 도핑 물질(란타넘, 레늄 등)의 선택 및 비율.

도핑된 물질의 선택 및 비율은 고성능 몰리브덴 와이어(예: 몰리브덴 란타넘 와이어 및 몰리브덴 레늄 와이어)를 준비하는 데 있어 핵심 링크이며, 이는 고온에서 크리프 저항, 연성 및 내산화성을 향상시키는 것을 목표로 합니다. 일반적으로 도핑된 물질에는 란탄 산화물 (La_2O_3), 레늄 (Re), 이트륨 산화물 (Y_2O_3) 및 세륨 산화물 (CeO_2)이 포함됩니다.

란탄 산화물 (La_2O_3) : 가장 일반적으로 사용되는 도핑 물질로 일반적으로 질량 기준으로 0.3 % -1.0 %. 란탄 산화물은 나노 스케일 입자 (입자 크기 50-200 nm)의 형태로 몰리브덴 매트릭스에 분산되어 재결정 온도 (1400°C 에서 1800°C 까지)와 크리프 저항을 크게 증가시킵니다. 란탄 산화물은 성능에 대한 불순물(예: 황 및 인)의 영향을 피하기 위해 고순도($\geq 99.99\%$)여야 합니다.

레늄 (Re) : 레늄 (1 % -5 %)을 도핑하여 몰리브덴 레늄의 고용체를 형성하여 연성과 산화 저항을 향상시킵니다. 레늄 분말은 수소 환원에 의해 제조되어야 하며 순도는 $\geq$

저작권 및 법적 책임 선언문

99.98%입니다. 레늄의 높은 비용 (몰리브덴의 약 50-100 배)으로 인해 고급 특수 램프에 주로 사용됩니다.

이트륨 산화물 (Y_2O_3) 및 산화 세륨 (CeO_2) : 0.5 % -2 % 및 0.3 % -1 % 함량의 특수 몰리브덴 와이어에 사용됩니다. 이트륨 산화물은 아크 내식성을 향상시키고 자외선 램프에 적합합니다. 산화세륨은 고온 안정성을 향상시키고 적외선 램프에 적합합니다. 둘 다 고순도($\geq 99.95\%$)와 미세 입자 크기($<100nm$)를 필요로 합니다.

비율 제어: 도핑 비율은 정밀하게 제어해야 하며, 너무 높으면 재료가 연화되거나 비용이 높아질 수 있으며, 너무 낮으면 성능이 크게 향상되지 않습니다. 예를 들어, 란타넘 산화물 함량이 0.8%인 경우 몰리브덴 와이어의 인장 강도는 $1500^{\circ}C$ 에서 400MPa 에 도달할 수 있으며 이는 순수 몰리브덴 와이어보다 50% 높습니다. 비율은 전자 저울 계량 및 화학 분석으로 검증되며 오류는 $\pm 0.01\%$ 로 제어됩니다.

도핑 재료의 선택은 또한 몰리브덴 매트릭스와의 화학적 호환성을 고려해야 합니다. 예를 들어, 란타넘 산화물은 고온에서 몰리브덴과 안정적인 분산상을 형성하는 반면, 레늄은 용액 강화를 통해 결정 구조를 개선합니다. 생산에서는 도핑된 물질의 균일한 분포가 핵심이며, 이는 후속 혼합 공정을 통해 달성됩니다.

4.1.3 원료 전처리(세척, 스크리닝, 혼합)

원료 전처리에는 세척, 스크리닝 및 혼합이 포함되어 몰리브덴 분말 및 도핑 물질의 일관된 품질을 보장합니다.

청소: 몰리브덴 분말은 생산 과정에서 수분, 그리스 또는 산화물을 흡착할 수 있으므로 화학적 세척으로 제거해야 합니다. 일반적으로 사용되는 세척제는 묽은 질산(HNO_3 , 농도 5%-10%) 또는 수산화나트륨($NaOH$, 농도 2%-5%)이며 세척 온도는 $40-60^{\circ}C$ 에서 5-10 분 동안 제어됩니다. 세척 후에는 탈이온수로 행구고 건조($100-150^{\circ}C$ 에서 진공 건조)하여 잔류 불순물을 방지해야 합니다.

체질: $1-5 \mu m$ 의 입자 크기 분포를 보장하기 위해 진동 스크린 또는 공기 분류기를 사용하여 크거나 작은 입자를 제거합니다. 스크리닝 장비는 금속 오염을 방지하기 위해 스테인리스 스틸 또는 세라믹으로 만들어져야 합니다. 스크리닝 과정에서 입자 크기 분포 곡선을 모니터링해야 하며 D90/D10 비율은 균일성을 보장하기 위해 2-3 으로 제어해야 합니다.

혼합: 도핑된 몰리브덴 와이어는 몰리브덴 분말과 도핑된 물질(예: 란타넘 산화물)의 균일한 혼합이 필요합니다. 습식 혼합(예: 에탄올 또는 탈이온수를 매질로 함) 또는 건식 혼합(예: V-믹서)이 일반적으로 사용됩니다. 습식 혼합은 일반적으로 2-4 시간 동안 초음파 분산으로 균일성을 향상시킵니다. 혼합 후, 복합 분말은 도핑 된 입자의 균일 한 분포를 보장하기 위해 분무 건조 (입구 온도 $200-250^{\circ}C$)로 준비됩니다.

전처리 공정은 먼지 오염을 방지하기 위해 깨끗한 환경(청정도 등급 ISO 7)에서 수행해야 합니다. 최첨단 전처리 장비는 효율성과 일관성을 향상시킵니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	5.5×10 ⁻⁸ Ω·m	6.0×10 ⁻⁸ Ω·m	6.5×10 ⁻⁸ Ω·m
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

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

4.2 조명용 폴리브덴 와이어의 제련 및 성형

제련 및 성형은 폴리브덴 와이어 준비의 핵심 링크로, 분말 야금, 소결, 열간 압착, 단조 및 압연을 통해 폴리브덴 분말을 고밀도 블랭크로 변환하여 후속 와이어 드로잉의 기초를 제공합니다.

4.2.1 분말 야금 공정

분말 야금은 조명용 폴리브덴 와이어의 주요 준비 방법이며 이 공정에는 분말 압착, 소결, 열처리 및 성형이 포함됩니다. 그것은 재료 구성 및 미세 구조를 정밀하게 제어하는 장점이 있어 고성능 폴리브덴 와이어 생산에 적합합니다.

분말 압착 : 전처리 된 폴리브덴 분말 또는 도핑 된 분말을 금형에 넣고 유압 프레스 아래의 막대 또는 플레이트 블랭크로 압착합니다. 가압 압력은 100-200 MPa 이며 금형 재료는 오염을 방지하기 위해 고강도 강철 또는 초경합금입니다. 프레스 과정에서 블랭크의 균일성을 보장하기 위해 분말 충전 밀도(약 50%-60% 이론 밀도)를 제어해야 합니다.

사전 소결 : 압축 된 빌렛을 수소 분위기로 (온도 800-1000 °C, 2-4 시간 유지)에서 사전 소결하여 수분 및 휘발성 불순물을 제거하고 빌렛의 강도를 향상시킵니다. 사전 소결에는 산화를 방지하기 위해 수소 유량(1-2m³/h)과 이슬점(<40°C)을 제어해야 합니다.

가공 특성: 분말 야금술은 복잡한 구성을 가진 진한 액체로 처리한 폴리브덴 철사(폴리브덴 란타넘 철사와 같은)를 생성할 수 있고, 누르고는 및 소결 모수의 정확한 통제를 통해 공백의 미세구조를 낙관합니다. 세계 최고의 회사는 자동화 프레스 장비를 사용하여 생산 효율성을 개선합니다.

4.2.2 진공 소결 및 고온 소결 기술

소결은 압착된 빌렛을 고밀도 폴리브덴 빌렛으로 변환하는 데 중요한 단계이며 일반적으로 산화를 피하기 위해 진공 또는 수소 분위기에서 수행됩니다.

진공 소결 : 진공 소결로 (진공도 < 10⁻³ Pa)에서 온도는 1800-2200 °C 로 상승하고 4-8 시간 동안 따뜻하게 유지됩니다. 진공 환경은 잔류 산소를 효과적으로 제거하고 다공성을 줄입니다. 소결 후 블랭크의 밀도는 이론상 밀도 95%-98%에 도달할 수 있으며 입자 크기는 10-50µm 로 제어됩니다.

고온 소결 : 도핑 된 폴리브덴 와이어 (예 : 폴리브덴 란타넘 와이어)의 경우 수소 분위기에서 고온 소결 (2300-2500 °C, 2-4 시간 유지)이 필요합니다. 수소 보호는 란탄 산화물 또는 레늄의 휘발을 방지하고 도핑된 원소의 안정성을 보장합니다. 소결로는 고온을 견디기 위해 텅스텐 또는 폴리브덴 발열체를 장착해야 합니다.

주요 매개변수: 소결 온도, 유지 시간 및 가열 속도를 정밀하게 제어해야 합니다. 과도한 온도(>2600°C)는 과도한 입자 성장을 유발하고 기계적 강도를 감소시킬 수 있습니다. 너무 낮은 온도(<1800°C)는 원하는 밀도를 얻지 못합니다. 최첨단 소결로는

저작권 및 법적 책임 선언문

$\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 온도 제어 정확도를 달성합니다.

적용 의미: 고밀도 소결 블랭크는 후속 와이어 드로잉을 위한 기계적 특성에 대한 좋은 기반을 제공하며 초미세 폴리브덴 와이어(직경 $<0.05\text{mm}$)의 제조에 적합합니다.

4.2.3 열간 프레스, 단조 및 압연 공정

소결 블랭크는 열간 프레스, 단조 및 압연으로 추가 가공되어 와이어 드로잉에 적합한 막대 또는 플레이트를 형성합니다.

열간 압착 : 열간 프레스 (압력 50-100 MPa, 온도 1500-1800 $^{\circ}\text{C}$)에서 소결 블랭크는 미세성을 제거하기 위해 더욱 압축됩니다. 열간 압착은 일반적으로 진공 또는 수소 분위기에서 수행되며 빌릿의 밀도는 99% 이상에 도달할 수 있습니다.

단조: 열간 프레스 블랭크는 다방향 단조 기계(단조 온도 1200-1600 $^{\circ}\text{C}$)에 의해 원통형 또는 사각 막대로 가공됩니다. 단조는 입자를 정제하고(50 μm 에서 20-30 μm 로) 재료 인성을 향상시킵니다. 변형률(0.1-0.5 s^{-1})은 균열을 방지하기 위해 단조 공정 중에 제어해야 합니다.

압연: 단조 바는 열간 압연기(온도 1000-1400 $^{\circ}\text{C}$)에 의해 직경 5-10mm 의 바 또는 플레이트로 압연됩니다. 롤링은 응력 집중을 줄이기 위해 작은 변형(변형당 10%-15%)의 여러 패스를 사용해야 합니다. 압연 막대의 표면은 산화물 스케일을 제거하기 위해 연마해야 합니다.

공정 특성: 열간 가공 공정은 블랭크의 기계적 특성과 가공성을 향상시키고 후속 와이어 드로잉을 위한 고품질 기반을 제공합니다. 중국 기업은 독일의 열간 압연 장비를 도입하여 바의 치수 정확도를 크게 향상시켰습니다.

4.3 조명용 폴리브덴 와이어의 인발 과정

와이어 드로잉 공정은 폴리브덴 막대를 필라멘트로 늘리는 과정으로, 와이어의 치수 정확도, 표면 품질 및 기계적 특성을 직접 결정하는 조명을 위해 폴리브덴 와이어를 준비하는 핵심 기술입니다.

4.3.1 조악한 인발, 정밀한 인발 및 매우 정밀한 인발 기술

철사 그림 과정은 3 개의 단계로 분할됩니다: 조악한 그림, 정밀한 그림 및 매우 정밀한 그림, 철사의 크기는 표적 직경 및 신청 요구에 따라 점차적으로 감소됩니다.

대략적인 도면 : 압연 막대 (직경 5-10mm)는 직경 0.5-2mm 로 늘어납니다. 거친 인발에는 다중 패스 와이어 드로잉 머신(시간당 10%-20% 직경 감소)이 사용되며 금형 재료는 초경합금 또는 천연 다이아몬드입니다. 인발 속도는 1-5m/min 이며 연성을 향상시키기 위해 600-800 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열간 인발이 필요합니다.

미세 드로잉: 백열등, 할로겐 및 HID 램프에 적합한 0.05-0.5mm 직경의 거친 와이어를 그림니다. 미세 드로잉에는 고정밀 다이(공차 $\pm 0.001\text{mm}$)를 사용해야 하며

저작권 및 법적 책임 선언문

드로잉 속도가 0.5-2m/min 으로 감소합니다. 다중 어닐링(800-1000°C)은 가공 경화를 제거하기 위해 미세 인발 과정에서 필요합니다.

초미세 드로잉: 와이어를 직경 0.01-0.05mm 로 늘리면 특수 램프(예: UV 램프)에 적합합니다. 초미세 와이어 드로잉은 다결정 다이아몬드 다이(구멍 직경 정확도 $\pm 0.0005\text{mm}$)와 $< 0.5\text{m/min}$ 의 드로잉 속도가 필요하기 때문에 다이와 윤활제에 대한 요구 사항이 매우 높습니다. 초미세 폴리브덴 와이어의 인장 강도는 1500MPa 이상에 도달할 수 있지만 파손되기 쉽고 공정 매개변수를 엄격하게 제어해야 합니다.

기술적 과제: 초미세 인발의 수율이 낮고(약 70%-80%) 표면 결함이나 와이어의 내부 응력으로 인해 파손이 발생할 수 있습니다. 최첨단 와이어 드로잉 기계는 인라인 장력 제어 및 결함 감지를 통해 수율을 향상시킵니다.

4.3.2 윤활유 선택 및 금형 설계 최적화

윤활유 및 다이 설계는 인발 공정의 핵심이며, 이는 와이어의 표면 품질과 인발 효율에 직접적인 영향을 미칩니다.

윤활제 선택: 흑연 에멀전 또는 이황화 몰리브덴(MoS_2) 윤활제는 고온 안정성과 낮은 마찰 계수(0.1-0.2)로 거칠고 미세한 인발에 일반적으로 사용됩니다. 초미세 인발은 표면 균형을 줄이기 위해 유성 윤활제(예: 폴리에틸렌 글리콜 기반 윤활제)를 사용해야 합니다. 윤활유는 불순물에 의한 오염을 방지하기 위해 정기적으로 교체해야 합니다.

금형 설계: 드로잉 다이는 고경도 재료(예: 초경합금 WC 또는 다결정 다이아몬드 PCD)로 만들어야 합니다. 다이의 구멍 직경은 정밀하게 가공해야 하며(공차 $\pm 0.001\text{mm}$), 인발 응력을 줄이기 위해 진입각($8-12^\circ$)과 감속기 영역의 길이를 최적화해야 합니다. 마찰과 표면 결함을 줄이기 위해 금형 표면을 연마($Ra < 0.05\mu\text{m}$)해야 합니다.

최적화 측정: 고급 도구 설계는 유한 요소 해석(FEA)을 사용하여 와이어 드로잉 중 응력 분포를 시뮬레이션하고 금형 형상을 최적화합니다. 윤활 시스템은 자동 분사 장치를 통해 균일한 윤활유 적용 범위를 보장하고 도면 안정성을 향상시킵니다.

4.3.3 중간 어닐링 및 최종 어닐링 공정

어닐링 공정은 인발 과정에서 가공 경화를 제거하고 폴리브덴 와이어의 연성과 인성을 복원하는 데 사용됩니다.

중간 어닐링 : 800-1000 °C 의 온도에서 거친 그림과 미세 드로잉을 2-3 회 통과 한 후 일반적으로 수소 분위기에서 10-30 초 동안 유지합니다. 중간 어닐링은 와이어의 내부 응력을 50%-70% 감소시키고 입자 크기를 10-20 μm 로 유지합니다.

최종 어닐링: 900-1200°C 의 온도에서 인발한 후 5-15 초 동안 유지하여 와이어의 기계적 특성과 표면 품질을 최적화합니다. 최종 어닐링은 과도한 입자 성장을

저작권 및 법적 책임 선언문

방지하기 위해 냉각 속도(10-50°C/s)를 제어해야 합니다.

공정 특성: 소둔로는 정밀한 온도 제어 시스템(정확도 $\pm 5^{\circ}\text{C}$)을 갖추고 있어야 하며 수소 가스 유량은 0.5-1m³/h 로 제어됩니다. 도핑된 몰리브덴 와이어(예: 몰리브덴 란타넘 와이어)의 어닐링 온도는 도핑된 원소의 안정성을 보장하기 위해 약간 더 높습니다(1000-1300°C).

어닐링 공정은 몰리브덴 와이어의 성능에 매우 중요합니다. 어닐링 온도가 너무 높으면 재결정화로 이어져 강도가 감소할 수 있습니다. 너무 낮은 온도는 스트레스를 적절하게 완화하지 못합니다. 고급 어닐링 장비는 온라인 어닐링을 실현하고 생산 효율성을 향상시킬 수 있습니다.

4.4 조명용 몰리브덴 와이어의 표면 처리 기술

표면 처리 기술은 화학적 세척 및 전해 연마, 흑색 몰리브덴 와이어와 세척 몰리브덴 와이어의 공정 차이 및 표면 코팅 기술을 포함하여 몰리브덴 와이어의 표면 품질, 내식성 및 광학 특성을 개선하는 핵심입니다.

4.4.1 화학적 세척 및 전해 연마

화학적 세척 및 전해 연마는 몰리브덴 와이어 표면에서 산화물, 그리스 및 드로잉 잔류물을 제거하여 표면 마감 및 전기적 특성을 개선하는 데 사용됩니다.

화학적 세척: 산세척액(예: HNO₃-HF 혼합물, 비율 3:1, 농도 5%-10%)으로 40-60°C 에서 1-3 분 동안 세척하여 표면 산화물 층(MoO₂ 또는 MoO₃)을 제거합니다. 세척 후에는 탈이온수로 행구고 건조(100-150°C)하여 잔류산을 방지하십시오. 화학적 세척은 검은색 몰리브덴 와이어를 청소된 몰리브덴 와이어로 변환하는 데 적합합니다.

전해 연마: 몰리브덴 와이어는 전해질의 양극으로 사용되며(예: NaOH 용액, 농도 5%-10%), 전류 밀도는 0.5-2 A/cm², 연마 시간은 10-30 초입니다. 전해 연마는 표면 거칠기를 Ra 0.1-0.5 μm 로 줄이고 반사율(60%-70%) 및 아크 부식에 대한 내성을 향상시킵니다.

공정 특성: 대규모 생산에 적합한 저렴한 화학 세척 비용; 전해 연마는 정확도가 더 높으며 고급 램프(예: 할로겐 램프, HID 램프)에 적합합니다. 폐액 처리는 환경 기준(예: RoHS 지침)을 준수해야 하며, 중화 및 침강 기술은 산 및 알칼리 폐액을 처리하는 데 사용됩니다.

4.4.2 검은색 몰리브덴 와이어와 청소된 몰리브덴 와이어의 공정 차이점

검은색 몰리브덴 와이어와 청소된 몰리브덴 와이어 사이에는 표면 처리 공정 및 적용 시나리오 측면에서 상당한 차이점이 있습니다.

검은 색 몰리브덴 와이어 : Ra 0.5-2.0 μm 의 거칠기로 표면에 산화물 층 (MoO₂ 또는 MoO₃)을 유지합니다. 드로잉 후 공기 또는 저진공(10-100 Pa)에서 어닐링(600-800 °C)하여 직접 산화물 층을 형성합니다. 검은색 몰리브덴 와이어는 산화물 층이

저작권 및 법적 책임 선언문

유리에 대한 접착력을 향상시키지만 아크 안정성이 좋지 않기 때문에 저비용 백열 램프의 지지 필라멘트 또는 밀봉 재료에 적합합니다.

세척 된 몰리브덴 와이어 : 산화물 층은 화학 세척 또는 전해 연마로 제거되며 표면은 Ra 0.1-0.5 μm 의 거칠기로 밝습니다. 세척된 몰리브덴 와이어의 전도성과 아크 내식성은 검은색 몰리브덴 와이어보다 우수하며 할로겐 램프 및 HID 램프의 전극에 적합합니다. 생산 시 추가 세척 및 연마 단계가 필요하며 이로 인해 비용이 약 20%-30% 증가합니다.

공정 차이 : 흑색 몰리브덴 와이어의 생산은 표면 처리 단계를 생략하고 공정이 간단합니다. 세척된 몰리브덴 와이어는 표면에 잔류 결함이 없는지 확인하기 위해 세척 및 연마 매개변수를 엄격하게 제어해야 합니다. 세척된 몰리브덴 와이어를 생산하려면 고정밀 연마 장비가 필요합니다.

4.4.3 표면 코팅 기술(예: 산화 방지 코팅)

표면 코팅 기술은 표면에 산화 또는 부식 방지 코팅(예: 알루미나 Al_2O_3 , 몰리브덴 실리사이드 MoSi_2)을 증착하여 열악한 환경에서 몰리브덴 와이어의 성능을 향상시킵니다.

코팅 유형: 알루미나 코팅(두께 0.1-1 μm)은 적외선 램프에 적합한 내산화성을 향상시킬 수 있습니다. 몰리브덴 실리사이드 코팅(0.5-2 μm 두께)은 아크 내식성을 향상시키며 UV 램프에 적합합니다. Mo_2C 와 같은 카바이드 코팅은 매우 높은 온도 환경에서 사용됩니다.

준비 과정: 코팅을 증착하기 위한 화학 기상 증착(CVD, 온도 800-1200 $^{\circ}\text{C}$) 또는 물리 기상 증착(PVD, 온도 500-800 $^{\circ}\text{C}$). CVD는 복잡한 형태의 몰리브덴 와이어에 적합하며 PVD는 더 높은 코팅 균일성을 제공합니다. 코팅은 벗겨짐을 방지하기 위해 몰리브덴 매트릭스에 단단히 접착되어야 합니다.

공정 특성: 코팅 공정은 진공 또는 불활성 분위기에서 수행해야 하며 장비 비용이 높습니다(예: CVD 로의 가격은 일반 소결로의 약 2-3 배). 코팅 두께는 주사 전자 현미경(SEM)으로 측정하고 접착력은 인장 시험으로 검증합니다.

적용 영향: 코팅된 몰리브덴 와이어는 산화 온도를 1500 $^{\circ}\text{C}$ 이상으로 높이고 램프의 수명을 20%-30% 연장할 수 있지만 비용이 높고 시장 적용은 고급 특수 램프로 제한됩니다.

4.5 조명용 몰리브덴 와이어의 도핑 공정

도핑 공정은 몰리브덴 와이어의 고온 성능과 내구성을 향상시키는 핵심 기술이며, 이는 란타넘, 레늄 및 기타 원소의 도핑 방법, 균일성 제어 및 성능 향상 메커니즘을 포함합니다.

4.5.1 란타넘, 레늄 및 기타 원소의 도핑 방법

도핑 방법에는 주로 습식 도핑, 건식 도핑 및 화학적 동시 침전이 포함됩니다.

습식 도핑: 폴리브덴 분말은 액체 매체(예: 에탄올 또는 탈이온수)에서 도핑된 물질(예: 란타넘 산화물)과 혼합되고 초음파 분산(주파수 20-40kHz, 1-2 시간 동안)에 의해 균질성이 보장됩니다. 혼합 후, 화합물 분말은 분무 건조(입구 온도 200-250 °C)에 의해 제조됩니다. 습식 도핑은 란탄 산화물 및 이트륨 산화물에 적합하고 균일성이 높지만 입자 응집을 피하기 위해 건조 공정을 제어해야 합니다.

건조 도핑 : 폴리브덴 분말은 V 형 또는 더블 콘 믹서에 의해 도핑 된 재료와 건조 혼합되며 혼합 시간은 4-8 시간입니다. 건식 도핑은 레늄이 액체에서 산화되기 쉽기 때문에 레늄 분말에 적합합니다. 믹서의 속도(20-50rpm)는 분말 성층화를 피하기 위해 제어해야 합니다.

화학적 공동 침전: 도핑된 분말은 화학 반응(예: 란타넘 질산염 및 폴리브덴산 암모늄 공동 침전)에 의해 제조되며, 이는 다원소 도핑(예: 란타넘 + 이트륨)에 적합합니다. pH 값(6-8) 및 반응 온도(50-80°C)는 도핑된 원소의 균일한 분포를 보장하기 위해 공동 침전을 위해 제어해야 합니다.

공정 특성: 습식 도핑 균일성이 가장 우수하여 대규모 생산에 적합합니다. 건식 도핑 장비는 간단하고 레늄 도핑에 적합합니다. 화학적 공동 석출은 정밀도가 높지만 비용이 높으며 특수 폴리브덴 와이어에 적합합니다.

4.5.2 도핑 균일성 제어

도핑 균일성은 폴리브덴 와이어의 성능 안정성에 직접적인 영향을 미칩니다. 균일성 제어에는 다음과 같은 측정이 포함됩니다.

분말 혼합: 고정밀 혼합 장비를 사용하여 온라인 샘플링 및 X 선 형광(XRF) 분석을 통해 도핑된 원소의 분포를 확인하고 편차를 $\pm 0.01\%$ 로 제어합니다.

소결 공정: 소결 온도(1800-2500°C)와 유지 시간(2-8 시간)은 도핑 원소의 휘발 또는 분리를 방지하기 위해 최적화되어야 합니다. 예를 들어, 란탄 산화물은 $> 2300^{\circ}\text{C}$ 에서 부분적으로 분해될 수 있으며 소결 분위기(수소 이슬점 $< -40^{\circ}\text{C}$)를 제어해야 합니다.

검출 기술: 에너지 분광법(EDS)과 결합된 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하여 도핑된 입자의 분포를 감지했으며 입자 간격은 $0.5\text{-}2\mu\text{m}$ 로 제어되었습니다. 균일성이 높은 폴리브덴 와이어의 인장 강도는 고온에서 20%-30% 증가할 수 있습니다.

4.5.3 고온 성능 향상을 위한 도핑의 메커니즘

도핑은 다음과 같은 메커니즘을 통해 폴리브덴 와이어의 고온 성능을 향상시킵니다.

결정립계 강화 : 란타넘 산화물, 이트륨 산화물 등은 폴리브덴 결정립계에 나노 입자 형태로 분산되어 전위에 고정되고 결정립 성장 및 크리프를 억제합니다. 예를 들어,

저작권 및 법적 책임 선언문

0.8% 란타넘 산화물로 도핑된 몰리브덴 와이어는 순수 몰리브덴 와이어보다 1500°C에서 크리프 속도가 50% 낮습니다.

용액 강화: 레늄은 몰리브덴 격자에 용해되어 고용체를 형성하여 결정 결함의 밀도를 감소시키고 연성과 내산화성을 향상시킵니다. 3% 레늄이 도핑된 몰리브덴 와이어의 파단 신율은 1200°C에서 20%로 증가합니다.

표면 안정성: 도핑된 원소는 안정적인 표면 구조를 형성하고 산화물 휘발을 억제할 수 있습니다. 예를 들어, 란타넘 산화물 입자는 고온에서 보호 산화물 층을 형성하여 MoO₃ 형성 속도를 감소시킵니다.

4.6 조명용 몰리브덴 와이어의 품질 관리 및 공정 최적화

품질 관리 및 공정 최적화는 공정 매개변수 모니터링, 결함 제어 및 비용 최적화를 포함하여 몰리브덴 와이어의 일관된 성능과 생산성을 보장하는 데 중요합니다.

4.6.1 프로세스 매개변수의 온라인 모니터링

온라인 모니터링은 공정 매개변수를 실시간으로 감지하여 생산 공정의 안정성을 보장합니다.

모니터링 매개변수: 소결 온도($\pm 5^{\circ}\text{C}$), 인발 속도($\pm 0.1\text{m/min}$), 어닐링 온도($\pm 10^{\circ}\text{C}$), 윤활유 유량($\pm 0.1\text{L/min}$) 포함. 센서(예: 열전대, 레이저 속도계) 및 데이터 수집 시스템을 사용한 실시간 기록.

모니터링 장비: 고급 모니터링 시스템은 전체 프로세스의 자동 제어를 실현하고 빅 데이터 분석을 통해 매개변수를 최적화할 수 있습니다. 예를 들어, 인발 공정 중 장력 변동은 $\pm 0.5\text{N}$ 에서 제어됩니다.

응용 분야 영향: 온라인 모니터링은 고장률을 1% 미만으로 줄이고, 몰리브덴 와이어의 치수 정확도와 성능 일관성을 개선하며, 고급 램프의 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

4.6.2 결함 제어(균열, 다공성, 개재물)

결함 제어는 몰리브덴 와이어의 품질을 개선하는 데 핵심이며 일반적인 결함에는 균열, 다공성 및 내포물이 포함됩니다.

균열: 인발 응력 또는 부적절한 어닐링으로 인해 발생합니다. 제어 조치에는 인발 다이 최적화(입구 각도 $8-12^{\circ}$), 인발 속도 감소(울트라필라멘트의 경우 $<0.5\text{m/min}$) 및 중간 어닐링($800-1000^{\circ}\text{C}$)이 포함됩니다. 균열 감지는 초음파 결함 감지 또는 현미경 검사로 수행됩니다.

다공성: 원료의 불충분한 소결 또는 불순물로 인해 발생합니다. 제어 조치에는 소결 온도 증가($2200-2500^{\circ}\text{C}$), 유지 시간 연장(4-8 시간) 및 고순도 수소(이슬점 $<-40^{\circ}\text{C}$) 사용이 포함됩니다. 다공성은 X-ray CT 스캔으로 검출하였으며, 다공성은 $<0.5\%$ 로

저작권 및 법적 책임 선언문

조절하였다.

내포물: 원료의 오염 또는 고르지 않은 도핑으로 인해 발생합니다. 통제 조치에는 원료의 엄격한 세척(HNO_3 세척) 및 습식 도핑 사용이 포함됩니다. 개재물 검출은 에너지 분광법(EDS)으로 수행되었으며 불순물 함량은 $<0.01\%$ 로 제어되었습니다.

4.6.3 생산성 및 비용 최적화

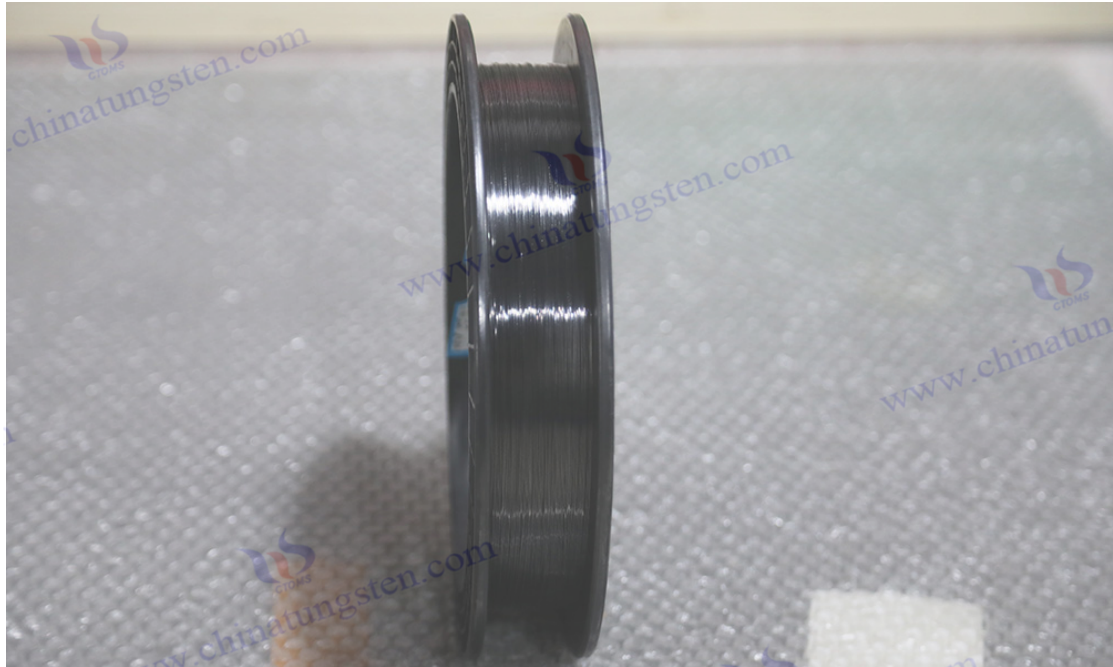
생산 효율성과 비용 최적화는 몰리브덴 와이어 산업의 경쟁력의 핵심입니다.

효율성 향상: 연속 와이어 드로잉 기계(예: 독일 Niehoff 장비)를 사용하여 와이어 드로잉 속도를 5-10m/min 으로 높이고 수율을 90% 이상으로 높입니다. 자동화된 소결 및 어닐링 장비는 생산 주기 시간을 최대 20%까지 단축할 수 있습니다.

비용 최적화: 도면 공정에서 폐기물(예: 끊어진 와이어)을 최대 30%의 스크랩 회수율로 재활용하여 원자재 비용을 절감합니다. 최적화된 윤활유 사용(10%-20% 감소) 및 에너지 소비(소결로 에너지 소비 15% 감소)는 비용을 더욱 절감합니다.

환경 보호 조치: 폐액 처리 시스템(예: 중화 및 침강 장비)은 RoHS 및 REACH 규정을 준수하고 환경 보호 비용을 절감합니다. 저에너지 소결로와 같은 친환경 제조 기술은 에너지를 10%-15%까지 줄일 수 있습니다.

중국 기업은 비용 최적화에서 장점이 있지만 고급 도핑 몰리브덴 와이어의 공정 일관성에 대해 여전히 유럽 및 미국 기업으로부터 배워야 합니다.



CTIA의 조명용 몰리브덴 와이어

저작권 및 법적 책임 선언문

5 장 조명을 위한 몰리브덴 와이어의 사용

조명용 몰리브덴 와이어는 우수한 고온 성능, 화학적 안정성 및 기계적 강도로 인해 다양한 조명 장치에서 중요한 역할을 합니다. 이 장에서는 백열등, 할로겐 램프, 가스 방전 램프, 특수 조명 및 기타 관련 분야에서 몰리브덴 와이어의 구체적인 응용 분야에 대해 자세히 논의하고 기능, 성능 요구 사항 및 시장 상태를 분석합니다.

5.1 백열등

백열 램프는 최초로 널리 사용된 조명 장치였으며 LED 조명의 부상으로 시장이 점차 축소되었지만 여전히 장식 조명, 복고풍 램프 및 저비용 장면에 널리 사용됩니다. 몰리브덴 필라멘트는 주로 백열등의 필라멘트 지지대 및 전도성 부품으로 사용되며 고온 안정성과 유리와의 열팽창 상용성으로 인해 필수 재료가 되었습니다.

5.1.1 필라멘트 지지대 및 전도성 기능

백열등에서 몰리브덴 필라멘트의 주요 기능은 텅스텐 필라멘트를 지지하고 전도성 전극으로 작용하여 안정적인 전류 전달을 보장하고 필라멘트의 기하학을 유지하는 것입니다. 백열등은 텅스텐 필라멘트를 전류로 가열하여 가시광선을 생성하는 방식으로 작동하며, 몰리브덴 필라멘트는 이러한 고온 환경에서 구조적 안정성과 전기적 특성을 유지해야 합니다.

필라멘트 지지대: 텅스텐 필라멘트는 고온에서 연화되거나 처지기 쉬워 광 출력이 고르지 않거나 필라멘트가 파손됩니다. 몰리브덴 필라멘트는 필라멘트를 전구 내부의 지정된 위치에 고정하기 위한 지지 재료로 사용되며, 일반적으로 텅스텐 필라멘트로 감긴 나선형 또는 U 자형 구조입니다. 몰리브덴 와이어의 높은 인장 강도는 필라멘트의 무게와 열 응력을 견딜 수 있음을 보장합니다. 직경이 0.1-0.5mm 인 순수 몰리브덴 와이어는 비용이 저렴하고 가공성이 우수하기 때문에 일반적인 선택입니다.

전도성 기능: 몰리브덴 와이어는 전극 역할을 하여 외부 전원 공급 장치의 전류를 전구 내부로 도입하고 텅스텐 필라멘트와 연결합니다. 낮은 저항률은 Joule 열 손실을 줄이고 에너지 효율을 향상시킵니다. 또한 몰리브덴 와이어는 진공 또는 불활성 가스 누출을 방지하기 위해 기밀 구조를 형성하기 위해 유리로 밀봉해야 합니다. 열팽창 계수는 봉규산 유리의 열팽창 계수와 일치하여 밀봉 영역이 열 순환 중에 균열되지 않도록 합니다.

공정 특성: 백열등용 몰리브덴 와이어는 대부분 순수한 몰리브덴 와이어이며 표면은 일반적으로 검은색 몰리브덴 와이어입니다., 산화물 층이 유리와의 접착력을 향상시킬 수 있기 때문에. 생산에서 몰리브덴 와이어는 일관된 직경 공차와 길이를 보장하기 위해 정밀 도면 및 절단 공정을 통해 필요합니다. 자동 조립 장비는 몰리브덴 와이어와 텅스텐 필라멘트를 정확하게 결합하여 생산 효율성을 향상시킬 수 있습니다.

적용 시나리오: 백열등의 전력 범위는 15-1000W 이며 몰리브덴 와이어는 주로 가정용 전구, 장식용 조명 및 산업용 조명에 사용됩니다. 저전력 전구는 몰리브덴 와이어의 성능이 떨어지는 반면 고출력 전구는 더 높은 전류를 전달하기 위해 더 두꺼운

저작권 및 법적 책임 선언문

몰리브덴 와이어가 필요합니다.

백열등에 몰리브덴 와이어의 응용 기술이 성숙하고 세계 시장은 저비용 조명에 대한 수요를 충족시키기 위해 중국, 인도 및 동남아시아가 지배하고 있습니다.

5.1.2 고온 환경에서의 안정성과 수명

백열등은 내부 온도가 2500°C 이상인 진공 또는 저압 불활성 가스에서 작동하며 몰리브덴 와이어는 램프의 수명을 연장하기 위해 고온에서 기계적 및 화학적 안정성을 유지해야 합니다.

기계적 안정성: 고온에서 몰리브덴 와이어의 인장 강도와 크리프 저항이 핵심입니다. 1500°C 에서 순수 몰리브덴 와이어의 인장 강도는 텅스텐 필라멘트를 지지하기에 충분하지만 크리프 속도는 장기간 작동 후 지지 구조의 변형을 유발할 수 있습니다. 안정성을 향상시키기 위해 도핑된 몰리브덴 와이어는 고출력 백열등에 사용할 수 있으며, 이는 크리프 속도를 50% 이상 감소시키고 1000W 이상의 산업용 조명기구에 적합합니다.

화학적 안정성: 백열등은 진공 또는 아르곤/질소 환경에 있으며 몰리브덴 와이어는 산화 문제에 직면할 필요가 없지만 고온에서 미량의 잔류 산소 또는 수증기와 반응하여 휘발성 MoO_3 를 생성할 수 있습니다. 전구 **vauming** 과정 또는 가스 순수성은 몰리브덴 철사를 보호하기 위해 생산에서 엄격히 통제될 필요가 있습니다. 검은색 몰리브덴 와이어의 산화물 층은 진공 환경에서 안정적이며 성능에 큰 영향을 미치지 않습니다.

수명에 미치는 영향: 몰리브덴 와이어의 안정성은 백열등의 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 지지 와이어의 변형 또는 파손으로 인해 텅스텐 필라멘트가 이동하여 단락 또는 광 감쇠가 발생할 수 있습니다. 밀폐된 전구의 고장은 공기를 유입시켜 필라멘트와 몰리브덴 필라멘트의 급격한 산화를 초래할 수 있습니다. 연구에 따르면 몰리브덴 와이어의 표면 품질과 밀봉 공정을 최적화하면 등기구의 수명을 10%-20% 연장할 수 있습니다.

공정 최적화: 생산 시 중간 어닐링은 몰리브덴 와이어의 연성을 향상시키고 고온에서 취성의 위험을 줄입니다. 표면 세척은 미량의 불순물을 제거하고 화학적 안정성을 더욱 향상시킵니다. 중국 기업은 자동 밀봉 장비와 온라인 테스트 기술을 통해 몰리브덴 와이어의 신뢰성과 램프 및 랜턴의 수명을 보장합니다.

백열등용 몰리브덴 와이어 시장은 점차 축소되고 있지만 장식용 조명에 대한 수요는 안정적이며 2025 년부터 2030 년까지 램프 몰리브덴 와이어 시장의 15%-20%를 여전히 차지할 것으로 예상됩니다.

5.2 할로겐 램프

할로겐 램프는 자동차 조명, 가정 조명 및 전문 조명에 널리 사용되어 할로겐 사이클링을 통해 발광 효율과 수명을 향상시킵니다. 몰리브덴 와이어는 할로겐

저작권 및 법적 책임 선언문

램프의 전극, 지지 와이어 및 밀봉 재료로 사용되며 더 높은 온도와 화학적 환경에 영향을 받습니다.

5.2.1 할로겐 사이클에서 몰리브덴 와이어의 핵심 역할

할로겐 램프의 작동 원리는 증발된 텅스텐 원자와 반응하여 휘발성 텅스텐 할라이드를 형성하는 전구에 소량의 할로겐 가스를 첨가하는 것입니다. 이 텅스텐이 전구의 내벽에 증착되는 것을 방지하고 필라멘트에 텅스텐을 다시 증착시켜 필라멘트의 수명을 연장합니다. 몰리브덴 와이어는 이 주기에서 중요한 역할을 합니다.

전극 기능: 몰리브덴 와이어는 전극 역할을 하여 텅스텐 필라멘트에 전류를 주입하며, 텅스텐 필라멘트는 고전압 및 순간 고전류를 견뎌야 합니다. 낮은 저항률과 높은 전도성은 효율적인 전류 전송을 보장하고 에너지 손실을 줄입니다. 또한 몰리브덴 와이어 전극은 전구 내부의 고전압 환경을 유지하기 위해 유리에 밀봉되어야 합니다.

지원 기능: 몰리브덴 와이어는 텅스텐 필라멘트를 지지하여 고온 및 할로겐 사이클에서 진동하거나 처지는 것을 방지합니다. 0.05-0.3 mm의 직경을 가진 몰리브덴 란타늄 철사는 고열에 그것의 장력 강도 그리고 포복 저항이 순수한 몰리브덴 철사의 그것 보다는 우량하기 때문에 선호됩니다.

할로겐 사이클 지원: 몰리브덴 와이어는 할로겐 가스와 직접 접촉하며 화학적 부식에 강해야 합니다. 할로겐 사이클은 전구의 내벽 근처에 뜨거운 영역을 생성하며 몰리브덴 와이어의 표면은 안정적이어야 하며 요오드 또는 브롬과 휘발성 화합물을 형성하지 않아야 합니다. 연구에 따르면 몰리브덴 와이어는 요오드 환경에서 텅스텐보다 부식 속도가 훨씬 우수합니다.

공정 특성: 할로겐 램프용 몰리브덴 와이어는 대부분 청소된 몰리브덴 와이어이며 전해 연마로 표면 마감 및 내식성이 향상됩니다. 밀봉 공정은 기밀성과 할로겐 가스 안정성을 보장하기 위해 생산 시 정밀하게 제어되어야 합니다.

적용 시나리오: 할로겐 램프는 자동차 헤드라이트, 가정용 스포트라이트 및 무대 조명에 널리 사용됩니다. 자동차용 할로겐 램프는 할로겐 램프 시장의 50% 이상을 차지하며 몰리브덴 와이어에 대한 신뢰성 요구 사항은 매우 높습니다.

할로겐 사이클에서 몰리브덴 와이어의 안정성과 내식성은 할로겐 램프의 핵심 재료가 되었으며 세계 시장은 유럽과 중국이 지배하고 있습니다.

5.2.2 고온 저항 및 화학적 내식성

할로겐 램프의 작동 온도는 백열등보다 훨씬 높고 필라멘트 온도는 3000°C에 도달할 수 있으며 밀봉 부분의 온도는 600-800°C이며 몰리브덴 와이어는 우수한 고온 저항 및 화학적 내식성을 가져야 합니다.

고온 저항: 몰리브덴 와이어는 1500-2000°C에서 기계적 강도와 구조적 안정성을

저작권 및 법적 책임 선언문

유지해야 합니다. 란타넘 산화물의 진한 액체로 처리하기 때문에, 몰리브덴 란타넘 철사의 재결정화 온도는 1800 년 °C 에 증가되고, 장력 강도는 1500 년 °C 에 400 MPa 를 도달할 수 있고, 포복 비율은 순수한 몰리브덴 철사의 그것 보다는 더 낮습니다. 대조적으로, 순수 몰리브덴 와이어는 1500°C 에서 변형되기 쉽습니다. 몰리브덴 란타넘 철사의 우수한 성과는 장기 고열 가동에 있는 필라멘트 지원 그리고 전극의 신뢰성을 지킵니다.

내화학적: 할로겐 가스는 고온에서 부식성이 높으며 몰리브덴 와이어는 침식에 저항해야 합니다. 몰리브덴의 화학적 안정성은 휘발성 할로겐화물의 형성 없이 할로겐 환경에서 안정적인 표면 구조를 형성할 수 있도록 합니다. 청소된 몰리브덴 와이어는 표면 결함이 적고 부식 속도가 검은색 몰리브덴 와이어보다 약 30% 낮습니다. 도핑된 몰리브덴 와이어는 부식 방지 표면층을 형성하여 내식성을 더욱 향상시킵니다.

공정 최적화: 내식성은 생산에서 표면 패시베이션을 통해 향상됩니다. 전기 연마는 표면 거칠기를 Ra 0.2μm 로 줄여 부식 시작 지점을 줄입니다. 밀봉 공정은 몰리브덴 와이어의 열팽창과 일치하도록 유리 조성을 제어해야 합니다.

생활 효과: 몰리브덴 철사의 고열 저항 및 내식성은 할로겐 램프의 생활을 직접 결정합니다. 연구에 따르면 몰리브덴 란타넘 와이어를 사용하는 할로겐 램프의 수명은 4000 시간에 달할 수 있으며, 이는 순수 몰리브덴 필라멘트 램프보다 50% 더 높습니다. 표면 품질과 밀봉 기밀성을 최적화하면 수명을 10%-20% 더 연장할 수 있습니다.

할로겐 램프용 몰리브덴 와이어는 램프 몰리브덴 와이어 시장의 30% 이상을 차지하고 있으며, 2025 년부터 2030 년까지 자동차 조명에 대한 수요로 인해 안정적인 성장을 유지할 것으로 예상됩니다.

5.3 가스 방전 램프

가스 방전 램프는 가스 방전을 통해 빛을 생성하며 발광 효율이 높고 수명이 길며 상업, 산업 및 실외 조명에 널리 사용됩니다. 몰리브덴 와이어는 주로 고전압, 아크 고온 및 복잡한 화학 환경을 견뎌야 하는 가스 방전 램프의 전극 및 밀봉재로 사용됩니다.

5.3.1 고강도 방전 램프용 몰리브덴 와이어(HID).

고강도 가스 방전 램프에는 메탈 할라이드 램프, 고압 나트륨 램프 및 100-150lm/W 의 발광 효율을 가진 크세논 램프가 포함되며 도로 조명, 경기장 및 산업 플랜트에 널리 사용됩니다. 몰리브덴 와이어는 HID 램프의 전극 및 밀봉 재료로 사용되며 매우 높은 성능 요구 사항을 충족해야 합니다.

전극 기능: HID 램프는 아크 방전을 통해 빛을 생성하며 전극은 고전압 및 순간 고전류를 견뎌야 합니다. 몰리브덴 와이어의 높은 용점과 전도성은 높은 아크 온도에서 녹거나 심각한 손실을 입지 않도록 합니다. 직경이 0.03-0.2mm 인 몰리브덴

저작권 및 법적 책임 선언문

란타넘 와이어 또는 몰리브덴 레늄 와이어는 우수한 아크 내식성과 고온 강도로 인해 선호됩니다.

밀봉 기능: 몰리브덴 와이어는 전구 내부의 고압 환경을 유지하기 위해 세라믹 또는 유리로 밀봉됩니다. 그것의 열팽창 계수는 알루미늄 세라믹의 그것과 유사하며 전이 재료를 통해 안정적인 밀봉을 가능하게 합니다. 밀봉 부분은 500-700°C 의 주기적 온도 변화를 견뎌야 하며 몰리브덴 와이어의 기밀성은 램프의 수명에 직접적인 영향을 미칩니다.

성능 요구 사항: HID 램프 전극은 아크로 인한 표면 부식 및 스퍼터링에 저항해야 합니다. 란탄 산화물의 진한 액체로 처리하기 때문에, 몰리브덴 란타넘 철사에는 순수한 몰리브덴 철사의 그것 보다는 더 낮은 아크 내식성 비율 20%가 있습니다. 몰리브덴 레늄 와이어의 연성은 복잡한 전극 모양에 적합하고 아크 안정성을 향상시킵니다.

공정 특성: HID 램프에 사용되는 몰리브덴 와이어는 대부분 세척된 몰리브덴 와이어로 전해 연마를 통해 표면 마감과 아크 안정성을 향상시킵니다. 정밀 와이어 드로잉 및 고온 어닐링은 와이어 일관성을 보장하기 위해 생산에 사용됩니다. 밀봉 공정은 불활성 분위기에서 수행되며 응력 균열을 방지하기 위해 온도 구배가 제어됩니다.

적용 시나리오: 메탈 할라이드 램프는 상업용 조명에 사용되고, 고압 나트륨 램프는 도로 조명에 사용되며, 크세논 램프는 자동차 헤드라이트 및 프로젝션 장비에 사용됩니다. HID 램프는 가스 방전 램프 시장의 70%를 차지하고 램프에 사용되는 몰리브덴 와이어의 양은 25%를 차지합니다.

5.3.2 형광등 전극 재료

형광등은 형광체를 자극하여 50-100lm/W 의 발광 효율로 수은 증기 방전을 통해 빛을 생성하며 사무실, 학교 및 가정 조명에 널리 사용됩니다. 몰리브덴 와이어는 주로 형광등의 전극 재료로 사용되며 방전을 시작하고 유지하는 역할을 합니다.

전극 기능: 형광등 전극은 열전자 방출에 의해 시작되는 저전압 방전을 받습니다. 전극 기관으로서 몰리브덴 와이어는 일반적으로 일 기능을 줄이고 방출 효율을 향상시키기 위해 발광 물질로 코팅됩니다. 직경이 0.05-0.2mm 인 순수 몰리브덴 와이어 또는 몰리브덴 란타넘 와이어가 일반적인 선택입니다.

성능 요구 사항: 몰리브덴 와이어는 수은 증기의 화학적 부식과 아크의 열 충격에 저항해야 합니다. 수은 증기에서 순수한 몰리브덴 와이어의 부식 속도는 형광등의 요구 사항을 충족합니다. 몰리브덴 란타넘 와이어는 아크 부식에 대한 저항력이 강하기 때문에 고출력 형광등에 적합합니다.

공정 특성: 형광등에 사용되는 몰리브덴 와이어는 대부분 청소된 몰리브덴 와이어이며 표면 산화물은 방출 코팅의 접착을 보장하기 위해 화학적 세척으로

저작권 및 법적 책임 선언문

제거됩니다. 전극 형성은 방전 안정성을 보장하기 위해 전극 간격을 제어하기 위해 정밀 스탬핑 또는 권선이 필요합니다. 밀봉 공정은 봉규산 유리wa 일치해야 하며 밀봉 온도는 600-700°C에서 제어됩니다.

적용 시나리오: 형광램프에는 직선형 형광램프, 소형 형광등 및 링 형광등이 포함됩니다. CFL은 형광등 시장의 50%를 차지하며 가정용 조명에 널리 사용됩니다. LED 램프가 점차 형광등을 대체하고 있지만 개발도상국에서는 여전히 형광램프에 대한 수요가 있으며 몰리브덴 와이어는 램프 몰리브덴 와이어의 10%를 차지합니다.

시장 현황: 형광등 시장은 환경 규제로 인해 축소되었지만 저렴한 비용 이점으로 인해 아시아와 아프리카에 남아 있습니다. 중국은 형광등용 몰리브덴 와이어의 주요 생산국으로 인도와 동남아시아에 수출됩니다.

형광등용 몰리브덴 와이어는 기술적 임계값이 낮지만 전극 코팅 및 밀봉의 품질은 시동 성능과 수명을 보장하기 위해 엄격하게 제어되어야 합니다.

5.4 특수 조명

특수 조명은 자동차 헤드라이트, 프로젝션 라이트, 무대 조명, UV 조명, 적외선 및 의료 조명을 포함한 특정 스펙트럼, 환경 또는 용도를 위해 설계되었습니다. 몰리브덴 와이어는 특수 조명에서 높은 신뢰성, 복잡한 모양 및 극한 환경의 요구 사항을 충족해야 합니다.

5.4.1 헤드 램프 및 안개등

자동차 헤드램프 및 안개등은 높은 밝기, 긴 수명 및 진동 저항이 필요하며 몰리브덴 와이어는 주로 할로겐 램프 및 크세논 램프의 전극, 지지 와이어 및 밀봉 재료에 사용됩니다.

기능: 할로겐 헤드램프에서 몰리브덴 와이어는 전극 및 지지 와이어 역할을 하며 12-24V의 전압과 5-10A의 전류를 견디며 텅스텐 필라멘트를 지지합니다. 크세논 램프에서 몰리브덴 와이어는 전극 역할을 하며 20-30kV의 시작 전압과 높은 아크 온도를 받습니다. 몰리브덴 와이어는 또한 고압 환경을 유지하기 위해 유리 또는 세라믹으로 밀봉해야 합니다.

성능 요구 사항: 자동차 램프는 진동과 열 순환에 저항해야 합니다. 몰리브덴 란타넘 와이어 및 몰리브덴 레늄 와이어는 고온에서 우수한 강도와 연성으로 인해 자동차 램프에 적합합니다. 아크 내식성과 표면 마감은 아크 안정성에 매우 중요합니다.

공정 특성: 자동차 램프에 사용되는 몰리브덴 와이어는 대부분 세척된 몰리브덴 와이어로 전해 연마를 통해 내식성을 향상시킵니다. 전극은 $\pm 0.005\text{mm}$ 의 허용 오차로 정밀하게 성형되어야 합니다. 밀봉 공정에는 기밀성과 일관성을 보장하기 위해 자동화 장비를 사용해야 합니다.

적용 시나리오: 할로겐 헤드램프는 자동차 조명 시장의 60%를 차지하고 크세논

저작권 및 법적 책임 선언문

램프는 20%를 차지하며 주로 고급 모델에 사용됩니다. 안개등은 안개를 통과해야 하기 때문에 할로겐 램프를 더 자주 사용합니다. 글로벌 자동차 생산은 램프에 사용되는 몰리브덴 와이어의 20%를 차지하는 몰리브덴 와이어에 대한 수요를 주도합니다.

시장 상태: 유럽과 중국이 주요 시장이며 중국 기업은 비용 이점을 통해 저가형 시장을 점유하고 있습니다.

5.4.2 프로젝션 램프, 무대 조명 및 사진 조명

프로젝션 램프, 무대 조명 및 사진 램프는 높은 밝기, 정밀한 빔 및 긴 수명을 요구하며 몰리브덴 와이어는 주로 HID 램프 및 할로겐 램프의 전극 및 지지 재료로 사용됩니다.

기능: 프로젝션 램프에서 몰리브덴 와이어는 10-20kV 의 시동 전압과 높은 아크 온도를 받는 HID 램프 전극 역할을 합니다. 무대 조명 및 사진 조명은 주로 할로겐 램프 또는 크세논 램프를 사용하며 몰리브덴 와이어는 텅스텐 필라멘트 또는 가이드 아크를 지지하기 위한 지지 와이어 및 전극으로 사용됩니다. 0.05-0.2 mm 의 직경을 가진 몰리브덴 란타넘 철사 또는 몰리브덴 rhenium 철사는 일반적인 선택입니다.

성능 요구 사항: 높은 아크 안정성과 열 충격 저항이 필요합니다. 몰리브덴 레늄 와이어는 연성이 우수하여 복잡한 전극 모양에 적합합니다. 표면 마감은 아크 스패터를 줄이고 광 출력 효율을 향상시킵니다.

공정 특성: 프로젝션 램프용 몰리브덴 와이어는 내식성을 향상시키기 위해 초미세 와이어 드로잉 및 표면 패시베이션 처리가 필요합니다. 무대 조명을 몰리브덴 와이어는 크리프 저항을 개선하기 위해 고온에서 어닐링해야 합니다. 밀봉 공정은 고순도 알루미늄 세라믹과 일치해야 하며 온도는 800-1000°C 에서 제어됩니다.

적용 시나리오: 프로젝션 램프는 교육 및 상업용 디스플레이에 사용되고, 무대 조명은 극장 및 콘서트에 사용되며, 사진 조명은 영화 및 TV 촬영에 사용됩니다. 글로벌 전문 조명 시장 규모는 램프에 사용되는 몰리브덴 와이어의 10%를 차지하는 몰리브덴 와이어에 대한 수요를 주도하고 있습니다.

시장 상태: 외국 기업이 주요 공급업체이며 중국 기업은 저가 시장에서 경쟁력이 있습니다.

5.4.3 자외선 램프, 적외선 램프 및 의료용 조명

자외선, 적외선 및 의료용 조명은 특정 스펙트럼 또는 응용 분야에 따라 다르며 몰리브덴 필라멘트는 높은 화학적 안정성과 복잡한 환경 요구 사항을 충족해야 합니다.

자외선 램프 : 살균, 경화 및 수처리에 사용되는 몰리브덴 와이어는 수은 증기 방전을 견디는 전극으로 사용됩니다. 몰리브덴 이트륨 와이어 또는 몰리브덴 세륨 와이어는 수은 부식에 대한 강한 내성으로 인해 선호됩니다. 표면 코팅은 서비스 수명을 더욱

저작권 및 법적 책임 선언문

늘릴 수 있습니다.

적외선 램프: 난방 및 산업용 건조에 사용되며 몰리브덴 와이어는 지지 와이어 또는 전극으로 2000-2500°C 의 고온을 견딥니다. 몰리브덴 란타넘 와이어는 우수한 크리프 저항으로 인해 적외선 램프에 적합합니다. 표면 마감은 방사선의 효율을 향상시킵니다.

의료용 조명: 할로겐 램프 또는 HID 램프, 몰리브덴 와이어를 전극 및 지지 와이어로 사용하는 수술용 및 치과용 램프와 같은 램프는 높은 신뢰성과 정확한 광 출력이 필요합니다. 몰리브덴 레늄 와이어의 연성은 복잡한 전극 설계에 적합합니다.

공정 특성: 자외선 램프용 몰리브덴 와이어는 정밀 와이어 드로잉 및 표면 패시베이션이 필요하고, 적외선 램프용 몰리브덴 와이어는 고온 어닐링이 필요하며, 의료용 램프용 몰리브덴 와이어는 엄격한 결함 감지가 필요합니다. 밀봉 공정은 특수 유리 와 일치해야 하며 온도는 900-1100°C 로 제어됩니다.

적용 시나리오: UV 램프는 병원 및 수처리에 사용되고, 적외선 램프는 산업용 난방에 사용되며, 의료용 조명은 수술실에 사용됩니다. 특수 조명 시장은 부가가치가 높으며 몰리브덴 와이어의 양은 램프에 사용되는 몰리브덴 와이어의 10%를 차지합니다.

시장 현황: 외국 기업이 주요 공급업체이며 중국 기업은 자외선 램프용 몰리브덴 와이어 분야에서 점차 부상하고 있습니다.

5.5 다른 적용 영역

조명 외에도 몰리브덴 와이어는 진공 전자 장치, EDM 및 고온로에서 중요한 응용 분야를 가지고 있어 다재다능함을 보여줍니다.

5.5.1 진공 전자 장치(튜브, X 선관)

진공 전자 장치는 진공 상태에서 전자의 움직임을 사용하여 신호 증폭 또는 이미징을 달성하고 몰리브덴 와이어는 전극, 게이트 또는 지지 재료로 사용됩니다.

기능: 전자관에서 몰리브덴 와이어는 고온과 전자 충격을 견디는 음극 또는 게이트 역할을 합니다. X 선관에서 몰리브덴 와이어는 표적 지지대 또는 전극 역할을 하며 고전압과 아크를 받습니다. 0.05-0.2 mm 의 직경을 가진 몰리브덴 란타넘 철사 또는 몰리브덴 rhenium 철사는 일반적인 선택입니다.

성능 요구 사항: 높은 전도성, 아크 내식성 및 고온 안정성이 필요합니다. 몰리브덴 레늄 와이어는 우수한 연성으로 인해 복잡한 게이트 구조에 적합합니다. 표면 마감은 전자 방출의 불균일성을 줄입니다.

공정 특성: 초미세 와이어 드로잉 및 전해 연마가 필요하며 밀봉 공정은 특수 유리 와 일치합니다. 불순물 오염을 방지하기 위해 생산 시 진공도를 엄격하게 제어해야 합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

적용 시나리오: 튜브는 하이파이 및 레이더에 사용되며 X 선관은 의료 이미징 및 산업 검사에 사용됩니다. 진공 전자 장치의 시장 규모는 작고 몰리브덴 와이어의 양은 전체 시장의 5%를 차지합니다.

5.5.2 방전 가공(EDM)용 몰리브덴 와이어.

EDM 은 EDM 을 통해 재료를 제거하며 몰리브덴 와이어는 전극 와이어로 사용되어 금형 제작 및 정밀 가공에 널리 사용됩니다.

기능: 몰리브덴 와이어는 직경이 0.1-0.3mm 인 EDM 에서 방전 전극으로 작용하며 고주파 펄스 전류가 적용됩니다. 높은 용점과 인장 강도는 전극이 녹거나 파손되지 않도록 합니다.

성능 요구 사항: 높은 전도성과 아크 내식성이 필요합니다. 순수한 몰리브덴 와이어는 저렴한 비용으로 인해 주요 선택입니다. 표면 마감은 배출 안정성을 향상시킵니다.

공정 특성: 와이어의 일관성을 보장하기 위해 정밀 와이어 드로잉 및 어닐링이 필요합니다. 연속 와이어 드로잉 머신은 효율성을 향상시키기 위해 생산에 사용됩니다.

응용 시나리오: EDM 은 항공 우주, 자동차 금형 및 의료 기기 제조에 사용됩니다. 몰리브덴 와이어는 EDM 전극 와이어 시장의 30%를 차지하며 중국이 주요 생산업체입니다.

5.5.3 고온로 발열체 및 열전대

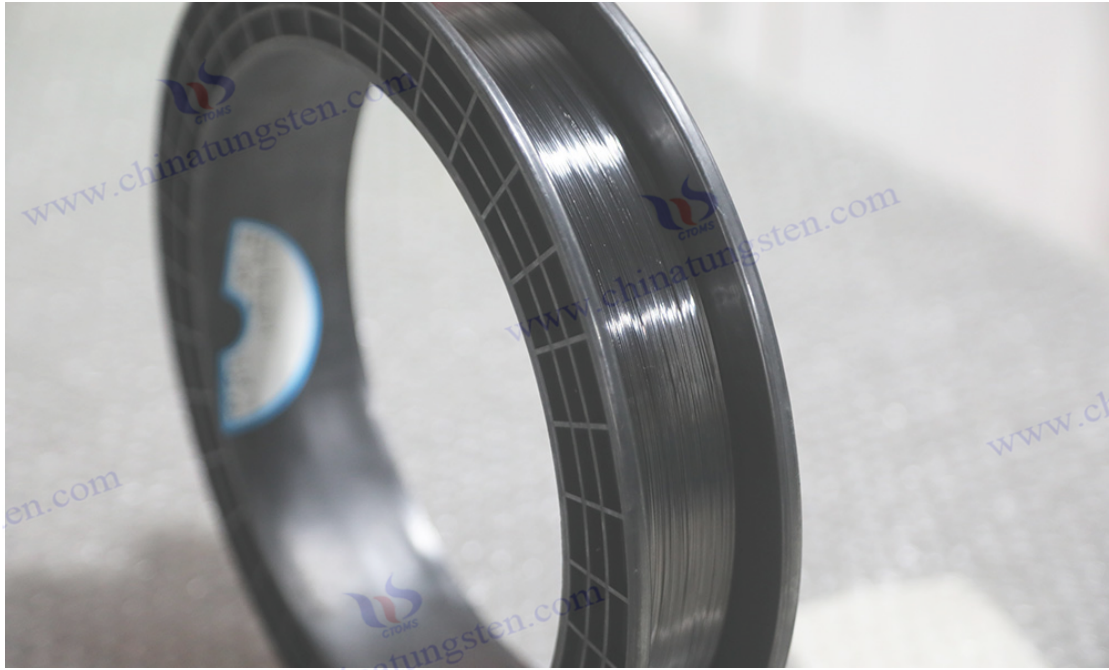
몰리브덴 와이어는 극한의 고온을 견디기 위해 고온로에서 발열체 또는 열전대 외피로 사용됩니다.

기능: 발열체로서 몰리브덴 와이어는 줄 가열을 통해 고온을 발생시키며, 이는 높은 저항률과 고온 저항을 필요로 합니다. 열전대 보호 피복으로서 몰리브덴 와이어는 열전대를 부식으로부터 보호합니다. 직경이 0.5-2.0mm 인 순수 몰리브덴 와이어 또는 몰리브덴 란타넘 와이어가 일반적인 선택입니다.

성능 요구 사항: 내산화성 및 크리프 저항이 필요합니다. 1800°C 에서 몰리브덴 란타넘 와이어의 크리프 속도는 순수 몰리브덴 와이어보다 낮아 장기간 작동에 적합합니다.

공정 특성: 거친 와이어 드로잉 및 고온 어닐링이 필요하며 표면은 산화 방지층으로 코팅될 수 있습니다. 생산 중에 입자 크기를 제어해야 합니다.

적용 시나리오: 고온로는 재료의 소결 및 열처리에 사용되며 열전대는 온도 측정에 사용됩니다. 몰리브덴 와이어는 이 분야에서 전체 시장의 5%를 차지하는 데 사용됩니다.



CTIA의 조명용 폴리브덴 와이어

Chapter 6 조명용 폴리브덴 와이어 생산 장비

조명용 폴리브덴 와이어의 생산은 첨단 특수 장비에 의존하는 원료 가공에서 완제품 테스트에 이르기까지 여러 링크를 포함하는 고정밀, 하이테크 프로세스입니다. 이 장에서는 원료 취급 장비, 제련 및 성형 장비, 와이어 드로잉 장비, 표면 처리 장비, 검사 및 품질 관리 장비를 포함하여 조명용 폴리브덴 와이어 생산에 필요한 다양한 유형의 장비에 대해 자세히 설명합니다. 각 섹션에서는 조명용 폴리브덴 와이어 생산에서 장비의 기능, 기술 매개변수, 공정 특성 및 역할에 대한 심층 분석을 제공하고 고성능 폴리브덴 와이어 생산 장비에 대한 조명 산업의 수요를 충족하기 위해 세계 최고의 장비 공급업체 및 산업 관행과 함께 포괄적인 기술 설명을 제공합니다.

6.1 램프용 폴리브덴 와이어 원료 가공 장비

원료 가공은 조명용 폴리브덴 와이어 생산의 첫 번째 단계로, 폴리브덴 분말 연삭, 스크리닝, 도핑된 재료의 혼합 및 원료 정제를 포함하며, 이는 후속 공정의 성공률과 폴리브덴 와이어의 품질에 직접적인 영향을 미칩니다. 다음은 연삭 및 스크리닝, 도핑 혼합 및 정제 장비의 세 가지 측면에서 상세한 분석입니다.

6.1.1 폴리브덴 분말 분쇄 및 스크리닝 장비

폴리브덴 분말의 입자 크기와 형태는 소결 블랭크의 밀도와 폴리브덴 와이어의 성능에 결정적이며, 연삭 및 스크리닝 장비는 균일 한 입자 크기 (입자 크기 1-5 μm , 순도 $\geq 99.95\%$)의 고순도 폴리브덴 분말을 제조하는 데 사용됩니다.

연삭 장비: 일반적으로 사용되는 장비에는 유성 볼 밀과 제트 밀이 포함됩니다. 유성 볼 밀 (예 : 독일 Fritsch Pulverisette 시리즈)은 고속 회전 연삭 공 (지르코니아 또는

저작권 및 법적 책임 선언문

초경합금으로 제작)을 사용하여 2-6 시간의 분쇄 시간과 200-400 rpm 의 속도로 거친 폴리브덴 분말 (입자 크기 10-50 μm)을 1-5 μm 로 분쇄합니다. Jet Mills (예 : 독일의 NETZSCH Jet Mill)는 고속 공기 흐름 (압력 0.5-1 MPa)을 사용하여 충돌 및 분쇄하며, 이는 소결 성능을 향상시키기 위해 구형 또는 거의 구형 폴리브덴 분말의 생산에 적합합니다. 분쇄 공정은 산화를 피하기 위해 불활성 분위기(예: 아르곤) 또는 진공 상태에서 수행됩니다.

스크리닝 장비 : 진동 스크리닝 기계 및 공기 분류기는 폴리브덴 분말의 입자 크기 분포를 제어하는 데 사용됩니다. 진동 체질 기계 (예 : 독일의 Retsch AS 200)는 다층 스크린 (공극 크기 1-10 μm)을 통해 다양한 입자 크기의 분말을 분리하며 스크리닝 효율은 95 % 이상에 도달 할 수 있습니다. 공기 분류기(예: 독일의 Hosokawa Alpine)는 2-3 μm 에서 D50 을 정확하게 제어하고 2-3 에서 D90/D10 비율을 정확하게 제어하여 공기 분리를 통해 입자 크기 균일성을 보장할 수 있습니다. 장비는 금속 오염을 방지하기 위해 스테인리스 스틸 또는 세라믹으로 라이닝되어야 합니다.

공정 특성: 분쇄 장비에는 폴리브덴 분말의 산화 또는 응집을 방지하기 위해 분쇄 온도(<50°C)를 제어하기 위한 냉각 시스템(수냉식 또는 액체 질소 동결)이 장착되어야 합니다. 스크리닝 장비에는 입자 크기 분포를 실시간으로 모니터링하기 위해 온라인 입자 크기 분석기(예: 레이저 입자 크기 분석기)가 장착되어 있어야 합니다. 고급 연삭 및 스크리닝 장비는 분말 수율을 98% 이상으로 증가시킬 수 있습니다.

응용 프로그램 영향 : 균일 한 폴리브덴 분말 입자 크기 및 구형 형태는 소결 블랭크의 밀도 (95 % -98 %)를 증가시키고 다공성 및 개재물을 줄이며 후속 와이어 드로잉을위한 고품질 원료를 제공 할 수 있습니다.

6.1.2 도판 혼합 및 균질화 장비

도핑된 물질(예: 란타넘 산화물, 레늄)의 균일한 분포는 고성능 폴리브덴 와이어(예: 폴리브덴, 폴리브덴-레늄 와이어)를 준비하는 데 핵심이며, 혼합 및 균질화 장비는 도핑된 원소의 균일성을 보장하는 데 사용됩니다.

혼합 장비: 초음파 분산기 및 유성 믹서는 일반적으로 습식 혼합에 사용됩니다. 초음파 분산기 (예 : 미국의 Hielscher UP400St)는 고주파 진동 (20-40 kHz)을 통해 액체 매체 (예 : 에탄올)에 폴리브덴 분말 및 도핑 된 물질 (예 : 란타넘 산화물, 입자 크기 50-200 nm)을 분산시키고 혼합 시간은 1-2 시간이고 균일 성 편차는 <0.01 %입니다. 유성 혼합기(예: 독일의 EIRICH RV02)는 다방향 혼합(50-100rpm)을 통해 습식 또는 건식 혼합을 달성하며 대규모 생산에 적합합니다. 건식 혼합은 V 형 또는 이중 콘 믹서 (예 : 중국 난통 혼합 장비 공장의 제품)를 채택하고 혼합 시간은 4-8 시간으로 레늄 분말 도핑에 적합합니다.

균질화 장비: 분무 건조기(예: 독일 Büchi B-290)는 입구 온도가 200-250°C 이고 출구 온도가 80-100°C 인 습식 혼합 후 분말 건조에 사용되어 균일한 복합 분말을 제조하는 데 사용됩니다. 분무 건조는 도핑된 입자의 응집을 피할 수 있으며 입자 간격은 0.5-2 μm 로 제어됩니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

공정 특성: 혼합 장비는 먼지 오염을 방지하기 위해 깨끗한 환경(ISO 7 등급)에서 작동해야 합니다. 초음파 분산기는 고정밀 도핑의 소량 배치에 적합하고 분무 건조기는 대규모 생산에 적합합니다. 균질화 장비에는 X 선 형광(XRF) 분석을 통해 도핑 균일성을 검증하기 위해 인라인 샘플링 시스템이 장착되어야 합니다.

적용 영향 : 균일 한 도핑 분포는 고온에서 몰리브덴 와이어의 인장 강도와 크리프 저항을 향상시킬 수 있습니다 (1500 °C 에서 20 % -30 %).

6.1.3 원료 정제 장비

원료 정화 장비는 순도가 99.95% 이상에 도달하도록 몰리브덴 분말의 불순물(예: 철, 실리콘, 산소)을 제거하는 데 사용됩니다.

수소 환원로: 관형 수소 환원로(예: 중국 Zhuzhou 초경합금 공장 장비)는 삼산화몰리브덴(MoO_3)을 고순도 몰리브덴 분말로 환원시키는 데 사용됩니다. 환원 온도는 600-1000 °C, 수소 순도 $\geq 99.999\%$, 이슬점 $<-40\text{ }^\circ\text{C}$, 환원 시간은 4-8 시간입니다. 장비에는 온도 구배($\pm 5^\circ\text{C}$)를 제어하고 산소 잔류물을 방지하기 위해 다단계 가열 영역이 장착되어야 합니다.

화학 세척 장비 : 산세척 탱크 (부식 방지 PTFE 로 제작)는 몰리브덴 분말 표면의 산화물 및 그리스를 제거하는 데 사용되며, 일반적으로 사용되는 세척제는 묽은 질산(HNO_3 , 농도 5 % -10 %) 또는 수산화 나트륨 (NaOH , 농도 2 % -5 %), 세척 온도 40-60 °C, 시간 5-10 분. 세척 후에는 탈이온수로 헹구고 진공 건조(100-150°C)하십시오.

공정 특성: 수소 환원로는 환경 보호 요구 사항을 충족하는 미반응 수소 및 산화물 가스를 처리하기 위해 배기 가스 처리 시스템(예: 흡수탑)을 장착해야 합니다. 화학 세척 장비에는 RoHS 지침을 준수하기 위해 폐기물 처리 시스템(중화 침전)이 장착되어야 합니다. 정화 장비는 불순물 함량을 0.01% 미만으로 줄일 수 있습니다.

적용 영향 : 고순도 몰리브덴 분말은 소결 블랭크의 개재물을 줄이고 몰리브덴 와이어의 화학적 안정성과 전기적 특성을 향상시킬 수 있습니다.

6.2 램프용 몰리브덴 와이어 제련 및 성형 장비

제련 및 성형 장비는 몰리브덴 분말을 진공 소결, 열간 압착, 단조 및 압연 공정을 포함하는 후속 와이어 드로잉의 기초를 제공하는 고밀도 블랭크로 변환하는 데 사용됩니다.

6.2.1 진공 소결로 및 대기 보호로

소결로는 고밀도 몰리브덴 블랭크를 준비하기 위한 핵심 장비로 진공 소결로와 대기 보호로로 구분됩니다.

진공 소결로 : 독일의 ALD Vacuum Technologies 의 VIGA 시리즈와 같이 작동 진공도는 $<10^{-3}\text{ Pa}$, 온도는 1800-2200 °C, 유지 시간은 4-8 시간입니다. 몰리브덴 또는 텅스텐 발열체는 용광로에 사용되며 고온에 강하고 블랭크를 오염시키지 않습니다. 소결 후

저작권 및 법적 책임 선언문

블랭크의 밀도는 95%-98%에 도달할 수 있으며 입자 크기는 10-50 μ m입니다. 장비에는 고정밀 온도 제어 시스템($\pm 5^{\circ}\text{C}$)과 진공 펌프(기계식 펌프 + 확산 펌프)가 장착되어 무산소 환경을 보장해야 합니다.

분위기 보호로 : 중국 상하이에있는 Chenhua 전기로의 수소 소결로와 같은 작동 온도는 2300-2500 $^{\circ}\text{C}$, 수소 가스 유량은 1-2 m^3 / h , 이슬점은 $< -40^{\circ}\text{C}$ 이며 도핑 된 몰리브덴 와이어 (예 : 몰리브덴 란타넘 와이어)를 소결하기에 적합합니다. 몰리브덴 차폐는 열 복사 손실을 줄이기 위해 용광로에서 사용됩니다. 대기 보호는 도핑 원소의 휘발을 방지하고 안정적인 성능을 보장합니다.

공정 특성: 진공 소결은 순수 몰리브덴 블랭크에 적합하고 분위기 보호로는 도핑된 몰리브덴 와이어에 적합합니다. 둘 다 수소 또는 휘발성 산화물을 처리하기 위한 배기 가스 처리 시스템을 갖추고 있어야 합니다. 고급 소결로는 PLC 제어를 통해 자동 작동을 실현하여 수동 오류를 줄입니다.

응용 분야 영향: 고밀도 블랭크는 와이어 드로잉 공정 중 균열 및 와이어 파손 위험을 줄이고 수율을 향상시킵니다.

6.2.2 핫 프레스 및 다방향 단조 장비

열간 프레스 및 단조 장비는 소결 블랭크를 더욱 압축하고 다공성을 제거하며 기계적 특성을 향상시키는 데 사용됩니다.

열 프레스 : 일본 Sodick 의 열 프레스와 같이 작동 압력은 50-100 MPa, 온도는 1500-1800 $^{\circ}\text{C}$, 진공도는 $< 10^{-2} \text{ Pa}$ 입니다. 이 장비는 유압 시스템을 채택하고 압력 제어 정확도는 0.1MPa $\pm$ 고밀도 블랭크($> 99\%$) 생산에 적합합니다. 핫 프레스에는 고온에 강하고 블랭크를 오염시키지 않는 몰리브덴 또는 흑연 몰드가 장착되어야 합니다.

다방향 단조 장비: 독일 SMS Group 의 다방향 단조 기계와 같은 단조 온도는 1200-1600 $^{\circ}\text{C}$ 이고 변형률은 0.1-0.5 s^{-1} 입니다. 이 기계는 입자를 정제하고(50 μ m 에서 20-30 μ m 로) 다축 협업 단조를 통해 빌릿의 인성을 향상시킵니다. 단조 후 산화물 스케일을 제거하기 위해 블랭크 표면을 연마해야 합니다.

공정 특성: 핫 프레스는 소형 블랭크(직경 $< 50\text{mm}$)에 적합하고 다방향 단조는 대형 바(직경 50-100mm)에 적합합니다. 장비에는 빌릿 온도 구배($\pm 10^{\circ}\text{C}$)를 제어하기 위해 냉각 시스템(수냉식 또는 공냉식)이 장착되어 있어야 합니다. 자동 제어 시스템은 생산 효율성을 10%-15%까지 향상시킬 수 있습니다.

응용 분야 영향: 열간 프레스 및 단조는 블랭크의 인장 강도(실온에서 20% 증가)와 가공성을 크게 향상시켜 초미세 와이어 드로잉의 기초를 제공할 수 있습니다.

6.2.3 정밀 압연기

정밀 압연기는 단조 블랭크를 직경이 5-10mm 인 바 또는 플레이트로 가공하는 데 사용되며 후속 와이어 드로잉에 적합합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

장비 유형: 독일 Kocks 의 정밀 압연기와 같이 작동 온도는 1000-1400°C 이고 압연 속도는 1-5m/s 입니다. 이 기계는 다중 패스 압연(시간당 10%-15% 변형)이며 치수 정확도(공차 $\pm 0.01\text{mm}$)를 보장하기 위해 초경 롤(경도 HRC 80-90)이 장착되어 있습니다.

공정 특성: 압연기에는 빌렛의 고온 연성을 유지하기 위해 가열 시스템(유도 가열 또는 저항 가열)이 장착되어야 합니다. 표면 연마 장치(예: 벨트 연마기)는 산화물 스케일을 제거하는 데 사용되며 거칠기는 Ra 1-2 μm 에서 제어됩니다. 자동화된 압연 라인은 연속 생산을 달성하고 효율성을 20% 높일 수 있습니다.

적용 영향: 정밀 압연은 바의 치수 일관성과 표면 품질을 개선하고 드로잉 다이 마모를 줄입니다.

6.3 조명용 물리브텐 와이어용 와이어 드로잉 장비

와이어 드로잉 장비는 물리브텐 로드를 필라멘트로 스트레칭하는 핵심 장비로, 멀티 패스 와이어 드로잉, 다이 설계, 윤활 시스템 및 어닐링 공정을 포함하며 물리브텐 와이어의 치수 정확도와 기계적 특성을 직접 결정합니다.

6.3.1 다중 통과 철사 그림 기계 및 지속적인 철사 그림 장비

와이어 드로잉 머신은 막대를 직경 0.01-2mm 의 물리브텐 와이어로 늘리는 데 사용되며, 이는 다중 패스 와이어 드로잉 머신과 연속 와이어 드로잉 머신으로 나뉩니다.

멀티 패스 드로잉 머신 : 거친 드로잉 (0.5-2 mm 직경) 및 미세 드로잉 (0.05-0.5 mm)에 적합한 독일 Niehoff MMH 시리즈와 같은. 장비에는 직경이 10%-20% 감소하고 드로잉 속도가 1-5m/min 일 때마다 여러 세트의 와이어 드로잉 다이(5-20 회 통과)가 장착되어 있습니다. 철사 그림 기계는 철사의 균동성을 지키기 위하여 긴장 ($\pm 0.5\text{ N}$)를 통제하도록 자동 귀환 제어 장치 모터를 이용합니다.

연속 드로잉 장비: 이탈리아 Frigerio 의 연속 드로잉 라인과 같이 초미세 드로잉(직경 0.01-0.05mm)에 적합합니다. 이 기계는 0.1-0.5m/min 의 속도와 0.001mm 의 공차로 멀티 패스 드로잉, 어닐링 및 와인딩 $\pm$ 통합합니다. 연속 드로잉은 생산 효율성을 최대 30%까지 높일 수 있습니다.

프로세스 특성: 와이어 드로잉 기계에는 와이어 파손을 방지하기 위해 온라인 장력 감지 및 단선 경보 시스템이 장착되어야 합니다. 초미세 와이어 드로잉은 열팽창의 영향을 줄이기 위해 일정한 온도 환경(20-25°C)에서 수행해야 합니다. 이 장비는 자동화 수준이 높아 수동 개입을 줄일 수 있습니다.

응용 프로그램 영향: 연속 와이어 드로잉 장비는 수율이 90% 이상인 대규모 생산에 적합하며 할로겐 램프 및 HID 램프용 물리브텐 와이어에 적합합니다.

6.3.2 고정밀 금형 및 윤활 시스템

다이 및 윤활 시스템은 드로잉 프로세스의 핵심이며, 이는 물리브텐 와이어의 표면

저작권 및 법적 책임 선언문

품질과 치수 정확도에 직접적인 영향을 미칩니다.

고정밀 금형 : 일본 스미토모의 PCD 금형과 같은 텅스텐 카바이드 (WC) 또는 다결정 다이아몬드 (PCD) 재료가 사용됩니다. 공구 구멍 허용 오차 $\pm 0.001\text{mm}$, 진입 각도는 8-12°, 감속기 영역의 길이는 드로잉 응력을 줄이기 위해 최적화되었습니다. 초미세 드로잉 다이의 조리개 정확도는 $\pm 0.0005\text{mm}$ 이고 표면 거칠기는 $Ra < 0.05\mu\text{m}$ 입니다.

윤활 시스템 : 자동 분사 장치 (예 : 독일 Schumag 시스템)는 마찰 계수가 0.1-0.2 인 흑연 에멀전 또는 이황화 몰리브덴 (MoS_2) 윤활제를 분사하는 데 사용됩니다. 초미세 와이어 드로잉에는 유성 윤활제(예: 폴리에틸렌 글리콜)가 사용되며 유속은 0.1-0.5L/min 으로 제어됩니다. 윤활 시스템에는 불순물에 의한 오염을 방지하기 위해 여과 장치가 장착되어야 합니다.

공정 특성: 표면 마감을 보장하기 위해 금형을 정기적으로(100-200km 마다 그린 후) 연마하고 교체해야 합니다. 윤활 시스템은 폐쇄 루프 제어로 균일한 적용 범위를 보장하고 표면 굽힘을 줄입니다. 유한 요소 해석(FEA)은 다이 설계를 최적화하고 도면 안정성을 향상시키는 데 사용됩니다.

적용 영향: 고정밀 툴링 및 윤활 시스템은 몰리브덴 와이어의 표면 결함률을 0.5% 미만으로 줄일 수 있으며, 이는 자동차 헤드라이트와 같은 고성능 램프에 적합합니다.

6.3.3 소둔로 및 온도 제어 시스템

어닐링로는 인발 과정에서 가공 경화를 제거하고 몰리브덴 와이어의 연성과 인성을 복원하는 데 사용됩니다.

어닐링로: 일본 Koyo 의 연속 어닐링로와 같이 작동 온도는 800-1300 °C, 수소 유량은 0.5-1 m³/h, 이슬점은 <40 °C 입니다. 용광로에는 몰리브덴 또는 텅스텐 발열체가 사용되며 온도 제어 정확도는 $\pm 5^\circ\text{C}$ 입니다. 거칠고 미세한 인발에는 중간 어닐링(800-1000°C, 10-30 초 유지)이 사용되며 최종 어닐링(900-1200°C, 5-15 초 유지)을 사용하여 성능을 최적화합니다.

온도 제어 시스템: PID 컨트롤러 및 열전대(예: K 형 열전대, 정확도 $\pm 1^\circ\text{C}$)는 퍼니스의 온도를 실시간으로 모니터링하는 데 사용됩니다. 냉각 시스템(수냉식 또는 공냉식)은 곡물의 과잉 성장을 방지하기 위해 냉각 속도(10-50°C/s)를 제어합니다.

공정 특성: 어닐링 용광로는 수소의 순도를 보장하기 위해 온라인 대기 모니터링 시스템을 갖추고 있어야 합니다. 연속 어닐링로는 와이어의 연속 통과를 실현하여 효율성을 20% 높일 수 있습니다. 도핑된 몰리브덴 와이어(예: 몰리브덴 란타넘 와이어)는 도핑된 요소의 안정성을 보장하기 위해 더 높은 어닐링 온도(1000-1300°C)가 필요합니다.

응용 프로그램 영향: 정확한 어닐링 공정은 몰리브덴 와이어의 파단 시 연신율을 15%-20%로 증가시키고 와이어 파손 위험을 줄이며 초미세 몰리브덴 와이어 생산에

저작권 및 법적 책임 선언문

적합합니다.

6.4 조명용 몰리브덴 와이어 표면 처리 장비

표면 처리 장비는 전해 연마, 화학적 세척 및 표면 코팅 증착을 포함하여 몰리브덴 와이어의 표면 마감, 내식성 및 광학 특성을 향상시키는 데 사용됩니다.

6.4.1 전해 연마 및 화학 세척 장비

전해 연마 및 화학 세척 장비는 몰리브덴 와이어 표면에서 산화물, 그리스 및 드로잉 잔류 물을 제거하여 세척 된 몰리브덴 와이어를 준비하는 데 사용됩니다.

전해 연마 장비 : NaOH 전해질 (농도 5 % -10 %), 0.5-2 A / cm²의 전류 밀도, 10-30 초의 연마 시간을 사용하는 독일 KAMMERER 전해 연마 기계와 같은. 이 장비에는 전해질의 순도를 보장하기 위해 스테인리스강 전극과 순환 여과 시스템이 장착되어 있습니다. 연마 후 몰리브덴 와이어의 표면 거칠기는 Ra 0.1-0.5 μm 에 도달하고 반사율은 60%-70%로 증가합니다.

화학 세척 장비 : 예를 들어, 중국 난통 세척 장비 공장의 산세 탱크는 HNO₃-HF 혼합물 (비율 3 : 1, 농도 5 % -10 %), 세척 온도 40-60 °C, 시간 1-3 분을 사용합니다. 이 장비에는 환경 보호 요구 사항을 충족하는 PTFE 라이닝 및 폐액 처리 시스템(중화 및 침전)이 장착되어 있습니다.

공정 특성: 전해 연마는 고급 몰리브덴 와이어(예: HID 램프)에 적합하고 화학적 세척은 대규모 생산에 적합합니다. 둘 다 잔류 오염을 방지하기 위해 탈이온수 행굴 및 진공 건조 시스템(100-150°C)을 갖추고 있어야 합니다. 폐기물 처리 시스템은 RoHS 지침을 준수하도록 보장합니다.

응용 프로그램 영향 : 표면 처리 장비는 몰리브덴 와이어의 아크 내식성 및 전도성을 향상시키고 램프의 수명을 10 % -20 % 연장시킬 수 있습니다.

6.4.2 표면 코팅 증착 장비

표면 코팅 장비는 열악한 환경에서 몰리브덴 와이어의 성능을 향상시키기 위해 산화 방지 또는 내식성 코팅(예: 알루미나 Al₂O₃, 몰리브덴 실리사이드 MoSi₂)을 증착하는 데 사용됩니다.

CVD 장비 : 미국 Applied Materials 의 CVD 용광로와 같은 작동 온도는 800-1200 °C 이고 진공은 <10⁻² Pa 입니다. 0.1-0.5 μm/min 의 증착 속도로 알루미나(0.1-1 μm 두께) 또는 몰리브덴 실리사이드 코팅(0.5-2 μm)을 증착하는 데 사용됩니다. 장비에는 가스 제어 시스템(CH₄, SiH₄ 등의 유량을 정밀하게 제어)이 장착되어 있습니다.

PVD 장비: 높은 균등성 코팅 공술서를 위해 적당한 500-800°C 의 작동 온도와 더불어 독일에 있는 Leybold 에서 마그네트론 침을 튀기는 장비와 같은. 스퍼터링 타겟은 고순도 몰리브덴 또는 알루미늄이며 증착 속도는 0.05-0.2μm/min 입니다. PVD 장비는 복잡한 모양의 몰리브덴 와이어에 적합합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

공정 특성: CVD 는 두꺼운 코팅에 적합하고 PVD 는 얇은 코팅과 높은 균일성에 적합합니다. 장비에는 일관된 코팅 두께를 보장하기 위해 온라인 두께 모니터링 시스템(예: 수정 발전기)이 장착되어야 합니다. 코팅 접착력은 인장 시험(파편 응력 > 50MPa)으로 검증됩니다.

적용 영향 : 코팅 장비는 몰리브덴 와이어의 산화 온도를 1500 °C 이상으로 증가시킬 수 있으며, 이는 적외선 램프 및 자외선 램프에 적합하며 수명을 20 % -30 % 연장합니다.

6.4.3 표면 품질 시험 장비

표면 품질 검사 장비는 몰리브덴 와이어의 거칠기, 결함 및 코팅 품질을 평가하는 데 사용됩니다.

표면 거칠기 시험기: 일본의 Mitutoyo SJ-410 과 같은 측정 범위는 Ra 0.01-10µm 이고 정확도는 ±0.001µm 입니다. 세척된 몰리브덴 와이어(Ra 0.1-0.5 µm) 및 검은색 몰리브덴 와이어(Ra 0.5-2.0 µm)의 표면 품질을 검사하는 데 사용됩니다.

레이저 현미경 : 독일 Zeiss LSM 800, 배율 100-1000x 와 같은, 표면 굽힘, 균열 및 산화물 잔류 물 감지용. 이 장치에는 표면 지형을 분석하기 위한 3D 이미징 기능이 장착되어 있습니다.

프로세스 특성: 테스트 장비는 생산 라인의 온라인 모니터링 시스템과 통합되어 표면 품질 데이터를 실시간으로 피드백해야 합니다. 자동 검사는 검사 효율성을 최대 50%까지 높일 수 있습니다.

응용 분야 영향: 표면 품질 검사는 고장률을 0.5% 미만으로 줄여 등기구에서 몰리브덴 와이어의 아크 안정성과 광학 성능을 보장할 수 있습니다.

6.5 조명용 몰리브덴 와이어에 대한 테스트 및 품질 관리 장비

검사 및 품질 관리 장비는 몰리브덴 와이어의 미세 구조, 기계적 특성, 화학적 조성 및 환경 적응성을 평가하여 제품이 조명 산업 표준을 충족하는지 확인하는 데 사용됩니다.

6.5.1 현미경(광학, 전자) 및 표면 분석기

현미경과 표면 분석기는 몰리브덴 와이어의 미세 구조 및 표면 특성을 분석하는 데 사용됩니다.

광학 현미경 : 일본 Olympus BX53M, 배율 50-1000x, 입자 크기 (10-50 µm) 및 표면 결함 (예 : 균열, 다공성) 관찰. 장비에는 곡률 분포를 자동으로 계산하는 이미지 분석 소프트웨어가 장착되어 있습니다.

주사 전자 현미경(SEM): 예: 에너지 분광법(EDS)이 장착된 미국의 FEI Quanta 650 은 도핑된 원소 분포(예: 란탄 산화물 입자 간격 0.5-2µm) 및 표면 부식 지형 분석을

저작권 및 법적 책임 선언문

위한 것입니다. 최대 1nm의 분해능으로 초미세 몰리브덴 와이어 검사에 적합합니다.

표면 분석기: 독일 브루커(Bruker)의 XPS(X선 광전자 분광법)와 같은 제품은 표면 산화물 조성(예: MoO_2 , MoO_3) 및 코팅 화학을 분석하기 위한 것입니다. 감지 깊이는 1-10nm이고 정확도는 $0.1\text{eV}\pm$ 입니다.

공정 특성: 현미경에는 매끄러운 표면을 보장하기 위해 샘플 준비 장비(예: 이온 연마기)가 장착되어야 합니다. SEM 및 XPS는 초고진공($<10^{-6}$ Pa)에서 실행되며 감지 시간은 10-30분입니다.

응용 프로그램 영향: 현미경 분석은 몰리브덴 와이어의 입자 구조와 도핑 균일성을 최적화하고 고온 성능과 내식성을 향상시킬 수 있습니다.

6.5.2 인장 시험기 및 경도 시험기

인장 시험기와 경도 시험기는 몰리브덴 와이어의 기계적 특성을 평가하는 데 사용됩니다.

인장 시험기: American Instron 5982와 같은 시험 범위는 0-100kN이고 정확도는 $\pm 0.5\%$ 입니다. 몰리브덴 와이어의 인장 강도 (실온에서 800-1000 MPa, 1500 °C에서 200-400 MPa) 및 파단 신율 (10 % -25 %)을 측정하는 데 사용됩니다. 이 장치는 고온 환경(최대 2000°C)을 시뮬레이션할 수 있습니다.

경도 시험기: 독일 Zwick Vickers 경도 시험기와 같은 시험 범위는 HV 0.1-1000이고 정확도는 $0.5\text{HV}\pm$ 입니다. 그것은 몰리브덴 철사의 표면 경도를 평가하기 위하여 이용됩니다 (대강. 순수한 몰리브덴 철사를 위한 HV 200-250 및 진한 액체로 처리된 몰리브덴 철사를 위한 HV 250-300).

공정 특성: 인장 시험에는 고온 설비 및 대기 보호 장치(수소 또는 아르곤)가 장착되어야 하며, 경도 시험에는 압흔 깊이($<0.01\text{mm}$)를 제어해야 합니다. 자동 시험 시스템은 효율성을 최대 20%까지 높일 수 있습니다.

적용 영향: 기계적 특성 테스트는 등기구에서 몰리브덴 와이어의 기계적 안정성과 피로 저항을 보장하고 할로겐 및 HID 램프의 요구 사항을 충족합니다.

6.5.3 조성 분석기(ICP, XRF)

조성 분석기는 몰리브덴 와이어의 화학 조성 및 불순물 함량을 감지하는 데 사용됩니다.

ICP-OES: 미국의 PerkinElmer Optima 8300과 같은 검출 한계는 0.01ppm이며 몰리브덴 분말 및 몰리브덴 와이어의 불순물(예: Fe, Si, C)을 분석합니다. 감지 시간은 5-10분이고 정확도는 $0.1\%\pm$.

XRF: 예: 독일 Bruker S8 Tiger, 검출 범위 0.01%-100%, 도핑 원소(예: La, Re)의 함량 및

저작권 및 법적 책임 선언문

분포를 분석하는 데 사용됩니다. 이 장비에는 비파괴 검사 기능이 장착되어 있으며 온라인 모니터링에 적합합니다.

공정 특성: ICP 는 샘플(HNO_3 -HF 용액)에 용해되어야 하며, XRF 는 비파괴 검출로 완제품 분석에 적합합니다. 둘 다 검출 정확도를 보장하기 위해 정기적인 교정이 필요합니다.

응용 프로그램 영향 : 조성 분석은 몰리브덴 와이어의 화학적 안정성과 전기적 성능을 보장하기 위해 0.01 % 미만의 불순물 함량을 제어 할 수 있습니다.

6.5.4 환경 시뮬레이션 테스트 장비

환경 시뮬레이션 테스트 장비는 고온, 부식성 및 아크 환경에서 몰리브덴 와이어의 성능을 평가하는 데 사용됩니다.

고온 시험로: 독일 Nabertherm 의 고온 용광로와 같은 온도 범위는 500-2000 °C 이고 정확도는 ± 5 °C 로 램프 및 랜턴(예: 할로겐 램프 1500 °C)의 작업 환경을 시뮬레이션하는 데 사용됩니다. 아르곤 또는 할로겐 가스를 용광로에 도입하여 내산화성 및 내식성을 테스트할 수 있습니다.

아크 시험 장비 : 1-30 kV 의 전압과 0.1-100 A 의 전류를 가진 중국 상하이 전기 광학 연구소의 아크 시뮬레이터와 같은 몰리브덴 와이어의 아크 안정성을 테스트하는 데 사용됩니다. 이 장치에는 아크 이동(<0.1mm)을 기록하는 고속 카메라가 장착되어 있습니다.

프로세스 특성: 환경 시뮬레이션 장비에는 온도, 전류 및 부식 속도를 기록하기 위한 데이터 수집 시스템이 장착되어야 합니다. 테스트 주기는 1-100 시간이며 램프 수명(1000-20,000 시간)을 시뮬레이션합니다.

응용 분야 영향: 환경 테스트는 실제 응용 분야에서 몰리브덴 와이어의 신뢰성과 수명을 검증하여 HID 및 UV 램프 요구 사항이 충족되는지 확인합니다.



CTIA의 조명용 폴리브덴 와이어

Chapter 7 : D 조명용 폴리브덴 와이어에 대한 외국 표준

조명 산업에서 중요한 재료인 조명용 폴리브덴 와이어는 램프 및 랜턴의 신뢰성과 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 제품 일관성과 시장 경쟁력을 보장하기 위해 폴리브덴 와이어의 화학 성분, 치수 정확도, 기계적 특성 및 환경 보호 요구 사항을 다루는 일련의 표준이 국내외에서 공식화되었습니다. 이 장에서는 국내 표준, 국제 표준, 표준 간 비교 및 변환, 환경 규정, 조명용 폴리브덴 와이어의 산업 및 기업 사양에 대해 자세히 논의하고 특정 표준 내용 및 응용 시나리오와 함께 표준화된 생산에 대한 조명 산업의 요구를 충족하기 위한 포괄적인 기술 분석을 제공합니다.

7.1 조명용 폴리브덴 와이어에 대한 국내 표준

세계 최대의 폴리브덴 와이어 생산국인 중국은 폴리브덴 와이어의 생산 및 적용을 규제하기 위해 여러 국가 표준(GB/T)을 공식화했습니다. 이 표준은 조명용 폴리브덴 와이어의 원료, 가공, 특성 및 테스트 방법을 자세히 지정하며 백열등, 할로겐 램프 및 가스 방전 램프와 같은 응용 분야에 적합합니다.

7.1.1 GB/T 3462-2017 년

GB/T 3462-2017 은 폴리브덴 바 및 폴리브덴 슬래브에 대한 중국의 국가 표준으로 조명용 폴리브덴 와이어 생산에 적합하고 후속 와이어 드로잉 프로세스의 기초를 제공합니다.

적용 범위: 이 표준은 폴리브덴 바 및 폴리브덴 슬래브의 화학적 조성, 크기, 표면 품질 및 기계적 특성을 규정하며, 이는 소결, 단조 및 압연 블랭크에 적합하며 조명용 폴리브덴 와이어 생산에 간접적으로 사용됩니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

기술 요구 사항:

화학 성분 : 몰리브덴 함량 $\geq 99.95\%$, 총 불순물 (예 : Fe, Ni, Si) $< 0.05\%$. 도핑된 몰리브덴(예: 몰리브덴-란타넘)은 명확한 도핑 원소 함량(예: La_2O_3 0.3%-1.0%)이 필요합니다.

치수 정확도 : 몰리브덴 바 직경 5-100 mm, 공차 ± 0.05 mm; 슬래브의 두께는 2-50mm 이고 허용 오차 ± 0.1 mm 입니다.

표면 품질 : 균열 없음, 산화물 스케일, 거칠기 $Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$.

기계적 성질: 인장 강도(실온) $\geq 600\text{MPa}$, 파단 신율 $\geq 10\%$.

검출 방법: 화학 조성은 ICP-OES(Inductively Coupled Plasma Spectroscopy)로 분석하고, 치수는 마이크로미터 또는 레이저 거리 측정기로 감지하며, 표면 품질은 육안 및 현미경 검사로 확인합니다.

적용 영향: 램프용 몰리브덴 와이어 블랭크는 고밀도($\geq 95\%$ 이론 밀도)와 균일한 미세 구조가 필요하며, GB/T 3462-2017 은 블랭크의 품질을 보장하고 와이어 드로잉 공정에서 파손 위험을 줄입니다.

7.1.2 GB/톤 4191-2015

GB/T 4191-2015 는 몰리브덴 와이어의 성능 및 사양을 직접 다루며 조명용 몰리브덴 와이어의 생산 및 승인에 적합합니다.

적용 범위: 이 표준은 백열등, 할로겐 램프, 가스 방전 램프 등에 대한 순수 몰리브덴 와이어 및 도핑된 몰리브덴 와이어(예: 몰리브덴 란타넘 와이어, 몰리브덴 레늄 와이어)를 다룹니다.

기술 요구 사항:

화학 성분 : 순수 몰리브덴 와이어의 몰리브덴 함량 $\geq 99.95\%$ 이며 도핑 된 몰리브덴 와이어는 도핑 된 원소의 비율 (예 : Re 1 % -5 %)로 표시해야 합니다.

크기 범위: 직경 0.01-2mm, 공차 $\pm 0.002\text{mm}$ (초미세) - $\pm 0.01\text{mm}$ (거친).

표면 품질 : 세척 된 몰리브덴 와이어의 $Ra \leq 0.5 \mu\text{m}$ 거칠기, 검은 색 몰리브덴 와이어의 $Ra \leq 2.0 \mu\text{m}$, 균열, 굽힘 또는 산화물 잔류 물 없음.

기계적 성질: 실온에서 인장 강도 800-1200 MPa, 고온(1500°C) 인장 강도 ≥ 200 MPa, 파단 신율 10%-20%.

테스트 방법: 치수 정확도는 레이저 캘리퍼로 측정하고, 기계적 특성은 인장 시험기로 측정하며, 표면 품질은 광학 현미경과 거칠기 측정기로 감지합니다.

응용 분야 영향: 이 표준은 고온 환경에서 몰리브덴 와이어의 기계적 안정성과 전기적 특성을 보장하며 할로겐 및 HID 램프의 높은 요구 사항에 적합합니다.

7.1.3 GB/톤 4182-2000

GB/T 4182-2000 은 조명용 몰리브덴 와이어의 원료 및 완제품의 순도를 보장하기 위해 몰리브덴 및 몰리브덴 합금의 화학 성분 분석 방법을 규정합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

적용 범위 : 이 표준은 주원소 (Mo) 및 불순물 (Fe, Ni, Si, C, O 등)을 포함하여 몰리브덴 분말, 몰리브덴 바 및 몰리브덴 와이어의 화학 성분 테스트에 적용 할 수 있습니다.

분석 방법:

ICP-OES: 불순물 원소 검출, 0.01ppm 의 감도, Fe, Ni, Si 및 기타 미량 원소 분석에 적합합니다.

가스 분석기 : 산소 함량이 0.005 %인지 확인하기 위해 O, N, H 함량, 정확도 $\pm 0.001\%$ 감지합니다.

중량 측정 방법 및 적정 방법: 0.01%의 오차로 몰리브덴 함량 측정±.

공정 특성: 분석은 깨끗한 환경(ISO 클래스 7)에서 수행되었으며 샘플 준비는 산용성(HNO₃-HF 혼합물)이었습니다. 이 표준은 일관된 테스트를 보장하기 위해 기기를 정기적으로 교정할 것을 요구합니다.

응용 분야 영향: 고정밀 화학 분석은 몰리브덴 와이어의 화학적 안정성을 보장하고 고온에서 불순물로 인한 입계 부식을 방지합니다. 이 표준은 중국의 비철금속 시험 기관에서 널리 사용됩니다.

7.1.4 기타 관련 국가 표준

위의 표준 외에도 중국은 조명용 몰리브덴 와이어와 관련된 다른 표준도 공식화했습니다.

GB / T 3461-2017 "몰리브덴 분말": 램프의 몰리브덴 와이어 원료에 적합한 몰리브덴 분말의 입자 크기 (1-5 μm), 순도 ($\geq 99.95\%$) 및 형태 (구형 또는 거의 구형)를 지정합니다.

GB/T 17792-1999 "몰리브덴 및 몰리브덴 합금 가공 제품에 대한 검사 방법": 초음파 결함 탐지 및 X 선 검사와 같은 크기, 표면 품질 및 기계적 특성을 포함하는 테스트 방법.

YS/T 357-2006 "도핑된 몰리브덴 스트립": 도핑된 몰리브덴(예: 몰리브덴, 란타넘, 몰리브덴-레늄) 블랭크의 경우 도핑된 원소의 함량 및 분포 균일성이 지정됩니다.

응용 프로그램 영향: 이러한 표준은 GB/T 3462 및 GB/T 4191 의 요구 사항을 보완하여 원료에서 완제품에 이르기까지 몰리브덴 와이어의 품질 관리를 보장하는 완전한 표준화 시스템을 형성합니다. 중국 기업은 여러 표준의 조합을 따름으로써 제품의 경쟁력을 높일 수 있습니다.

7.2 조명용 몰리브덴 와이어에 대한 국제 표준

국제 표준은 미국(ASTM), 국제 표준화 기구(ISO) 및 일본(JIS) 및 기타 표준 시스템을 포괄하는 조명용 몰리브덴 와이어의 글로벌 무역 및 적용에 대한 통일된 사양을 제공합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	5.5×10 ⁻⁸ Ω·m	6.0×10 ⁻⁸ Ω·m	6.5×10 ⁻⁸ Ω·m
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

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

7.2.1 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 막대, 막대 및 와이어에 대한 ASTM B387 표준 사양
ASTM B387 은 국제 시장에서 널리 사용되는 미국 시험 재료 협회(American Society for Testing and Materials)에서 개발한 몰리브덴 및 몰리브덴 합금에 대한 표준입니다.

적용 범위: 이 표준은 조명, 전자 및 고온 응용 분야를 위한 몰리브덴 및 몰리브덴 합금(순수 몰리브덴, 몰리브덴 란타넘, 몰리브덴-레늄)의 막대, 스트립 및 와이어를 다룹니다.

기술 요구 사항:

화학 성분 : 몰리브덴 함량 $\geq 99.95\%$ 의 불순물 (예 : Fe $< 0.01\%$, Si $< 0.005\%$)이 엄격하게 제어됩니다. 도핑 몰리브덴의 경우 도핑 비율(예: La₂O₃ 0.3%-1.0%)을 지정해야 합니다.

치수 정확도 : 와이어 직경 0.01-3 mm, 공차 ± 0.002 mm (초 미세 와이어)에서 ± 0.015 mm (두꺼운 와이어).

기계적 성질: 실온에서 인장 강도 700-1100 MPa, 고온(1500°C) 인장 강도 ≥ 150 MPa, 파단 신율 10%-25%.

표면 품질 : 세척 된 몰리브덴 와이어의 경우 Ra ≤ 0.4 μ m, 검은 색 몰리브덴 와이어의 경우 Ra ≤ 2.5 μ m, 균열이나 산화물 없음.

검출 방법: 화학 성분은 ICP-MS 를 채택하고, 크기는 레이저 캘리퍼스 테스트하고, 기계적 특성은 인장 시험기로 테스트하고, 표면 품질은 SEM 으로 테스트합니다.

적용 의미: ASTM B387 은 할로겐 및 HID 램프에서 몰리브덴 와이어의 신뢰성을 보장하기 위해 유럽 및 미국 조명기구 제조업체에서 널리 채택되고 있습니다. 표준의 높은 요구 사항은 중국 기업의 기술 업그레이드를 촉진했습니다.

7.2.2 ISO 22447 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 제품

ISO 22447 은 국제표준화기구(International Organization for Standardization)에서 개발한 몰리브덴 제품에 대한 표준으로 글로벌 시장에 적용할 수 있습니다.

적용 범위: 이 표준은 몰리브덴 와이어, 막대, 플레이트 및 기타 제품을 포함하며 조명, 항공 우주 및 전자 산업에 적합합니다.

기술 요구 사항:

화학 성분 : 몰리브덴 함량 $\geq 99.95\%$, 총 불순물 함량 $< 0.05\%$. 도핑된 몰리브덴(예: 몰리브덴-레늄)은 명확한 원소 비율과 균일성을 필요로 합니다.

크기 범위: 와이어 직경 0.02-2mm, 공차 ± 0.003 mm.

기계적 성질: 실온에서 인장 강도 750-1200 MPa, 고온(1500°C) 인장 강도 ≥ 200 MPa.

표면 품질 : 표면에 균열 및 다공성 없음, 거칠기 Ra ≤ 0.5 μ m (청소 된 몰리브덴 와이어).

검출 방법: 화학 성분은 XRF 또는 ICP-OES 이고 크기는 레이저 캘리퍼스 전달되며 표면 품질은 광학 현미경으로 전달됩니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

적용 시사점: ISO 22447 은 국제적으로 적용 가능하고 수출 지향적인 기업에 적합하여 제품이 글로벌 조명기구 시장의 요구 사항을 충족하도록 보장합니다.

7.2.3 JIS H 4461

JIS H 4461 은 몰리브덴 와이어 및 몰리브덴 막대의 성능 및 생산 요구 사항에 대한 일본 산업 표준입니다.

적용 범위: 이 표준은 조명 및 전자 장치용 순수 몰리브덴 와이어 및 도핑된 몰리브덴 와이어에 적용됩니다.

기술 요구 사항:

화학 성분 : 몰리브덴 함량 $\geq 99.95\%$, 불순물 (예 : Fe, Ni) $< 0.01\%$.

치수 정확도 : 와이어 직경 0.01-2 mm, 공차 ± 0.002 mm (초 미세).

기계적 성질: 실온에서 인장 강도 800-1100 MPa, 파단 신율 10%-20%.

표면 품질 : $Ra \leq$ 세척 된 몰리브덴 와이어의 경우 $0.4 \mu\text{m}$, 검은 색 몰리브덴 와이어의 경우 $2.0 \mu\text{m} \leq$.

검출 방법: 화학 성분은 ICP-OES 를 채택하고 크기는 레이저 캘리퍼스를 통과하며 기계적 특성은 인장 시험기를 통과합니다.

응용 프로그램 영향 : JIS H 4461 은 일본 조명 회사, 특히 프로젝션 램프 및 자동차 헤드 라이트 용 몰리브덴 와이어에 널리 사용됩니다. 일본 시장은 치수 정확도 및 표면 품질에 대한 엄격한 요구 사항을 가지고 있으며, 이는 고정밀 와이어 드로잉 기술의 개발을 주도했습니다.

7.2.4 기타 ISO 표준

다른 국제 표준에는 조명용 몰리브덴 와이어의 생산 및 적용에 대한 지침도 있습니다.

DIN EN 10204(독일): 유럽 시장에 수출되는 제품에 적용되는 몰리브덴 와이어의 품질 인증 및 검사 문서에 대한 요구 사항을 지정합니다.

IEC 60357: 아크 내식성 및 밀봉 신뢰성과 같은 할로겐 및 가스 방전 램프용 몰리브덴 와이어의 성능 요구 사항에 대한 국제 전기 기술 위원회 표준.

ASTM E3171: ASTM B387 의 필요조건을 보충하는 몰리브덴과 몰리브덴 합금을 위한 화학 분석 방법.

응용 프로그램 영향: 이러한 표준은 몰리브덴 와이어의 국제 무역을 위한 기술적 기반을 제공하고 글로벌 공급망의 표준화를 촉진합니다. 유럽과 일본 기업은 여러 표준의 조합을 준수하여 자동차 조명과 같은 고급 시장에서 제품의 경쟁력을 보장합니다.

7.3 조명용 몰리브덴 와이어의 서로 다른 표준 간의 비교 및 변환

국내 표준과 외국 표준의 차이는 국제 무역 및 조명용 몰리브덴 와이어의 적용에 영향을 미칠 수 있으며 기술 매개변수의 비교 및 변환을 통해 상호 인정을 이루어야

저작권 및 법적 책임 선언문

합니다.

7.3.1 국내외 규격의 기술 파라미터 비교 (순도, 크기, 성능)

다음은 주요 기준의 매개 변수를 비교한 것입니다.

순도:

GB/T 4191-2015: 몰리브덴 함량 $\geq 99.95\%$, 불순물 $< 0.05\%$.

ASTM B387: 몰리브덴 함량 $\geq 99.95\%$, Fe $< 0.01\%$, Si $< 0.005\%$.

ISO 22447: 몰리브덴 함량 $\geq 99.95\%$, 불순물 $< 0.05\%$.

JIS H 4461: 몰리브덴 함량 $\geq 99.95\%$, Fe, Ni $< 0.01\%$.

분석: 국내 및 외국 표준의 순도 요구 사항은 일관되며 ASTM B387 은 특정 불순물(예: Fe, Si)에 대해 더 엄격하여 고급 램프(예: HID 램프)에 적합합니다.

치수 정확도 :

GB/T 4191-2015: 직경 0.01-2mm, 공차 $\pm 0.002\text{mm}$ (초극세).

ASTM B387: 직경 0.01-3mm, 공차 $\pm 0.002\text{mm}$ (초미세)에서 $\pm 0.015\text{mm}$ (거친).

ISO 22447: 직경 0.02-2mm, 공차 $\pm 0.003\text{mm}$.

JIS H 4461: 직경 0.01-2mm, 공차 $\pm 0.002\text{mm}$.

분석: JIS H 4461 및 GB/T 4191 은 초미세 필라멘트에 대한 허용 오차 요구 사항이 더 높으며 프로젝션 램프 및 UV 램프에 적합합니다. ASTM B387 은 광범위한 응용 분야를 수용하기 위해 더 넓은 범위의 직경을 다룹니다.

기계적 성질:

GB/T 4191-2015: 실온 800-1200 MPa, 고온(1500°C) $\geq 200\text{ MPa}$ 에서 인장 강도.

ASTM B387: 실온에서 700-1100 MPa, 고온에서 $\geq 150\text{ MPa}$.

ISO 22447: 실온에서 750-1200 MPa, 고온에서 $\geq 200\text{ MPa}$.

JIS H 4461: 실온에서 800-1100 MPa.

분석: GB/T 4191 및 ISO 22447 은 더 높은 고온 성능을 필요로 하며 할로겐 및 HID 램프에 적합합니다. ASTM B387 은 성능 범위가 더 넓으며 다양한 응용 시나리오에 적합합니다.

7.3.2 표준 변환 방법(예: 공차, 기계적 특성 단위)

공차 변환: 국내 및 외국 표준은 밀리미터(mm) 단위이며 공차를 직접 비교합니다.

ASTM B387($\pm 0.015\text{mm}$)의 거친 와이어 허용 오차는 고정밀 와이어 드로잉 장비로 GB/T 4191 의 $\pm 0.01\text{mm}$ 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

기계적 성질 단위의 변환: 인장 강도는 MPa 로 표시되고 파단 신율은 백분율(%)로 표시되며 이는 국내외 표준과 일치합니다. 고온 테스트 온도(1500°C)는 테스트 조건이 일정한지 확인하기 위해 균일하게 보정해야 합니다.

화학 성분 변환: 불순물 함량은 질량 (%) 또는 ppm, $1\% = 10,000\text{ ppm}$ 에 의한 백분율로 표시됩니다. GB/T 4182 및 ASTM E3171 은 서로 호환되며 ICP-OES 결과를 직접 비교할 수 있습니다.

공정 특성: 테스트 장비의 정확도(예: 레이저 캘리퍼 정확도 $\pm 0.001\text{mm}$) 및 교정 표준의 정확도를 변환 시 고려해야 합니다. 표준 간의 작은 차이는 어닐링 온도

저작권 및 법적 책임 선언문

조정과 같은 공정 최적화를 통해 보상할 수 있습니다.

7.3.3 국제기준과 국내기준의 상호인정 분석

상호 인정: GB/T 4191-2015 는 순도, 크기 및 기계적 특성 측면에서 ASTM B387 및 ISO 22447 과 매우 호환되며 상호 인식은 90% 이상입니다. JIS H 4461 은 표면 품질에 대한 요구 사항이 더 엄격하기 때문에 추가 연마 공정이 필요합니다.

차이점: ASTM B387 은 특정 불순물(예: Fe)에 대한 요구 사항이 더 엄격하며 고순도 원료가 필요합니다. GB/T 4191 은 초미세 와이어 공차에 대한 요구 사항이 더 높으며 정밀 와이어 드로잉 장비가 필요합니다. ISO 22447 의 다양성은 글로벌 시장에서 더 잘 수용 가능하게 합니다.

응용 분야 영향: 중국 기업은 GB/T 및 ASTM/ISO 표준을 모두 충족함으로써 수출 시장(예: 유럽, 미국)을 확장할 수 있습니다. 상호 인정 분석은 생산 프로세스를 최적화하고 인증 비용을 절감하는 데 도움이 됩니다. 오스트리아의 Plansee 와 미국의 H.C. Starck 은 제품이 보편적으로 적용 가능함을 보장하기 위해 다중 표준 인증을 통과했습니다.

7.4 조명용 몰리브덴 와이어의 환경 보호 및 RoHS 규정

환경 규정은 중금속 제어, 배기 가스 배출 및 친환경 제조를 포함하는 조명용 몰리브덴 와이어의 생산 및 적용에 대한 엄격한 요구 사항을 제시했습니다.

7.4.1 몰리브덴 와이어 재료에 대한 RoHS 지침(EU 2011/65/EU) 요구 사항

RoHS 지침(유해 물질 제한)은 전기 및 전자 제품의 유해 물질을 제한하며 조명용 몰리브덴 와이어, 램프 및 램프에 적용됩니다.

요구 사항: 몰리브덴 와이어는 납(Pb), 수은(Hg), 카드뮴(Cd) 등 6 가지 유해 물질을 제한해야 하며 함량은 $< 0.1\%$ (1000ppm), 카드뮴 $< 0.01\%$ (100ppm)입니다. 몰리브덴 와이어 불순물(예: Fe, Ni)은 RoHS 요구 사항을 준수하는지 확인하기 위해 ICP-OES 로 테스트해야 합니다.

공정 영향: 원료 오염을 방지하기 위해 고순도 몰리브덴 분말($\geq 99.95\%$)을 생산에 사용해야 합니다. 화학적 세척($\text{HNO}_3\text{-HF}$) 및 전해 연마(NaOH)에는 중금속 배출을 방지하기 위해 폐기물 처리 시스템이 필요합니다.

응용 분야 영향: RoHS 준수 몰리브덴 와이어는 EU 시장에 진출할 수 있으며 할로겐 램프 및 HID 램프에 널리 사용됩니다. Philips 와 같은 유럽 조명기구 제조업체는 공급업체에 RoHS 준수 인증서를 제공하도록 요구합니다.

7.4.2 중국 RoHS(전자정보제품 오염 통제 대책)

중국 RoHS(GB/T 26572-2011)는 EU RoHS 와 유사하게 전자 제품의 유해 물질을 제한하기 위한 중국 표준입니다.

요구 사항: 6 가지 종류의 유해 물질을 제한하고 함량 요구 사항은 EU RoHS 와 일치합니다. 몰리브덴 와이어는 환경 보호 사용 기간(보통 10-50 년)을 나타내는 유해 물질 테스트 보고서를 제공해야 합니다.

공정 영향: 제조업체는 유해 물질 관리 시스템을 구축하고 XRF 또는 ICP-MS 를

저작권 및 법적 책임 선언문

사용하여 원료 및 완제품을 검출해야 합니다. 폐가스 및 폐액은 GB 25466-2010(배출 기준)에 따라 흡수탑과 중화 및 침전으로 처리해야 합니다.

응용 프로그램 영향: 중국의 RoHS 는 국내 조명 시장의 녹색 전환을 촉진했으며 몰리브덴 와이어 공급업체는 가정용 및 상업용 조명의 요구 사항을 충족하기 위해 규정 준수 인증서를 제공해야 합니다.

7.4.3 몰리브덴 와이어 생산에 있어서의 환경 준수 (중금속, 배기 가스)

중금속 제어: 몰리브덴 와이어 생산의 세척액(HNO_3 -HF) 및 전해질(NaOH)에는 침전 및 여과가 필요한 미량의 중금속(예: Cr 및 Ni)이 포함될 수 있으며 배출 농도는 GB 8978-1996(하수 배출 기준)에 따라 $<0.1\text{mg/L}$ 입니다.

배기 가스 배출: 수소 환원 및 소결 공정은 태일 가스 흡수탑(젯물 흡수)에서 처리해야 하는 소량의 산화물 가스(예: MoO_3)를 생성하며 배출 농도는 GB 16297-1996(대기 오염 물질 배출 기준)을 충족하는 0.05mg/m^3 <입니다.

공정 특성: 기업은 환경 보호 장비(예: 폐액 중화 시스템, 태일 가스 처리 타워)를 갖추어야 하므로 생산 비용이 약 5%-10% 증가합니다. 자동 모니터링 시스템은 규정 준수를 보장하기 위해 배출 매개변수를 실시간으로 감지합니다.

응용 분야 영향: 환경 준수는 유럽 및 미국 시장 진출을 위한 필수 조건이며, 중국 기업(예: Jinduicheng 몰리브덴)은 환경 인증을 통해 국제 경쟁력을 강화했습니다.

7.4.4 녹색 제조 및 지속 가능한 개발 요구 사항

친환경 제조: 자원 소비를 줄이기 위해 저에너지 장비(예: 에너지 소비량을 15% 줄이는 에너지 절약형 소결로)와 폐기물 재활용 기술(최대 30%의 재활용률)을 채택합니다. 분무 건조 및 연속 와이어 드로잉 장비는 생산 효율성을 10%-20% 높일 수 있습니다.

지속 가능성: 끊어진 와이어를 뽑고 폐기물을 소결하는 재활용과 같은 몰리브덴 와이어 생산의 순환 경제로의 전환을 촉진하고 원자재 비용을 절감합니다. ISO 14001 과 같은 친환경 제조 인증은 경쟁 우위가 됩니다.

응용 분야 영향: 친환경 제조는 글로벌 고객의 지속 가능성 요구 사항을 충족하고 자동차 조명과 같은 고급 시장에서 중국 기업의 점유율 성장을 주도합니다.

7.5 조명용 몰리브덴 와이어에 대한 산업 표준 및 기업 사양

국가 표준 및 국제 표준 외에도 산업 협회 및 내부 기업 사양은 조명용 몰리브덴 와이어에 대한 요구 사항을 더욱 구체화합니다.

7.5.1 중국 비철금속 산업 협회 표준

중국 비철금속 산업 협회(YS/T 표준)는 국가 표준을 보완하는 여러 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 표준을 공식화했습니다.

YS/T 357-2006 "도핑된 몰리브덴 스트립": 도핑된 몰리브덴(예: 몰리브덴, 란타넘, 몰리브덴-레늄)의 화학적 조성, 크기 및 특성과 도핑된 원소의 균일성 편차($<0.01\%$)를 규정합니다.

YS / T 659-2007 "몰리브덴 와이어 테스트 방법": 램프 몰리브덴 와이어에 적합한 도핑된 몰리브덴 와이어의 XRF 분석 및 고온 기계적 테스트 방법을 지정합니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

응용 분야 영향: YS/T 표준은 도핑된 몰리브덴 와이어의 성능에 더 많은 관심을 기울이고 할로겐 램프 및 HID 램프에 적합합니다. 중국 기업(예: Xiamen Honglu)은 YS/T 표준을 통해 도핑 공정을 최적화하여 제품의 부가가치를 높입니다.

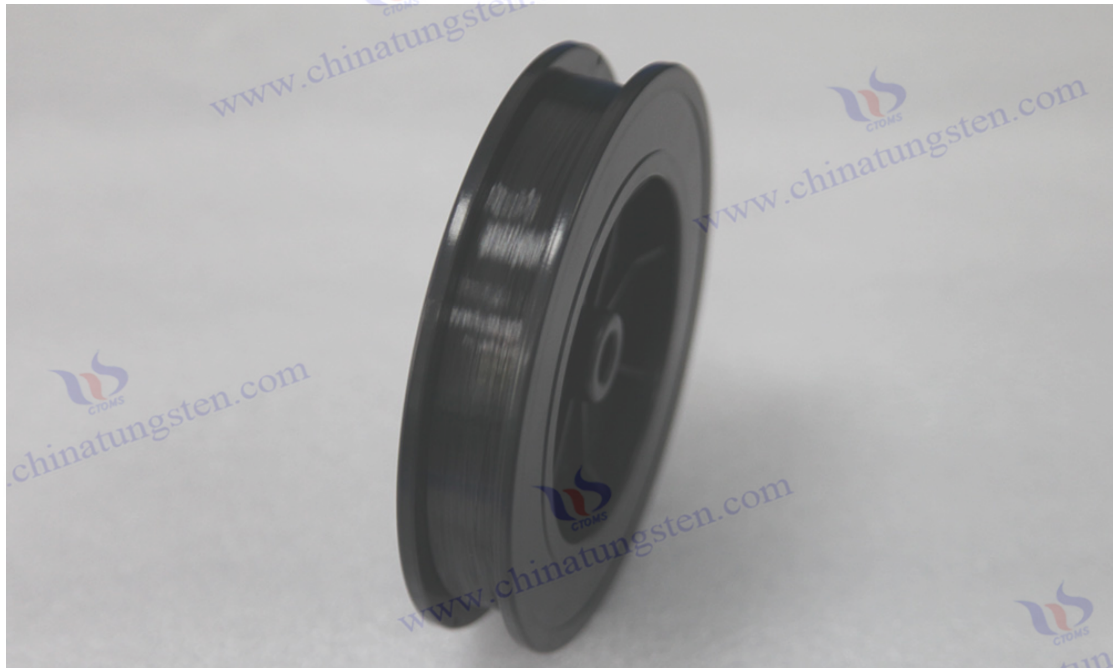
7.5.2 조명 산업 내부 사양

조명 산업의 내부 사양은 몰리브덴 와이어의 특정 응용 분야를 위해 조명기구 제조업체 및 산업 협회에서 개발했습니다.

중국 조명 협회 사양: 할로겐 램프에서 몰리브덴 와이어의 내식성(부식 속도 $< 0.005 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$) 및 아크 안정성(오프셋 $< 0.1 \text{ mm}$)이 필요합니다.

CIE(International Institute of Illumination) 사양은 HID 램프용 몰리브덴 와이어의 고온 인장 강도($1500^\circ\text{C} \geq 200 \text{ MPa}$) 및 표면 거칠기($Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$)를 지정합니다.

적용 의미: 업계 규범은 보다 엄격한 진동 저항 요구 사항을 충족해야 하는 자동차 헤드램프용 몰리브덴 란타넘 와이어와 같은 특정 조명기구에서 몰리브덴 와이어의 맞춤형 생산을 주도했습니다.



CTIA의 조명용 몰리브덴 와이어

Chapter 8 조명용 폴리브덴 와이어의 검출 기술

조명용 폴리브덴 와이어의 성능은 조명 장치의 신뢰성, 수명 및 효율성에 직접적인 영향을 미치며, 감지 기술은 화학 성분, 물리적 특성, 표면 품질, 고온 성능, 전기적 특성 및 비파괴 검사와 같은 여러 측면을 다룹니다. 이 장에서는 조명용 폴리브덴 와이어의 다양한 감지 기술에 대해 자세히 논의하고, 감지 방법, 장비 기능, 정확도 및 적용 시나리오를 분석하고, 국내외 첨단 기술 사례를 기반으로 포괄적인 기술 설명을 제공합니다.

8.1 조명용 폴리브덴 와이어의 화학 성분 테스트

화학 성분 테스트는 폴리브덴 와이어의 순도($\geq 99.95\%$) 및 불순물(예: Fe, Ni, Si) 함량을 측정하여 화학적 안정성과 전기적 특성을 보장하고 램프의 고온 환경 요구 사항을 충족하는 데 사용됩니다.

8.1.1 X 선 형광 분석(XRF)

X 선 형광 분석은 완성된 폴리브덴 와이어 및 원료의 성분 검출을 위한 빠르고 비파괴적인 방법입니다.

원리: X 선은 샘플 표면의 원자를 여기시켜 특징적인 형광을 생성하고 원소 함량은 스펙트럼 분석에 의해 결정됩니다.

장치 기능: 장치의 감지 범위는 0.01%-100%, 감도는 0.01ppm, 분석 시간은 1-5 분입니다.

기술적인 매개변수:

검출 원소 : 폴리브덴 (Mo), 철 (Fe), 니켈 (Ni), 실리콘 (Si) 등 도핑된 원소(예: La, Re)의 함량 편차는 $<0.01\%$ 입니다.

샘플 요구 사항: 폴리브덴 와이어의 표면은 깨끗하고 산화물이 없어야 하며 샘플 직경은 0.01-2mm 여야 합니다.

정확도: $\pm 0.01\%$ (고농도 원소), $\pm 0.001\%$ (미량 원소).

공정 특성: XRF 는 비파괴 검사이며 온라인 품질 관리에 적합합니다. 장비는 정기적으로 교정해야 하며 정확성을 보장하기 위해 표준 샘플이 사용됩니다. 테스트 환경은 먼지 간섭을 피하기 위해 깨끗해야 합니다(ISO 클래스 7).

응용 프로그램 영향: XRF 는 할로겐 램프 및 HID 램프용 폴리브덴 와이어의 도핑 균일성을 감지하는 데 널리 사용되어 98%의 검출 효율로 내식성과 고온 안정성을 보장합니다.

8.1.2 유도 결합 플라즈마 발광 분석법(ICP-OES)

ICP-OES 는 미량 불순물 검출에 적합한 성분 분석을 위한 고감도 분석법입니다.

원리 : 샘플이 용해 된 후 플라즈마에 의해 여기되고 특정 파장 스펙트럼이 방출되어 원소 함량을 분석합니다.

장비 기능: 장치의 감지 한계는 0.001ppm 이고 분석 시간은 5-10 분입니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

기술적인 매개변수:

검출 요소: Fe, Ni, Si, C, O 등, 검출 범위 0.001-1000ppm.

샘플 준비: 몰리브덴 와이어는 60-80°C 의 온도에서 HNO₃-HF 혼합물(3:1 비율)로 용해되어야 합니다.

정확도: $\pm 0.1\%$ (주원), $\pm 0.001\%$ (미량 원소).

공정 특성: ICP-OES 는 실험실 분석에 적합한 샘플에 의해 파괴되어야 합니다. 이 장비에는 배경 간섭을 피하기 위해 고순도 아르곤 가스($\geq 99.999\%$)가 장착되어 있습니다. 폐액은 하수 배출 기준을 충족하도록 중화되고 처리되어야 합니다.

응용 분야 영향: ICP-OES 는 몰리브덴 와이어의 산소 함량($< 0.005\%$)을 감지하고, 백열등 및 할로겐 램프의 화학적 안정성을 보장하며, 불순물 함량을 0.01% 미만으로 제어하는 데 사용됩니다.

8.1.3 원자 흡수 분광법 (AAS)

AAS 는 미량의 특정 원소를 감지하는 데 사용되며 몰리브덴 와이어의 중금속 불순물에 적합합니다.

원리: 분무 후 샘플은 특정 파장의 빛을 흡수하고 흡수 강도를 분석하여 원소 함량을 결정합니다.

장치 기능: 장치의 검출 한계는 0.01ppm 이고 분석 시간은 요소당 3-5 분입니다.

기술적인 매개변수:

검출 요소: Fe, Ni, Cr, Pb 등, 검출 범위 0.01-100ppm.

샘플 준비 : 50-70 °C 에서 HNO₃-HCl 혼합물 (1 : 3 비율)에 용해 된 몰리브덴 와이어.

정확도: $\pm 0.05\%$ (미량 원소).

공정 특성: AAS 는 표적 검출(예: RoHS 를 준수하기 위해 Pb $< 0.01\%$)에 적합한 단일 원소 분석입니다. 장비에는 중공 음극 램프가 장착되어 있어야 하며 정기적으로 교체해야 합니다. 폐액 처리는 환경 보호 요구 사항을 충족해야 합니다.

적용 의미: AAS 는 몰리브덴 와이어의 RoHS 준수를 확인하고 자동차 헤드라이트용 몰리브덴 와이어에 대한 EU 시장의 요구 사항을 충족하는 데 사용됩니다.

8.2 조명용 몰리브덴 와이어의 물리적 특성 테스트

물리적 특성 테스트는 몰리브덴 와이어의 크기, 밀도 및 기계적 특성을 평가하여 등기구의 기계적 및 구조적 요구 사항을 충족하는지 확인합니다.

8.2.1 치수 및 공차 측정 (레이저 현미경, 현미경)

크기와 허용 오차는 몰리브덴 와이어의 전기적 특성과 밀봉 신뢰성에 직접적인 영향을 미칩니다.

레이저 마이크로미터:

장치 기능: 측정 범위 0.005-2mm, 정확도 $\pm 0.0001\text{mm}$.

저작권 및 법적 책임 선언문

원리: 레이저 빔은 폴리브덴 와이어를 스캔하고 직경과 진원도를 계산합니다.
기술적인 매개변수: 포용력 통제 $\pm 0.002 \text{ mm}$ (매우 정밀한 철사), 인라인 검사를 위해 적당한 측정 속도 $1-10 \text{ m/min}$.
프로세스 특성: 장비는 열팽창 오류를 방지하기 위해 일정한 온도 환경($20-25^{\circ}\text{C}$)이 필요합니다. 인라인 마이크로미터는 와이어 드로잉 머신과 통합되어 직경 일관성을 실시간으로 모니터링할 수 있습니다.

광학 현미경 검사법:

장치 기능: 배율 $50-1000$ 배, 정확도 $\pm 0.001 \text{ mm}$.
원리: 폴리브덴 와이어 직경과 표면 지형은 고해상도 이미징으로 측정됩니다.
기술적인 모수: 따로 잇기 검사, 측정 범위 $0.01-2 \text{ mm}$, 포용력 검증 $\pm 0.002 \text{ mm}$ 를 위해 적당한.
공정 특성: 샘플 절단 및 연마, 감지 시간 $5-10$ 분. 이미지 분석 소프트웨어는 크기 분포를 자동으로 계산합니다.

응용 분야 영향: 레이저 마이크로미터는 초미세 폴리브덴 와이어(직경 $0.01-0.05 \text{ mm}$)의 생산 제어에 사용되며 현미경은 GB/T 4191-2015 및 ASTM B387 표준을 충족하는 R&D 및 고장 분석에 사용됩니다.

8.2.2 밀도 테스트 및 품질 분석

밀도 테스트는 폴리브덴 와이어의 밀도를 평가하며, 이는 다공성과 개재물 함량을 간접적으로 반영합니다.

장비 기능: 아르키메데스의 원리에 따라 정확도 $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ 입니다.

기술적인 매개변수:

폴리브덴의 이론적 밀도는 10.22 g/cm^3 이고 측정된 밀도는 $\geq 9.8 \text{ g/cm}^3$ (밀도 $\geq 96\%$)입니다.

샘플 요구 사항: 폴리브덴 와이어 길이 $10-50 \text{ mm}$, 깨끗한 표면.

공정 특성: 이 테스트에는 침지 용액으로 고순도 에탄올(밀도 0.789 g/cm^3)이 필요하며 온도는 20°C 에서 제어됩니다. 장비를 정기적으로 교정해야 하며 표준 샘플이 사용됩니다.

응용 분야 영향: 고밀도 폴리브덴 와이어는 고온에서 기공 휘발을 줄이고 할로겐 램프 및 HID 램프의 수명을 연장합니다.

8.2.3 인장 강도, 연성 및 경도 시험

기계적 특성 시험은 실온 및 고온에서 폴리브덴 와이어의 기계적 안정성을 평가합니다.

인장 시험:

장치 기능: 테스트 범위 $0-100 \text{ kN}$, 정확도 $\pm 0.5\%$.

기술적인 매개변수: 실온에서 인장 강도 $800-1200 \text{ MPa}$, 파단 신율 $10\%-25\%$; 고온

저작권 및 법적 책임 선언문

(1500 °C) 인장 강도 200-400 MPa.

공정 특성: 고온 테스트에는 수소 보호로(이슬점 <-40°C)가 장착되어야 하며 고정 장치 재료는 몰리브덴 또는 텅스텐입니다. 테스트 속도 0.1-1mm/min.

경도 테스트:

장치 기능 : 테스트 범위 HV 0.1-1000, 정확도 ± 0.5 HV.

기술적 인 매개 변수 : 순수 몰리브덴 와이어 HV 200-250, 도핑 된 몰리브덴 와이어 HV 250-300, 압흔 깊이 <0.01 mm.

가공 특성: 표본의 표면은 닦을 필요가 있고, 시험 힘은 0.1-0.5 N 이고, 처리 시간은 10 초입니다.

적용 영향: 인장 및 경도 테스트는 필라멘트 지지대 및 전극에서 몰리브덴 필라멘트의 기계적 신뢰성을 보장하여 자동차 헤드램프 및 프로젝션 램프의 요구 사항을 충족합니다.

8.3 조명용 몰리브덴 와이어의 표면 품질 검사

표면 품질은 몰리브덴 와이어의 아크 안정성, 내식성 및 광학 특성에 영향을 미치며, 이는 현미경 및 결함 감지 기술로 평가해야 합니다.

8.3.1 광학 현미경 및 표면 거칠기 테스트

광학 현미경과 거칠기 측정기는 몰리브덴 와이어의 표면 지형과 마감을 평가하는 데 사용됩니다.

광학 현미경 검사법:

장치 기능: 배율 50-1000x, 정확도 $\pm 0.001\mu\text{m}$.

기술 매개변수: $0.1\mu\text{m}$ 의 이미지 해상도로 굽힘, 균열 및 산화물 감지.

공정 특성: 샘플 연마가 필요하고 이미지 분석 소프트웨어가 장착되어 있으며 결함 수가 자동으로 계산됩니다. 감지 시간은 5-10 분입니다.

표면 거칠기 테스트:

장치 기능: 측정 범위 Ra 0.01-10 μm , 정확도 $\pm 0.001 \mu\text{m}$.

기술적 인 매개 변수 : 청소 된 몰리브덴 와이어 Ra 0.1-0.5 μm , 검은 색 몰리브덴 와이어 Ra 0.5-2.0 μm .

공정 특성: 접촉식 프로브 측정, 프로브 반경 2 μm , 이동 속도 0.5mm/s. 인라인 검사는 연마 장비와 통합될 수 있습니다.

적용 영향 : 고 마감 몰리브덴 와이어 (Ra<0.4 μm)는 HID 램프 및 UV 램프에 적합한 아크 안정성을 향상시키고 표면 결함률을 0.5 %< 제어합니다.

8.3.2 주사 전자 현미경 (SEM) 및 에너지 분광법 (EDS)

SEM 및 EDS 는 고해상도 표면 형상 및 조성 분석에 사용됩니다.

없이:

저작권 및 법적 책임 선언문

장치 기능: 해상도 1nm, 배율 100-100,000 배.

기술적 인 매개 변수 : 표면 균열, 다공성 및 부식 지형 감지, 초 미세 폴리브덴 와이어 (직경 0.01-0.05 mm)에 적합합니다.

공정 특성: 진공 환경($<10^{-6}$ Pa)이 필요하며 시료 표면에 전도성 코팅(예: 탄소 필름)이 필요합니다. 표면 지형을 분석하기 위한 3D 이미징 기능.

편집:

기술적 인 매개 변수 : 도핑 된 원소 (예 : La, Re) 분포 감지, 정확도 ± 0.1 %, 감지 깊이 1-2 μm .

공정 특성: SEM 과 통합되어 도핑 균일성(입자 간격 0.5-2 μm)을 분석합니다. 감지 시간 10-20 분.

적용 영향 : SEM-EDS 는 고장 분석 (예 : 할로겐 램프 전극 부식), 도핑 공정 최적화 및 폴리브덴 란타넘 와이어의 성능을 향상시키는 데 사용됩니다.

8.3.3 표면 결함 감지 기술

표면 결함 감지 기술은 미세한 균열 및 개재물을 식별하는 데 사용됩니다.

레이저 스캐닝 현미경:

장치 기능: 해상도 0.1 μm , 3D 이미징 깊이 10-100 μm .

기술적 인 매개 변수 : 굽힘, 균열 및 산화물 감지, 결함 크기 > 0.5 μm .

프로세스 특성: 비접촉 감지, 온라인 품질 관리에 적합합니다. 감지 속도는 1-5m/min 입니다.

자동화된 비전 시스템:

장치 기능: 0.01 μm 해상도의 고해상도 CCD 카메라가 장착되어 있습니다.

기술적 인 매개 변수 : 감지 표면 결함 비율은 <0.5 %로 대규모 생산에 적합합니다.

공정 기능: 와이어 드로잉과 통합, 결함 위치에 대한 실시간 피드백, 효율성 50% 증가.

응용 분야에 미치는 영향: 결함 감지 기술은 고장률을 낮추고 프로젝션 램프 및 자동차 헤드라이트의 엄격한 요구 사항을 충족하며 수율이 98%에 이릅니다.

8.4 조명용 폴리브덴 와이어의 고온 성능 테스트

고온 성능 테스트는 등기구의 작업 환경(1500-3000°C)에서 폴리브덴 와이어의 안정성을 평가하여 내산화성, 열 순환 및 기계적 특성을 다룹니다.

8.4.1 고온 내산화성 및 열적 안정성 시험

항산화 시험은 고온에서 폴리브덴 와이어의 화학적 안정성을 평가합니다.

장비 기능: 온도 범위 500-2000°C, 정확도 $\pm 5^\circ\text{C}$.

기술적인 매개변수:

테스트 조건: 아르곤 또는 수소 보호(이슬점 $<-40^\circ\text{C}$), 온도 1500-1800°C, 보온 1-

저작권 및 법적 책임 선언문

100 시간.

지수: 산화성 체중 증가 $<0.01 \text{ mg/cm}^2$, 표면에 MoO_3 휘발 없음.

공정 특성: 휘발성 산화물을 처리하기 위해 배기 가스 처리 시스템(알칼리 흡수)을 장착해야 합니다. 시료의 표면은 산화 시작 지점을 줄이기 위해 연마($R_a < 0.5 \mu\text{m}$)되어야 합니다.

응용 프로그램 영향: 항산화 성능은 백열등 및 할로겐 램프에서 몰리브덴 와이어의 화학적 안정성을 보장하고 수명을 10 % -20 % 연장합니다.

8.4.2 열 사이클링 및 크리프 저항 테스트

열 순환 및 크리프 저항 테스트는 장기간에 걸친 온도 변화와 고온에서 몰리브덴 와이어의 안정성을 평가합니다.

열 사이클링 테스트:

장비 기능: 온도 범위 -40°C 에서 800°C , 사이클 속도 $10\text{-}20^\circ\text{C/min}$.

기술적인 매개변수: 100-1000 사이클, 균열 감지 및 밀봉 실패.

공정 특성: 램프와 랜턴의 스위칭 과정을 시뮬레이션하고 밀봉 부분(몰리브덴 와이어-유리)의 열팽창 정합을 테스트합니다.

크리프 저항 시험:

장비 기능: 온도 $1500\text{-}1800^\circ\text{C}$, 응력 $50\text{-}200 \text{ MPa}$.

기술 매개변수: 크리프 속도 $<10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (몰리브덴 램판 와이어), 테스트 시간 100-1000 시간.

공정 특성: 수소 보호가 필요하며 고정 장치 재료는 몰리브덴 또는 텅스텐입니다. 크리프 속도는 $\pm 0.001 \text{ mm}$ 의 정확도를 가진 변위 센서에 의해 측정됩니다.

응용 프로그램 영향: 열 사이클링 테스트는 자동차 헤드램프에서 몰리브덴 와이어의 신뢰성을 보장하고 크리프 저항 테스트는 도핑된 몰리브덴 와이어(예: 몰리브덴 램판 와이어)를 최적화하여 HID 램프의 수명을 연장합니다.

8.4.3 고온 기계적 물성 시험

고온 기계적 테스트는 등기구의 작동 온도에서 몰리브덴 와이어의 기계적 특성을 평가합니다.

장비 기능: 온도 편차 $500\text{-}2000^\circ\text{C}$, 정확도 $\pm 0.5\%$.

기술적인 매개변수:

테스트 조건: 1500°C , 수소 보호, 인장 속도 $0.1\text{-}1 \text{ mm/min}$.

색인: 인장 강도 $200\text{-}400 \text{ MPa}$, 파단 신율 $5\% \text{-}15\%$.

공정 특성: 고온 설비(몰리브덴 또는 텅스텐 재료) 및 대기 제어 시스템(아르곤 또는 수소, 순도 $\geq 99.999\%$)을 갖추고 있어야 합니다. 테스트 데이터는 스트레인 게이지(정확도 $\pm 0.01\%$)에 의해 기록됩니다.

적용 영향: 고온 기계적 특성 테스트는 할로겐 램프 및 적외선 램프에서 몰리브덴 와이어의 기계적 안정성을 보장하고 ASTM B387 및 GB/T 4191-2015 의 요구 사항을 충족합니다.

8.5 조명용 몰리브덴 와이어의 전기적 성능 테스트

전기 성능 테스트는 조명기구의 발광 효율과 수명에 영향을 미치는 몰리브덴 와이어의 전도성과 아크 안정성을 평가합니다.

8.5.1 비저항 및 전도도 테스트

비저항 테스트는 몰리브덴 와이어의 전기 전도도를 평가합니다.

장치 기능 : 4 프로브 테스터, 측정 범위 10^{-8} - $10^6 \Omega \cdot m$, 정확도 $\pm 0.01\%$.

기술적인 매개변수:

저항률 : 순수 몰리브덴 와이어 $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ($20^\circ C$), 도핑 된 몰리브덴 와이어 약간 높음 ($6-7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$).

테스트 조건: 샘플 길이 50-100mm, 전류 1-10mA.

공정 특성: 일정한 온도 환경($20^\circ C$)이 필요하며 접촉 프로브는 접촉 저항을 피하기 위해 금 또는 텅스텐으로 만들어집니다. 테스트 결과는 옴의 법칙에 의해 계산됩니다.

적용 영향: 낮은 저항 몰리브덴 와이어는 Joule 열 손실을 줄이고 백열등 및 할로겐 램프의 에너지 효율성을 향상시킵니다.

8.5.2 온도 계수 및 아크 안정성 분석

온도 계수와 아크 안정성은 고온 아크 환경에서 몰리브덴 와이어의 성능에 영향을 미칩니다.

온도 계수 테스트:

장치 기능: 온도 범위 $20-1500^\circ C$, 정확도 $\pm 0.1\%$.

기술적인 매개변수 : 몰리브덴 와이어의 저항 온도 계수 $4.5 \times 10^{-5} / ^\circ C$ ($20-1000^\circ C$).

공정 특성: 테스트에는 수소 보호가 필요하며 샘플은 세라믹 고정 장치에 고정됩니다.

온도의 함수로서의 저항은 4 개의 프로브 방법으로 측정됩니다.

아크 안정성 테스트:

장치 기능: 전압 1-30kV, 전류 0.1-100A.

기술적인 모수: 아크 분파 $< 0.1 mm$, 전극 부식 비율 $< 0.01 mg/cm^2 \cdot h$.

프로세스 특성: 아크 궤적을 기록하기 위해 고속 카메라(1000fps)가 장착되어 있습니다. 이 테스트는 HID 램프($6000^\circ C$ 아크 센터)의 작업 환경을 시뮬레이션합니다.

적용 분야 영향: 아크 안정성 테스트는 몰리브덴 와이어($Ra < 0.4 \mu m$)의 표면 품질을 최적화하고 HID 및 크세논 램프의 발광 효율을 향상시킵니다.

8.5.3 고온 전기 성능 테스트

고온 전기 테스트는 등기구의 작동 온도에서 몰리브덴 와이어의 전도도를 평가합니다.

장비 기능: 반도체 분석기, 온도 범위 500-1500°C, 정확도 $\pm 0.01\%$.

기술적인 매개변수:

저항 : 약. $2.5 \times 10^{-7} \Omega \cdots 1500^\circ\text{C m}$ 에서.

테스트 조건: 수소 보호, 전류 0.1-1A.

공정 특성: 고온 고정 장치(몰리브덴 또는 텅스텐 재료) 및 대기 제어 시스템이 필요합니다. 테스트 데이터는 저항 변화를 실시간으로 기록하여 분석됩니다.

응용 분야 영향: 고온 전기 테스트는 할로겐 및 프로텍션 램프의 몰리브덴 와이어의 전도성 안정성을 보장하여 JIS H 4461 요구 사항을 충족합니다.

8.6 조명용 몰리브덴 와이어의 비파괴 검사

비파괴 검사(NDT)는 사용 성능에 영향을 주지 않고 몰리브덴 와이어의 내부 결함 및 구조적 무결성을 평가하는 데 사용됩니다.

8.6.1 초음파 탐상기 기술

초음파 결함 탐상은 몰리브덴 와이어 내부의 다공성과 개재물을 감지합니다.

장치 기능: 주파수 5-20MHz, 정확도 $\pm 0.01\text{mm}$.

기술적인 매개변수:

감지 범위: 직경 0.05-2mm, 결함 크기 $> 0.01\text{mm}$.

민감도: 기공과 내포물을 감지하며 반사된 신호 강도는 $10\%>$.

공정 특성: 물 접촉 매질이 필요하며 프로브 직경은 2-5mm 입니다. 감지 속도는 1-5m/min 으로 인라인 검사에 적합합니다.

응용 프로그램 영향 : 초음파 결함 감지는 몰리브덴 와이어의 내부 품질을 향상시키고 HID 램프 전극 고장의 위험을 줄이며 결함 감지율은 95 %에 이릅니다.

8.6.2 X 선 결함 탐지 및 CT 스캔

X 선 결함 탐지 및 CT 스캔은 몰리브덴 와이어의 내부와 표면에서 작은 결함을 감지하는 데 사용됩니다.

X 선 결함 탐상:

장치 기능: 전압 50-225kV, 분해능 $1\mu\text{m}$.

기술적인 매개변수: 균열 감지, 다공성, 결함 크기 $> 0.005\text{mm}$.

공정 특성: 샘플을 회전해야 하며 이미징 시간은 5-10 분입니다. 오프라인 검사에 적합합니다.

CT 스캔:

장치 기능: 해상도 $0.5\mu\text{m}$, 3D 재구성 정확도 $\pm 0.001\text{mm}$.

기술적인 매개변수: 매우 벌금 몰리브덴 철사를 위해 적당한 내부 포함과 곡물 경계 결점의 탐지.

공정 특성: 고진공 환경이 필요하며 스캔 시간은 10-30 분입니다. 결함 분포를 분석하기 위한 3D 재구성.

응용 분야 영향: X-ray 및 CT 스캔은 고급 몰리브덴 와이어(예: 프로젝션 램프)에 사용되어 내부 결함이 없음을 보장하고 신뢰성을 향상시킵니다.

8.6.3 자분 탐상 테스트 및 와전류 테스트

자분 입자 및 와전류 탐상검사는 표면 및 표면 근처 결함을 신속하게 선별하는 데 사용됩니다.

자분 탐상 검사:

장치 기능: 자기장 강도 0.1-1T, 감도 0.01mm.

기술적인 매개 변수: 표면 균열 및 굽힘 감지, 직경 >0.1 mm의 몰리브덴 와이어에 적합합니다.

공정 특성: 자성 분말 현탁액(형광 또는 비형광성)이 필요하며 감지 시간은 1-3분입니다. 강자성 내포물에만 해당됩니다.

와전류 탐상검사:

장치 기능: 주파수 10kHz-10MHz, 감도 0.01mm.

기술적인 매개변수: 표면 및 표면 근처 균열 감지, 인라인 검사에 적합, 속도 1-10m/min.

공정 특성: 비전도성 코팅 또는 산화물 층 간섭을 감지하기 위해 코일을 보정해야 합니다. 자동화 시스템은 효율성을 50% 증가시킵니다.

적용 시사점: 와전류 탐상검사는 대량 생산에 사용되고, 자분 탐상검사는 고장 분석에 사용되어 자동차 헤드라이트에서 몰리브덴 와이어의 표면 품질을 보장합니다.



저작권 및 법적 책임 선언문

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	5.5×10 ⁻⁸ Ω·m	6.0×10 ⁻⁸ Ω·m	6.5×10 ⁻⁸ Ω·m
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

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

Chapter 9 조명 용 몰리브덴 와이어의 미래 개발 동향

조명 산업에서 중요한 재료인 조명용 몰리브덴 와이어는 신소재 기술, 생산 공정 업그레이드, 대체 재료 경쟁 및 시장 수요의 급격한 변화에 직면해 있습니다. 이 장에서는 새로운 도핑 기술, 지능적이고 친환경적인 생산 공정, 대체 재료의 연구 개발, 시장 및 응용 프로그램 확장에서 조명용 몰리브덴 와이어의 미래 개발 동향에 대해 논의하고 글로벌 기술 발전 및 산업 동향을 기반으로 한 미래 지향적인 분석을 제공합니다.

9.1 신소재 및 도핑 기술

신소재 및 도핑 기술의 발전으로 조명용 몰리브덴 와이어의 성능이 향상되어 고온 안정성, 내식성 및 전기적 특성과 같은 보다 까다로운 조명 응용 분야의 요구 사항을 충족할 것입니다.

9.1.1 새로운 도핑 원소(예: 희토류, 귀금속) 탐사.

도핑 기술은 희토류 또는 귀금속 원소를 도입하여 몰리브덴 와이어의 고온 강도, 크리프 저항 및 내식성을 크게 향상시킵니다.

기술 동향: 연구는 세륨(Ce), 이트륨(Y), 레늄(Re) 및 백금(Pt)과 같은 새로운 도핑 원소에 중점을 둡니다. 희토류 원소(예: CeO_2 , 도핑 0.2%-1.0%)는 입자(입자 크기 $20\mu\text{m}$ 에서 $10\mu\text{m}$)를 미세화하고 인장 강도를 증가시킵니다(1500°C 에서 20% 증가). 귀금속(예: Re, 도핑 1%-5%)은 아크 내식성을 향상시키고 부식 속도를 30% 감소시키며 고강도 방전 램프(HID)에 적합합니다.

공정 특성: 도핑된 원소의 균일한 분포를 보장하기 위해 분무 건조 기술과 결합된 습식 도핑(편차 $< 0.01\%$). 고온 소결($2000-2300^\circ\text{C}$)은 원소 휘발을 방지하기 위해 대기(수소, 이슬점 $< -40^\circ\text{C}$)의 정밀한 제어가 필요합니다.

과제 및 전망: 새로운 도핑 원소의 비용이 높고(예: Re 가 몰리브덴의 10 배) 성능과 비용의 균형을 맞추기 위해 도핑 양을 최적화해야 합니다. 향후 5-10 년 동안 희토류 도핑된 몰리브덴 와이어는 고급 자동차 헤드램프 및 프로젝션 램프에서 시장 점유율의 20%를 차지할 것으로 예상됩니다.

응용 프로그램 영향: 새로운 도핑된 몰리브덴 와이어는 램프의 수명(30%-50%)을 연장하고 고휘도 및 긴 수명의 조명 요구를 충족합니다.

9.1.2 나노 스케일 몰리브덴 와이어의 R&D 및 응용

나노 스케일 몰리브덴 와이어 (직경 $< 0.01\text{ mm}$)는 나노 구조로 최적화되어 기계적 및 전기적 특성을 향상시킵니다.

기술 동향: 나노 드로잉 기술과 화학 기상 증착(CVD)에 의한 직경 5-10nm 의 몰리브덴 필라멘트 준비. 나노 구조는 인장 강도 (실온에서 최대 1500 MPa)와 파단 신율 (15 %)을 향상시킬 수 있습니다. 표면 나노 처리(예: Al_2O_3 코팅 증착, 두께 50-

저작권 및 법적 책임 선언문

100nm)는 내산화성을 향상시키고 산화 중량을 $0.005\text{mg}/\text{cm}^2 <$ 증가시킵니다.

공정 특성: 초고정밀 와이어 드로잉 장비(공차 $\pm 0.0005\text{mm}$) 및 나노 스케일 금형(조리개 정확도 $\pm 0.001\mu\text{m}$)이 필요합니다. 어닐링 공정($900-1100^\circ\text{C}$, 수소 보호)은 입자 크기($<100\text{nm}$)를 최적화합니다.

도전 및 전망: 나노 와이어 드로잉 장비의 비용이 높고 수율이 낮습니다(약 70%). 향후 10 년 동안 정밀 제조 기술의 발전으로 나노 스케일 몰리브덴 와이어는 소형 램프(예: 의료 조명)에 사용될 것으로 예상되며 시장 점유율은 10%로 예상됩니다.

응용 분야 함의: 나노 스케일 몰리브덴 와이어는 아크 안정성과 광학 성능을 향상시키기 위해 고정밀 조명(예: 레이저 프로젝션)에 적합합니다.

9.1.3 복합재 및 몰리브덴 기반 합금

몰리브덴 매트릭스 복합 재료 및 합금은 다른 고온 재료와 결합하여 몰리브덴 와이어의 적용 범위를 확장합니다.

기술 동향: 몰리브덴-텅스텐(Mo-W), 몰리브덴-세라믹(예: Mo-ZrO₂) 및 몰리브덴-탄소 나노튜브(CNT) 복합체 개발. Mo-W 합금(10%-30% W 함량)은 용점(2800°C 까지)과 크리프 저항(크리프 속도 $<10^{-7} \text{ s}^{-1}$)을 증가시킵니다. Mo-ZrO₂ 복합재는 내산화성을 향상시키고 적외선 램프에 적합합니다.

공정 특성: 플라즈마 소결(온도 $2000-2200^\circ\text{C}$, 압력 50 MPa)과 결합된 분말 야금으로 복합 블랭크를 제조합니다. 복합재는 기계적 특성의 균일성을 보장하기 위해 정밀하게 제어된 상 분포(편차 $<0.1\mu\text{m}$)가 필요합니다.

과제 및 전망: 복합재는 가공하기 어렵고 비용이 20%-30% 증가합니다. 향후 5-10 년 동안 Mo-W 합금은 램프 몰리브덴 와이어 시장의 15 %를 차지하는 순수 몰리브덴 와이어의 일부를 대체 할 것으로 예상됩니다.

응용 분야 영향: 복합재는 극한 환경(예: 자외선 램프, 고온 용광로)에서 몰리브덴 와이어의 신뢰성을 향상시키고 특수 조명의 요구 사항을 충족합니다.

9.2 지능적이고 친환경적인 생산 공정

지능적이고 친환경적인 생산 공정은 조명용 몰리브덴 와이어의 생산 효율성, 품질 일관성 및 환경 지속 가능성을 향상시킬 것입니다.

9.2.1 지능형 제조 및 인터스트리 4.0 기술

스마트 제조는 자동화, 데이터 분석 및 사물 인터넷(IoT)을 통해 몰리브덴 와이어 생산을 최적화합니다.

기술 동향: 온라인 모니터링 시스템, 인공 지능(AI) 및 빅 데이터 분석과 같은 인터스트리 4.0 기술의 채택. 온라인 레이저 캘리퍼(정확도 $\pm 0.001\text{mm}$)는 몰리브덴

저작권 및 법적 책임 선언문

와이어의 직경을 실시간으로 모니터링하고 AI 알고리즘은 와이어 파손 위험(정확도 > 95%)을 예측합니다. IIoT 는 도면, 어닐링 및 검사 장비를 통합하여 전체 프로세스를 자동화합니다.

공정 특징 : 지능형 와이어 드로잉 머신은 서보 모터를 통해 장력 (± 0.5 N)을 제어하여 와이어 파손률을 10 % 줄입니다. 디지털 트윈 기술은 소결 및 와이어 드로잉 공정을 시뮬레이션하고 공정 매개변수(온도, 속도)를 최적화하며 수율을 98%까지 높입니다.

과제 및 전망: 스마트 장치의 초기 투자는 높지만(총 비용의 약 30%를 차지함) 인건비를 20%까지 절감할 수 있습니다. 향후 5 년 동안 중국의 몰리브덴 와이어 기업에서 지능형 제조가 대중화될 것으로 예상되며 생산 효율성은 15%-20% 증가할 것입니다.

응용 분야 영향: 지능형 생산은 몰리브덴 와이어의 치수 일관성과 성능 안정성을 보장하고 고급 램프(예: HID 램프)의 고정밀 요구 사항을 충족합니다.

9.2.2 녹색생산공정과 폐기물 재활용

친환경 생산은 폐기물 재활용 및 환경 친화적인 공정을 통해 환경에 미치는 영향을 줄입니다.

기술 동향: 솔질된 끊어진 전선 및 소결 폐기물의 회수를 위한 폐쇄 루프 재활용 시스템 개발(30%-40% 회수). 화학 세정 폐액은 중화 및 침전되고 중금속 배출 < 0.1mg/L 로 하수 배출 기준을 충족합니다. 배기 가스 처리 시스템(가성 흡수)은 산화물 배출을 0.05mg/m^3 < 제어합니다.

공정 특성: 인발 공정에서 VOC 배출량을 줄이기 위해 저휘발성 윤활제(예: 수성 윤활제)를 사용합니다(50%). 폐기물은 수소 환원(온도 800-1000°C)에 의해 몰리브덴 분말에서 재생되어 비용을 10% 절감합니다.

과제 및 전망: 재활용 장비에는 높은 초기 투자가 필요하며 재활용 효율성은 폐기물의 순도에 의해 제한됩니다. 향후 10 년 동안 친환경 생산은 RoHS 및 ISO 14001 요구 사항에 따라 업계 표준이 될 것입니다.

응용 분야에 미치는 영향: 친환경 기술은 기업의 환경 이미지를 향상시키고 유럽 및 미국 시장(예: 자동차 조명)의 규정 준수 요구 사항을 충족합니다.

9.2.3 에너지 최적화 및 저탄소 제조

저탄소 제조는 에너지 소비를 최적화하여 생산 비용과 탄소 배출량을 줄입니다.

기술 동향: 에너지 효율적인 소결로(에너지 소비 15% 감소) 및 고효율 와이어 드로잉 기계(모터 효율 > 90%). 유도 가열은 저항 가열을 대체하고 가열 효율이 20% 증가합니다. 공정 매개변수의 최적화(예: 어닐링 온도에서 50°C 감소)는 에너지

저작권 및 법적 책임 선언문

소비를 10% 줄입니다.

프로세스 특성: 에너지 관리 시스템(EMS)은 에너지 소비를 실시간으로 모니터링하고 생산 일정을 최적화합니다. 폐열 회수 시스템은 소결로의 폐열을 사용하여 블랭크를 예열하여 에너지를 5%-10% 절약합니다.

과제 및 전망: 에너지 절약형 장비는 업그레이드하는 데 비용이 많이 들고 투자를 회수하는 데 5-7 년이 걸립니다. 향후 10 년 동안 저탄소 제조는 글로벌 탄소 중립 목표에 따라 몰리브덴 와이어 생산으로 인한 탄소 배출량을 20% 줄이는 것을 촉진할 것입니다.

응용 분야에 미치는 영향: 저탄소 제조는 생산 비용을 절감하고(약 5%) 시장 경쟁력을 높이며 친환경 조명 시장의 수요를 충족합니다.

9.3 조명용 몰리브덴 와이어의 대체 재료

조명 기술의 발전으로 대체 재료가 몰리브덴 와이어를 부분적으로 대체할 수 있지만 그 고유한 특성에는 여전히 장점이 있습니다.

9.3.1 텅스텐 기반 재료 및 새로운 합금

텅스텐 기반 재료는 높은 용점과 강도로 인해 몰리브덴 와이어의 잠재적인 대안으로 간주됩니다.

기술 동향 : 텅스텐-레늄 (W-Re, 3 % -10 % Re) 합금으로 인장 강도 (1500 °C 에서 500 MPa) 및 아크 내식성을 향상시킵니다. 텅스텐 매트릭스 복합 재료 (예 : W-ZrO₂)는 내산화성을 향상시키고 산화 중량을 0.005 mg / cm²< 증가시킵니다.

공정 특성: 텅스텐 기반 재료에는 더 높은 소결 온도(2500-2800°C)와 정밀 와이어 드로잉 장비(허용 오차± 0.001mm)가 필요합니다. 표면 코팅(예: Si₃N₄)은 화학적 안정성을 향상시킵니다.

도전 및 전망 : 텅스텐 기반 재료의 비용은 몰리브덴의 2-3 배이며 가공이 어렵습니다. 향후 5-10 년 동안 W-Re 합금은 고급 HID 램프에서 시장 점유율의 10 %를 차지할 수 있지만 몰리브덴 와이어는 비용 이점으로 인해 여전히 주류입니다.

적용 시사점: 텅스텐 기반 재료는 초고온 응용 분야(예: 크세논 램프)에 적합하지만 몰리브덴 와이어는 할로겐 및 백열 램프에서 더 경제적입니다.

9.3.2 세라믹 및 탄소계 재료

세라믹과 탄소계 소재는 고온 안정성과 경량성으로 주목받고 있습니다.

기술 동향: 지르코니아(ZrO₂) 및 질화규소(Si₃N₄) 세라믹은 내산화성(2000°C 에서 안정)과 전기 절연성이 우수하여 등기구 지지 구조에 적합합니다. 탄소 나노 튜브 (CNT)와 그래핀은 높은 전도성 (10⁶ S / m)과 강도 (>1 GPa)로 인해 전극에 사용됩니다.

저작권 및 법적 책임 선언문

공정 특성: 세라믹은 플라즈마 소결(1800-2000 °C)이 필요하고 탄소 기반 재료는 CVD(800-1200 °C)에 의해 증착되어야 합니다. 세라믹 가공에는 고정밀 금형이 필요하며 탄소 기반 재료는 유리 밀봉과의 열팽창 불일치 문제를 해결해야 합니다.

과제 및 전망: 세라믹 및 탄소 기반 재료는 가격이 비싸고(몰리브덴보다 3-5 배 더 비쌉니다) 생산 규모가 제한적입니다. 향후 10-15 년 동안 특수 조명(예: 자외선 램프) 시장 점유율의 5%를 차지할 수 있습니다.

응용 분야 영향: 세라믹 및 탄소 기반 재료는 고정밀 소형 조명기구에 적합하지만 기존 조명에서 몰리브덴 와이어의 우세는 단기간에 교체하기 어렵습니다.

9.3.3 신흥 고온 도전성 재료

새로운 전도성 물질은 조명용 몰리브덴 와이어에 더 많은 가능성을 제공합니다.

기술 동향: 금속 매트릭스 복합재(예: TiC-Ni) 및 고온 초전도체(예: YBCO)는 우수한 전기 전도성(비저항 < $10^{-4} \Omega \cdot m$) 및 고온 저항(>2000°C)을 가지고 있습니다. MoS₂ 필름과 같은 2 차원 재료는 높은 전기 전도성과 내식성으로 인해 주목받고 있습니다.

공정 특성: 신흥 재료에는 고급 증착 기술(예: PVD, ALD)이 필요하며 두께는 10-100nm 로 제어됩니다. 생산은 불순물에 의한 오염을 방지하기 위해 매우 깨끗한 환경(ISO 클래스 5)이어야 합니다.

도전 과제 및 전망: 신흥 재료 기술은 아직 성숙하지 않았으며 비용은 몰리브덴의 5-10 배입니다. 향후 15-20 년 동안 레이저 조명 및 항공 우주 분야에서 시장의 <5%를 차지하는 획기적인 발전이 이루어질 수 있습니다.

응용 분야 영향: 새로운 재료는 최첨단 응용 분야에 적합하지만 몰리브덴 와이어는 성숙한 공정 및 비용 이점으로 인해 여전히 지배적입니다.

9.4 시장 및 응용 프로그램 확장

조명용 몰리브덴 와이어의 응용 분야 및 시장 수요는 조명 기술 및 세계 시장의 변화에 따라 확대될 것입니다.

9.4.1 LED 및 레이저 조명의 잠재적 응용 분야

LED 및 레이저 조명은 기존 몰리브덴 와이어의 필요성을 줄이지만 특정 영역에서는 여전히 잠재력이 있습니다.

기술 동향: LED 램프의 전도성 리드 및 방열 기판인 몰리브덴 와이어는 높은 전기 전도성(>10⁷ S/m)과 열전도율(>130 W/m·K)을 필요로 합니다. 레이저 조명에서 몰리브덴 와이어는 형광체 또는 전극을 지지하는 데 사용되며 높은 에너지 밀도(>10⁴ W/cm²)를 받습니다.

공정 특성: 초미세 인발(직경 <0.02mm) 및 표면 코팅(Al₂O₃, 두께 50nm)이 방열 및

저작권 및 법적 책임 선언문

내식성 향상을 위해 필요합니다. 밀봉 공정은 사파이어 기판과 일치해야 합니다(열팽창 계수 편차 $< 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$).

도전 과제 및 전망: LED 및 레이저 조명 시장은 빠르게 성장하고 있지만(연간 10% 성장) 몰리브덴 와이어의 사용은 전체 시장의 5%를 차지합니다. 향후 10년 동안 고급 LED(예: 자동차 조명) 및 레이저 프로젝션의 몰리브덴 와이어에 대한 수요는 15% 증가할 것으로 예상됩니다.

응용 프로그램 영향: LED 및 레이저 조명에 몰리브덴 와이어를 적용하면 시장 수명이 연장되고 기존 조명 시장의 축소를 만회할 수 있습니다.

9.4.2 항공우주 및 고온 산업으로의 확대

항공 우주 및 고온 산업은 몰리브덴 와이어에 대한 새로운 응용 분야를 제공합니다.

기술 동향: 몰리브덴 와이어는 항공 우주 산업에서 인장 강도가 1500MPa(실온)인 고온 전극($>2000^{\circ}\text{C}$) 및 센서 재료로 필요합니다. 고온 산업(예: 플라즈마 분무, 열처리)은 몰리브덴 와이어를 발열체로 사용하며 크리프 저항(크리프 속도 $< 10^{-7} \text{ s}^{-1}$)이 필요합니다.

공정 특성: 몰리브덴-레늄 합금(5% Re) 및 표면 코팅(예: MoSi_2 , 두께 1-2 μm)을 개발해야 합니다. 생산에는 고진공 소결($<10^{-3} \text{ Pa}$) 및 정밀 성형 공정이 필요합니다.

과제 및 전망: 항공우주 시장은 신뢰성 요구 사항이 매우 높으며 몰리브덴 와이어는 인증(예: AS9100)이 필요합니다. 향후 10년 동안 이 분야의 수요는 몰리브덴 와이어 시장의 10%를 차지할 것으로 예상됩니다.

응용 분야 영향: 항공 우주 및 고온 산업은 축소되는 조명 시장을 보상하기 위해 몰리브덴 와이어의 고부가가치 응용 분야를 확대하고 있습니다.

9.4.3 글로벌 시장 수요 및 신흥 시장 분석

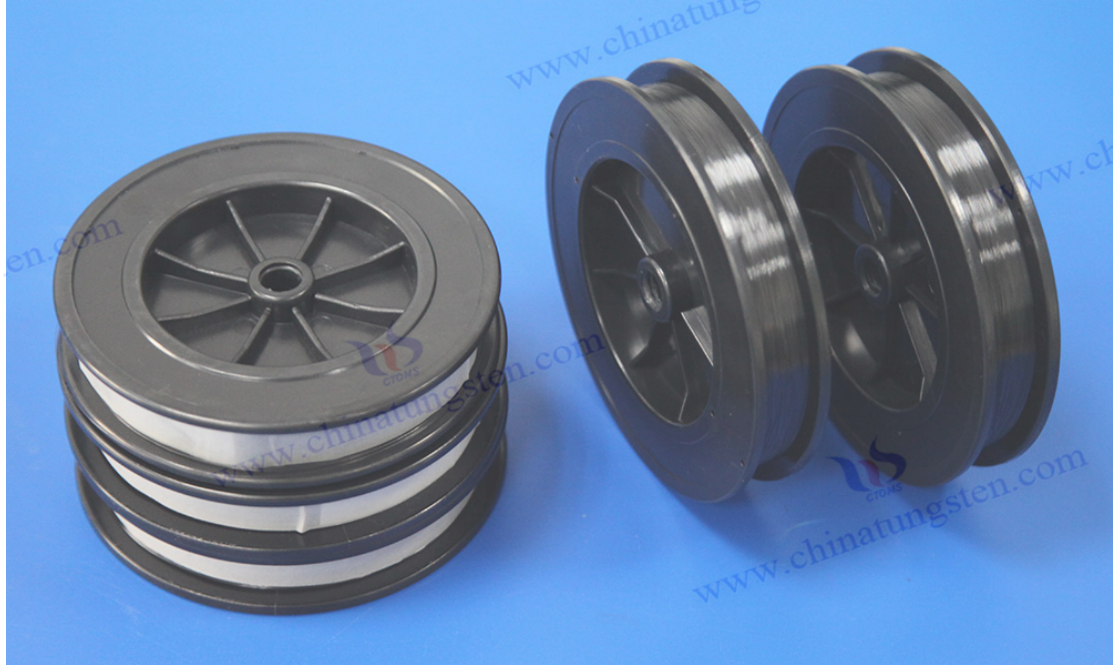
글로벌 시장 수요의 변화와 새로운 시장의 부상은 몰리브덴 와이어에 성장 기회를 제공합니다.

기술 동향: 기존 조명(예: 할로겐, HID) 시장은 개발도상국(예: 인도, 동남아시아)에서 여전히 연간 5%-7%의 비율로 성장하고 있습니다. 고급 조명(예: 자동차 헤드램프, 프로젝션 램프)에 대한 수요로 인해 도핑된 몰리브덴 와이어(몰리브덴, 란타넘, 몰리브덴-레늄)가 10% 증가했습니다. 글로벌 몰리브덴 와이어 시장은 2025년부터 2030년까지 연평균 3%의 성장률을 유지할 것으로 예상됩니다.

시장 특성: 중국은 유럽, 북미 및 아시아로 수출되는 세계 몰리브덴 와이어 생산의 70%를 차지합니다. 신흥 시장(예: 아프리카, 라틴 아메리카)은 인프라 건설에 대한 수요 증가로 인해 세계 시장의 15%를 차지할 것으로 예상됩니다.

과제 및 전망: 유럽 및 미국 시장은 엄격한 환경 보호 요구 사항(RoHS, REACH)을 가지고 있으며 친환경 생산 공정을 요구합니다. 향후 10 년 동안 신흥 시장에서 저비용 조명에 대한 수요로 인해 몰리브덴 와이어 판매가 20% 증가할 것입니다.

응용 프로그램 영향: 신흥 시장의 성장과 고급 응용 프로그램의 확장은 글로벌 조명 시장에서 몰리브덴 와이어의 지속적인 경쟁력을 보장할 것입니다.



CTIA 의 조명용 몰리브덴 와이어

부록

A. 용어집

몰리브덴 와이어: 몰리브덴을 주성분으로 하는 가느다란 금속선으로 고온 조명 장치에 널리 사용됩니다.

순수 몰리브덴 와이어: 도핑 요소를 추가하지 않고 순도가 $\geq 99.95\%$ 인 몰리브덴 와이어.

몰리브덴 란타넘 와이어: 고온 강도와 크리프 저항을 향상시키기 위해 란탄 산화물로 도핑된 몰리브덴 와이어.

몰리브덴 레늄 와이어: 연성과 내산화성을 향상시키기 위해 레늄 원소가 도핑된 몰리브덴 와이어.

블랙 몰리브덴 와이어: 표면에 흑색 산화물 층이 있고 연마되지 않은 몰리브덴 와이어입니다.

청소된 몰리브덴 와이어: 광택 처리되거나 청소된 몰리브덴 와이어로 표면이 밝습니다.

분말 야금: 분말 압착, 소결 및 기타 공정을 통해 금속 재료를 준비하는 기술.

와이어 드로잉 공정: 금형을 통해 금속 블랭크를 늘려 필라멘트를 형성하는 가공 방법.

고온 강도 : 고온에서 재료의 인장 강도 및 변형 저항.

내산화성: 고온에서 산화적 부식에 저항하는 재료의 능력.

할로겐 사이클: 할로겐 램프에서 할로겐 가스와 필라멘트의 화학 반응을 통해 필라멘트의 수명을 연장하는 과정.

X 선 형광(XRF): X 선을 사용하여 원소 분석을 위해 샘플을 여기시키는 검출 기술입니다.

유도 결합 플라즈마 발광 분석법(ICP-OES): 플라즈마 여기(plasma excitation)에 의한 원소 정량화 기법.

주사 전자 현미경(SEM): 재료의 표면 지형을 관찰하는 데 사용되는 고해상도 현미경입니다.

저항률: 전류에 저항하는 물질의 능력을 측정한 것으로, 옴 미터 단위로 측정됩니다.

열팽창 계수: 재료가 온도에 따라 증가함에 따라 부피가 팽창하는 정도입니다.

RoHS: 유해 물질 제한.

녹색 제조: 에너지 절약, 환경 보호 및 저탄소를 목표로 하는 생산 방법.

B. 참조

- [1] 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 재료 핸드북, Metallurgical Industry Press, 2018.
- [2] "몰리브덴 와이어의 제조 공정 및 기술", Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2022.
- [3] ASTM B386-03, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 판, 시트, 스트립 및 호일에 대한 표준 사양.
- [4] GB/T 3462-2017, 몰리브덴 바 및 플레이트.
- [5] 분말 야금 기술의 발전, 재료 과학 및 공학, 2023.
- [6] "몰리브덴 와이어 드로잉 공정 최적화", Metal Processing, 2021.
- [7] "도핑된 몰리브덴 와이어의 성능 향상 메커니즘", International Materials Review, 2020.
- [8] "몰리브덴 와이어의 표면 처리 기술 적용", Surface Engineering, 2022.

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

- [9] RoHS 지침 2011/65/EU, 유럽 연합, 2011.
- [10] 글로벌 폴리브덴 시장 분석 보고서, 시장 조사 미래, 2024 년.
- [11] 조명기기의 재료 및 기술, 조명공학회지, 2023.
- [12] "할로젠 램프 및 가스 방전 램프 기술", 국제조명연구소 기술 보고서, 2022.
- [13] 자동차조명재료연구, 자동차공학, 2021.
- [14] "특수조명기술의 발전", Optics and Optoelectronic Technology, 2023.
- [15] Materials for Vacuum Electronic Devices, 전자산업출판사, 2020.
- [16] EDM Technology, 기계공학회지, 2022.
- [17] "고온 용광로의 재료 및 응용", 재료 과학 및 공학, 2021.
- [18] 첨단소재제조기술, 사이언스프레스, 2023.
- [19] 지능형 제조 및 인더스트리 4.0, China Machine Press, 2022.
- [20] "녹색제조기술의 발전", 환경과학기술, 2023 년.
- [21] 조명재료및기술, 조명공학회지, 2024.
- [22] ISO 22447, 폴리브덴 및 폴리브덴 합금 제품, 국제 표준화 기구, 2019.
- [23] RoHS 지침 2011/65/EU, 유럽 연합, 2011.
- [24] Journal of Aerospace Materials Technology, Journal of Aeronautical Materials, 2023 년.
- [25] 재료물성시험기술, 사이언스프레스, 2022.
- [26] GB/T 4182-2000 "폴리브덴 및 폴리브덴 합금의 화학 분석 방법", 중화 인민 공화국 표준화 관리국, 2000.
- [27] "비파괴 검사 기술", 중국기계공학회, 2023.
- [28] "고온 재료의 성능 테스트", 재료 과학 및 공학, 2021.
- [29] "전기성능시험기술", 전자산업신문, 2020.