

텅스텐 합금 막대 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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

CTIA 그룹 소개

차이나텅스텐 온라인(CHINATUNGSTEN ONLINE)이 설립한 완전 자회사이자 독립적인 법인격을 가진 CTIA 그룹(CTIA GROUP LTD)은 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능적이고 통합적이며 유연한 설계 및 제조를 추진하는 데 전념하고 있습니다. 1997 년 www.chinatungsten.com 을 시작점으로 설립된 차이나텅스텐 온라인은 중국 최초의 최고급 텅스텐 제품 웹사이트로, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업에 중점을 둔 중국을 선도하는 전자상거래 기업입니다. CTIA 그룹은 텅스텐과 몰리브덴 분야에서 30 년 가까이 쌓아온 심층적인 경험을 활용하여 모회사의 탁월한 설계 및 제조 역량, 우수한 서비스, 글로벌 비즈니스 명성을 계승하여 텅스텐 화학물질, 텅스텐 금속, 시멘트 카바이드, 고밀도 합금, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 분야에서 포괄적인 애플리케이션 솔루션 제공업체가 되었습니다.

지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 20 개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹사이트를 구축하여 20 개 이상의 언어를 지원하고 있으며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 뉴스, 가격, 시장 분석 자료를 백만 페이지 이상 보유하고 있습니다. 2013 년부터 위챗 공식 계정인 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 4 만 건 이상의 정보를 게시하여 약 10 만 명의 팔로워를 확보 하고 전 세계 수십만 명의 업계 전문가에게 매일 무료 정보를 제공하고 있습니다. 웹사이트 클러스터와 공식 계정 누적 방문자 수가 수집역 회를 기록하며, CHINATUNGSTEN ONLINE 은 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업 분야에서 세계적으로 인정받는 권위 있는 정보 허브로 자리매김했습니다. 24 시간 다국어 뉴스, 제품 성능, 시장 가격, 시장 동향 서비스를 제공합니다.

CTIA 그룹은 CHINATUNGSTEN ONLINE 의 기술과 경험을 바탕으로 고객 맞춤형 니즈 충족에 집중합니다. AI 기술을 활용하여 특정 화학 조성 및 물리적 특성(입자 크기, 밀도, 경도, 강도, 치수 및 공차 등)을 가진 텅스텐 및 몰리브덴 제품을 고객과 공동으로 설계 및 생산합니다. 금형 개봉, 시제품 제작, 마무리, 포장 및 물류에 이르는 전 공정 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 전 세계 13 만 명 이상의 고객에게 50 만 종 이상의 텅스텐 및 몰리브덴 제품에 대한 R&D, 설계 및 생산 서비스를 제공하여 맞춤형, 유연하고 지능적인 제조의 기반을 마련했습니다. CTIA 그룹은 이러한 기반을 바탕으로 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능형 제조 및 통합 혁신을 더욱 심화하고 있습니다.

CTIA GROUP 의 한스 박사와 그의 팀은 30 년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 작성하여 공개하고 텅스텐 업계와 자유롭게 공유해 왔습니다. 1990 년대부터 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 그리고 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조 분야에서 30 년 이상의 경력을 쌓아 온 한 박사는 국내외 텅스텐 및 몰리브덴 제품 분야의 저명한 전문가입니다. CTIA GROUP 팀은 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하며, 생산 관행 및 시장 고객 요구에 기반한 기술 연구 논문, 기사 및 산업 보고서를 지속적으로 작성하여 업계에서 폭넓은 호평을 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA 그룹의 기술 혁신, 제품 홍보, 업계 교류에 대한 탄탄한 지원을 제공하며, 이를 통해 회사가 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조와 정보 서비스 분야에서 선두주자로 발돋움하는 데 기여할 것입니다.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

목차

머리말

글쓰기 배경 및 실제적 의의
텅스텐 합금봉의 전략적 위치와 핵심 가치
이 책을 사용하는 방법
대상 청중 및 참조 목적

제 1 장: 텅스텐 합금봉의 기본 개념 및 분류

- 1.1 텅스텐 합금 막대의 정의 및 기본 형태
- 1.2 고비중 텅스텐 합금(W-Ni-Fe / W-Ni-Cu) 시스템 소개
- 1.3 텅스텐 합금 막대의 일반적인 크기, 형상 및 표면 조건
- 1.4 텅스텐 합금 막대의 분류 (조성 / 용도 / 가공 방법별)
- 1.5 텅스텐 합금 막대와 텅스텐 구리 막대, 텅스텐 막대 및 기타 재료의 비교

제 2 장: 텅스텐 합금 막대의 물리적 및 기계적 특성

- 2.1 밀도, 비중 및 치수 정밀도 관리
- 2.2 인장 강도, 항복 강도 및 신율
- 2.3 경도 및 내충격성
- 2.4 열전도도, 열팽창 계수 및 고온 성능
- 2.5 전기적 특성, 자기 응답 및 내방사선성
- 2.6 내식성 및 화학적 안정성 분석

제 3 장: 텅스텐 합금봉의 제조 및 성형 기술

- 3.1 원료 준비 및 분말 특성
- 3.2 분말 야금 프레스 공정 (성형, 등방성 프레스)
- 3.3 소결 기술 및 분위기 제어
- 3.4 열처리 및 치밀화 공정 최적화
- 3.5 가공 및 표면 처리 기술 (연삭, 연마, 터닝)
- 3.6 새로운 준비 기술: 압출, 압연, 적층 제조

제 4 장: 텅스텐 합금봉의 성능 시험 및 품질 평가

- 4.1 외관 및 기하학적 치수 검사
- 4.2 밀도 및 미세조직 분석 방법
- 4.3 기계적 성질 시험 표준 (ASTM, GB, ISO)
- 4.4 금속조직 분석 및 미세조직 특성 분석
- 4.5 화학 성분 분석 (ICP, XRF, ONH)
- 4.6 표면 거칠기 및 결함 검출 (시각 검사, CT)
- 4.7 비파괴 검사 기술 (초음파, X 선, 자분탐상 검사)

제 5 장: 텅스텐 합금봉의 일반적인 적용 분야

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

- 5.1 항공우주용 균형추 및 관성 부품
- 5.2 군용 장비용 텅스텐 합금 막대 (철갑탄 코어, 미사일 꼬리 부분)
- 5.3 원자력 에너지 응용 분야 (방사선 차폐 막대, 중성자 흡수 구조)
- 5.4 의료 장비용 고밀도 구조 막대 (방사선 치료 장치)
- 5.5 고정밀 기기의 동적 균형 막대 및 회전 관성 부품
- 5.6 전자 및 통신 산업의 지지 및 방열 구조

제 6 장: 특수 텅스텐 합금 막대의 연구, 개발 및 업그레이드

- 6.1 나노입자 강화 텅스텐 합금 막대
- 6.2 미세합금 텅스텐 합금 막대 설계 및 성능 개선
- 6.3 고강도 및 고인성 텅스텐 합금 막대의 조성 조절
- 6.4 고온 내성 텅스텐 합금 막대의 열처리 연구
- 6.5 텅스텐 합금 막대의 표면 코팅 및 내마모성 향상
- 6.6 기능성 텅스텐 합금 막대: 전기 전도성, 열 전도성, 내자성

제 7 장: 텅스텐 합금봉의 규정 준수 시스템

- 7.1 중국 국가 / 산업 표준 (GB/T, YS/T)
- 7.2 미국 표준 시스템 (ASTM, MIL)
- 7.3 EU 및 ISO 국제 표준
- 7.4 환경 보호 및 재료 안전 인증 (RoHS, REACH, MSDS)
- 7.5 항공, 군사 및 의료 산업의 품질 시스템 요구 사항

제 8 장: 텅스텐 합금 막대의 포장, 보관 및 운송

- 8.1 포장 방법 및 보호 조치 (진공 포장, 건조제)
- 8.2 보관 조건 및 주의사항 (온도 및 습도 조절, 부식 방지)
- 8.3 국제 운송 규정 및 위험물 신고 지침
- 8.4 텅스텐 합금 막대에 대한 세관 감독 및 수출 허가 요건

제 9 장: 텅스텐 합금봉 시장 구조 및 발전 추세

- 9.1 글로벌 텅스텐 자원 및 합금봉 산업 사슬 개요
- 9.2 텅스텐 합금봉 시장 규모 및 성장 추세 분석
- 9.3 주요 제조업체 및 경쟁 환경 (중국, 유럽, 미국, 일본, 한국)
- 9.4 원자재 가격 변동 및 비용 구조 분석
- 9.5 산업 정책 및 수출 상황 해석
- 9.6 미래 고급 제조 분야의 텅스텐 합금봉 수요 예측

제 10 장: 텅스텐 합금 막대의 연구 핫스팟 및 첨단 기술

- 10.1 고밀도 텅스텐 합금 막대의 고밀도화 공정 연구
- 10.2 지능형 제조 및 자동화 생산 라인
- 10.3 텅스텐 합금 막대와 적층 제조의 통합
- 10.4 고성능 합금 대안의 비교 및 개발 경로
- 10.5 극한 서비스 조건에서 텅스텐 합금의 성능 진화

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

총수

부록 1: 텅스텐 합금 막대의 일반적인 기술 매개변수 요약

부록 2: 텅스텐 합금 등급 및 화학 조성 비교표

부록 3: 텅스텐 합금봉 표준 문서 및 참고 색인

부록 4: 텅스텐 합금 용어집 및 영어 약어

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

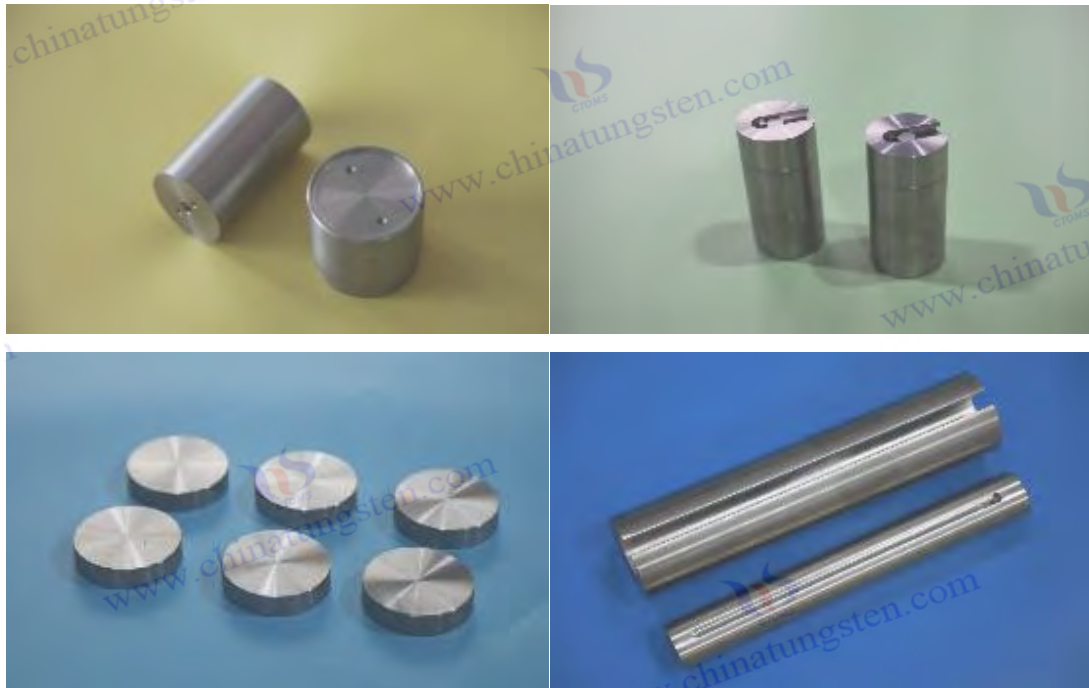
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

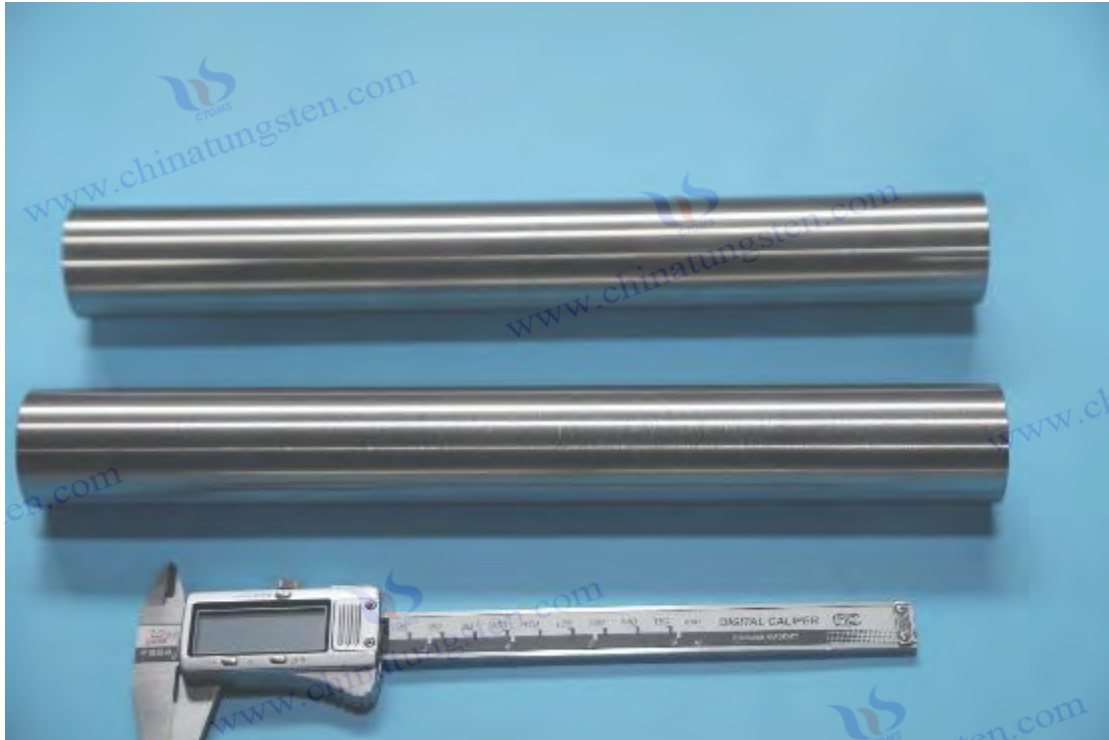
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



머리말

신소재 기술의 발전과 첨단 제조 산업의 급속한 성장에 따라 고성능 기능성 합금 소재는 항공우주, 정밀 제조, 국방 장비, 에너지 시스템, 의료 장비 등의 발전을 뒷받침하는 중요한 기반이 되었습니다. 주기율표에서 녹는점이 가장 높은 금속 중 하나인 텅스텐은 높은 밀도, 높은 경도, 높은 녹는점, 그리고 뛰어난 내방사선성을 갖추고 있어 극한 환경에서 탁월한 장점을 발휘합니다. 수많은 텅스텐 기반 소재 중에서도 텅스텐 중합금 막대는 고유한 물리적 특성, 성형 안정성, 그리고 폭넓은 적응성을 갖추고 있어 전략적 기능성 소재 시스템의 핵심 요소로 점차 자리 잡고 있습니다.

텅스텐 합금 봉은 일반적으로 텅스텐(W)을 주원소로 하여 니켈(Ni), 철(Fe), 구리(Cu) 및 기타 금속을 첨가하여 고밀도 텅스텐 합금(고밀도 텅스텐 합금)을 형성하며, 분말 야금으로 제조됩니다. 텅스텐 합금의 밀도는 $17.0\sim 18.8\text{ g/cm}^3$ 에 달하며, 이는 강철, 구리, 알루미늄과 같은 일반 금속보다 훨씬 높습니다. 텅스텐 합금은 고강도, 우수한 가공성, 그리고 뛰어난 서비스 안정성을 갖춘 엔지니어링 소재입니다. 컴팩트한 구조, 에너지 제어 정확도, 그리고 장비의 긴 수명에 대한 요구가 증가함에 따라, 텅스텐 합금 봉의 설계 및 적용은 고밀도, 고균일성, 그리고 고순도 방향으로 끊임없이 발전하고 있습니다.

텅스텐 합금 봉재 제품은 항공기 균형, 항공우주 자세 조정, 함상 관성 모듈 등과 같은 전통적인 균형추 역할뿐만 아니라 방탄, 방사선 방호, 원자력 부품, 운동 에너지 무기, 의료 장비 방사선 치료 모듈, X 선 차폐 장치, 자이로스코프 관성 로터, 전기 진공 장치 양극 구조, 전자 패키징 열 제어 부품 및 기타 전략 기술 분야에도 널리

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

사용됩니다. 특히 정밀 유도 무기, 초고속 철갑탄, 고에너지 물리 실험 및 심우주 탐사 프로젝트에서 텅스텐 합금 봉재는 구조적 안정성과 관성 반응 정확도로 인해 대체 불가능한 고성능 부품 소재로 자리 잡았습니다.

현재 세계 텅스텐 자원은 매우 집중되어 있습니다. 중국, 러시아, 카자흐스탄, 포르투갈 등이 주요 광물 자원을 보유하고 있으며, 그중 중국은 텅스텐 광석의 확인 매장량, 정광 생산량, 심층 가공 능력 면에서 세계 1 위를 차지하고 있습니다. 이는 중국 텅스텐 합금봉 제품의 설계, 개발 및 공정 혁신을 위한 탄탄한 원자재 확보 기반을 제공합니다. 또한, 중·고급 장비 제조 산업의 급속한 고도화로 인해 국산 텅스텐 합금봉은 수입 제품을 점차 대체하고 있으며, 항공우주, 의료 원자력 공학, 전자 대책 등 핵심 분야에서 기술 혁신을 이루며 대량 공급 능력을 구축하고 있습니다.

그러나 텅스텐 합금 봉 기술 시스템의 성숙도 향상에도 불구하고, 소결 밀도와 조직 균일성을 더욱 향상시키는 방법, 복잡한 구조적 요건에 적합한 특수 형상 봉 제조 기술 개발, 고강도와 가공성 간의 재료 비율의 균형을 맞추는 방법, 제조 에너지 소비 절감 및 재활용률 향상 등 여러 과제에 여전히 직면해 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 액상 소결 고밀도화, 미세 합금 원소 최적화, 열간 등방성 성형(HIP) 기술, 다중 스케일 시뮬레이션 설계, 3D 프린팅 텅스텐 합금 구조 부품 등 다양한 새로운 공정 경로와 첨단 제조 방법이 등장하여 텅스텐 합금 봉의 고급, 기능성, 지능성 개발에 새로운 활력을 불어넣고 있습니다.

본 저서 "텅스텐 합금봉 백과사전"은 이러한 배경 하에 편찬되었습니다. 본 저서는 텅스텐 합금봉의 재료 기반, 제조 공정, 성능 평가, 표준 체계, 적용 확대 및 미래 동향을 체계적으로 정리하여, 텅스텐 합금 소재 연구 개발, 제품 설계, 공정 최적화 및 산업 적용에 종사하는 엔지니어, 연구원, 대학 교수 및 학생, 그리고 전략 조달 담당자에게 상세하고 실용적인 전문 참고 자료를 제공하고자 합니다.

본 저술 과정에서 국내외 연구 문헌, 기업 적용 사례, 국가 및 산업 표준을 광범위하게 참고했으며, CTIA GROUP LTD 와 파트너사들의 텅스텐 합금 분야 실무 경험을 결합하여 내용의 권위, 구조의 체계성, 언어의 대중화, 그리고 풍부한 텍스트와 그림을 제공하고자 노력했습니다. 본 저서는 총 10 개의 장과 여러 부록으로 구성되어 있으며, 텅스텐 합금 봉의 기본 개념, 물리적 및 기계적 특성, 분말 야금 및 성형 기술, 시험 및 품질 관리 방법, 일반적인 응용 분야, 국제 표준 체계, 포장 및 운송 사양, 시장 패턴 분석, 최첨단 기술 동향 등을 다루고 있습니다. 또한, 독자들이 엔지니어링 분야에 참고하고 활용할 수 있도록 용어 색인과 참고 지도를 첨부했습니다.

이 책이 단순한 재료 기술 참고 매뉴얼이 아니라, 텅스텐 합금 막대의 엔지니어링 응용 분야와 과학적 연구 개발을 연결하는 가교 역할을 하기를 바랍니다. 대학 연구원, 텅스텐 제품 회사의 엔지니어, 또는 산업 디자인 관련 의사 결정권자 등 누구든 이 책에서 이론적 영감, 사례 연구, 그리고 실질적인 지침을 얻을 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

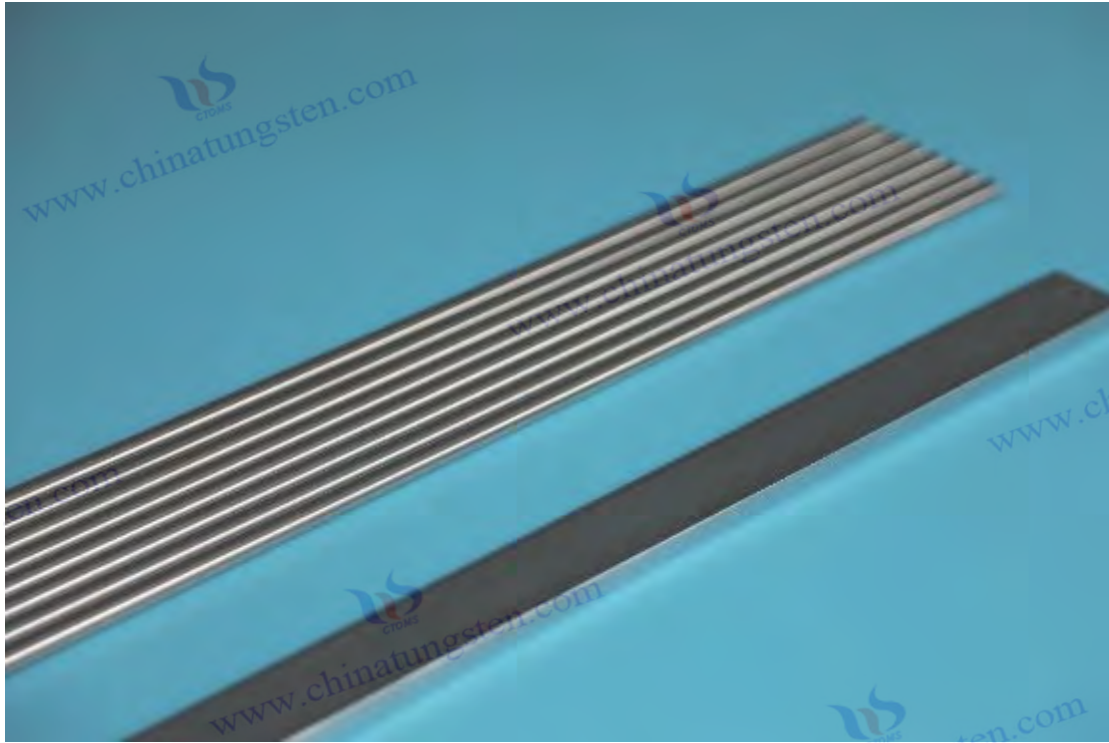
방대한 내용과 방대한 정보량으로 인해 필연적으로 부족한 부분과 누락이 있을 수 있습니다. 독자 여러분께서 저를 비판하고 바로잡아 주시기를 간곡히 부탁드립니다.

CTIA 그룹 유한회사
2025 년 7 월

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



제 1 장 텅스텐 합금봉의 기본 개념 및 분류

1.1 텅스텐 합금봉의 정의 및 기본형

텅스텐 합금 막대는 일반적으로 분말 야금으로 만든 긴 금속 재료 스트립을 말하며, 주성분은 텅스텐(W)이고 일정 비율로 니켈(Ni), 철(Fe), 구리(Cu) 등의 결합 금속이 들어 있습니다. 이 유형의 막대는 매우 높은 밀도(일반적으로 $17.0\sim 18.8 \text{ g/cm}^3$), 뛰어난 기계적 특성(인장 강도는 $700\sim 1200 \text{ MPa}$ 에 도달할 수 있음), 우수한 내열성 및 내식성을 가지고 있으며 항공 우주, 군수 장비, 원자력 공학, 의료 장비, 전자 및 전기 및 기타 고급 분야에서 널리 사용됩니다.

텅스텐 합금 막대의 장점은 높은 강도를 유지하면서도 가공성과 치수 안정성이 우수하다는 것입니다. 납, 강철, 티타늄, 구리 등 기존의 구조재와 비교했을 때, 텅스텐 합금 막대는 비중과 내구성이 더 높으며, 관성 카운터웨이트, 보호 차폐, 정밀 액세서리 등 분야에서 대체할 수 없는 기술적 가치를 제공합니다.

기본적인 형태의 측면에서, 텅스텐 합금 막대는 주로 다음과 같은 유형으로 존재합니다:

- **원형 막대** : 회전 관성 부품, 자이로 로터, 전극, 밸런스 웨이트 등 다양한 용도에 적합한 가장 일반적인 형태입니다. 직경은 1mm 에서 100mm 까지 다양하며, 길이는 보통 50mm 에서 1500mm 입니다. 필요에 따라 절단하거나 회전시킬 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **사각 막대/직사각형 막대** : 단면 모양에 대한 특정 요구 사항이 있는 부품을 처리하는 데 사용되며 일반적으로 전자 패키징 브래킷, 고온 전기 접촉기 등에서 사용됩니다.
- **프로파일 봉** : 압출, 선삭 또는 전기가공을 통해 홈, 구멍 또는 계단 모양과 같은 복잡한 단면을 가진 봉입니다. 특수 연결 구조 또는 다기능 복합 구조 부품에 적합합니다.
- **편형 막대** : 주로 마이크로 정밀 장치, 의료 장비, 전기 진공 부품의 소형 균형추, 위치 지정 또는 전도성 부품으로 사용되며 일반적으로 직경이 5mm 미만입니다.
- **장대/대형 막대** : 초음속 철갑탄 코어, 관성 시험 모듈 등과 같은 하중 지지 구조물 및 고에너지 충격 구성품에 사용되며 높은 강도, 높은 균일성 및 밀도를 강조합니다.

또한, 개인화된 제조와 기능적 통합이 발전함에 따라 일부 텅스텐 합금 막대는 세라믹, 폴리머 또는 기능성 코팅과 구조적으로 복합화되어 내열성, 내식성, 전자와 차폐와 같은 여러 가지 복합 기능을 갖게 되었습니다.

제품 공급 측면에서 텅스텐 합금 막대는 일반적으로 세 가지 유형으로 제공됩니다. 연마 막대(표면 연마), 선반 막대(완성), 그리고 흑색 막대(미가공)입니다. 표면 품질과 치수 공차는 적용 분야에 따라 다릅니다. 일부 정밀 제품은 Ra 값 $<0.4\mu\text{m}$ 및 치수 정확도 $\pm 0.01\text{mm}$ 를 요구하며, 이는 의료 영상, 마이크로파 통신, 관성 계측기 등 고급 장비에 널리 사용됩니다.

재료 공학의 발전과 가공 기술의 진화에 따라 텅스텐 합금 막대의 제품 형태 또한 끊임없이 다양해지고 있습니다. 단면적이 동일한 기존의 솔리드 막대부터 기능적 경사 구조 막대, 다상 동시 소성 구조 막대, 심지어 3D 프린팅 다공성 막대에 이르기까지, 텅스텐 합금 막대는 극한 서비스 환경, 지능형 구조 제어, 다기능 통합과 같은 새로운 응용 분야에 점진적으로 적응하여 첨단 제조 시스템을 위한 더욱 유연하고 효율적인 소재 솔루션을 제공하고 있습니다.

1.2 중텅스텐 합금(W-Ni-Fe/W-Ni-Cu) 시스템 소개

W) 을 기반으로 일정 비율의 결합 금속(니켈, 니켈, 철, 구리 등)을 첨가하여 형성된 유사 합금 또는 금속 복합 시스템입니다. THA 는 높은 밀도, 고강도, 우수한 기계적 가공 성능, 상온에서의 열 안정성, 낮은 열팽창 계수 및 우수한 내식성을 특징으로 합니다. 텅스텐 중합금은 고성능 균형추 부품, 방사선 방호 부품, 군용 장갑 관통 부품, 관성 부품 등 기술 집약적인 분야에서 널리 사용되고 있으며, 현재 첨단 장비 제조 분야에서 대체 불가능한 핵심 구조 재료 중 하나입니다.

모든 고밀도 텅스텐 합금 시스템 중에서 가장 대표적이고 산업적으로 가장 성숙한 두 가지는 다음과 같습니다.

- **텅스텐-니켈-철 합금계(W-Ni-Fe)**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

• 텅스텐-니켈-구리 합금계(W-Ni-Cu)

이 두 시스템의 기본 구조는 "2 상 구조"입니다. 즉, 부피 분율이 90% 이상인 텅스텐 입자가 주요 상이며, 니켈과 철 또는 구리 로 구성된 연속 결합 상(매트릭스)에 의해 밀접하게 연결되어 밀도가 높고 균일성이 높은 합금 구조를 형성합니다.

W-Ni-Fe 텅스텐 합금: 고강도 산업용 주요 유형

W-Ni-Fe 시스템은 가장 큰 생산량과 가장 광범위한 응용 분야를 가진 텅스텐 합금 유형입니다. 일반적인 조성은 다음과 같습니다.

- 텅스텐(W) : 90~97 중량 %
- 니켈(Ni) : 3~7 중량 %
- 철(Fe) : 1~3 중량 %
- 밀도 범위 : 17.0~18.5 g/cm³

이 합금은 매우 높은 인장 강도(일반적으로 최대 900~1200 MPa)와 우수한 파괴 연성(신장률 10~30%까지 가능)을 가지며, 철 함량 덕분에 자기적 특성 조절이 가능합니다. 관성 부품, 지진 대응추, 동적 하중 저항 구조 부품 등 뛰어난 기계적 특성이 요구되는 분야에 적합합니다.

이점 :

- 강도가 높고 내마모성이 우수함
- 열처리 가능
- 군용 구조 부품 및 항공우주 관성 장치에 적용 가능

단점 :

- 철(Fe) 함량으로 인해 자성을 띠므로 일부 전자기기의 무게를 늘리는 데 적합하지 않습니다.
- 내식성은 Ni-Cu 계보다 약간 낮다.

W-Ni-Cu 텅스텐 합금: 낮은 자기적 특성과 높은 전도도

W-Ni-Cu 합금은 철을 구리로 대체하여 비자성 또는 저자성 결합상을 형성합니다. 일반적인 조성은 다음과 같습니다.

- 텅스텐(W) : 90~95 중량 %
- 니켈(Ni) : 2~5 중량 %
- 구리(Cu) : 2~4 중량 %
- 밀도 범위 : 17.0~18.0 g/cm³

이 유형의 텅스텐 합금은 인장 강도가 약간 낮지만(약 700~900MPa) 전기 전도성과 내식성이 더 좋으며 투자율은 1 에 가깝습니다. 이는 전형적인 비자성 구조 재료이며 전자, 진공, 의료 진단 장비 및 전자파 간섭 제어에 대한 요구 사항이 매우 높은 기타 장비에 널리 사용됩니다.

이점 :

- 비자성 또는 약자성으로 정밀기기에 적합

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 열전도도와 전기전도도는 W-Ni-Fe 계보다 우수하다.
- 해수부식에 대한 강한 저항성으로 해양 및 의료 분야에 적합

단점 :

- 인장강도 및 인성이 약간 낮아 동적하중이 큰 구조물에는 적합하지 않음
- 비용이 약간 더 높고 제조가 약간 더 어렵습니다.

기타 개발 중인 텅스텐 합금 시스템

몇 년 동안 텅스텐 합금 시스템은 다음과 같은 기능화 및 고급화 방향으로 개발되었습니다 .

- **W-Ni-Co 시스템** : 철 함유 자기 문제를 대체하고 내열성을 향상시키는 데 사용
- **W-Cu 시스템** : 마이크로 전자 냉각 모듈과 같은 고열유속 장치에 적합
- **W-Polymer 구조용 복합 봉** : 중량과 가공성 간의 모순을 해결하기 위해 개발된 텅스텐-Polymer 복합구조
- **나노텅스텐 합금 시스템** : 나노 텅스텐 분말 또는 금속간 화합물 입자(예: TiC)를 도입합니다 . LaB₆)를 사용하여 재료 밀도와 강도 인성을 향상시킵니다.

조직 구조 특성 및 성과 통제 지점

고밀도 텅스텐 합금은 "텅스텐 입자 + 바인더상"의 복합 이중상 구조로, 텅스텐 입자의 부피 분율이 85%를 초과하여 주요 하중 지지 역할을 하며, Ni-Fe 또는 Ni-Cu 바인더상은 전반적인 연성과 가공성을 결정합니다. 바인더상의 조직 균일성, 텅스텐 입자 크기 분포, 그리고 바인더상의 연속성은 막대의 궁극적인 기계적 특성과 사용 수명을 결정합니다.

- **텅스텐 입자 분포** : 입자 크기는 일반적으로 10~50 μm 입니다 . 입자 크기가 작을수록 계면 결합이 양호하고 기계적 특성이 향상됩니다.
- **소결 밀도** : 기공률을 0.5% 미만으로 제어하면 강도와 열전도도를 개선하는데 도움이 됩니다.
- **결합제 비율** : 너무 낮으면 취성이 높아지고 가공이 어려워지고, 너무 높으면 밀도가 감소하고 강도가 부족해집니다. 일반적으로 3-10 중량 %로 조절합니다.
- **구성 균일성** : 원소 분리나 응집을 방지하고 제품 일관성을 개선합니다.
- **미세구조 제어** : 액상소결 및 열처리를 통해 결정립 미세화와 균일한 조직을 달성하여 피로 저항성을 향상시킬 수 있습니다.

결론

텅스텐 합금 막대, W-Ni-Fe 및 W-Ni-Cu 시스템은 고강도 구조와 저자성 전자 장치라는 두 가지 핵심 응용 시스템을 지원합니다. 조성 제어, 조직 규제 및 성능 적용에 있어 뛰어난 유연성을 갖춘 텅스텐 합금 막대는 항공우주, 국방, 정밀 전자, 의료용 원자력 공학 및 기타 분야에서 대체 불가능한 소재로 자리매김했습니다. 기술 발전에 따라 미세 합금화, 나노 강화 및 기능성 복합 소재를 통해 첨단 제조 분야에서 텅스텐 합금 막대의 성능 경계와 적용 범위가 더욱 확대될 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3 텅스텐 합금 막대의 일반적인 크기, 모양 및 표면 상태

고성능 구조재인 텅스텐 합금 봉은 다양한 산업 및 사용 환경에서 다양한 크기, 형상 및 표면 조건을 보입니다. 텅스텐 합금 봉의 형상 및 표면 특성은 조립 정확도 및 수명과 관련이 있을 뿐만 아니라 가공 효율, 구조적 안정성 및 서비스 신뢰성에도 직접적인 영향을 미칩니다. 따라서 텅스텐 합금 봉의 표준화 및 맞춤형 형상에 대한 심층적인 이해는 제품 설계 및 엔지니어링 재료 선택의 기초가 됩니다.

1. 치수

텅스텐 합금 막대는 일반적으로 용도에 따라 표준화된 제품과 맞춤형 제품, 두 가지 범주로 나뉩니다. 일반적인 사양에는 직경(또는 측면 길이), 길이, 진원도, 직진도, 치수 공차가 포함됩니다.

- **직경 범위** : 1mm ~ 200mm, 가장 일반적으로 사용되는 사양은 3mm ~ 100mm 입니다.
- **길이 범위** : 10mm ~ 2000mm, 기존에 가공된 막대는 대부분 50mm ~ 1000mm 로 제어됩니다.
- **길이 허용 오차** : 일반적으로 $\pm 0.5\text{mm}$, 정밀 가공은 $\pm 0.1\text{mm}$ 에 도달할 수 있습니다.
- **직진도 오차** : 산업용 제품은 0.5mm/m 이내로 관리되고, 정밀급 제품은 0.1mm/m 에 도달할 수 있습니다.
- **동축성 및 수직성 제어**: 동적 부품에 사용되는 텅스텐 합금 막대는 일반적으로 $\pm 0.02\text{mm}$ 범위 내에서 제어되는 더 높은 기하학적 일관성이 필요합니다.

특정 분야(탄도 무기, 고속 자이로스코프, 정밀 광학 시스템 등)에 사용되는 막대의 경우, 열팽창 제어 및 전달 치수의 일관성도 고려해야 합니다. 품질 관리는 일반적으로 CAD 모델링 및 3차원 검출 시스템과 함께 수행됩니다.

2. 형상 분류

텅스텐 합금 봉의 형상 및 구조 설계는 다양한 기계 부품, 열 제어 장치, 전기 연결 또는 관성 요소의 통합 요건을 충족해야 합니다. 주요 형상은 다음과 같습니다.

1. **견고한 원형 막대** : 가장 일반적인 구조로 대부분 산업용 균형추, 전극 및 관성 부품에 적합합니다.
2. **중공 막대** : 중량 감소나 액체 냉각의 기능이 있으며, 의료 및 항공우주 분야에서 자주 사용됩니다.
3. **정사각형/직사각형 막대** : 프레임 구조물, 전기 접점 베이스 등에 적합합니다.
4. **프로파일 막대** : 슬롯, 구멍, 홈, 모따기 등과 같은 특수한 디자인을 갖추고 있어 주로 맞춤형 조립 부품과 복잡한 통합 구조에 사용됩니다.
5. **마이크로 로드** : 직경이 2mm 미만이며, 주로 마이크로파 부품, 핵의학, 정밀 자이로스코프 또는 MEMS 시스템에 사용됩니다.
6. **계단형/테이퍼 형 막대** : 높은 관성이나 동력 전달 상황에 적합하며 기능적, 구조적 통합 요구 사항을 충족합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. 표면 상태

텅스텐 합금 막대는 피로 저항성, 정합 정확도, 부식 방지 효과 및 재료 사용 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 일반적인 표면 조건은 다음과 같습니다.

1. 소결 가공은

검은 산화막 층이 있는 미가공 표면으로, 노출된 표면이 없는 후속 기계 가공이나 구조 부품에 적합합니다.

2. 선삭된 막대

는 대략적으로 가공되며, 거칠기는 일반적으로 $Ra\ 1.6-3.2\ \mu m$ 로 중간 정밀도 의 부속품에 적합합니다.

3. 접지봉은 정밀 원통형으로 연마되어 표면 품질과 치수 일관성이 우수하며 Ra 가 $1.0\ \mu m$ 미만이며 의료 및 전자 장비에 널리 사용됩니다.

4. 연마된 막대는 Ra 값

이 $0.2-0.4\ \mu m$ 인 경면 마감 처리됩니다 . 높은 외관 요구 조건, 낮은 마찰 계수 또는 광학 관련 장치에 자주 사용됩니다.

5. 코팅 막대는 전기 도금, 화학 도금 또는 PVD 를 사용하여 Ni, Cr,

TiN 코팅 과 같은 기능적 표면을 형성하여 내식성, 전기적 접촉 또는 내마모성을 개선합니다.

6. 특수 표면 처리(전해 연마/플라즈마 마감)

는 고도로 청정한 환경, 높은 방사선 상황 또는 의료/핵 기술 장비에 적합하여 표면 밀도를 개선하고 미세 균열을 제거합니다.

4. 정확도 수준

가공 정확도와 시험 요구 사항에 따라 텅스텐 합금 막대는 다음 세 가지 등급으로 나눌 수 있습니다.

- **산업 등급(표준 등급)** : 일반 보호, 구조적 지지, 균형추 구성 요소에 적합, 치수 허용 오차 $\pm 0.5mm$;
- **정밀 등급** : 이동 부품, 가이드 부품 및 관성 시스템에 적용 가능하며 허용 오차 는 $\pm 0.1mm$, $Ra < 1.6\ \mu m$ 로 제어 됩니다 .
- **초정밀 등급** : 의료, 항공우주 및 자이로스코프 시스템에 사용되며 치수 허용 오차는 최대 $\pm 0.01mm$, $Ra < 0.4\ \mu m$ 이며 NDT 테스트 및 금속 조직학적 자격 표준이 필요합니다 .

특수 형상 구조물 및 복합 기능 부품에 대한 시장 수요가 증가함에 따라, 텅스텐 합금 막대는 크기, 구조 및 표면 처리 측면에서 고급, 맞춤형, 지능형으로 점차 발전하고 있습니다. 앞으로 레이저 가공, 마이크로 밀링, 초정밀 연삭, 플라즈마 패키징 등과 같은 최첨단 제조 기술을 활용하여 텅스텐 합금 막대는 복잡한 구조물, 고주파 진동, 극한 열장, 정밀 카운터웨이트와 같은 핵심 응용 분야에서 엔지니어링 잠재력을 지속적으로 확장할 것입니다.

1.4 텅스텐 합금봉의 분류(조성/용도/가공방법별)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금 봉은 항공우주, 원자력, 의료, 군수 산업, 첨단 제조 등 여러 핵심 분야에서 널리 사용됩니다. 다양한 종류와 용도가 있습니다. 제품 시스템을 더욱 효율적으로 구성 하고, 소재 선정 및 공정 최적화를 위해서는 일반적으로 다양한 규격에 따라 텅스텐 합금 봉을 체계적으로 분류해야 합니다. 가장 일반적인 분류 방법은 성분, 용도, 가공 방법 세 가지입니다.

1. 성분별 분류

텅스텐 합금 막대는 주로 텅스텐(W)과 결합 금속(예: Ni, Fe, Cu, Co 등)으로 구성됩니다. 합금계의 차이에 따라 다음과 같이 구분할 수 있습니다.

1. W-Ni-Fe 합금 막대

- o 함량: W 90~97%, Ni 2~7%, Fe 1~3%
- o 특징 : 자성합금, 고강도, 연성 양호
- o 적용 분야: 관성 부품, 군용 균형추, 고강도 구조 부품

2. W-Ni-Cu 합금 막대

- o 함량: W 90~95%, Ni 2~5%, Cu 2~4%
- o 특징: 비자성 또는 저자성, 우수한 열전도도, 강한 내식성
- o 응용분야 : 의료장비, 핵의학, 전자대책부품

3. W-Cu 합금 막대

- o 함량: W 70~90%, Cu 10~30%
- o 특징: 우수한 전기 및 열 전도성으로 고전력 장치에 적합
- o 응용분야: 전극, 라디에이터, 진공 접점 등

4. 특수 합금 시스템(예: W-Ni-Co, W-Re, W- TiC)

- o 특징: 특수 고온 성능 또는 향상된 방사선 저항성
- o 응용 분야: 항공우주 열 제어 부품, 핵 물질, 레이저 대응 시스템

5. 도핑된 변형 합금

- o 흄(Y_2O_3 , CeO_2), 탄화물 (TiC , ZrC) 등
- o 기능: 미세구조 개선, 고온강도 또는 내식성 증가

2. 목적별 분류

텅스텐 합금 막대의 구체적인 사용 시나리오에 따라 다음과 같은 범주로 나눌 수 있습니다.

1. 구조용 텅스텐 막대

- o 기능 : 하중 지지, 고온 구조 지지, 로터 부품
- o 일반적인 응용 분야: 위성 관성 구조, 자이로스코프, 엔진 중심 축

2. 보호용 텅스텐 막대

- o 기능: X 선, 감마선, 중성자선 차폐
- o 응용 분야: 의료용 CT, 핵 반응기, 동위원소 운반 용기

3. 군용 키네틱 텅스텐 막대

- o 기능: 고밀도 충격, 장갑 관통, 운동 에너지 살상
- o 적용 분야: APFSDS 코어, 고폭발 코어 소재, 꼬리 지느러미 균형추

4. 전자 장치용 텅스텐 막대

- o 기능: 전기 및 열 전도도, 열 확산, 마이크로파 흡수

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o 응용분야 : 칩 패키징, 냉각 구조, 전극 전기 접촉
- 5. 의료기기용 텅스텐 막대
 - o 기능: 방사선 치료용 바늘, 종양 강도 변조 부품, 마이크로 카운터웨이트
 - o 요구사항: 비자성, 초청정, 고밀도
- 6. 과학 연구용 텅스텐 막대
 - o 응용 분야: 입자 가속기, 중성자 소스 타겟, 진공 양극, 실험 장비

3. 가공방법에 따른 분류

텅스텐 합금 막대는 제조 공정에 따라 다릅니다. 일반적인 가공 방법은 다음과 같습니다.

1. 분말 야금 프레스 막대(CIP/성형)
 - o 공정 : 냉간 등방성 프레스, 단축 프레스 후 고온 소결
 - o 특징 : 조직이 치밀하고 일괄 성형이 가능
2. 열간 등방압 가압봉(HIP 봉)
 - o 공정 : 캡슐화 후 전체가 고온, 고압 하에서 고밀화됩니다.
 - o 장점: 초고밀도, 극히 낮은 다공성, 높은 신뢰성 요구 사항에 적합
3. 압출 막대
 - o 공정: 텅스텐 합금은 긴 스트립으로 열간 압출될 것으로 예상됩니다.
 - o 응용분야 : 마이크로파 통신, 열 제어 부품
4. 터닝로드/연삭로드
 - o 공정 : 가공을 통해 고정밀도의 완성품을 얻는다
 - o 특징: $Ra < 1 \mu m$, $\pm 0.01 mm$ 치수 허용 오차
5. 사출 성형 막대(MIM 공정)
 - o 특징: 작고 복잡한 구조의 막대에 적합
 - o 적용 분야: 의료용 텅스텐 부품, 마이크로 관성 시스템
6. 소결 블랭크 막대(블랙스킨 막대)
 - o 상태: 미가공 또는 예비적으로만 절단되어 후속 맞춤형 가공에 적합함
7. 3D 프린팅 텅스텐 막대 (첨가제) 제조업)
 - o 상태: 아직 탐색 단계이며 복잡한 구조와 유연한 요구 사항이 있는 소량 생산 제품에 적합합니다.

요약하다

기능성 구조재로서 텅스텐 합금 봉의 분류는 제품 표준화 및 일련번호 부여의 기반일 뿐만 아니라, 성능 설계, 공정 선정 및 시장 홍보에 중요한 지침이 됩니다. 재료 시스템은 조성을 통해 명확화되고, 기능은 용도에 따라 정확하게 배치되며, 공정을 통해 품질과 효율성 간의 최적의 균형을 달성할 수 있습니다. 향후 고급 제조가 지능화 및 맞춤형 생산으로 발전함에 따라 텅스텐 합금 봉의 다차원 분류 시스템은 더욱 정교해지고 디지털화 및 모듈화될 것이며, 이는 재료 연구 개발 및 산업 응용 분야에 대한 보다 과학적이고 체계적인 지원을 제공할 것입니다.

1.5 텅스텐 합금봉과 텅스텐 구리봉, 텅스텐봉 및 기타 재료의 비교

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금 막대, 텅스텐 구리 막대, 순수 텅스텐 막대는 산업계에서 흔히 사용되는 텅스텐 기반 소재입니다. 다양한 물리적 특성과 응용 분야 덕분에 제조 및 전자 산업에서 중요한 역할을 합니다. 이러한 차이점을 이해하면 소재 설계 및 선택 시 합리적인 선택을 하는 데 도움이 됩니다.

1.5.1 조성 및 기본 특성 비교

재료 유형	주요 성분	밀도(g/cm³)	경도	열전도도	전도도	기계적 강도	주요 특징
텅스텐 합금 막대	텅스텐 + 니켈, 철 또는 구리와 같은 합금 원소	17.0 ~ 18.5	더 높은	중간	낮음~중간	훌륭한	고밀도, 고강도, 기계적 성질이 순수 텅스텐 막대보다 우수합니다.
텅스텐 구리 막대	텅스텐 + 구리	14.0 ~ 16.0	중간	매우 높음	더 높은	더 나은	텅스텐의 높은 밀도와 구리의 우수한 전기 및 열 전도성을 결합하여 탁월한 열 관리 성능을 제공합니다.
순수 텅스텐 막대	텅스텐	19.3	매우 높음	낮은	낮은	다루기 힘든	밀도가 가장 높고, 내열성이 높고, 경도가 높지만 비교적 취성이 강함

1.5.2 밀도와 무게

- 텅스텐 막대는 텅스텐 함량이 가장 높고 밀도(19.3g/cm³)가 가장 높아 무게와 밀도에 대한 요구 사항이 매우 높은 적용 분야(예: 균형추, 방사선 차폐 등)에 적합합니다.
- 텅스텐 합금 막대는 밀도가 약간 낮지만 여전히 고밀도 소재이며, 순수 텅스텐보다 강도가 뛰어나 고강도, 고밀도 부품을 제조하는 데 적합합니다.
- 텅스텐 구리 막대는 구리로 도핑되어 있기 때문에 텅스텐 및 텅스텐 합금보다 밀도가 낮지만 구리는 열전도도가 뛰어나 열 관리가 필요한 상황에서 더 많이 사용됩니다.

1.5.3 열 및 전기 전도도

- 텅스텐 구리 막대는 구리 함량이 더 높고 열전도도와 전기전도도가 텅스텐 합금 막대나 순수 텅스텐 막대보다 훨씬 우수합니다. 따라서 전자 라디에이터, 전극, 진공 전자 소자에 널리 사용됩니다.
- 텅스텐 합금 막대는 평균적이며 전기 전도도는 텅스텐 구리보다 낮지만 순수 텅스텐보다 우수하여 기계 구조 및 고온 부품에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 순수 텅스텐 막대는 열전도도와 전기전도도가 비교적 낮 으며, 일반적으로 고온 저항성과 고밀도가 요구되는 환경에서 사용됩니다.

1.5.4 기계적 성질 및 가공성

- 텅스텐 합금봉은 합금 원소를 첨가하여 인성과 기계적 강도가 크게 향상되었습니다. 순수 텅스텐보다 가공 성능이 우수하며 복잡한 부품 가공에 적합합니다.
- 텅스텐 구리 막대는 텅스텐의 강도와 구리 의 연성을 결합하여 인성과 열 피로 저항성이 뛰어나지만 구리 함량으로 인해 고온 성능이 제한됩니다.
- 순수 텅스텐 막대는 경도와 취성이 높고, 가공이 어려우며 균열이 발생하기 쉽습니다. 주로 고온 환경과 구조 부품에 사용됩니다.

1.5.5 일반적인 적용 분야

재료	응용 프로그램 예제
텅스텐 합금 막대	중량 균형추, 고강도 구조 부품, 장갑 관통 코어, 항공우주 부품
텅스텐 구리 막대	전극, 라디에이터, 진공관 부품, 마이크로파 장치
순수 텅스텐 막대	고온로 부품, 필라멘트, 방사선 차폐, 원자력 산업 자재

요약하다

텅스텐 합금 막대, 텅스텐 구리 막대, 그리고 순수 텅스텐 막대는 각각 고유한 장점을 가지고 있습니다. 텅스텐 합금 막대는 높은 밀도와 기계적 강도로 인해 기계 구조 분야에서 널리 사용되고 있으며, 텅스텐 구리 막대는 뛰어난 열전도도와 전기 전도성으로 전자 산업에서 필수적인 소재로 자리 잡았습니다. 순수 텅스텐 막대는 매우 높은 밀도와 높은 내열성으로 인해 특수 고온 및 방사 환경에 적합합니다. 재료를 합리적으로 선택하려면 밀도, 강도, 열전도도, 그리고 적용 환경과 같은 요소들을 종합적으로 고려해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

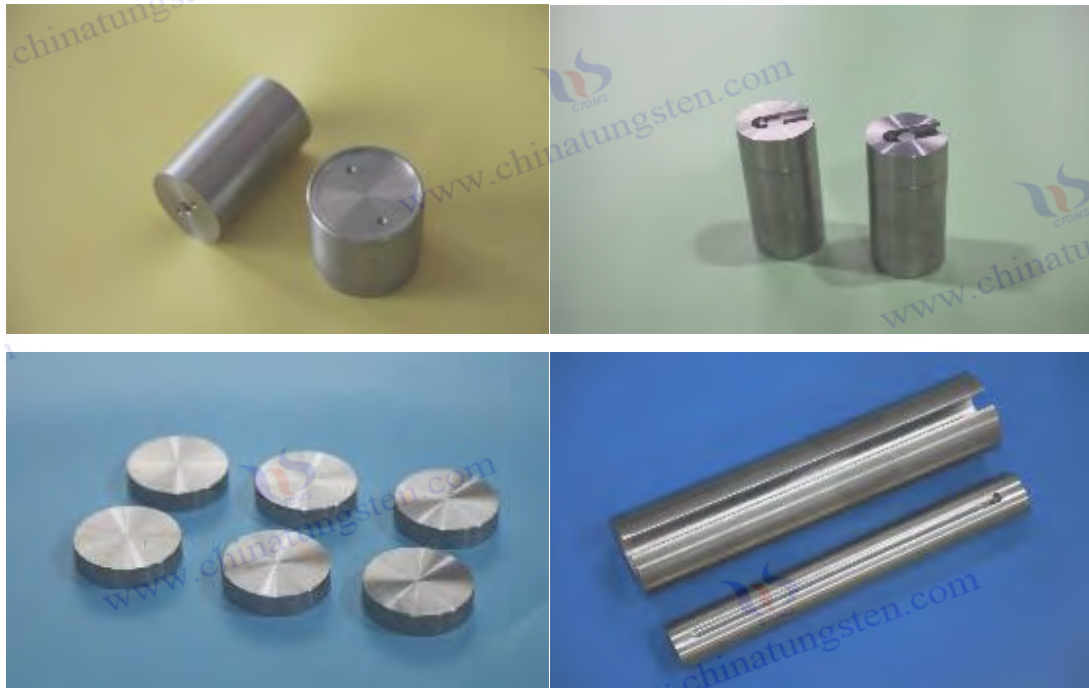
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

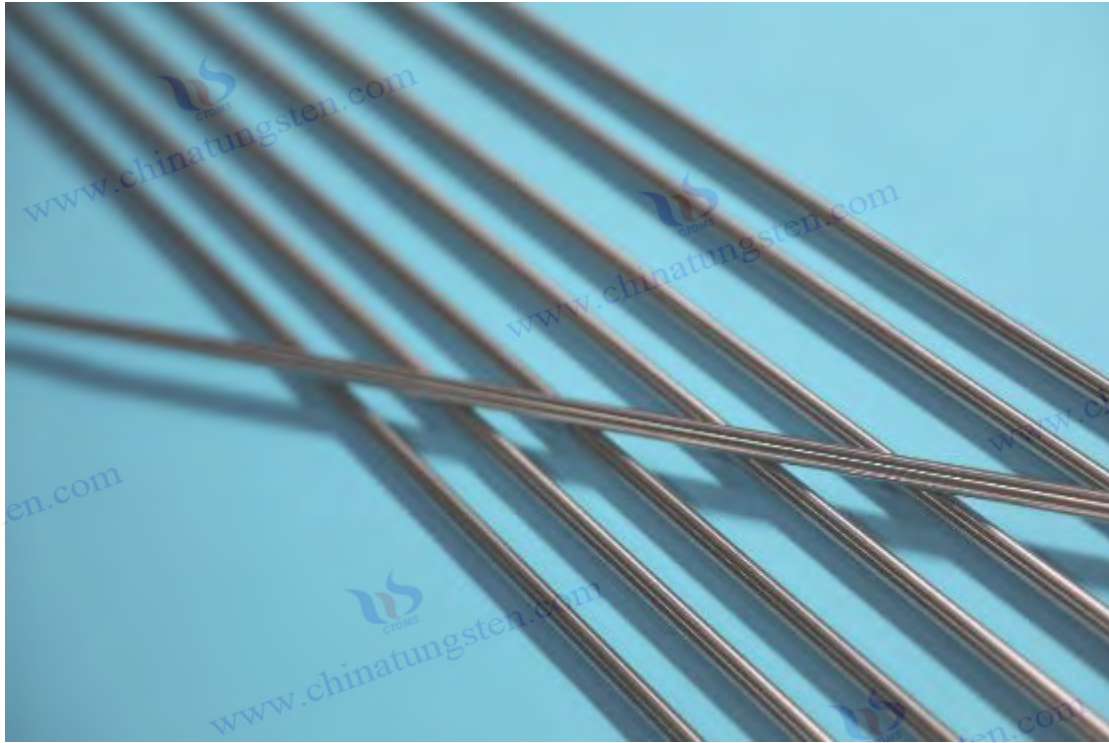
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



제 2 장 텅스텐 합금봉의 물리적 및 기계적 특성

2.1 밀도, 비중 및 치수 정밀도 관리

고밀도 소재인 텅스텐 합금 봉의 밀도와 크기 제어는 성능 및 후속 적용 분야의 품질 조건과 직접적인 관련이 있습니다. 정확한 밀도 및 크기 제어는 텅스텐 합금 봉 제품의 안정성과 일관성을 보장하는 핵심 요소입니다.

2.1.1 밀도와 비중

- **밀도** 는 단위 부피당 재료의 질량이며, 텅스텐 합금 막대 재료의 품질을 측정하는 핵심 지표입니다. 텅스텐 합금 막대의 밀도는 일반적으로 $17.0\sim 18.5\text{ g/cm}^3$ 이며, 구체적인 값은 텅스텐 함량과 합금 원소의 비율에 따라 달라집니다.
- **비중** 은 재료 밀도와 물의 밀도의 비율입니다. 물의 밀도는 1 g/cm^3 이므로, 텅스텐 합금 막대의 비중 값은 기본적으로 밀도 값과 같습니다.

밀도를 정확하게 제어하면 재료가 정확한 중량 분포 요구 사항, 기계적 강도 및 전자파 차폐 효과와 같은 예상 물리적 특성을 달성할 수 있습니다.

밀도 편차가 너무 크면 제품 성능에 변동이 생기고, 심각한 경우 부품의 조립 및 맞춤, 최종 제품의 안전에 영향을 미칩니다.

2.1.2 밀도 제어의 핵심 요소

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **성분 비율** : 텅스텐 함량이 높을수록 밀도가 높아집니다. 텅스텐과 합금 원소(예: 니켈, 철, 구리)의 적절한 비율은 밀도 제어의 기준이 됩니다.
- **소결 공정 변수** : 온도, 시간 및 분위기 조절은 밀도 에 상당한 영향을 미칩니다. 소결 온도가 너무 낮으면 기공이 증가하고 밀도가 감소하기 쉽습니다. 소결 온도가 너무 높으면 과연소가 발생하고 재료 성능이 저하될 수 있습니다.
- **분말 입자 크기 및 균일성** : 미세한 분말과 균일한 혼합은 밀도를 개선하고, 기공을 줄이며 재료 밀도를 증가시키는 데 도움이 됩니다.
- **냉간 가공 및 열처리** : 적절한 단조, 압출 및 열처리 공정을 통해 재료의 내부 기공을 더욱 제거하고 밀도를 향상시킬 수 있습니다.

2.1.3 치수 정밀도 관리

텅스텐 합금 봉은 길이, 직경, 외부 치수와 설계값 간의 편차 범위를 나타냅니다. 고정밀 치수 관리는 가공, 조립 및 사용 중 텅스텐 합금 봉의 안정성과 신뢰성을 보장합니다.

- **치수 공차** 는 일반적으로 고객 요구 사항 및 표준에 따라 결정됩니다. 일반적으로 직경 공차는 $\pm 0.01\text{mm}$ 에서 $\pm 0.05\text{mm}$ 범위 내에서 조절할 수 있습니다.
- **표면 거칠기** 는 치수 정확도의 중요한 요소입니다. 표면 상태가 양호하면 가공 난이도가 낮아지고 부품 성능이 향상될 수 있습니다.
- 첨단 가공 장비와 측정 기구(3 좌표 측정기, 레이저 직경 측정기 등)를 사용하여 높은 치수 정확도와 일관성을 보장합니다.

2.1.4 치수정밀도 관리를 위한 기술적 대책

- **CNC 가공 장비** : 고정밀 CNC 선반 및 연삭기를 사용하여 가공하여 치수 정확도가 안정적으로 유지됩니다.
- **온라인 감지 및 피드백 제어** : 생산 과정에서 자동 측정 시스템을 사용하여 치수 편차를 실시간으로 모니터링하고 조정합니다.
- **열처리 공정 최적화** : 열처리 중 변형을 제어하여 치수 제어 손실을 방지합니다.
- **엄격한 공정 사양** : 절단, 연삭, 연마 및 기타 공정을 포함하여 각 가공 단계가 치수 요구 사항을 충족하는지 확인합니다.

요약

텅스텐 합금 봉은 고성능을 보장하는 기반입니다. 밀도의 정확도는 재료의 기계적 특성과 적용 효과에 직접적인 영향을 미칩니다. 치수 정확도의 엄격한 관리는 제품의 가공 성과와 최종 조립품의 신뢰성을 보장합니다. 원자재 비율, 공정 변수, 그리고 첨단 가공 및 시험 기술을 최적화함으로써 텅스텐 합금 봉의 물리적 및 기계적 특성이 설계 요건을 충족하도록 효과적으로 보장합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.2 인장강도, 항복강도 및 신율

텅스텐 합금 막대는 실제 적용 분야에서 하중을 견디는 능력을 나타내는 중요한 지표이며, 특히 인장 강도, 항복 강도, 그리고 연신율은 재료의 강도와 소성을 평가하는 핵심 매개변수입니다. 이러한 성능 매개변수를 이해하고 제어하는 것은 제조 및 사용 과정에서 텅스텐 합금 막대의 안전성과 신뢰성을 보장하는 데 도움이 됩니다.

2.2.1 인장 강도

인장 강도는 재료가 인장 시험에서 견딜 수 있는 최대 응력을 말하며, 재료의 파괴 저항성을 나타냅니다. 텅스텐 합금 봉의 인장 강도는 일반적으로 600~1200MPa 로 높으며, 구체적인 값은 합금 조성, 제조 공정 및 열처리 상태에 따라 달라집니다.

- 일반적으로 텅스텐 함량이 높으면 재료의 인장 강도가 증가하지만, 텅스텐 비율이 너무 높으면 인성이 감소할 수 있습니다.
- 합리적인 합금 설계와 열처리 공정을 통해 높은 강도를 보장하는 동시에 소재의 가소성과 인성을 향상시킬 수 있습니다.
- 높은 인장 강도를 지닌 텅스텐 합금 막대는 큰 인장 하중을 견뎌야 하는 기계 부품과 구조 부품에 적합합니다.

2.2.2 항복 강도

항복 강도는 재료가 응력을 받았을 때 영구 소성 변형을 겪기 시작하는 응력 값으로, 재료의 탄성-소성 한계를 반영합니다. 텅스텐 합금 봉의 항복 강도는 일반적으로 인장 강도보다 약간 낮으며, 일반적으로 400~900MPa 범위입니다.

- 항복 강도는 실제 적용에서 재료의 안전 여유에 영향을 미칩니다.
- 텅스텐 합금 막대의 경우 항복 강도가 높으면 사용 중에 영구적인 변형 없이 더 큰 작업 응력을 견딜 수 있다는 것을 의미합니다.
- 항복 강도는 소결 온도와 그에 따른 열기계적 처리를 최적화함으로써 효과적으로 개선될 수 있습니다.

2.2.3 신장

연신율은 재료가 파단되기 전에 소성 변형될 수 있는 능력으로, 일반적으로 백분율로 표시되며, 재료의 인성과 소성을 측정하는 핵심 지표입니다. 텅스텐 합금 막대의 연신율은 일반적으로 1%에서 10% 사이로 낮습니다.

- 낮은 신장률은 재료가 취성이 있고 파손되기 쉽다는 것을 나타내고, 높은 신장률은 재료가 우수한 소성 변형 능력을 가지고 있음을 나타냅니다.
- 텅스텐 합금에 니켈과 철과 같은 합금 원소를 첨가하면 신장률이 증가하고 재료가 취성 균열에 덜 취약해집니다.
- 신장률의 증가는 복잡한 작업 조건에서 텅스텐 합금 막대의 성형 및 안전한 사용에 유익합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.2.4 기계적 성능에 영향을 미치는 요인

- **구성비** : 텅스텐 함량이 높을수록 강도는 높아지지만 신장률은 감소할 수 있습니다. 니켈, 철과 같은 합금 원소를 첨가하면 인성을 향상시킬 수 있습니다.
- **소결 공정** : 소결 온도, 시간 및 분위기는 재료의 미세 구조와 밀도에 직접적인 영향을 미치므로 강도와 가소성에 영향을 미칩니다.
- **열처리 및 기계가공** : 어닐링, 시효, 기계가공 공정(단조, 압출)과 같은 적절한 열처리를 통해 소재의 내부 구조를 조정하고 기계적 성질을 향상시킬 수 있습니다.
- **입자 크기** : 미세하고 균일한 입자 구조는 강도와 인성을 향상시키는 데 도움이 됩니다.

요약

텅스텐 합금 봉의 인장강도, 항복강도, 그리고 연신율은 전반적인 기계적 특성을 측정하는 중요한 지표입니다. 텅스텐 합금 봉은 조성 설계 및 공정 제어를 최적화함으로써 적절한 가소성을 확보하는 동시에 높은 강도를 보장하여 다양한 산업 분야의 재료 성능 요건을 충족할 수 있습니다. 이러한 성능 매개변수를 완벽하게 제어하는 것은 텅스텐 합금 봉의 품질 보증 및 응용 분야 개발에 매우 중요합니다.

2.3 경도 및 충격 저항성

텅스텐 합금 봉의 경도와 내충격성은 내마모성과 내손상성을 평가하는 중요한 지표이며, 복잡한 작업 조건에서 재료의 안정성과 사용 수명을 보장하는 데 핵심적인 역할을 합니다. 경도와 내충격성을 합리적으로 제어하는 것은 텅스텐 합금 봉의 균형 잡힌 성능을 달성하는 중요한 방법입니다.

2.3.1 경도

경도는 재료가 국부적인 소성 변형과 마모에 저항하는 능력을 반영하며, 일반적으로 브리넬 경도(HB), 로크웰 경도(HRC) 또는 비커스 경도(HV)와 같은 방법을 사용하여 측정합니다.

- 텅스텐 합금 막대는 일반적으로 **200~400 HB** 범위이며, 구체적인 값은 텅스텐 함량과 합금 원소의 종류 및 비율에 따라 달라집니다.
- 텅스텐 함량이 높으면 일반적으로 경도가 높아지며, 니켈과 철과 같은 합금 원소를 추가하면 경도와 인성 사이의 균형을 조절할 수 있습니다.
- 경도가 더 높은 텅스텐 합금은 내마모성 부품과 굽힘 방지 구성품을 제조하는 데 적합합니다.
- 경도는 열처리(시효처리 등)를 통해 더욱 증가될 수 있습니다.

2.3.2 충격 인성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

충격 저항성은 재료가 파손되지 않고 갑작스러운 외부 힘에 저항할 수 있는 능력이며, 일반적으로 샤르피 충격 시험이나 아이조드 충격 시험을 통해 평가합니다.

- 텅스텐 합금 막대는 일반적으로 중간에서 좋은 충격 저항성을 갖고 있으며, 일반적인 충격 흡수 에너지는 $5\sim 20 \text{ J/cm}^2$ 입니다 .
- 충격 저항성은 재료의 결정립 구조, 합금 원소 및 열처리 공정에 의해 크게 영향을 받습니다.
- 합금에 니켈과 철과 같은 원소를 추가하면 재료의 인성과 충격 저항성을 크게 개선하고 취성 파괴 위험을 줄일 수 있습니다.
- 최적화된 열기계적 가공(예: 단조, 압출)도 충격 저항성을 개선하는 데 도움이 될 수 있습니다.

2.3.3 경도와 충격 저항성의 균형

텅스텐 합금 막대는 일반적으로 경도와 충격 저항성 간의 최적의 균형을 찾는 것이 필요합니다 .

- 경도가 너무 높으면 내마모성은 향상되지만, 재료가 취성이 되고 충격 저항성이 감소할 수 있습니다.
- 적절한 경도와 좋은 인성이 결합되면 소재가 내마모성이 뛰어나고 고강도 사용 환경에서도 쉽게 파손되지 않도록 보장할 수 있습니다.
- 텅스텐 합금 막대의 경우, 합금 조성 설계, 소결 매개변수 제어, 열처리 및 냉간 가공 절차 최적화 등이 성능 균형을 달성하는 데 중요합니다.

요약

경도와 내충격성은 텅스텐 합금 봉의 물리적 및 기계적 특성에 중요한 두 가지 요소입니다. 적절한 재료 비율과 공정 관리를 통해 높은 경도와 우수한 내충격성을 모두 갖춘 텅스텐 합금 봉을 생산하여 다양한 산업 분야의 재료 내마모성 및 내손상성 요건을 충족할 수 있습니다. 적절한 성능 균형은 텅스텐 합금 봉의 적용 신뢰성과 사용 수명을 향상시킬 수 있습니다.

2.4 열전도도, 열팽창계수 및 고온성능

텅스텐 합금 봉은 다양한 산업 분야, 특히 고온 및 열부하 환경에서 널리 사용됩니다 . 텅스텐 합금 봉의 열전도도, 열팽창 계수, 그리고 고온 성능은 소재의 안정성과 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 이러한 열물리적 특성을 이해하고 최적화하는 것이 고성능 텅스텐 합금 제품을 설계하는 데 핵심입니다.

2.4.1 열전도도

열전도도는 재료가 열을 전달하는 능력입니다. 텅스텐 합금의 열전도도는 순수 텅스텐과 다른 합금 재료의 중간이며, 일반적으로 $70 \sim 120 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 범위입니다. .

- 텅스텐 자체는 우수한 열전도도(약 $170 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)를 가지고 있지만, 니켈, 철 등의 합금 원소를 첨가하면 전체적인 열전도도가 감소합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 텅스텐 합금은 전자 라디에이터, 고온 공구 및 열교환 장비와 같이 빠른 방열이 필요한 다양한 용도에 적합합니다.
- 재료의 밀도와 결정립 구조는 열전도도에 상당한 영향을 미치며, 밀도를 개선하고 열전도도를 최적화하기 위해 소결 및 열처리 공정을 제어해야 합니다.

2.4.2 열팽창 계수(CTE)

열팽창 계수는 온도 변화에 따라 재료의 크기가 팽창하는 능력을 나타냅니다. 텅스텐 합금의 열팽창 계수는 약 $4.5 \times 10^{-6} \sim 6.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 로 비교적 낮습니다.

- 낮은 열팽창 계수로 인해 텅스텐 합금은 고온 환경에서 치수 변화가 작고 열 응력이 낮아 정밀 장비 및 고온 구조 부품에 사용하기 적합합니다.
- 합금 원소를 추가하면 열팽창 계수가 약간 증가하지만, 일반적으로 사용되는 많은 금속 재료(예: 구리, 알루미늄)에 비해 여전히 훨씬 낮습니다.
- 열팽창계수의 안정성은 용접, 조립 및 사용 중에 열 피로 균열을 방지하는 데 매우 중요합니다.

2.4.3 고온 성능

텅스텐 합금 막대는 높은 용점, 우수한 고온 강도, 열 피로 저항성 등 우수한 고온 특성을 가지고 있습니다.

- 텅스텐의 녹는점은 최대 3422°C입니다. 텅스텐 합금의 녹는점은 텅스텐 합금보다 약간 낮지만, 1500°C 이상의 고온 환경에서도 우수한 기계적 성질을 유지할 수 있습니다.
- 고온에서의 산화 저항성은 순수 텅스텐보다 약간 나쁘며, 산화 손상을 방지하기 위해 표면을 코팅하거나 보호 분위기에서 사용해야 합니다.
- 텅스텐 합금은 항공우주, 군사 산업, 고온로 제조에 널리 사용됩니다.
- 열 피로 성능은 반복되는 가열 및 냉각 사이클에서 재료의 수명을 결정합니다. 재료 조성 및 미세 구조를 최적화하면 열 피로 저항성을 향상시킬 수 있습니다.

요약

텅스텐 합금 막대는 우수한 열전도도와 낮고 안정적인 열팽창 계수를 가지고 있어 고온 환경에서도 우수한 성능을 발휘합니다. 고온 강도와 열 피로 성능은 극한 작업 조건에서도 신뢰할 수 있는 성능을 보장합니다. 합리적인 재료 설계와 공정 최적화를 통해 텅스텐 합금 막대의 열물성 특성을 더욱 향상시켜 더욱 첨단 분야의 요구를 충족할 수 있습니다.

2.5 전기적 특성, 자기적 응답 및 방사선 저항성

텅스텐 합금 막대는 전자 장치, 자기 차폐, 원자력 산업 등 특정 특수 분야에서 중요한 용도로 사용됩니다. 텅스텐 합금 막대의 전기적 특성, 자기 응답, 그리고

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

내방사선성은 재료의 적용 가능성을 평가하는 핵심 지표입니다. 이러한 특성을 숙지하면 재료 설계를 최적화하고 적용 범위를 확장하는 데 도움이 됩니다.

2.5.1 전기적 특성

텅스텐 합금은 합금 구성에 따라 상당한 영향을 받으며 일반적으로 순수 텅스텐보다 낮지만 다른 중금속 합금보다 높습니다.

- 순수 텅스텐의 전기 전도도는 약 $18 \times 10^6 \text{S/m}$ 로 비교적 높지만, 텅스텐 합금의 전기 전도도는 니켈, 철 등의 합금 원소의 존재로 인해 일반적으로 $5 \sim 12 \times 10^6 \text{S/m}$ 로 떨어집니다.
- 텅스텐 합금의 저항률은 순수 텅스텐보다 높으며, 저항기 소자, 전극 소재 등 일정한 저항성과 높은 강도가 요구되는 용도에 적합합니다.
- 구성비와 열처리 공정을 최적화하면 전기적 특성이 향상되고 강도와 전도성의 균형을 이룰 수 있습니다.

2.5.2 자기 반응

텅스텐 자체는 상자성 물질입니다. 텅스텐 합금의 자기적 특성은 주로 합금 원소의 종류와 함량에 따라 달라집니다.

- 철족 원소(철, 니켈 등)를 첨가하면 합금의 자기적 반응이 향상되어 특정 강자성이나 상자성을 나타낼 수 있습니다.
- 텅스텐 합금은 자기 차폐 재료와 자기장 환경에서의 안정성에 영향을 미칩니다.
- 일부 응용 분야에서는 자기장 간섭을 피하기 위해 자기 반응이 낮은 텅스텐 합금이 선호됩니다.

2.5.3 방사선 저항성

텅스텐과 텅스텐 합금은 높은 원자 번호와 밀도를 가지고 있으며, 방사선 저항성이 우수하기 때문에 핵 산업과 방사선 방호 분야에서 널리 사용됩니다.

- 텅스텐 합금은 중성자, 감마선 등의 전자파 차폐 효과가 뛰어나 원자로 보호재, 방사능 장비 보호 커버 등에 많이 사용됩니다.
- 합금 원소를 첨가해도 일반적으로 방사선 저항성은 크게 감소하지 않지만, 방사선 침투를 방지하기 위해 합금의 균일성과 밀도에 주의해야 합니다.
- 텅스텐 합금은 방사선 조사 환경에서 구조적 안정성과 방사선 손상에 대한 저항성이 우수하며 장기간 사용에 적합합니다.

요약

텅스텐 합금 봉은 전자, 자기 차폐, 원자력 산업 분야에서 응용될 수 있는 기반을 마련합니다. 합금 조성과 공정 매개변수를 조정함으로써 다양한 산업 환경의 요구에 맞춰 성능을 최적화하고 맞춤화할 수 있으며, 소재의 포괄적인 사용 가치를 향상시킬 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.6 내식성 및 화학적 안정성 분석

텅스텐 합금 봉은 다양한 산업 환경에서 화학 매체와 습한 공기에 노출됩니다. 텅스텐 합금 봉의 내식성과 화학적 안정성은 소재의 장기적인 신뢰성 있는 사용을 보장하는 핵심 특성입니다. 텅스텐 합금의 내식성에 대한 심층 분석은 소재 선정 및 보호 대책 설계에 도움이 될 수 있습니다.

2.6.1 내식성

텅스텐 합금은 내식성이 우수하며 주로 다음과 같은 특징이 있습니다.

- **매체 에 대한 내성이 강하며** , 특히 중성 또는 약산성 환경에서 탁월한 성능을 발휘하며 화학 장비 및 계측기 구성품에 적합합니다.
- **텅스텐 표면에 안정적인 산화막이 형성되어** 부식성 매체를 효과적으로 분리하고 재료의 추가 부식을 지연시킬 수 있습니다 .
- 강한 산화성 산(질산, 과염소산 등)에서는 텅스텐 합금의 내식성이 저하될 수 있으므로 보호 조치를 취해야 합니다.
- 합금 원소(니켈 및 철 등)의 함량과 분포는 텅스텐 합금의 전반적인 내식성에 영향을 미칩니다. 균일한 합금 구조는 부식 균일성과 내식성을 향상시키는 데 도움이 됩니다.

2.6.2 화학적 안정성

텅스텐 합금의 장점은 다양한 환경에서 화학적 특성이 쉽게 변하지 않는다는 것입니다. 주요 특징은 다음과 같습니다.

- **높은 녹는점과 열적 안정성** 으로 인해 텅스텐 합금은 고온 및 혹독한 환경에서도 안정적이며 분해나 변형이 쉽지 않습니다.
- 이 제품은 물이나 알칼리 용액 등 대부분 일반적인 화학 매체에 대해 좋은 안정성을 보입니다.
- 공기 중과 실온에서 텅스텐 합금 표면의 산화 피막은 추가적인 산화를 방지하고 재료의 내구성을 향상시킬 수 있습니다.
- 강산이나 강알칼리 등 극한 환경에서 사용하는 경우 안정성을 높이기 위해 소재 보호층이나 특수 공정이 필요합니다.

2.6.3 내식성 및 화학적 안정성에 영향을 미치는 요인

- **합금 구성 및 미세 구조** : 합금 원소의 종류와 분포는 산화 피막의 형성과 안정성에 영향을 미치며, 결과적으로 부식 거동에 영향을 미칩니다.
- **표면 처리** : 연마, 분무 또는 코팅처리를 통해 재료의 내식성을 효과적으로 개선할 수 있습니다.
- **환경 조건** : 온도, 매체 농도, pH 값 등은 부식 속도와 재료 수명에 직접적인 영향을 미칩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **제조 공정** : 고밀도 및 균일한 미세 구조는 부식 지점을 줄이고 서비스 수명을 연장하는 데 도움이 됩니다.

요약

텅스텐 합금 봉은 뛰어난 내식성과 화학적 안정성을 갖추고 있어 다양한 열악한 환경에서 사용하기에 적합합니다. 합금 조성을 합리적으로 설계하고, 제조 공정을 최적화하며, 표면 보호 조치를 적용함으로써 텅스텐 합금 봉의 내식성과 수명을 더욱 향상시켜 다양한 산업 분야의 요구를 충족할 수 있습니다.

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

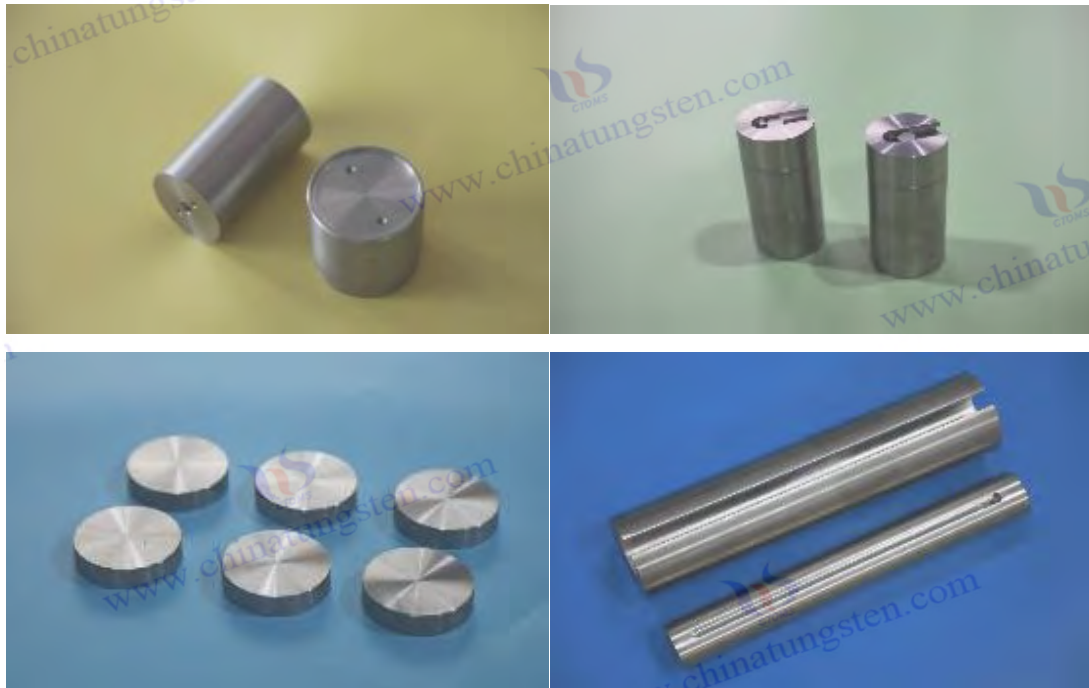
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

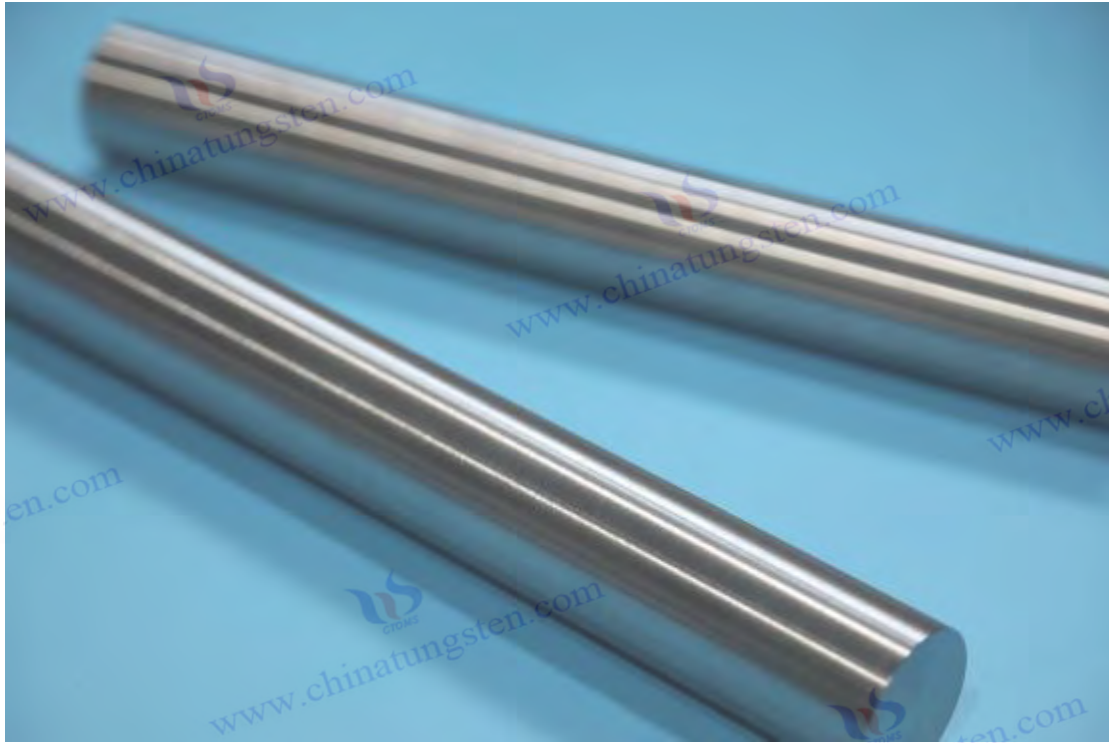
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



제 3 장 텅스텐 합금봉의 제조 및 성형 기술

3.1 원료 준비 및 분말 특성

텅스텐 합금 봉은 사용되는 원료의 순도, 입자 크기 분포, 형태 및 혼합 균일성에 크게 좌우됩니다. 고품질 원료 준비 및 분말 특성 관리는 텅스텐 합금 봉의 우수한 물리적, 기계적 특성 및 안정성을 확보하는 기반입니다. 이 섹션에서는 텅스텐 합금 봉 제조 과정에서 원료 선택, 전처리, 분말 준비, 그리고 이러한 특성이 후속 공정 및 제품 성능에 미치는 영향을 자세히 소개합니다.

3.1.1 텅스텐 분말의 공급원 및 종류

텅스텐 합금 막대 생산의 핵심 원료입니다 . 일반적으로 사용되는 텅스텐 분말은 다음과 같습니다.

- **화학적으로 환원된 텅스텐 분말** : 수소에서 텅스텐산을 환원하여 얻은 것으로, 순도가 높고 입자 형태가 양호하며 고성능 텅스텐 합금 제조에 적합합니다.
- **탄소열 환원 텅스텐 분말** : 탄소열 환원법으로 제조되었으며, 비용은 낮지만 불순물 함량이 비교적 높고 입자 크기 분포가 넓습니다.
- **분무 건조 텅스텐 분말** : 균일한 입자와 규칙적인 입자 형태를 가진 고품질 텅스텐 분말을 생산하는 데 사용되며, 후속 압착 및 소결에 편리합니다.
- **구형 텅스텐 분말** : 플라즈마 구형화 및 기타 기술을 통해 제조되었으며, 유동성과 체적 밀도가 좋으며 분말 야금 고성능 텅스텐 합금에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 분말을 선택할 때는 특정 공정 요구 사항과 성능 표준을 충족시키기 위해 순도, 입자 크기, 형태 및 가격 요소를 종합적으로 고려해야 합니다.

3.1.2 합금원소 분말의 선정

텅스텐 합금은 일반적으로 니켈, 철, 구리와 같은 합금 원소로 도핑되며, 이러한 원소들은 분말 형태로 텅스텐 분말과 혼합됩니다. 합금 분말의 입자 크기와 형태는 혼합 균일성과 최종 재료 특성에 큰 영향을 미칩니다.

- **니켈 분말** : 구형 니켈 분말은 일반적으로 균일한 입자 크기를 갖고 있어 혼합 균일성과 소결 밀도를 개선하는 데 유익합니다.
- **철분 말** : 불순물이 재료 특성에 영향을 미치는 것을 방지하기 위해 순도가 높고 산소 함량이 낮은 철분말을 사용합니다.
- **구리 분말** : 구형 또는 플레이크형 구리 분말이 일반적으로 사용됩니다. 텅스텐 구리 합금 제조에는 우수한 열전도도가 특히 중요합니다.

합금 원소 분말은 균일한 입자 분포를 유지하고 응집을 피하여 미세한 규모에서 합금 조성의 균일성을 보장해야 합니다.

3.1.3 분말 전처리 공정

분말 전처리는 입자 성능과 혼합 효과를 개선하는 데 매우 중요합니다. 일반적인 전처리 방법은 다음과 같습니다.

- **건조 처리** : 소결과정에서 기공이 형성되는 것을 방지하기 위해 분말 표면에 흡착된 수분을 제거합니다.
- **체질 및 분류** : 다양한 입자 크기의 분말을 체로 분리하여 균일한 입자 크기 분포를 갖는 혼합 분말을 얻고 압착 밀도를 개선합니다.
- **표면 활성화** : 분말을 기계적 또는 화학적으로 활성화하여 입자 간의 결합력을 향상시키고 소결 밀도를 촉진합니다.
- **혼합 및 균질화** : 볼밀, 믹서 및 기타 장비를 사용하여 장시간 균일하게 혼합하여 합금 성분의 균일한 분포를 보장하고 성능 불균일을 방지합니다.

3.1.4 분말의 입자 크기 분포 및 형태

입자 크기 분포는 텅스텐 합금 막대의 밀도, 기계적 특성 및 가공 성능에 중요한 영향을 미칩니다.

- **미세한 분말**은 소결 밀도와 기계적 성질을 개선하는 데 유익하지만, 너무 미세한 분말은 응집되기 쉽고 유동성과 가공 성능에 영향을 미칩니다.
- **굵은 분말**은 유동성이 좋지만, 소결 시 기공이 크고 밀도가 낮습니다.
- **이상적인 입자 크기 분포**는 일반적으로 광범위한 스펙트럼 분포입니다. 즉, 미세한 분말이 거친 분말 사이의 틈을 채워 높은 밀도를 얻습니다.

모습:

- **구형 분말**은 유동성과 체적 밀도가 좋으므로 압착 및 소결 공정에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 불규칙한 분말은 분말 사이에 공극을 형성하기 쉽지만 때로는 기계적 잠금 강도를 개선하는 데 도움이 됩니다.

3.1.5 분말 혼합 및 비율 제어

텅스텐 합금의 성능은 텅스텐과 합금 원소의 정확한 비율과 균일한 혼합에 크게 좌우됩니다. W-Ni-Fe 시스템과 같은 일반적인 텅스텐 합금에서는 텅스텐 함량이 일반적으로 90% 이상이며, 합금 원소의 비율은 상대적으로 낮습니다.

- 재료의 정확성을 보장하기 위해 고정밀 계량 장비가 사용됩니다.
- 완벽한 혼합을 위해 효율적인 균질화 혼합 장비(예: 볼밀, 드럼 믹서)를 사용하십시오. 분말 응집이나 형태 변화를 방지하기 위해 시간과 속도를 최적화해야 합니다.
- 혼합 과정에서 적절한 양의 윤활제(예: 폴리비닐알코올, 파라핀)를 첨가하여 분말 유동성과 압축 성능을 개선할 수 있습니다.

3.1.6 분말 유동성 및 체적 밀도

- 유동성은 분말 가압의 균일성과 성형 효율에 영향을 미칩니다. 유동성이 낮은 분말은 가압 밀도의 불균일성을 초래하여 후속 소결 품질에 영향을 미칠 수 있습니다.
- 체적 밀도는 압착 시 분말의 투입량과 압착 밀도를 결정하며, 재료의 밀도와 기계적 성질을 향상시키는 핵심 요소이다.
- 유동성과 겉보기 밀도는 일반적으로 분말 형태, 입자 크기 분포, 전처리 공정에 의해 조정되고 제어됩니다.

3.1.7 분말의 화학적 순도 및 불순물 관리

- 산소, 탄소, 질소, 유황 등의 불순물 원소는 텅스텐 합금의 기계적 성질과 내식성에 상당한 영향을 미칩니다.
- 고순도 원료와 깨끗한 생산 환경을 이용해 분말의 화학적 순도를 엄격하게 관리합니다.
- 산화와 불순물 흡착을 줄이기 위해 진공이나 보호 분위기 처리를 사용합니다.

요약

원료 준비 및 분말 특성 최적화는 텅스텐 합금 붕의 고성능 제조를 위한 기반입니다. 고순도, 적절한 입자 크기, 양호한 형상을 갖는 텅스텐 분말 및 합금 원소 분말을 합리적으로 선택하고, 과학적인 전처리 및 혼합 공정을 병행함으로써 텅스텐 합금의 밀도와 기계적 특성을 효과적으로 개선하여 후속 성형, 소결 및 열처리 공정을 위한 견고한 기반을 마련할 수 있습니다. 고품질 분말 시스템은 텅스텐 합금 붕의 안정적인 성능과 우수한 품질을 보장하는 핵심 요소입니다.

3.2 분말야금 프레스 공정(성형, 등방성 프레스)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금 봉은 분말 야금 프레스 기술입니다. 균일하게 혼합된 텅스텐 합금 분말을 일정 압력 하에서 성형함으로써, 예비 형상과 밀도를 가진 성형체를 얻게 되며, 이는 후속 소결 및 열처리의 기초가 됩니다. 프레스 공정의 선택과 매개변수 제어는 성형체의 밀도, 균일성 및 후속 성능에 직접적인 영향을 미치며, 텅스텐 합금 봉 제조 공정의 중요한 부분입니다.

3.2.1 분말 압착의 기본 원리

분말야금 프레스는 기계적 압력을 이용하여 분말 입자를 서로 접촉시키고 맞물리게 하여 기공률을 감소시키고, 일정한 기계적 강도를 가진 그린 빌릿을 형성하는 공정입니다. 이 공정은 주로 분말 입자의 재배열, 소성 변형 및 압축을 통해 이루어집니다.

- **재배열 단계** : 분말 입자가 압축을 통해 이동하고 재배열되어 분말 사이의 틈이 줄어듭니다.
- **소성 변형 단계** : 입자가 압축되고 소성 변형되어 공극이 더욱 채워집니다.
- **압축 단계** : 최대 밀도에 도달하고 고체를 형성합니다.

분말의 형태, 입자 크기 분포 및 유동성은 압착 효과에 상당한 영향을 미칩니다.

3.2.2 단축 프레스

압축 성형은 텅스텐 합금 막대 제조에 가장 일반적으로 사용되는 가압 방법입니다. 분말을 단축 압력을 사용하여 금형에 압착하여 원하는 블랭크를 형성합니다.

공정 특성:

- 이 장비는 구조가 간단 하고 조작이 편리하며 대량 생산에 적합합니다.
- 성형 압력은 높고, 일반적으로 200~600 MPa 에 도달하여 분말 밀도를 효과적으로 증가시킵니다.
- 금형 설계는 유연 하며 다양한 단면 모양과 크기 요구 사항을 충족할 수 있습니다.
- 힘은 단방향이고, 밀도 분포는 불균일 하며 , 그린바디 중앙의 밀도가 표면의 밀도보다 낮아 후속 소결 시 변형이 발생할 수 있습니다.

주요 공정 매개변수:

- **압력** : 압력이 높을수록 밀도는 높아지지만, 압력이 너무 높으면 다이 마모나 분말 파손이 발생할 수 있습니다 .
- **압축 속도** : 적절한 속도를 제어하면 분말 입자 파손을 줄이고 밀도 균일성을 향상시킬 수 있습니다.
- **보류 시간** : 적절한 보류 시간은 분말 입자가 완전히 접촉할 수 있게 하며 그린 바디의 강도를 향상시킬 수 있습니다.
- **금형 온도** : 금형을 적절히 가열하면 분말 가소성을 개선하고 균열과 변형을 줄이는 데 도움이 될 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

애플리케이션:

압축 성형은 더 크고 단면이 단순한 텅스텐 합금 막대를 생산하는 데 적합합니다. 또한 후속 2 차 가공을 위한 빌릿을 예비 성형하는 데에도 사용할 수 있습니다.

3.2.3 등압 가압

등방성 압축은 유압 또는 공압 매체에서 분말 본체에 균일한 다방향 압력을 가하여 높은 밀도와 균일한 밀도 분포를 달성하는 성형 방법입니다.

공정 특성:

- 압력은 균등하게 전달되고 밀도는 균등하게 분배되어 성형 과정에서 밀도 구배 문제가 효과적으로 방지됩니다.
- 압력 방향이 다양하고, 블랭크 크기와 모양이 유연하며 , 복잡한 모양과 고정밀 텅스텐 합금 부품에 적합합니다.
- 설비 투자 비용이 높고, 공정이 비교적 복잡하며 , 생산 효율이 성형에 비해 낮습니다.
-) 의 두 가지 범주로 나뉩니다 .

주요 공정 매개변수:

- 압력 범위 : 냉간 등방성 가압은 일반적으로 100~400MPa 이고, 열간 등방성 가압은 100MPa 이상의 고온 고압 환경에 도달할 수 있습니다.
- 매체 선택 : 액체(물, 오일 등) 또는 기체(질소 등)가 압력 전달 매체로 사용되는 경우가 많습니다.
- 보유 시간 : 분말이 완전히 압축되고 변형되었는지 확인하세요.
- 온도 제어 : 고온과 결합된 열간 등방성 압축은 분말 소결을 촉진하여 밀도와 성능을 향상시킵니다.

애플리케이션:

등방성 프레스링은 고성능 텅스텐 합금 막대를 제조하는 데 적합하며, 특히 항공우주, 군사 산업 및 고급 의료 장비용 합금 막대와 같이 균일한 밀도와 안정적인 기계적 특성이 요구되는 핵심 부품을 제조하는 데 적합합니다.

3.2.4 성형과 등방성형의 장단점 비교

프로젝트	압축 성형	등방성 프레스
장비 투자	낮추다	더 높은
누르는 속도	빠르고 대량 생산에 적합	느리고 상대적으로 생산 효율성이 낮음
밀도 균일성	밀도 기울기가 명확하고 중앙의 밀도가 낮습니다.	균일한 밀도와 적은 결함
복잡성 형성	간단한 단면에 적합	복잡한 모양에 적합

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

완제품 특성	기계적 안정적이며 후속 공정 제어에 따라 달라집니다.	고밀도, 고성능
비용	낮은	높은

3.2.5 핵심기술 및 공정 최적화

- **금형 설계 최적화** : 다단계 프레스 또는 점진적 프레스 기술을 사용하여 밀도 구배를 줄이고 그린 바디 균일성을 개선합니다.
- **분말 전처리** : 분말 유동성과 윤활성을 개선하여 압착 중 분말 입자 응집이나 금형 균형을 방지합니다.
- **매개변수 조정** : 분말 파손 및 잔류 응력을 방지하기 위해 압력, 속도 및 유지 시간을 합리적으로 제어합니다.
- **등압 프레스 장비 업그레이드** : 고압 및 고온 일체형 장비를 채택하여 등압 프레스(HIP)를 달성하고 그린 바디 밀도와 기계적 특성을 더욱 개선합니다.
- **다양한 공정 의 조합** : 압축 성형과 등방성 압축을 결합하여 생산 효율성과 제품 성능을 개선합니다.

3.2.6 녹색 억제 및 환경 보호 요구 사항

현대 텅스텐 합금 생산은 환경 보호와 안전을 강조하며, 분말 야금 프레스 공정 역시 관련 환경 보호 표준을 준수해야 합니다.

- 환경 오염과 운영자의 건강 위험을 방지하기 위한 먼지 회수 및 처리.
- 공정 폐기물 오염을 줄이려면 무해하거나 독성이 낮은 윤활제를 사용하세요.
- 생산 과정에서 에너지 소비를 관리하고 에너지 활용 효율성을 개선합니다.

요약

분말 야금 프레스 공정은 텅스텐 합금 봉 성형의 핵심 단계입니다. 압축 성형과 등방성 프레스는 각각 고유한 장점을 가지고 있어 다양한 제품 요구 사항을 충족합니다. 프레스 공정 변수의 합리적인 선택과 최적화는 블랭크의 밀도와 균일성을 보장할 뿐만 아니라 후속 소결 및 열처리를 위한 견고한 기반을 제공합니다. 기술 발전과 함께 등방성 프레스와 압축 성형의 결합, 그리고 새로운 친환경 공정의 개발은 텅스텐 합금 봉 제조 기술을 고효율, 고품질, 그리고 환경 보호로 발전시키는 데 기여할 것입니다.

3.3 소결기술 및 분위기 제어

소결은 텅스텐 합금 봉 제조에 있어 중요한 공정입니다. 고온 가열을 통해 분말 입자가 확산 및 결합되도록 하여 분말 밀도를 높이고 기계적 특성을 향상시키는 공정입니다. 적절한 소결 기술과 분위기 제어는 재료의 밀도, 구조 및 성능뿐만 아니라 완제품의 치수 안정성과 품질 일관성에도 영향을 미칩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3.1 소결의 기본 원리 및 공정

소결은 분말체를 분말 재료의 고체 확산 온도 범위(일반적으로 재료 용융점의 70~90%)까지 가열하여 입자 간의 확산과 결합을 유도하여 고밀도화를 달성하는 공정입니다. 주요 메커니즘은 다음과 같습니다.

- **고체 확산** : 텅스텐과 합금 원소 원자가 입자 계면에서 확산되어 결정립계 결합을 형성합니다.
- **입자 표면 에너지 감소** : 계면 확산을 통한 시스템 에너지 감소, 기공 폐쇄 및 밀도 증가.
- **입자 성장** : 적절한 입자 성장은 기계적 성질을 개선하는 데 도움이 되지만, 과도한 성장은 성능 저하로 이어집니다.

소결 공정은 일반적으로 예열, 단열, 냉각의 세 단계로 나뉩니다. 온도 곡선과 단열 시간은 정밀하게 제어되어야 합니다.

3.3.2 일반적인 소결 기술

3.3.2.1 대기 보호 소결

소결은 텅스텐 합금의 산화를 방지하고 합금 원소의 확산과 균일성을 촉진하기 위해 보호 분위기(수소, 아르곤 또는 혼합 가스 등)에서 수행됩니다.

- 수소 분위기는 표면 산화물을 효과적으로 감소시키고 소결 밀도를 향상시킬 수 있습니다.
- 아르곤 불활성 분위기는 특정 합금 원소에 대한 환원 가스의 부작용을 피하는 데 적합합니다.
- 대기 순도 요구 사항은 높고, 불순물 가스(산소, 질소, 수증기)의 함량은 ppm 수준보다 낮습니다.

3.3.2.2 진공소결

고진공 환경은 산화를 줄이고 재료의 순도와 기계적 성질을 향상시킵니다. 진공 소결은 고급 텅스텐 합금 제품 제조에 적합합니다.

- 진공도는 일반적으로 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Pa 에 이릅니다.
- 소결 중 불순물 가스의 유입을 효과적으로 방지하고 기공과 불순물 혼입물을 줄입니다.
- 장비 투자비용과 운영비용이 높습니다.

3.3.2.3 열간 등압 가압(HIP)

고온소결 및 고압 등방성 압축 기술을 결합하면 텅스텐 합금 분말의 초고밀도화를 달성할 수 있습니다.

- 고온과 등방성 고압을 동시에 적용하여 분말의 폐쇄 셀 소결 및 기공 제거를 촉진합니다.
- 재료의 밀도와 기계적 성질이 크게 향상되어 핵심 구성 요소를 제조하는 데 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 해당 장비는 복잡하고 비용이 많이 들며, 부가가치가 높은 제품에 적합합니다.

3.3.3 소결 공정 매개변수 제어

- **소결 온도** : 일반적으로 1450°C~1600°C로 조절합니다. 온도가 너무 낮으면 밀도가 부족하고, 온도가 너무 높으면 결정립이 조대해지고 성분 편석이 발생할 수 있습니다.
- **단열 시간** : 재료 구성과 블랭크 크기에 따라 다르지만, 충분한 확산과 밀도화를 보장하기 위해 일반적으로 1~4 시간입니다.
- **가열 속도** : 블랭크에서 과도한 열 응력을 방지하고 균열을 피하기 위해 가열 속도를 합리적으로 제어합니다.
- **냉각 속도** : 열 응력과 구조적 변형을 줄이기 위해 적당히 느린 냉각 속도입니다.

3.3.4 소결 분위기의 효과 및 제어 기술

소결 분위기는 텅스텐 합금 막대의 미세구조와 특성에 결정적인 역할을 합니다.

- **환원성 분위기(수소)** : 분말 표면의 산화막을 제거하고 입자간의 결합을 촉진합니다.
- **불활성 분위기(아르곤)** : 고온에서 환원 분위기로 인해 텅스텐 합금이 부식되는 것을 방지하며, 조성에 민감한 합금에 적합합니다.
- **분위기 순도 제어** : 고순도 가스를 사용하고 가스 정화 장치를 장착하여 산소 함량을 극도로 낮추고 산화 및 질화를 방지합니다.
- **공기 흐름 및 압력** : 공기 흐름 속도와 압력을 합리적으로 조절하여 균일한 분위기와 열전도 효과를 보장합니다.

3.3.5 소결 품질 모니터링 및 테스트

- 열 분석(예: 시차열 분석(DTA) 및 열중량 분석(TGA))은 소결 공정의 온도 및 반응 특성을 모니터링하는 데 사용됩니다.
- 소결 효과는 미세구조 분석, 기공률 측정 및 기계적 특성 시험을 통해 평가되었습니다.
- 불순물 가스의 침투를 방지하기 위해 실시간으로 대기 구성을 모니터링합니다.
- 완제품의 크기와 변형을 테스트하여 제품이 설계 요구 사항을 충족하는지 확인합니다.

요약

소결 기술과 분위기 제어는 텅스텐 합금 봉 제조의 핵심 요소이며, 재료의 밀도, 미세 구조 및 기계적 특성에 직접적인 영향을 미칩니다. 적절한 소결 방식(분위기 보호, 진공 또는 열간 등압 성형)을 선택하고, 정밀한 공정 변수 제어 및 분위기 정화 기술을 결합하면 텅스텐 합금 봉의 종합적인 성능과 안정성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 앞으로 장비 기술과 재료 과학의 발전으로 소결 공정은 더욱 효율적이고 지능화되어 텅스텐 합금 봉의 고품질 제조를 확실하게 보장할 것입니다.

3.4 열처리 및 고밀도화 공정 최적화

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금 봉은 재료 밀도 향상, 미세 구조 최적화, 그리고 기계적 특성 개선에 중요한 역할을 합니다. 열처리 공정의 합리적인 설계 및 최적화는 소결 중 잔류 응력을 효과적으로 제거할 뿐만 아니라, 결정립 미세화 및 합금 원소의 균일한 분포를 촉진하여 텅스텐 합금의 종합적인 성능을 크게 향상시킵니다.

3.4.1 열처리의 목적 및 기능

- **응력 완화** : 소결 및 냉각 중에 발생하는 열 응력은 열처리를 통해 해소되어 그린 바디의 균열 및 변형을 방지합니다.
- **밀도 증가** : 고온 열처리는 확산 과정을 촉진하고, 미세 기공을 채우고, 재료 밀도를 증가시킵니다.
- **입자 제어** : 입자 크기를 제어하고, 구조를 미세화하고, 인성과 강도를 향상시킵니다.
- **원소 의 균질화** : 합금 원소의 확산을 촉진하고 구성 분리를 방지합니다.
- **기계적 성질을 향상시킵니다** . 예를 들어 경도, 항복 강도, 연성을 증가시킵니다.

3.4.2 주요 열처리 공정 유형

3.4.2.1 용액 처리

- 고온에서 용액 온도(보통 1200~1400°C)까지 가열하면 합금 원소가 매트릭스에 완전히 용해됩니다.
- 일정 시간 동안 따뜻하게 유지한 후 빠르게 냉각하여 균일한 고용체 구조를 고정합니다.
- 재료의 균일성과 기계적 특성을 효과적으로 개선합니다.

3.4.2.2 적시 처리

- 합금을 중저온(500~800°C)으로 유지하면 합금 원소의 침전과 강화상이 촉진됩니다.
- 적절한 연성을 유지하면서 재료의 경도와 강도를 향상시킵니다.
- 성능 최적화의 핵심은 노화 온도와 시간을 합리적으로 선택하는 것입니다.

3.4.2.3 어닐링

- 저온 어닐링은 내부 응력을 제거하고 재료의 인성을 향상시키는 데 사용됩니다.
- 온도는 일반적으로 600~900°C로 조절되며, 단열시간은 재료의 두께에 따라 조절됩니다.
- 후속 처리 성능을 개선하는 데 적합합니다.

3.4.3 열처리 공정 매개변수 최적화

- **온도 조절** : 과도한 연소 나 온도 부족을 방지하기 위해 가열 온도를 정확하게 조절합니다 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **가열 속도** : 열 충격을 피하고 균열 위험을 줄이기 위해 천천히 가열합니다.
- **유지 시간** : 열처리 효과가 충분한지 확인하고, 유지시간이 너무 길어 입자성장이 일어나는 것을 방지한다.
- **냉각 방식** : 성능 요구 사항에 따라 빠른 냉각이나 느린 냉각을 선택합니다. 이는 재료 구조와 성능에 영향을 미칩니다.

3.4.4 고밀도화 공정을 위한 보조 기술

- **열간등방성형(HIP) 열처리** : 고온, 고압 하에서 소결 및 치밀화가 동시에 완료되어 소재의 밀도가 크게 향상됩니다.
- **HIP + 열처리 조합** : HIP 고밀도화와 목표 열처리를 통해 성능을 극대화합니다.
- **펄스 열처리 기술** : 빠른 펄스 가열을 사용하여 확산을 촉진하고, 열처리 시간을 단축하며 생산 효율성을 향상시킵니다.

3.4.5 미세구조와 성능의 관계

- 열처리는 결정립계 확산을 촉진하고, 기공을 줄이며, 접합 강도를 향상시킵니다.
- 입자 미세화는 재료의 인성과 충격 저항성을 개선하는 데 도움이 됩니다.
- 합금 원소가 균일하게 분포되면 전반적인 기계적 성질과 내식성이 향상됩니다.

3.4.6 품질 관리 및 테스트 방법

- 열처리 전후의 미세구조 변화를 분석하기 위해 현미경을 사용했습니다.
- 밀도 측정과 다공성 분석을 통해 밀도화 효과를 평가했습니다.
- 기계적 성질 시험은 열처리가 강도, 경도, 연성에 미치는 영향을 검증합니다.
- 스트레스 테스트(X 선 잔류응력 분석 등)를 통해 스트레스 완화 효과가 확인됩니다.

요약

열처리 및 고밀도화 공정은 텅스텐 합금 봉 제조에 있어 중요한 기술적 연결 고리입니다. 열처리 공정 매개변수를 과학적으로 설계하고 첨단 고밀도화 기술을 결합함으로써, 소재의 내부 구조 균일성과 기계적 특성을 효과적으로 개선하여 고급 응용 분야의 엄격한 텅스텐 합금 봉 성능 요건을 충족할 수 있습니다. 앞으로 새로운 열처리 장비와 지능형 제어 기술의 개발을 통해 텅스텐 합금 봉의 열처리 공정은 더욱 정밀하고 효율적이며 환경 친화적인 방향으로 발전할 것입니다.

3.5 가공 및 표면처리 기술(연삭, 연마, 터닝)

텅스텐 합금 봉은 일반적으로 설계 크기 및 표면 품질 요건을 충족하기 위해 가공 및 표면 처리가 필요합니다. 텅스텐 합금 소재는 경도와 취성이 높아 가공이 어렵습니다. 제품의 정확성과 성능을 보장하기 위해서는 가공 및 표면 처리 공정의 합리적인 선택과 최적화가 매우 중요합니다.

3.5.1 텅스텐 합금봉의 가공 특성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **높은 경도와 인성** : 텅스텐 합금은 HV300 이상의 경도를 가지고 있어 인성이 좋지만, 동시에 소재가 취성이 있고 가공 중에 균열이 생기기 쉽습니다.
- **강력한 내마모성** : 텅스텐 합금을 가공할 때 도구가 빨리 마모되므로 경도가 높고 내마모성이 뛰어난 도구가 필요합니다.
- **우수한 열전도도** : 가공열을 빠르게 소산시키는 데 도움이 되지만, 경도가 높아서 절삭력이 커집니다.
- **가공의 어려움** : 절단 과정에서 미세 균열, 화상, 표면 거칠기가 발생할 가능성이 높으며, 가공 매개변수를 엄격하게 제어해야 합니다.

3.5.2 연삭

연삭은 텅스텐 합금 막대 가공 에서 가장 일반적으로 사용되는 마무리 방법으로, 주로 치수 정확도와 표면 거칠기를 개선하는 데 사용됩니다.

- **연삭 공구** : 다이아몬드 연삭 휠이나 CBN 연삭 휠이 사용되는데, 이는 높은 경도와 내마모성으로 인해 텅스텐 합금을 가공하는 데 적합합니다.
- **분쇄 공정 매개변수** :
 - o 연삭 휠 속도: 재료 경도와 연삭 휠 재질에 따라 결정되며 일반적으로 20,000~40,000rpm 입니다.
 - o 공급 속도: 과열과 화상을 방지하기 위해 느리고 균일하게 공급합니다.
 - o 냉각 및 윤활: 과도한 가공 온도로 인한 재료 손상을 방지하기 위해 물 기반 또는 오일 기반 냉각수를 사용하세요.
- **분쇄 방법** :
 - o 외부 원통 연삭은 텅스텐 합금 막대의 직경 가공에 사용됩니다.
 - o 내부 구멍 연삭은 구멍 크기를 조정하는 데 사용됩니다.
- **매모** :
 - o 과도한 가공으로 인한 균열을 방지하기 위해 분쇄 허용량을 조절하세요.
 - o 연삭 효율성과 표면 품질을 유지하려면 연삭 휠을 정기적으로 드레싱하세요.

3.5.3 연마

연마는 주로 텅스텐 합금 막대의 표면 마감을 개선하고, 표면 결함을 줄이고, 내식성과 미관을 개선하는 데 사용됩니다.

- **연마재** : 다이아몬드 연마 페이스트나 알루미나 연마제를 사용하고, 연마 요구 사항에 따라 다양한 입자 크기를 선택합니다 .
- **연마 방법** :
 - o 수동 연마는 소량 생산이나 특수 부품에 적합합니다.
 - o 기계적 연마 장비는 대량 생산에 적합하며 효율성과 일관성을 향상시킵니다.
- **연마 공정** :
 1. 거친 연마: 표면의 큰 흠집과 고르지 않은 부분을 제거합니다.
 2. 세밀 연마: 표면을 더욱 다듬고 매끄러움을 향상시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. 초미세 연마: 거울 효과를 얻을 수 있으며, 표면 거칠기 Ra 는 0.01 μ m 이하에 도달할 수 있습니다.

• 연마 노트 :

- o 불순물로 인한 금힘을 방지하려면 광택 표면을 깨끗하게 유지하세요.
- o 과도한 재료 마모를 피하기 위해 연마 시간과 압력을 조절하세요.

3.5.4 회전

선삭은 텅스텐 합금 막대의 성형 및 치수 가공에 중요한 공정이며, 샤프트, 원통 및 기타 형상의 가공에 적합합니다.

• 도구 선택 :

- o 날카로운 절단과 내마모성을 보장하려면 카바이드 공구나 다이아몬드 공구를 사용하세요.
- o 절삭력과 진동을 줄이기 위해 텅스텐 합금의 특성에 따라 공구 형상 매개변수를 최적화해야 합니다.

• 처리 매개변수 :

- o 절단속도는 일반적으로 낮으며 20~60m/min 으로 조절됩니다.
- o 이송 속도와 절삭 깊이는 가공물의 경도와 공구 수명에 따라 조정됩니다.
- o 열 손상을 방지하려면 적절한 냉각 장치를 사용해야 합니다.

• 회전 방법 :

- o 거친 선삭은 여분의 재료를 빠르게 제거하는 데 사용됩니다.
- o 마무리 선반 가공은 설계된 치수와 표면 품질을 얻는 데 사용됩니다.

• 회전 의 어려움 :

- o 중에 깨짐 .
- o 가공 중 균열이나 재료 벗겨짐을 방지합니다.

3.5.5 표면처리기술의 보조적 역할

- 열처리 후 기계 가공 : 열처리는 종종 치수 변화를 일으키며, 기계 가공을 통해 치수 정확도를 교정하고 개선할 수 있습니다.
- 표면 강화 처리 : 쇼트피닝, 레이저 표면 처리 및 기타 기술을 통해 표면 경도와 내마모성을 향상시킵니다.
- 부식 방지 코팅 : 텅스텐 합금 막대의 표면에 보호층을 도포하여 부식 저항성을 강화합니다.

3.5.6 가공 및 표면처리 품질관리

- 치수 검출 : 3 좌표 측정기(CMM), 레이저 직경 측정기 및 기타 장비를 사용하여 치수 정확도를 보장합니다.
- 표면 거칠기 감지 : 거칠기 측정기를 사용하여 측정하고 설계 지표가 충족되는지 확인합니다.
- 미세조직 검사 : 가공 후 표면조직의 변화를 분석하고 열영향부의 발생 여부를 검출합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **성능 테스트** : 가공 기술이 재료 특성에 미치는 영향을 확인하기 위한 기계적 특성 및 피로 수명 테스트.

요약

가공 및 표면 처리 기술은 텅스텐 합금 봉 제조에 중요한 요소입니다. 텅스텐 합금의 높은 경도와 취성을 고려할 때, 적절한 연삭, 연마, 선삭 공정을 선택하고 최적화된 가공 매개변수와 첨단 장비를 결합하면 제품의 치수 정확도와 표면 품질을 보장하고 고급 응용 분야의 요구를 충족할 수 있습니다. 동시에 표면 강화 및 부식 방지 처리와 함께 텅스텐 합금 봉의 성능과 수명을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

3.6 새로운 제조 기술: 압출, 압연, 적층 제조

막대 생산에서 지배적인 위치를 차지하고 있지만 밀도와 조직의 균일성이 제한적이고 성형 복잡성이 낮은 등 몇 가지 한계도 있습니다. 복잡한 형상, 높은 밀도 및 우수한 기계적 특성에 대한 항공 우주, 군사, 의료 및 기타 분야의 고성능 텅스텐 합금 막대의 요구를 충족하기 위해 압출, 압연 및 적층 제조와 같은 새로운 제조 기술이 점차 도입되고 최근 몇 년 동안 빠르게 개발되어 텅스텐 합금 막대의 제조 방법이 크게 풍부해졌습니다.

3.6.1 압출 기술

압출은 텅스텐 합금 빌렛에 고온 또는 실온에서 다이 구멍을 통해 압력을 가해 재료가 다이 구멍을 따라 소성적으로 흐르도록 하여 원하는 단면 모양과 크기를 얻는 연속 성형 공정입니다.

압출 공정 특성

- **높은 소성 변형률** : 큰 소성 가공 변형을 통해 입자가 미세화되고 재료의 기계적 특성이 향상됩니다.
- **밀도 향상** : 압출 과정은 내부 모공 폐쇄와 조직 밀도 증가를 촉진합니다.
- **유연한 형태** : 복잡한 구조적 요구 사항을 충족시키기 위해 다양한 단면 형태를 가공할 수 있습니다.
- **높은 생산 효율성** : 긴 막대의 연속 배치 생산에 적합합니다.

압출법

- **직접 압출** : 빌렛과 압출방향이 동일하고, 장비구조가 간단하며, 대형소재에 적합합니다.
- **간접 압출** : 다이가 움직이고 빌렛은 고정된 상태로 유지되므로 마찰과 압출 압력이 감소합니다.
- **열간 압출** : 고온에서 압출하여 재료의 가소성을 개선하고 가공력을 줄입니다.
- **냉간 압출** : 완제품의 표면 품질과 기계적 특성을 개선하기 위해 실온에서 압출하는 방식입니다.

압출 공정 매개변수

- 압출 온도, 속도, 다이 설계는 완제품의 품질에 큰 영향을 미칩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 압출 비율(단면적 비율)이 클수록 변형이 완전해지고, 재료 밀도와 성능이 좋아집니다.
- 윤활제는 마찰을 줄이고 표면 품질을 개선하는 데 사용됩니다.

압출 기술 응용

- 고강도, 고밀도의 텅스텐 합금 막대를 제조합니다. 특히 크기가 크고 단면이 복잡한 텅스텐 합금 막대를 제조합니다.
- 여러 차례의 압출 공정을 거쳐 입자가 더욱 미세화되어 인성과 내마모성이 향상됩니다.

3.6.2 롤링 기술

압연은 롤러를 사용하여 텅스텐 합금 막대에 압력을 가하여 소재의 소성 변형을 일으키고, 단면 크기를 줄이고, 조직 구조를 개선하는 가공 방법입니다.

압연 공정 특성

- **강력한 연속성** : 막대와 스트립의 대량 생산에 적합합니다.
- **결정립 미세화** : 소성 변형은 결정립 경계 형성을 촉진하고 재료의 인성을 향상시킵니다.
- **높은 치수 정확도** : 여러 차례의 롤링 패스를 통해 크기를 정밀하게 제어할 수 있습니다.
- **표면 품질이 양호합니다** . 압연 후 표면이 비교적 매끄러워 후속 가공에 편리합니다.

롤링 방법

- **열간 압연** : 고온에서 수행되므로 소재의 가소성이 좋고 변형이 쉽습니다.
- **냉간 압연** : 표면 경도와 강도를 높이고 기계적 성질을 개선하기 위해 실온에서 가공하는 공정입니다.
- **역 압연** : 구조의 균일성을 개선하기 위해 방향을 번갈아가며 압연하는 것.
- **멀티롤 롤링** : 복잡한 단면 성형에 적합합니다.

압연 공정 매개변수

- 압연 온도와 속도는 재료의 구조와 특성에 직접적인 영향을 미칩니다.
- 다중 패스 롤링 방식의 설계는 변형과 갭을 제어하기 위해 과학적이어야 합니다.
- 롤러 소재와 윤활 기술은 표면 품질과 장비 수명을 보장합니다.

롤링 기술 응용

- 가느다란 텅스텐 합금 막대, 스트립, 시트를 준비합니다.
- 치수 정확도와 표면 품질에 대한 높은 요구 사항이 있는 텅스텐 합금 제품에 사용됩니다.

3.6.3 적층 제조 기술(3D 프린팅)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

특히 금속 분말 레이저 용융(선택적 레이저 용융, SLM) 및 전자빔 용융(EBM)과 같은 3D 프린팅 기술과 같은 적층 제조 기술은 텅스텐 합금 막대의 개인화된 맞춤화 및 복잡한 구조 제조를 위한 새로운 길을 제공합니다.

적층 제조 기능

- **복잡한 구조 제조** : 기존 공정을 사용하여 형성하기 어려운 복잡한 기하학적 모양(예: 내부 공동 및 그리드 구조)을 제조할 수 있습니다.
- **높은 재료 활용률** : 분말 을 직접 성형하여 재료 낭비를 줄입니다.
- **폭넓은 디자인 자유도** : 수요에 따라 디자인을 빠르게 조정할 수 있어 제품 개발 주기를 단축할 수 있습니다.
- **기능적 통합** : 다기능 복합구조물의 제조가 가능합니다.

적층 제조 공정 과제

- 텅스텐 합금의 높은 녹는점과 높은 열전도도로 인해 용융 풀의 온도를 제어하기 어렵습니다.
- 레이저나 전자빔을 이용해 분말을 빠르게 녹이고 냉각시키면 열응력과 균열이 쉽게 발생할 수 있습니다.
- 분말의 유동성과 분포 균일성은 성형 품질에 상당한 영향을 미칩니다.
- 장비 비용이 높고, 공정 매개변수가 복잡하며, 텅스텐 합금의 경우 특별한 개발이 필요합니다.

기술의 진보

- 새로운 고에너지 빔 소스와 스캐닝 전략은 열 응력을 줄이고 성형 품질을 향상시킵니다.
- 분말 전처리 및 분위기 제어 최적화를 통해 결함을 줄일 수 있습니다.
- 후처리 공정(예: 열간 등방성 압축)을 3D 프린팅과 결합하여 재료 특성을 개선합니다.

적층 제조의 응용 전망

- 소량 생산 및 고도로 복잡한 텅스텐 합금 부품의 맞춤 생산.
- 신속한 프로토타입 제작 및 기능 테스트 샘플.
- 항공우주, 원자력 산업 등에서는 복잡한 구조와 고성능 텅스텐 합금 부품에 대한 수요가 있습니다.

요약

텅스텐 합금 봉 생산에 다양한 기술 경로를 제공합니다 . 압출 및 압연 기술은 소성 변형을 통해 입자를 미세화하고 밀도를 증가시켜 대량 생산 및 크기 제어에 적합합니다. 적층 제조는 구조적 설계의 자유도와 재료 절감의 이점을 통해 복잡한 텅스텐 합금 부품을 제조하는 미래 트렌드로 자리 잡았습니다. 이러한 신기술들을 기존 분말 야금 공정과 결합하여 적용하면 텅스텐 합금 봉 제조의 고성능, 다기능, 지능화를 촉진할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

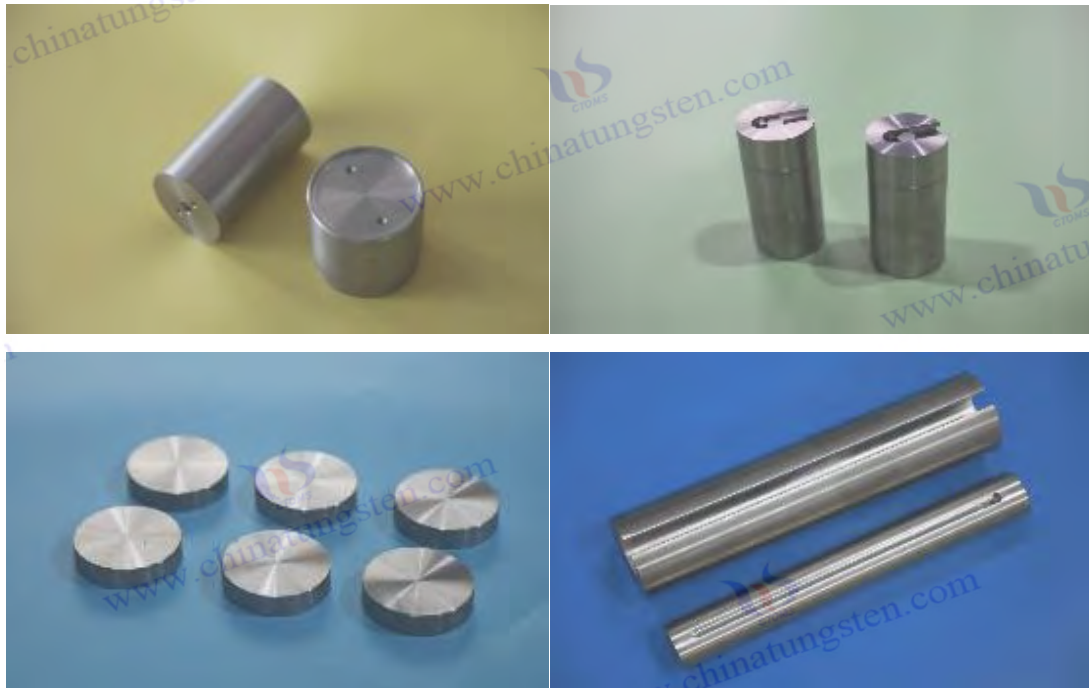
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



제 4 장 텅스텐 합금봉의 성능 시험 및 품질 평가

4.1 외관 및 기하학적 치수 검사

고성능 기능성 소재인 텅스텐 합금 봉은 항공우주, 원자력, 의료, 군사 등 핵심 분야에서 널리 사용됩니다. 텅스텐 합금 봉의 외관 품질과 기하학적 치수 정확도는 후속 가공, 조립 및 성능에 직접적인 영향을 미칩니다. 따라서 외관 및 치수 시험은 텅스텐 합금 봉의 품질 평가에서 첫 단계이며, 제품 출고 전에 반드시 거쳐야 하는 중요한 단계입니다.

4.1.1 외관품질에 대한 기본요구사항

텅스텐 합금 봉의 경우, 사용이나 신뢰성에 영향을 미치는 표면의 가시적 결함 여부에 주로 초점을 맞추며, 관련 국가 표준(GB/T 21114, ASTM B777 등) 또는 사용자 정의 사양에 따라 평가됩니다. 일반적인 검사 내용은 다음과 같습니다.

- **표면 마감** : 표면에는 눈에 띄는 긁힘, 구멍, 소결 균열, 금속 플래시, 산화물 스케일 및 기타 결함이 없어야 합니다.
- **색상 및 일관성** : 표면은 일관된 금속 광택을 가져야 하며 산화 변색, 얼룩, 반점 등이 없어야 합니다.
- **결함 검사** : 다음과 같은 일반적인 표면 결함에 초점을 맞춥니다.
 - 미세한 균열과 틈새
 - 버와 모서리 손상
 - 소결 구멍이나 느슨한 부분;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o 녹, 변색 또는 기름 얼룩;
- o 국소적인 움푹 들어간 부분, 뒤틀림, 휘어짐 및 기타 변형.
- 단면 상태 : 양쪽 단면은 평평해야 하며 벗겨진 가장자리, 균열 또는 눈에 띄는 재료 부족이 없어야 하며 단면의 수직성은 표준 요구 사항을 충족해야 합니다.

탐지 도구 및 방법:

- 시각적 검사 : 자연광이나 표준 조명 하에서 시각적 검사나 돋보기를 이용한 검사.
- 조명이 있는 관찰 플랫폼 : 강한 조명 배경을 사용하여 작은 표면 균열이나 색상 차이를 확인합니다.
- 표면 세척 보조제 : 표면 오일과 먼지를 제거한 후 실제 금속 표면 품질을 관찰합니다.

공장 단위 생산에서는 외관 검사를 실시하기 위해 종종 "전체 검사 + 무작위 검사"를 조합하여 사용하는 반면, 군사 또는 항공우주 부품의 경우 일반적으로 100% 시각 검사를 시행합니다.

4.1.2 기하학적 치수의 측정 항목

기하학적 치수 시험은 텅스텐 합금 막대가 설계 도면이나 계약서에 명시된 정확도 요건을 충족하는지 확인합니다. 일반적인 측정 항목은 다음과 같습니다.

- 길이 : 막대의 설계 목적에 따라 고정 길이 또는 임의의 길이가 될 수 있으며, 일반적으로 $\pm 0.5\text{mm}$ 이상의 정확도로 제어됩니다.
- 직경 : 막대의 진원도와 허용 오차가 높아야 하며, 정밀 적용은 $\pm 0.01\text{mm}$ 이내로 제어될 수 있습니다.
- 타원도 : 단면의 두 직경 사이의 차이를 제어하며 일반적으로 0.05mm 를 초과하지 않습니다.
- 수직성/단면 평탄도 : 텅스텐 합금 막대의 단면은 막대의 중심선에 수직이어야 합니다.
- 직진도(곡률) : 막대의 전체 길이에 따른 직진도 편차를 측정하며, 일반적으로 "mm/m" 단위로 표현합니다(예: $\leq 0.5\text{mm/m}$).
- 동심도(해당되는 경우) : 중공 막대 또는 선삭 구조용 막대의 경우 내부 및 외부 동심도 편차를 확인합니다.

테스트 도구:

- 버니어 캘리퍼스 및 마이크로미터 : 길이와 직경을 빠르게 측정하는 데 사용되며, 예비 크기 확인에 적합합니다.
- 외부 마이크로미터, 내부 마이크로미터 : 고정밀 직경 측정에 사용됩니다.
- 다이얼 인디케이터 + V-프레임 : 직진도와 곡률을 측정하는 데 사용됩니다.
- 레이저 직경 측정기 : 비접촉식 고정밀 온라인 측정을 실현하여 자동화 생산 라인에 적합합니다.
- 좌표 측정기(CMM) : 복잡한 기하학적 구조를 정밀하게 검사하고 전체 크기의 좌표 데이터를 제공하는 데 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1.3 치수 허용차 등급 및 표준 기준

텅스텐 합금 봉은 제품 용도와 국제 표준에 따라 다양합니다 . 일반적인 표준 사양은 다음과 같습니다.

- **중국 국가 표준(GB/T 21114)** : 다양한 크기의 텅스텐 합금 막대의 직경, 길이 및 허용 오차 등급을 지정합니다.
- **미국 표준(ASTM B777)** : 고밀도 텅스텐 합금 제품의 치수 관리에 대한 세부 규정.
- **사용자 정의 표준** : 항공우주 및 핵 산업 고객은 종종 국가 표준보다 더 엄격한 치수와 기하학적 허용 오차를 요구합니다.

일반적인 치수 공차 참조:

막대 직경 범위	일반 허용 오차(mm)	정밀도 허용 오차(mm)
≤10mm	±0.10	±0.02
10~30mm	±0.15	±0.03
>30mm	±0.20	±0.05

4.1.4 자동 테스트 및 데이터 기록

산업 4.0 의 발전으로 점점 더 많은 회사가 품질 관리 효율성을 개선하기 위해 자동화된 테스트 기술을 도입하고 있습니다.

- **시각적 인식 시스템** : 비디오 및 이미지 인식 알고리즘을 결합하여 온라인으로 외관 결함을 인식합니다.
- **레이저 사이즈 스캐너** : 자동 공급 랙과 협력하여 막대 길이와 직경을 완전 자동으로 감지합니다.
- **품질 데이터베이스 시스템** : 테스트 데이터를 실시간으로 기록하고 이를 데이터베이스에 업로드하여 일괄 추적 관리를 달성합니다.

4.1.5 테스트 빈도 및 판단 기준

테스트 빈도는 생산 배치, 사용 및 고객 요구 사항에 따라 설정됩니다.

- **일괄 납품** : GB/T 2828.1 표준에 따른 AQL 등급 등 샘플링 검사를 채택합니다.
- **군사/핵에너지 이용** : 전면검사 + 무작위 검사, 주요 차원 및 주요 지표를 하나하나씩 테스트해야 합니다 .
- **폐기 및 재작업 기준** :
 - 표면에 침투성 균열, 깊은 긁힘, 광범위 산화, 단면 분사가 있는 제품은 불합격으로 판단됩니다.
 - 허용오차 범위를 벗어나 2 차 가공을 통해 보정이 불가능한 치수도 불합격으로 판정합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

요약

외관 및 기하학적 치수 검사는 텅스텐 합금 봉재 품질 관리의 기본 요소로, 제품의 기본 품질 관리와 관련이 있으며, 후속 적용 시 조립 적합성 및 신뢰성에 영향을 미칩니다. 자동화된 테스트 방법의 도입과 테스트 표준의 개선으로 현대 텅스텐 합금 봉재 제조업체들은 더 높은 품질의 일관성, 더 빠른 테스트 효율성, 그리고 더욱 완벽한 추적 관리로 나아가고 있습니다.

4.2 밀도 및 미세구조 분석 방법

밀도와 미세조직은 텅스텐 합금 봉재의 균일성, 밀도 및 공정 성숙도를 측정하는 중요한 지표이며, 기계적 특성, 열적 특성 및 사용 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 밀도 시험은 소결 밀도와 기공 분포를 간접적으로 측정할 수 있으며, 미세조직 분석은 결정립 구조, 상 분포, 기공 결함과 같은 핵심 정보를 밝혀낼 수 있습니다. 따라서 체계적인 밀도 및 조직 평가 메커니즘을 구축하는 것은 텅스텐 합금 봉재의 고품질 생산을 보장하는 핵심 요소입니다.

4.2.1 밀도 검출의 중요성 및 방법

텅스텐 합금 봉의 밀도는 일반적으로 화학 조성을 기반으로 계산됩니다. 예를 들어, W-Ni-Fe 또는 W-Ni-Cu 시스템에서 이론 밀도는 17.0~18.5 g/cm³에 달할 수 있습니다. 실제 제품의 밀도, 균일성 및 치밀성은 소결 품질, 치밀화 수준, 그리고 기존 결함(폐쇄 기공, 개재물, 탈락 등)을 반영합니다.

(1) 아르키메데스법(액체배수법)

원리 : 아르키메데스의 원리에 따르면 공기 중에서 측정한 샘플과 액체 중에서 측정한 샘플의 차이로 부피를 계산할 수 있으며, 질량을 합산하여 밀도를 얻을 수 있습니다.

단계 :

- 침지액으로 탈이온수나 에탄올을 사용하세요.
- 건조 중량(W1)과 침지 용액의 중량(W2)을 측정합니다.
- 밀도를 계산하세요: $\rho = W1 / (W1 - W2) \times \rho_{\text{liquid}}$.

장점 : 작동이 쉽고 대부분의 고체 샘플에 적합합니다.

제한 사항 : 단한 기공이나 불완전한 표면을 가진 샘플에는 부정확합니다.

(2) 헬륨비중계법(가스치환법)

원리 : 샘플 챔버와 기준 챔버 사이의 압력 차이를 측정하여 샘플 부피와 밀도를 계산합니다.

장점 :

- 높은 정확도(최대 $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$)
- 미세다공성 물질을 감지할 수 있습니다.
- 고급 정밀 텅스텐 합금 제품에 적합합니다.

대표 장비 : AccuPyc, Micromeritics 및 기타 자동 가스 농도계.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(3) X-선 계산 방법(복셀 밀도)

산업용 CT 또는 X 선 스캐닝 장비와 결합하여 이미지 재구성을 통해 샘플의 복셀 밀도를 계산하는데, 이는 복잡한 모양을 가진 구조적 부품이나 만질 수 없는 부품에 적합합니다.

4.2.2 미세구조 분석의 목적 및 주요 지표

텅스텐 합금은 소결, 열처리 및 후속 가공 과정에서 발생하는 변화 특성을 반영합니다. 다음과 같은 주요 지표는 미시적 분석을 통해 평가할 수 있습니다.

- 입자 크기 및 분포
- 합금 원소상(W 상, Ni/Fe/Cu 계상) 분포 및 상경계 선명도 ;
- 기공 또는 봉입체의 수와 형태
- 조직의 균일성 및 방향성
- 2 상 침전 및 공용 구조의 특성.

4.2.3 미세구조 분석 기술

(1) 광학 금속현미경(OM)

사용 :

- 입자 형태, 기공, 거시적 구조를 관찰합니다.
- 표준 에칭 용액을 사용하여 상 경계를 시각화할 수 있습니다.

샘플 준비 과정 :

- 인레이, 연삭 및 광택;
- 화학적 에칭(일반적인 시약: 염화철-염산 용액)
- 관찰에 적합한 배율을 선택하세요.

(2) 주사전자현미경(SEM)

장점 :

- 고해상도로 나노스케일 구조 관찰 가능
- 에너지 분산 분광기(EDS)와 결합하여 원소 분포를 분석할 수 있습니다.
- 소결 구멍, 균열 시작 원인, 계면 결합 등의 미세 결함을 감지합니다.

적용 범위 :

- 합금 계면 연구, 결정립계 구조 및 미세균열 식별
- 합금 원소의 국부적 분리 및 확산 거동에 대한 분석.

(3) 투과전자현미경(TEM)

사용 :

- 텅스텐 합금의 석출상, 전위, 미세결정립계 등을 연구한다.
- 나노스케일 강화 메커니즘, 비정질상, 계면 반응층을 분석합니다.

한계 :

- 샘플 준비는 복잡하며 과학 연구나 고급 소재 개발에 적합합니다.

(4) 에너지 분광법(EDS/WDS)

- EDS : SEM 과 함께 사용되는 신속한 원소 분석

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **WDS**: 고정밀, 저함량 원소 검출(산소 및 탄소 불순물 등)에 사용됨
- 조직 내 각 단계의 구성과 요소 분포의 균일성을 분석하는 데 사용됩니다.

(5) X 선 회절(XRD)

목적 :

- 텅스텐 합금에 존재하는 결정 구조와 상 유형을 식별합니다.
- 산화물, 탄화물 등의 불순물이 있는지 감지합니다.
- 주상과 부상의 함량비를 정량적으로 분석할 수 있다.

4.2.4 조직적 결합과 품질 평가 기준

일반적인 미세 구조적 결합은 다음과 같습니다.

- 소결 구멍 또는 잔류 기공;
- 원소 분리로 인한 "코어-셸" 구조
- 결합되지 않은 입자 또는 약하게 결합된 소결 계면
- 두 번째 단계는 불균일하게 분포되거나 과도하게 침전됩니다.
- 열처리로 인해 입자가 거칠어짐.

심사 기준 :

- GB/T 13298(금속조직 분석에 대한 일반 규칙)
- ASTM E1245(금속 내 함유물 평가)
- 기업 내부 통제 기준: 일반적으로 다공성, 입자 크기 및 포함물 등급에 대한 허용 범위를 설정합니다.

4.2.5 밀도와 조직 간의 관계 분석

밀도 시험과 조직 관찰은 서로를 검증하며 텅스텐 합금 제품의 품질을 평가하는 중요한 수단입니다.

- 높은 밀도는 종종 충분한 소결 및 낮은 다공성에 해당합니다.
- 조직의 균일성이 좋고 입자가 미세하여 기계적 성질이 우수합니다.
- 밀도가 낮고 구조에 많은 수의 닫힌 기공이 나타나는 경우, 소결 온도가 충분하지 않거나 분말 압축이 불량하기 때문일 수 있습니다.
- 밀도는 합격이지만 구조적 분리가 있는 경우, 원료의 불균일한 분포나 불균일한 열처리로 인해 발생할 수 있습니다.

요약

밀도 및 미세 구조 분석은 텅스텐 합금 봉재 품질 평가의 핵심 요소로, 재료의 내부 구조적 특성과 밀도를 완벽하게 반영할 수 있습니다. 아르키메데스법, 기체 비중법, X 선법 등을 통해 정확한 밀도 측정이 가능하며, 광학 현미경, SEM, EDS, XRD 등의 기법을 결합하여 조직 형태 및 구성에 대한 심층 연구를 수행합니다. 이를 통해 제품이 기술 기준을 충족하는지 확인할 수 있을 뿐만 아니라 공정 최적화 및 신소재 연구 개발을 위한 과학적 근거를 제공합니다. 고해상도 검사 장비의 보급과 자동화 검사 플랫폼의 도입으로 텅스텐 합금 봉재의 조직 관리 및 품질 보증은 점차 더 높은 수준으로 나아가고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3 기계적 성질 시험 표준(ASTM, GB, ISO)

텅스텐 합금 봉재는 높은 비중과 우수한 인성을 가진 기능성 구조재로서, 고응력, 고하중, 고 충격과 같은 가혹한 환경에서의 사용 안전성을 직접적으로 좌우합니다. 인장 강도, 항복 강도, 연신율, 경도, 충격 인성, 피로 수명과 같은 매개변수는 품질 및 공학적 적용성을 측정하는 핵심 기준입니다. 시험 결과의 과학성과 비교성을 보장하기 위해 기계적 성질 시험은 국제적으로 인정된 표준 시스템(ASTM, GB, ISO)을 엄격히 준수하여 수행되어야 합니다.

4.3.1 인장 특성 시험

텅스텐 합금 봉의 기계적 성질을 시험하는 가장 기본적이고 일반적인 방법입니다. 축방향 인장을 가하여 파단 전 응력-변형률 거동을 측정하여 인장 강도, 항복 강도, 연신율과 같은 핵심 지표를 얻습니다.

시험 기준 및 적용 범위:

- **ASTM E8/E8M** "금속 재료의 인장 시험을 위한 표준 방법": 금속 막대, 판 및 소형 시편에 적용 가능
- **GB/T 228.1** "금속재료의 인장시험 - 제 1 부: 실온에서의 시험방법": 이는 중국의 일반 국가표준입니다.
- **ISO 6892-1** "금속 재료의 인장 시험 - 제 1 부: 실온에서의 시험 방법": 국제적으로 인정된 표준이며, 기본적으로 GB 와 동등합니다.

주요 매개변수 정의:

- **인장 강도(UTS)**: 재료가 견딜 수 있는 최대 응력(MPa)
- **항복 강도(YS)**: 재료가 소성 변형을 겪는 최소 응력
- **신장률(EL)**: 시편이 파단되기 전의 신장률로 재료의 인성을 측정합니다.
- **단면 수축률(Z)**: 소성을 반영하는 파단부의 넥킹 정도입니다.

샘플 준비 및 상태 제어:

- 샘플 모양: 표준 원형 막대(예: $\Phi 6\sim\Phi 12$ mm) 또는 평막대;
- 적재 속도 제어: 예: $0.5\sim 2$ mm/min;
- 온도 조건: 일반적으로 실온($20\pm 5^{\circ}\text{C}$)이지만, 필요한 경우 고온 스트레칭을 수행할 수 있습니다.

메모:

- 텅스텐 합금의 경우, 클램핑 부분은 미끄러짐이나 응력 집중을 방지하도록 설계되어야 합니다.
- 강성이 높고 하중 정확도가 $\pm 1\%$ 인 전자식 만능 시험기를 사용해야 합니다.
- 스트레칭 후에는 파괴 메커니즘 분석을 위해 파괴 사진을 촬영해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.2 경도 시험

경도는 텅스텐 합금이 국부적 소성 변형에 저항하는 능력을 평가하는 중요한 지표이며, 공정 관리, 제품 등급 분류 및 품질 분류에 널리 사용됩니다.

일반적인 테스트 방법 및 표준:

- **브리넬 경도(HB) :**
 - o 중간 및 낮은 경도의 텅스텐 합금에 적합합니다.
 - o 표준: ASTM E10 / GB/T 231.1;
 - o 하중 범위: 5003000 kgf, 볼 헤드 직경 2.510 mm.
- **록웰 경도(HRC/HRB) :**
 - o 완성된 막대의 표면 경도 테스트에 적합합니다.
 - o 표준: ASTM E18 / GB/T 230.1;
 - o 텅스텐 합금은 일반적으로 6080 HRB 또는 최대 2040 HRC 입니다(일부 열처리 상태).
- **비커스 경도(HV) :**
 - o 미세면적 또는 소형 텅스텐 합금의 미소경도 시험에 사용됨
 - o 표준: ASTM E384 / GB/T 4340.1;
 - o 응용 분야: 인터페이스, 입자 미세화, 미세합금 구조 평가.

기타 참고사항:

- 테스트하기 전에 표면을 거울처럼 닦아 압흔이 명확하고 측정 가능한지 확인해야 합니다.
- 시험 지점은 가장자리, 균열 및 기공에서 멀리 떨어져 있어야 합니다.
- 경도가 높은 텅스텐 합금의 경우 단단한 압입자국과 낮은 하중 시험 용액을 사용하는 것이 좋습니다.

4.3.3 충격인성 시험

충격 시험은 동적 하중 하에서 재료의 에너지 흡수 능력을 평가하며, 이는 취성 파괴에 대한 저항성을 나타냅니다. 이는 철갑탄 및 동적 하중 적용 분야에서 텅스텐 합금의 매우 중요한 지표입니다.

일반적인 표준:

- **ASTM E23 / GB/T 229 :** 금속 샤르피 충격 시험 표준;
- **ISO 148-1 :** 금속재료에 대한 충격시험 표준.

샘플 요구 사항:

- 표준 크기: V 자형 또는 U 자형 노치가 있는 55 × 10 × 10 mm
- 노치 크기와 가공 정확도는 엄격하게 관리되어야 합니다.
- 샘플 수: 일반적으로 배치당 3 개의 샘플을 평균화합니다.

특별 지침:

- 텅스텐 합금은 높은 취성으로 인해 낮은 충격 흡수 에너지(<10 J)를 보이는 경우가 많습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 위해 일반적으로 초미립자 또는 미세합금 설계가 채택됩니다.
- 충격 후, 파단면을 금속조직학이나 SEM 으로 분석하여 취성/연성 파단 모드를 식별할 수 있습니다.

4.3.4 피로 및 크리프 성능 시험(선택 사항)

일부 극한의 서비스 조건(항공우주 관성 시스템 및 원자로 구성 요소 등)에서는 텅스텐 합금 막대도 우수한 피로 저항성과 고온 크리프 안정성이 요구됩니다.

관련 표준:

- **ASTM E466 / GB/T 3075** : 금속 피로 시험 방법(고주기 피로)
- **ASTM E139 / GB/T 2039** : 금속 크리프 시험 방법(고온에서의 일정 응력).

신청서 설명:

- 피로 시험은 반복 응력 하에서 재료의 수명을 평가하는 데 사용됩니다.
- 크리프 시험은 종종 고온(800~1000°C)과 일정한 하중으로 설정됩니다.
- 둘 다 핵에너지, 심우주 탐사, 초음속 무기 소재 개발에 자주 사용됩니다.

4.3.5 기계적 성질 시험 결과 판정 기준

텅스텐 합금 봉의 기계적 특성에 대한 요구 사항은 표준마다 다릅니다. 예를 들면 다음과 같습니다.

프로젝트	일반 산업용	군용/항공우주 등급	의료용/핵용 등급
인장 강도	≥700MPa	≥900MPa	≥1000MPa
연장	≥5%	≥10%	≥12%
경도(HRB)	70~85	75~90	78~92
충격 인성(J)	≥6J	≥8J	≥10J

구체적인 판정 기준은 제품 설계 도면, 기술 계약 또는 입찰 사양서를 참조해야 합니다.

요약

텅스텐 합금 봉은 다국적 프로젝트 데이터의 정확성, 추적성 및 보편성을 보장하기 위해 국제적으로 권위 있는 표준 시스템을 엄격히 준수해야 합니다. ASTM, GB, ISO 및 기타 표준은 인장, 경도, 충격, 피로, 크리프 등 시험 내용의 전체 과정을 포괄하며, 텅스텐 합금 봉의 품질 검사 및 재료 선정을 위한 핵심 기준입니다. 첨단 응용 분야가 지속적으로 확장됨에 따라, 검출 방법의 자동화, 디지털화 및 정밀성에 대한 요구 사항도 더욱 높아지고 있습니다.

4.4 금속조직 분석 및 미세조직 특성 분석

금속조직 분석 및 미세조직 특성 분석은 텅스텐 합금 봉의 내부 구조와 성능 잠재력을 평가하는 중요한 수단입니다. 재료의 내부 결정립 형태, 상 분포, 기공,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

개재물 및 기타 특성을 관찰하고 측정함으로써 분말야금 공정의 치밀화 정도, 합금 원소의 확산 균일성, 열처리 효과 및 조직 결함을 파악하고, 사용 거동 및 신뢰성을 더욱 예측할 수 있습니다. 이는 품질 관리, 공정 최적화, 신소재 연구 개발의 핵심 연결 고리입니다.

4.4.1 금속조직 분석의 목적 및 중요성

금속조직 분석은 재료과학의 기초연구에 중요한 수단일 뿐만 아니라, 텅스텐 합금봉 생산 실무에서도 다음과 같은 핵심 역할을 수행합니다.

- **소결 품질 및 기공률 평가** : 기공 분포, 크기 및 형태를 관찰하여 밀도화 수준을 결정합니다.
- **입자 크기와 균일성을 결정합니다** . 작고 균일한 입자는 종종 높은 강도와 인성 특성과 관련이 있습니다.
- **상 경계 구조 식별** : W 입자와 Ni-Fe/Cu 매트릭스 상 사이의 계면의 선명도는 전반적인 기계적 특성에 영향을 미칩니다.
- **미세한 결함과 내포물을 발견합니다** . 균열의 원인, 융합되지 않은 부분, 불순물 축적 및 기타 문제가 포함됩니다.
- **원소 분포 및 침전 거동을 연구합니다** . 합금 원소 확산 및 2 차상 침전과 같은 미세 구조적 변화를 분석합니다.

4.4.2 샘플 준비 프로세스

텅스텐 합금은 경도와 밀도가 높아 금속조직 시료 전처리에 많은 어려움을 겪습니다. 표준 시료 전처리 단계는 다음과 같습니다.

1. **절단** : 과열과 미세 균열을 방지하기 위해 저속 다이아몬드 커터를 사용하세요.
2. **장착** : 시편을 고정하기 위해 뜨겁거나 차가운 장착 재료를 사용하는데, 이는 연삭 작업에 편리합니다.
3. **거친 연마** : 120 그릿 사포로 시작하여 점차적으로 800~1200 그릿 사포로 갈아서 매끄럽게 유지합니다.
4. **미세 연삭 및 연마** :
 - o 3 μm , 1 μm , 0.25 μm 다이아몬드 연마액을 사용 하세요 .
 - o 광택 작업 후에는 굽힘, 산화 반점 또는 닳은 선이 없어야 합니다.
5. **화학적 에칭** :
 - o 일반적인 에칭 용액 공식(참고):
 - 불산 + 질산 + 물 (위험하므로 안전에 주의하세요)
 - 염화철 + 염산 + 에탄올 혼합물;
 - o 결정립 계면과 상 분포를 드러내 기 위해 에칭 시간은 몇 초에서 수십 초 이내로 제어됩니다 .

4.4.3 미세조직 관찰 방법

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(1) 광학현미경(OM)

- 분해능 범위 : $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$;
- 주요 응용 분야 :
 - o 곡물 관찰 및 크기 측정
 - o 다공성 분포 및 거시적 결함 식별
 - o 상 경계 형태 및 조직 분포;
- 입자 크기와 기공률은 이미지 분석 소프트웨어를 사용하여 자동으로 계산할 수 있습니다.

(2) 주사전자현미경(SEM)

- 텅스텐 합금 구조 분석의 핵심 도구인 **10nm** 보다 뛰어난 분해능을 제공합니다 .
- 적용 가능한 콘텐츠 :
 - o W 입자와 Ni-Fe/Cu 매트릭스 사이의 계면을 고배율로 관찰함;
 - o 미세 균열, 미세 구멍, 내포물, 융합 부족 및 기타 결함을 감지합니다.
 - o 에너지 분산 분광법(EDS)과 결합하여 원소의 공간 분포를 분석합니다.
- 파괴 분석 : 취성 또는 연성 파괴 특성(분열면, 움푹 들어간 부분, 준분열 구조 등)을 결정하는 데 사용됩니다.

(3) 투과전자현미경(TEM)

- 초고해상도($<1 \text{ nm}$)
- 연구 내용 :
 - o 결정립계 구조 및 전위분포
 - o 계면 반응층 또는 2 차상 침전;
 - o 원자 수준의 구조 분석 및 결정 변형 연구
- 적용 범위 : 주로 과학 연구나 텅스텐 합금 업그레이드 및 개발에 사용됩니다.

(4) 에너지 분광법(EDS/WDS)

- EDS 는 다중 원소의 빠른 정성 및 반정량 분석에 적합합니다.
- WDS(파장 분산 분광법)는 미세한 미량 원소(예: O, C) 분석에 적합합니다.
- SEM 과 결합하여 텅스텐 매트릭스 내 Ni, Fe, Cu 등의 분포와 확산 균일성을 연구하는 데 사용됩니다.

(5) X 선 회절(XRD)

- 각 금속의 결정 구조와 상 유형을 확인하는 데 사용됩니다.
- 텅스텐 산화물, 탄화물 등의 불순물이 있는지 감지할 수 있습니다.
- 입자 크기 추정 및 질감 강도 분석(방향성 스캐닝 포함)을 지원합니다.

4.4.4 입자 크기 및 상 조성 평가 기준

입자 크기 평가 방법:

- GB/T 6394 "금속의 평균 입자 크기 측정 방법"
- ASTM E 112 : 표준 비교 차트 또는 이미지 분석을 통한 곡물 등급 평가
- $15\mu\text{m}$ 미만에 해당) 으로 분류 됩니다 .
- 불균일한 구조, 거친 입자 및 결정립계 개재물은 부적격 항목입니다.

상 분석 및 정량적 방법:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 광학 또는 SEM 이미지를 분할한 후 각 상의 면적 비율;
- 전형적인 W 상/Ni-Fe 기본상의 회색조 분할 및 분포 측정 ;
- EDS 와 이미지 분석 소프트웨어를 결합하면 지역적 구성 요소를 정량화할 수 있습니다.

4.4.5 미세조직과 성능의 관계 분석

미세한 특징	성능에 미치는 영향
작고 균일한 입자	강도와 인성을 향상시키고 균열 원인을 줄입니다.
W 입자 분포는 균일하다	충격 저항성과 균일한 하중 전달에 도움이 됩니다.
W/Ni-Fe 인터페이스는 단단히 결합되어 있습니다.	전반적인 가소성과 충격 강도를 향상시킵니다.
높은 다공성 또는 불균일한 분포	강도와 밀도가 감소하고 균열의 원인이 되기 쉽습니다.
미세 균열/내포물이 존재합니다	조기파괴를 유발하고 피로수명을 단축시킬 수 있습니다.
굵은 2 차상 의 침전	응력 집중점이 되어 기계적 특성이 저하될 수 있습니다.

요약

금속조직 분석 및 미세조직 특성 분석은 원료 관리부터 최종 제품 성능 검증까지 텅스텐 합금 봉재에 필수적인 수단입니다. 광학 현미경, SEM, TEM, XRD 및 기타 기술을 결합하여 텅스텐 합금 내부의 조직 진화 법칙과 미세 결합을 심층적으로 이해할 수 있을 뿐만 아니라, 생산 최적화 및 신제품 설계를 위한 강력한 기술 지원을 제공합니다. 이미지 인식 및 AI 지원 분석 기술의 발전으로 텅스텐 합금의 금속조직 분석은 자동화, 정량화 및 지능화로 진화하고 있습니다.

4.5 화학성분 분석(ICP, XRF, ONH)

텅스텐 합금 봉은 성능 상한선과 신뢰성을 직접적으로 결정합니다 .W-Ni-Fe 및 W-Ni-Cu 와 같은 고밀도 텅스텐 합금에서 주요 원소(예: 텅스텐 함량은 일반적으로 85%~98%), 불순물(예: C, O, N, H, P, S) 및 미량 원소(예: Cr, Co, Mo 등)의 비율은 합금의 물리적, 기계적, 가공 및 사용 특성에 상당한 영향을 미칩니다. 따라서 정확하고 포괄적인 화학 성분 분석 시스템을 구축하는 것은 제품 품질을 보장하고 표준 사양 및 고객 요구 사항을 충족하는 기본적인 연결 고리입니다.

4.5.1 화학 성분 분석의 중요성

텅스텐 합금 막대에는 다음이 포함됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 합금 등급이 표준 (ASTM B777 표준의 A, B, C 등)을 충족하는지 확인하세요.
- 재료의 안정성과 제련 과정을 검증합니다 .
- 경향을 방지하기 위해 유해 불순물(O, N, C, S, P 등)의 함량을 제어합니다 .
- 제품 의 비정상적인 구성을 분석합니다 .
- 재료 추적성과 배치 품질 관리를 지원합니다 .

4.5.2 주류 화학 분석 방법 개요

방법 범주	분석 객체	특징
ICP-OES / ICP-MS	금속 원소(주성분+미량)	높은 감도로 여러 원소의 동시 분석에 적합
XRF(X 선 형광 분광법)	금속 주성분	빠르고 비파괴적이며 공장 현장이나 배치 분석에 적합합니다.
ONH 분석	산소, 질소, 수소	텅스텐 및 그 합금에 적합한 고온 열분해법
CS 분석기	탄소, 황	아크 연소방식으로 빠르고 효율적
습식 화학 분석	특정 요소	정확도는 높지만 효율성이 낮고 오염 위험이 높습니다.

구체적인 표준은 다음을 참조해야 합니다.

- ASTM B777, B702;
- GB/T 21114, GB/T 38792;
- 고객 또는 군사/항공우주 표준.

요약

텅스텐 합금 봉은 거시 주요 원소, 미량 불순물, 미량 기체 원소를 포괄하며 , 합금의 안정성, 순도 및 일관성을 평가하는 핵심 수단입니다. ICP-OES, XRF, ONH 분석기와 같은 최신 검출 기술은 고정밀, 고처리량, 그리고 자동화된 성분 제어를 달성하여 품질 관리 효율성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 향후 지능형 제조 기술의 발전과 함께 이러한 기술은 온라인 모니터링, 배치 추적성, 그리고 폐쇄 루프 공정 최적화에도 더욱 널리 활용될 것입니다.

4.6 표면 거칠기 및 결함 감지(시각 검사, CT)

텅스텐 합금 봉의 표면 품질은 재료의 수명, 정합 정확도, 외관 등급에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라, 후속 적용 시 방열 성능, 응력 집중, 피로 균열 발생 등과도 밀접한 관련이 있습니다. 따라서 표면 거칠기 관리와 결함 검출은 완제품 품질 평가에서 간과할 수 없는 중요한 연결 고리입니다. 검출 기술의 지속적인 발전과 함께, 기존의 수동 육안 검사는 디지털 이미징, 3D CT, 레이저 윤곽 스캐닝과 같은 첨단 기술과 점차 결합되어 효율적이고 자동화되며 정밀한 검출 프로세스를 구현하고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

4.6.1 표면 거칠기 시험의 중요성 및 지수 정의

표면 거칠기는 가공물 표면의 미세한 요철 정도를 나타내는 중요한 매개변수입니다. 거칠기는 텅스텐 합금 봉의 조립, 마찰, 마모, 열전도도 및 피로 성능에 영향을 미칠 뿐만 아니라 코팅의 접착력 및 내식성에도 영향을 미칩니다.

일반적인 거칠기 매개변수(GB/T 3505, ISO 4287 에 따름):

매개변수 이름	의미	단위
라	산술 평균 거칠기, 가장 일반적으로 사용되는 지표	μm
아르 자형	최대 높이(5 점 평균)	μm
아르 자형	총 높이 (가장 높은 봉우리와 가장 낮은 계곡 사이의 차이)	μm
아르 자형	RMS 거칠기(스파이크에 더 민감함)	μm

4.6.2 표면 거칠기 시험 방법 및 장비

(1) 접촉조도 측정기

- 원리 : 프로브를 표면을 따라 움직여 윤곽 변화를 기록합니다.
- 대표 장비 : 일본 Mitutoyo SJ-210, 독일 Mahr Perthometer ;
- 장점 : 정확한 측정, 일괄 표준 부품에 적합
- 제한 사항 : 부드럽거나 반사율이 높은 표면에는 적합하지 않으며 접촉 작업이 필요합니다.

(2) 비접촉 레이저 공초점 또는 백색광 간섭계

- 원리 : 레이저/백색광 간섭계를 사용하여 3D 등고선 지도를 구성합니다.
- 장점 :
 - o 비접촉, 비파괴 검사
 - o 높은 정밀도(나노미터 수준)
 - o 넓은 영역을 빠르게 스캔할 수 있습니다.
- 대표 기기 : Keyence VK-X 시리즈, Zygo 넥스뷰 , 센소파르 .

(3) 3D 프로파일 스캐너/구조화 광 프로젝터

- 응용 분야 : 막대의 전체 표면 프로파일 일관성, 계단, 구멍 등을 감지하는 데 사용할 수 있습니다.
- **현장 배치 테스트나 시각적 지원 품질 검사에 적합합니다.

4.6.3 표면 결함 검출 기술 및 응용

텅스텐 합금 막대의 성형 또는 가공 중 발생할 수 있는 결함은 다음과 같습니다.

- 표면 균열, 굽힘, 구멍
- 산화물 층, 검은 반점, 탄소 잔류물 ;
- 접착, 벗겨짐, 핀홀;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 허용 오차를 벗어난 기하학적 변형이나 타원도.

(1) 시각적 검사

- 표준 : GB/T 8170 / ASTM B777 에 따른 표면 상태 설명
- 방법 : 육안 + 돋보기(3 배~10 배);
- 일반적인 판단 규칙 :
 - o 균열이나 벗겨짐은 허용되지 않습니다.
 - o 표면 색상 차이와 약간의 마찰 자국은 허용 가능합니다 (적용 수준에 따라 다름).
 - o 특정 영역의 결함 크기는 특정 값(예: $\leq 0.5\text{mm}$)을 초과하지 않습니다.

(2) 디지털 카메라 + 이미지 인식 시스템

- 조립 라인의 온라인 감지에 적용됨
- 머신 러닝 알고리즘의 도움으로 긁힘, 구멍, 색상 이상을 자동으로 식별할 수 있습니다.
- 정확도는 95% 이상에 도달할 수 있으며, 이는 대규모 외관 검사에 특히 적합합니다.

(3) 3차원 X선 컴퓨터 단층촬영(CT)

- 원리 : X선 다각도 스캐닝을 사용하여 3차원 볼륨 이미지를 재구성합니다.
- 검출 가능한 콘텐츠 :
 - o 내부 기공, 포함물, 균열 및 느슨함;
 - o 표면 균열 깊이 및 확장 방향
 - o 막대의 중앙과 가장자리의 조직의 균일성
- 대표 장비 : Nikon, GE phoenix, Yxlon ;
- 분해능 : 최대 $1\sim 5\ \mu\text{m}$, 고급 군사 제품, 핵 에너지, 항공 우주 텅스텐 합금 막대 분석에 적합합니다 .

4.6.4 결함 수준 평가 및 품질 결정

다양한 표면 결함을 평가하려면 다양한 응용 분야의 요구사항에 따라 판단 기준을 수립해야 합니다. 다음은 참고 분류입니다.

결함 유형	군사/핵 텅스텐 합금	산업용 텅스텐 합금
금이 가다	금지하다	금지하다
구멍이	$\leq 0.3\text{mm}$	$\leq 0.8\text{mm}$
산화 반점	존재할 수 없습니다	약간 존재할 수 있음
표면 거칠기	라 $\leq 0.4\ \mu\text{m}$	라 $\leq 1.6\ \mu\text{m}$

관련 참조 표준은 다음과 같습니다.

- GB/T 13306 : 금속 표면 결함의 용어
- ASTM E45/E 1245 : 포함물 및 결함 탐지 방법
- YS/T 582 : 텅스텐 합금 제품 품질 검사 사양(산업 표준).

4.6.5 자동화 및 지능형 테스트의 추세

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

현대 텅스텐 합금 막대 제조 회사는 점차 다음을 도입하고 있습니다.

- **온라인 시각 검사 시스템** : CNC 가공 센터와 동기화되어 작동하여 100% 실시간 외관 품질 검사를 달성합니다.
- **AI 이미지 인식 플랫폼** : 딥러닝 기반 결함 특징 모델을 학습하여 인식 정확도를 향상시킵니다.
- **전체 크기 스캐닝 및 이미징 모델링** : 레이저 또는 백색광 스캐닝을 통해 완전한 막대 표면 지형을 얻습니다.
- **고품질 빅데이터 분석** : 결함 추적, 장비 연관, 프로세스 반복 최적화.

이러한 기술은 검출 효율성과 품질 안정성을 크게 향상시켜, 고급 텅스텐 합금 막대 제조가 "결함 없는" 방향으로 발전하는 데 도움이 되었습니다.

요약

표면 거칠기와 결함 감지는 텅스텐 합금 막대가 "기능성 소재"에서 "정밀 구조 부품"으로 전환되는 데 핵심적인 역할을 합니다. 접촉/비접촉 거칠기 측정, CT 영상, 시각적 인식 및 기타 기술적 수단을 통해 재료의 표면 품질과 내부 결함을 완벽하게 파악할 수 있습니다. 미래에는 지능형 감지, 자동화된 품질 관리, 그리고 데이터 기반 결함 예측이 텅스텐 합금 막대의 고급 제조에 핵심 역량 중 하나가 될 것입니다.

4.7 비파괴 검사 기술(초음파, X 선, 자분탐상검사)

텅스텐 합금 봉은 항공, 군사, 원자력, 의료 등 고신뢰성 분야에서 주로 사용되며, 이러한 분야에서는 내부 품질과 구조적 무결성에 대한 요구가 매우 높습니다. 기존의 파괴 검사는 일부 기계적 및 미시적 데이터를 얻을 수 있지만, 봉 전체의 내부 결함을 완전히 평가할 수는 없습니다. 따라서 **비파괴 검사 기술(NDT, Non-Destructive Testing)**을 사용하여 텅스텐 합금 봉의 균열, 구멍, 개재물, 느슨함 등 숨겨진 결함을 식별하고 평가하는 것은 제품 안전, 신뢰성 및 서비스 안정성을 보장하는 데 필수적인 수단입니다.

이 섹션에서는 텅스텐 합금 막대에 적용 가능한 세 가지 일반적인 비파괴 검사 방법인 **초음파 검사(UT)**, **방사선 검사(RT)**, **자기 입자 검사(MT)** 를 체계적으로 소개합니다 .

4.7.1 초음파 검사(UT)

원리와 장점:

초음파 검사는 고주파 음파(1~10MHz)를 재료 내부로 전파합니다. 계면, 기공, 균열 등 불연속적인 구조가 발견되면 반사 신호가 생성되고, 이를 트랜스듀서가 수신하여 분석하여 결함 여부를 판별합니다.

- **텅스텐 합금 의 내부 결함** , 특히 기공, 개재물 및 밀도가 낮은 영역을 탐지하는 데 적합합니다.
- **강력한 침투성과 큰 탐지 깊이**로 중간 및 두꺼운 직경의 막대($\Phi 6 \sim \Phi 100$ mm)에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 자동 스캐닝 및 감지가 실현 될 수 있습니다 .

검출 방법:

- 종파(직선 프로브) 또는 전단파(각도 프로브)를 사용합니다.
- 다중 채널 시스템은 전체 표면과 다중 각도의 커버리지를 달성합니다.
- 최첨단 장비에는 **A-스캔(진폭 대 시간) 및 C-스캔(2D 이미지)** 기능이 탑재되어 있습니다.

표준 기준:

- **ASTM E114 / E 2375** : 금속 재료의 초음파 검사에 대한 표준;
- **GB/T 12604.1, GB/T 5777** : 금속 단조품/막대에 대한 초음파 검사 방법.

기술적 사항:

- 텅스텐 합금은 음향 감쇠가 크기 때문에 고에너지 프로브(예: 5MHz)를 사용해야 합니다.
- 검출 감도는 0.2~0.5 mm 결함을 식별할 수 있도록 조정되어야 합니다.
- 결함층 오차를 줄이기 위해서는 표면을 연마해야 합니다.
- 검출 후 결함 반사파의 위치, 깊이, 진폭을 기록하여 결함의 정도를 파악해야 합니다.

결함 식별 다이어그램:

결함 유형	초음파 기능
금이 가다	명확한 경계를 가진 높은 반사율 신호
다공성	적당히 반사되고 불규칙한 모양
밀도가 낮은 지역	레이어드 에코, 다중 반사

4.7.2 방사선 검사(RT)

원리 및 응용:

방사선 검사는 X 선이나 감마선을 이용하여 재료를 투과합니다. 밀도나 두께에 따라 방사선 흡수율이 다릅니다. 방사선 투과 영상은 영상판(필름 또는 디지털 검출기)을 통해 기록되어 내부 결함을 식별합니다.

- 텅스텐 합금 막대 내의 기공, 균열, 개재물 등의 밀도 차이 결함을 검출하는 데 적용 가능
- 표면 근처 또는 깊은 곳에 있는 결함 에 대한 우수한 분해능
- 종종 최종 품질 평가나 상위 수준의 수용 수단으로 사용됩니다 .

테스트 장비:

- 산업용 X 선 촬영기(관전압 160~320 kV)
- 두꺼운 벽의 막대에는 동위원소 감마선원(Ir-192 등)이 사용됩니다.
- 디지털 방사선 촬영 시스템(DR/CR)은 고화질 실시간 영상을 실현할 수 있습니다.

기술 지표:

- 최소 검출 가능 결함 크기: 약 0.1~0.3 mm
- 영상 선명도와 감지 감도는 방사선 에너지, 노출 시간 및 초점 거리에 따라 달라집니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 비교 테스트 블록(IQI)을 사용하여 영상 해상도를 검증해야 하는 경우가 많습니다.

테스트 표준:

- ASTM E1742, E 1030 ;
- GB/T 3323, GB/T 19802 ;
- 의료용 핵에너지 분야도 ISO 5579, EN 462 와 같은 더 높은 기준을 충족해야 합니다.

장점과 한계:

이점	한계
감지 이미지는 직관적이며 기록을 저장할 수 있습니다.	높은 장비 비용과 복잡한 운영
기공, 균열 및 내포물을 식별할 수 있습니다.	낮은 밀도 차이 결함에 민감하지 않음
최종 검사 및 고장 분석에 사용 가능	두껍고 큰 조각에 대한 침투가 제한됨

4.7.3 자기입자 검사(MT)

원칙:

강자성체가 자화될 때, 표면이나 표면 근처에 균열, 개재물, 용융되지 않은 물질과 같은 결함이 있으면 이러한 영역에서 자기 누설 장이 발생합니다. 자성 분말을 분사하면 자성 분말이 결함 부위에 모여 눈에 띄는 흔적을 형성합니다.

- 표면/표면 근처 결함을 빠르게 감지하는 데 적합합니다 .
- 주로 철을 함유하는 텅스텐 합금봉(예: W-Ni-Fe 계)에 사용되며, W-Ni-Cu 계에는 사용되지 않습니다.

검출 방법:

- AC 자화는 표면 결함을 감지하는 데 사용됩니다.
- DC 자화는 약간 더 깊은 결함(1~3 mm)을 감지할 수 있습니다.
- 습식법(자기 현탁액)이나 건식법 자기 분말을 사용할 수 있습니다.
- 흑백 대비액이나 형광 자기 분말을 자외선과 결합하면 인식률이 향상됩니다.

적용 가능한 표준:

- ASTM E 709 : 자기 입자 시험 기술에 대한 일반 원칙
- GB/T 15822, JB/T 6063 : 자분탐상시험방법 및 품질평가;

특징 분석:

장점	제한 사항
저렴한 비용과 빠른 감지 속도	강자성체만(Ni-Fe 시스템)
결함 위치 지정은 직관적이고 매우 민감합니다.	깊거나 열리지 않는 결함을 감지할 수 없습니다.
현장 배치 작업에 적합	분말 잔류물 및 오염 위험을 정리해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

4.7.4 결함등급 평가 및 비파괴검사 기준

위해서는 관련 기준에 따라 결함이 한계를 초과하는지 여부를 판단해야 합니다. 예를 들어,

결함 유형	최대 허용 크기(예: $\Phi 20$ mm 막대)	허용되나요?
금이 가다	존재할 수 없음	아니요
구멍	≤ 0.3 mm, 밀도 없음	예
레이어링	허용되지 않음	아니요
비금속 내포물	≤ 0.5 mm, 균일하게 분포됨	레벨에 따라

일반적인 평가 기준:

- **ASTM B777/B 702** : 텅스텐 합금의 비파괴 검사를 위한 기준 표준
- **GB/T 38561, GB/T 31928** : 텅스텐 합금 시험에 대한 특별 표준;
- **고객 기술 계약** : 항공, 원자력 등에 대한 맞춤형 표준이 더욱 엄격해졌습니다.

요약

텅스텐 합금 봉의 경우, 비파괴 검사 기술은 재료를 파괴하지 않고 내부 및 표면 결함을 식별할 수 있습니다. 초음파 검사는 대부분의 봉의 내부 품질 평가에 적합합니다. X 선 검사는 시각적 이미지에서 뚜렷한 장점을 가지고 있으며 고급 제품에 필수적인 수단입니다. 자분탐상검사는 표면 미세균열을 매우 민감하게 식별할 수 있습니다. 이 세 가지를 적절히 조합하면 텅스텐 합금 봉에 대한 다단계적이고 전면적인 품질 보증을 달성할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

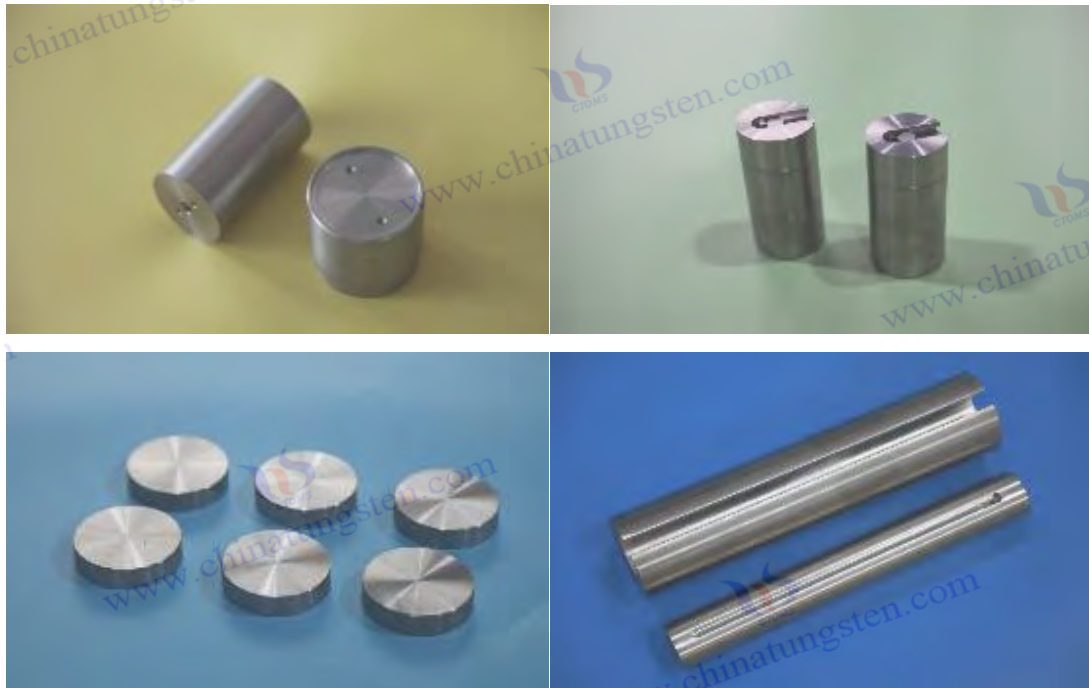
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

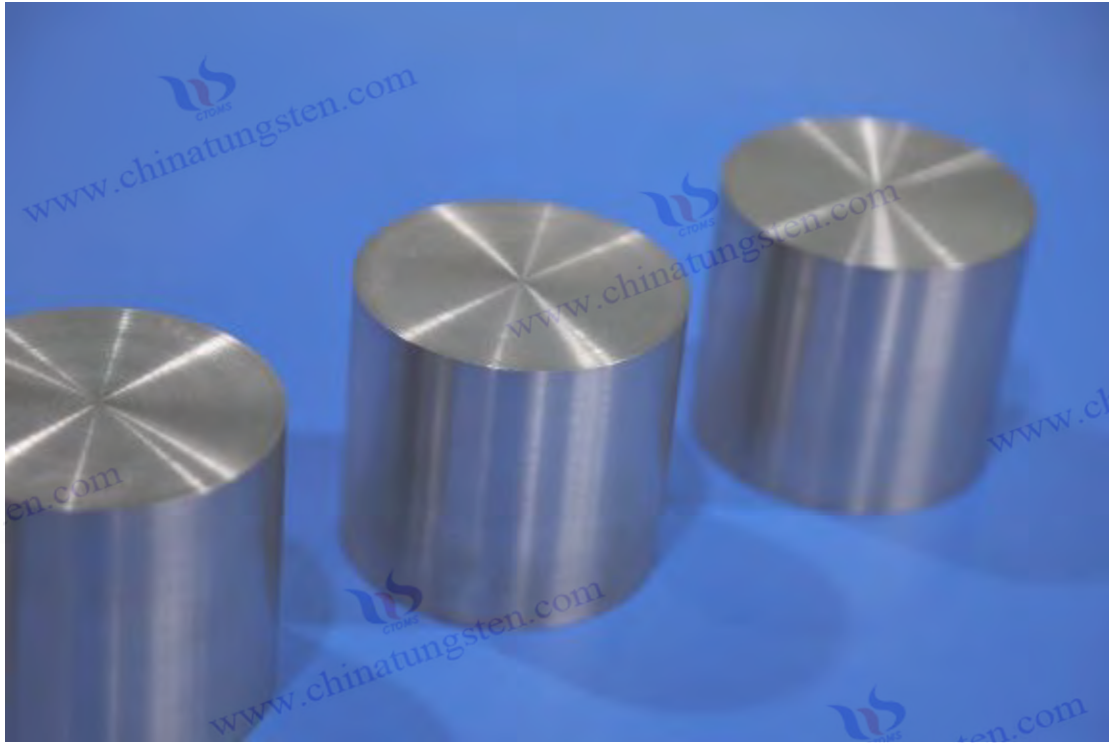
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



제 5 장 텅스텐 합금봉의 일반적인 적용 분야

5.1 항공우주 균형추 및 관성 구성요소

텅스텐 합금 막대는 항공우주 분야에서 대체할 수 없는 중요한 위치를 차지하고 있으며, 특히 **균형추 시스템** 과 **관성 부품** 에 적합합니다. 초고밀도, 우수한 가공성, 그리고 뛰어난 구조적 안정성으로 인해 텅스텐 합금 막대는 항공기, 위성, 미사일, 드론 및 기타 항공기의 질량 균형, 운동 에너지 조절 및 자세 제어 시스템에 널리 사용되며, 현재 항공우주 산업에서 고성능 금속 소재의 중요한 대표주자 중 하나입니다.

5.1.1 균형추 시스템의 배경 및 요구 사항

항공우주 시스템에서 균형추 조립체는 종종 다음과 같은 목적으로 사용됩니다.

- **중심 제어** : 항공기의 자세 안정성과 관성 모멘트의 합리적인 분배를 유지하기 위해서는 구조적 또는 출력 오프셋 영역에 정밀한 균형추를 구성하는 것이 필요합니다.
- **동적 밸런싱** : 고속 회전 구조물(자이로스코프, 모터 로터, 플라이휠 등)에서 균형추는 공진이나 피로를 방지하기 위해 불균형 토크를 미세 조정하는 데 사용됩니다.
- **연료 소모량 보상** : 액체 연료 사용이 감소함에 따라 항공기의 중심이 이동하고 텅스텐 합금 동적 중량에 의해 균형이 유지됩니다.
- **자세 조정** : 일부 위성/미사일 시스템은 정밀한 자세 제어 보정을 위해 미끄러지거나 움직이는 텅스텐 가중치를 사용합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

부피당 무게가 최대한 무거워야 하며 , 동시에 진동 저항성, 구조적 안정성, 그리고 환경 적응성이 우수해야 합니다 . 텅스텐 합금 봉의 등장은 이러한 엄격한 기준을 충족합니다.

5.1.2 텅스텐 합금 막대의 재료적 장점

텅스텐 합금 막대(일반적으로 W-Ni-Fe 또는 W-Ni-Cu 시스템)는 다른 금속 재료에 비해 다음과 같은 상당한 장점이 있습니다.

성능 매개변수	텅스텐 합금 막대	선두	스테인리스 스틸	티타늄 합금
밀도(g/cm³)	17.0-18.8	11.3	~7.8	~4.5
강도(MPa)	700-1000	15-30	500-800	900-1100
온도 안정성	우수(>1200°C 가소성 감소 없음)	차이점	좋은	훌륭한
환경 보호/독성	무독성, 친환경적	유해한	무독성	무독성
처리 적응성	좋은	쉬운	중간	처리하기 어려움

따라서 텅스텐 합금은 항공우주용 균형추 시스템에 사용되는 납과 같은 기존 소재를 대체하는 이상적인 업그레이드 옵션입니다.

텅스텐 합금 균형추 막대의 일반적인 구조

항공우주용 균형추는 종종 다음과 같은 형태를 띠다.

- 표준 원형 막대/사각형 막대**
 - 자이로 로터, 관성 링 또는 연료 탱크 바닥의 중앙 집중형 가중치에 사용됩니다.
- 나사봉/볼트 텅스텐봉**
 - 구조물에 쉽게 설치하거나 제거할 수 있으며, 종종 위성 균형추나 지상 테스트에 사용됩니다.
- 가공 가능한 특수 모양의 블록/인서트**
 - 항공기 구조에 따라 맞춤형 슬로팅, 펀칭 또는 계단 구조를 객실에 단단히 내장할 수 있습니다.
- 탈착식/슬라이딩 텅스텐 막대**
 - 자세 제어 시스템에 적용하면 가이드 레일을 따라 움직여 중심을 조정할 수 있습니다.
- 텅스텐 합금 박판/단봉 인서트**
 - 날개와 로터 구조의 관성 조정에 사용됩니다.

5.1.4 주요 성과 요구 사항

항공우주 등급 텅스텐 합금 막대는 다음 지표를 충족해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 밀도 : $\geq 17.5 \text{ g/cm}^3$, $\pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ 이내로 제어됨
- 치수 정확도 : $\pm 0.01 \sim \pm 0.05 \text{ mm}$, 정밀 선삭 및 연삭이 필요합니다.
- 기계적 성질 :
 - o 인장강도 $\geq 750 \text{ MPa}$
 - o 신장률 $\geq 10\%$, 충격 인성 보장
- 표면 거칠기 : $Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$ (광택 표면 요구 사항)
- 자기적 요구 사항 : 일부 관성 시스템에는 낮은 자기성 또는 비자성 텅스텐 합금이 필요합니다 (W-Ni-Cu 가 W-Ni-Fe 보다 우수함).
- 고온 안정성 : 열 충격에 강하고 구조적 변형이 없음
- 신뢰성 : 비파괴 검사(초음파/무선)를 통해 내부 결함을 감지할 수 있습니다.

5.1.5 실제 적용 사례

(1) 위성 관성 휠 및 자세 제어기

- 모멘텀 휠 코어 또는 자이로 관성 링 으로 사용됩니다 .
- 높은 밀도를 통해 관성을 증가시키고 자세 조정 정확도를 향상시킵니다.
- 미국과 유럽의 많은 유형의 위성은 W-Ni-Fe 고밀도 막대를 사용합니다.

(2) 항공기/UAV 용 동적 균형추

- 날개, 꼬리날개, 프로펠러 날개의 균형 교정에 사용됩니다.
- 작은 텅스텐 막대를 칼날에 삽입하여 무게를 미세하게 조절할 수 있습니다.
- 무인 항공기(UAV) 시장이 확대되고 있으며, 정밀한 소형 텅스텐 막대에 대한 수요도 증가하고 있습니다.

(3) 미사일 꼬리 부분 및 유도부 균형추

- 위해 종종 꼬리 부분에 텅스텐 막대를 설치하여 질량 중심의 균형을 맞춥니다.
- 슬라이드 레일 구조로 적응형 가중치를 실현합니다.
- 높은 밀도, 강력한 접합력, 진동 저항성이 필요합니다.

(4) 항공기 엔진 자이로 부품

- 안정성과 반응 속도를 향상시키기 위해 샤프트의 양쪽 끝에 텅스텐 가중치를 배치했습니다.
- 고온 합금 쉘과 결합되어 동적 관성 장치를 구성합니다.

5.1.6 다른 재료를 사용한 대안 분석

환경 규정이 강화되고 항공기 중량 감소에 대한 요구가 증가함에 따라 텅스텐 합금 막대가 점차 다음과 같은 기존 중량 재료를 대체하고 있습니다.

재료	교체 사유
선두	독성이 매우 강하여 사용이 금지되거나 제한됨
강철	낮은 밀도로 인해 표준을 충족하기 위해 더 큰 볼륨이 필요합니다.
구리 합금	높은 전도성으로 인해 전자파 간섭이 발생할 수 있음
도예	매우 취성이 강하여 진동 및 충격 부하를 처리할 수 없음

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금은 중량 정확도, 안전성, 부피 제어 및 재활용성 측면에서 상당한 이점이 있으며, 고급 항공기 중량 소재의 주요 선택이 되었습니다.

요약

텅스텐 합금 막대는 고밀도, 안정적인 구조, 고온 내성, 그리고 뛰어난 가공 적응성 등 항공우주용 균형추 및 관성 부품에 있어 포괄적인 장점을 제공합니다. 텅스텐 합금 막대는 현대 항공기의 엄격한 무게 중심 제어 요건을 충족할 뿐만 아니라 다양한 통합 설계를 지원합니다. 고성능 균형추 소재의 최우선 선택입니다. 앞으로 지능형 항공기, 소형 위성, 그리고 고동적 플랫폼의 발전과 함께 텅스텐 합금 막대는 더욱 중요한 구조물에서 핵심적인 역할을 수행할 것입니다.

5.2 군용 장비용 텅스텐 합금봉(갑옷 관통 코어, 미사일 꼬리 구획)

텅스텐 합금은 높은 밀도, 고강도, 높은 운동 에너지 유지력, 그리고 뛰어난 관통력으로 인해 군 장비에서 매우 중요한 역할을 합니다. 텅스텐 합금 봉은 주로 군 분야에서 운동 에너지 철갑탄 코어 제조에 사용됩니다. 미사일 꼬리 구획 균형추, 심층 관통 폭탄 구조 구성 요소, 고폭탄 및 관성 비행 체계의 균형추 등이 이에 해당합니다. 그 성능은 무기 체계의 타격 능력, 비행 안정성 및 전투 효율성에 직접적인 영향을 미칩니다.

5.2.1 군사용 텅스텐 합금 소재의 핵심 장점

군사 분야에서 텅스텐 합금은 다음과 같은 측면에서 반영 됩니다 .

성과 지표	텅스텐 합금(W-Ni-Fe)	선두	강철	우라늄 합금(DU)
밀도(g/cm³)	17.0 ~ 18.8	~11.3	~7.8	~19.1
인장강도(MPa)	700 ~ 1000	매우 낮음	500 ~ 800	800 ~ 900
열 안정성	우수(연화 없이 1200°C 이상)	차이점	중간	훌륭한
독성/환경 안전	무독성, 친환경적	유해한	안전	강한 방사능
가공성	좋은	가공하기 쉽다	좋은	매우 나쁨(산화되고 부서지기 쉬움)

따라서 텅스텐 합금은 " 무독성 고갈 우라늄 대체 물질 "로 알려져 있으며 현대의 고성능 재래식 운동에너지 무기의 중요한 재료 기반입니다.

5.2.2 장갑 관통 발사체의 텅스텐 합금 막대

(1) 응용 배경

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

운동 에너지 관통탄(KEP)은 고속 운동 에너지를 이용하여 장갑 표적을 관통합니다. 핵심 구성 요소인 "핵심"은 다음과 같은 특징을 갖춰야 합니다.

- 운동 에너지를 증가시키기 위해 매우 높은 밀도를 갖습니다.
- 관통 능력을 유지하기 위한 매우 높은 강도와 경도;
- 비행 중에 부서지거나 장갑을 관통할 때 붕괴되는 것을 방지할 만큼 내구성이 우수합니다.
- 변형과 처짐을 줄여주는 뛰어난 동적 안정성.

텅스텐 합금 코어는 일반적으로 W-Ni-Fe 중합금 막대로 만들어지며, 정밀 성형, 열처리 및 기계 가공을 통해 테일 콘 또는 니들 코어 구조로 만들어집니다.

(2) 코어 유형 및 크기 매개변수

탄약의 종류	일반적인 텅스텐 합금 막대 직경	중형비	탄성 코어 구조
탱크 주포 APFSDS	Φ18 ~ Φ30mm	15 ~ 25	텅스텐 합금 장대 + 알루미늄 셸
소구경 장갑 관통 발사체	Φ5 ~ Φ15mm	10 ~ 15	견고한 텅스텐 막대 또는 텅스텐 코어 강철 셸
심층 관통 탄약 코어	Φ20 ~ Φ60mm	5 ~ 10	견고한 중량 텅스텐 합금 콘 헤드

(3) 물질적 기술적 요구 사항

- 밀도 : $\geq 17.5 \text{ g/cm}^3$, 바람직하게는 18.0 ~ 18.5;
- 인장 강도 : $\geq 950 \text{ MPa}$;
- 경도 : $\text{HRC} \geq 35$;
- 신장률 : $\geq 10\%$;
- 미세구조 : 밀도가 높고 균일하며 기공이 없고 입자 크기가 $\leq 10 \mu\text{m}$ 로 제어 됨
- 비자성 또는 저자성 (특수 유도 시스템 요구 사항)
- 비파괴 검사를 통해 내부 균열, 층간 박리 등의 결함이 없는 것으로 확인되었습니다 .

(4) 제조공정 개요

1. 원료 준비: 고순도 텅스텐 분말 + Ni/Fe 합금 분말 혼합물;
2. 분말야금프레스 → 고온액상소결;
3. 열처리 템퍼링 → 정밀선삭 → 연마;
4. 표면 코팅(Mo/Cr) 또는 산화물층 처리(내열성, 내마모성)
5. 초음파 검사와 CT 검사.

5.2.3 미사일 꼬리 구획의 균형추 구조에 사용되는 텅스텐 합금 막대

신청서 설명:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 장거리/중거리 전술 미사일이나 방공 미사일의 경우, 꼬리 부분(꼬리 원뿔 부분)은 추진 장치와 탄두 사이의 질량 중심 분포를 균형 있게 조절하기 위한 균형추를 설치하는 데 자주 사용됩니다.
- 꼬리 부분의 텅스텐 합금봉은 비행의 관성 안정성을 높이고, 유도 정확도를 개선하며, 발사체 의 편향을 줄이는 데에도 역할을 합니다 .
- 일부 고정밀 미사일 시스템은 조정 가능한 텅스텐 막대 균형추 모듈을 사용하여 유도 알고리즘 편차를 조정합니다.

구조:

- 견고한 텅스텐 합금 원통형/계단형 막대;
- 전자파 간섭을 방지하기 위해 절연재나 세라믹 코팅으로 덮습니다.
- 관통 구멍 구조에는 리드나 슬라이딩 샤프트가 내장되어 있습니다.

요구 사항 및 기능:

- 높은 밀도 일관성 제어 정확도($\pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ 이내)
- 높은 가공 정확도 요구 사항 (꼬리 객실 메커니즘 과의 정밀한 일치)
- 부식 방지, 충격 방지 및 긴 서비스 수명;
- 비행 시뮬레이션 데이터에 따라 중량 비율과 위치를 미리 구성할 수 있습니다.

5.2.4 기타 군용 텅스텐 막대 응용 분야

- 폭발성형탄(EFP) 용 텅스텐 합금 부싱
- 고퍽탄용 텅스텐 합금 막대 (폭발의 방향성 에너지를 개선하기 위함)
- 군용 관성 시스템 자이로 가중치 ;
- 심층 충전 고압 저항 텅스텐 막대 구조 부품 ;
- (EMP 보호 등) 에 사용되는 텅스텐 합금 막대 .

5.2.5 텅스텐 합금 군수품에 대한 표준 및 규정 준수 시스템

군용 텅스텐 합금 막대는 일반적으로 다음 표준 및 시스템 인증을 준수해야 합니다.

표준/시스템	내용물
GJB/T 3765	군용 텅스텐 합금에 대한 기술 요구 사항
MIL-T-21014	미 육군용 텅스텐 합금 막대의 기술 사양
ASTM B777 클래스 IV	고밀도 텅스텐 합금 의 사양
국가 군사 표준 GJB 9001C	국방품질경영시스템
ISO 10204 3.2	군용 등급 제3자 품질 인증 보고서
NADCAP / ITAR / AS9100	항공군수품에 사용되는 재료에 대한 요구 사항

또한, 고급 제품은 다음을 제공해야 합니다: 용광로 번호 추적성, 원래 분말 배치 보고서, 전체 공정 비파괴 검사 보고서 및 전체 기계적 특성 검사 데이터.

요약

텅스텐 합금 막대는 군용 장비, 특히 운동에너지 발사체 코어 및 미사일 꼬리 격실 구조에 적용 시 "핵심 관통"과 "구조적 안정화 앵커"라는 두 가지 기능을 수행하여

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

고밀도, 고강도, 열 안정성과 같은 재료적 장점을 최대한 발휘합니다. 열화 우라늄 대체 가능성, 친환경 및 무독성, 그리고 제어 가능한 정밀 제조라는 추세에 힘입어 텅스텐 합금은 현대 군용 정밀 타격 및 고기동 비행 시스템의 중요한 전략 소재로 자리 잡았습니다.

5.3 핵에너지 분야(방사선 방호봉, 중성자 흡수 구조물)

텅스텐 합금은 초고밀도, 뛰어난 고온 안정성, 그리고 우수한 방사선 차폐 능력으로 원자력 분야에서 중요한 역할을 합니다. 특히 원자력 발전소, 연구용 원자로, 원자력 발전소 및 핵폐기물 처리 시스템에서 텅스텐 합금 봉은 방사선 차폐 부품 제조에 널리 사용됩니다. 중성자 흡수 구조, 핵연료 포장 보호 부품 등. 그 종합적인 성능은 기존의 납, 강철, 우라늄 소재보다 훨씬 뛰어납니다.

5.3.1 핵에너지 분야 적용 배경 및 필요성

핵에너지 시스템에서 텅스텐 합금 막대의 주요 기능은 다음과 같습니다.

- **감마선 및 X 선 차폐** : 텅스텐의 높은 원자 번호($Z=74$)로 인해 우수한 고에너지선 흡수 능력이 있습니다.
- **중성자 흡수 및 열 중성자 차폐** : 텅스텐 자체는 붕소나 카드뮴 만큼 좋은 중성자 포획 단면적을 가지고 있지 않지만, 텅스텐 합금 막대는 복합 구조에서 중성자 흡수체를 운반할 수 있어 구조 + 차폐의 이중 역할을 수행할 수 있습니다.
- **구조적 안정성 및 고온 강도 유지** : 텅스텐 합금은 원자로의 고온 및 강한 방사선 환경에서 치수 안정성과 기계적 강도를 유지하며, 이는 원자력 에너지 시스템의 구조적 구성 요소의 중요한 기초입니다.
- **높은 열전도도는 열 관리에 도움이 됩니다** . 텅스텐의 우수한 열전도도는 핵반응 중 열을 효율적으로 전도하여 구조적 피로를 일으키는 열 응력 집중을 방지합니다.

5.3.2 텅스텐 합금 방사선 차폐봉의 장점 분석

퍼포먼스 프로젝트	텅스텐 합금 막대	납 보호 재료	우라늄 합금(DU)
밀도(g/cm^3)	17.0-18.5	~11.3	~19.1
감마선 차폐 능력	우수(높은 Z, 높은 밀도)	일반적으로	우수함(텅스텐보다 약간 더 좋음)
중성자 차폐 능력	중간(B/Cd 는 조합해서 추가 가능)	차이점	정상(부분적으로 흡수됨)
열 안정성	우수함($>1200^\circ\text{C}$ 안정)	불량(100°C 에서 연화)	훌륭한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

독성 및 방사능	무독성, 비방사성	유해한	방사능이 있어 재활용이 어려움
처리 및 재활용 기능	좋은	변형 및 오염이 쉽습니다.	처리가 어렵고 안전 제약이 크다

환경 보호, 안전성, 기계적/방사선 적 이점 덕분에 우라늄 합금과 납 소재를 대체하는 이상적인 솔루션이 되었습니다.

5.3.3 원자력용 텅스텐 합금봉의 일반적인 구조 형태

1. 차폐봉

- o 코어 주변부, 채널 차폐 등에는 필요한 두께에 따라 솔리드 또는 중공 텅스텐 합금 막대가 사용됩니다.
- o 셀 과 함께 사용됩니다.
- o 일반적인 밀도 요구 사항은 $\geq 17.8 \text{ g/cm}^3$ 입니다.

2. 중성자 복합 흡수 구조 막대

- o 핵심은 텅스텐 합금 막대이고, 표면은 B_4C , Gd_2O_3 , Cd 재료로 분무 또는 코팅되었습니다.
- o 열중성자의 통합 흡수 + 감마선 차단;
- o 원자로 안전 제어봉, 급속 정지 제어봉 등에 사용됩니다.

3. 고열부하 구조용 막대

- o 냉각 유체는 텅스텐 합금의 중공 구조를 통해 흐릅니다.
- o 원자력 발전소의 방열 지원 시스템에 사용됨;
- o 요구 사항에는 높은 열전도도, 치수 안정성, 내식성이 포함됩니다.

4. 핵연료 운반 및 저장 차폐봉

- o 텅스텐 합금 막대는 포장 배럴/용기의 내부 층에 설치됩니다.
- o 감마선 차폐와 기계적 충격 저항의 이중 역할을 수행합니다.
- o IAEA 운송 안전 규정을 준수합니다.

5.3.4 재료 성능 요구 사항

원자력 에너지용 텅스텐 합금봉은 높은 밀도와 방사선 흡수 용량을 요구할 뿐만 아니라 극한 환경에서도 구조적 무결성과 물리적 안정성을 유지해야 합니다.

- 밀도 제어 : $\geq 17.5 \text{ g/cm}^3$, 양호한 균일성 필요
- 치수 안정성 : $300^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ 에서 연속 사용 시 변형 없음
- 부식 저항성 : 탈이온수, 붕산 용액, 증기 등에 대한 저항성이 우수합니다.
- 열전도도 : $> 90 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, 열 구배 응력 감소
- 강도 요구 사항 : 인장 강도 $\geq 700 \text{ MPa}$, 우수한 충격 인성
- 조사 안정성 : 조사 후 격자 구조 파괴가 발생하지 않습니다.
- 중성자 포획 설계 : Gd , B , Cd 로 복합 도핑할 경우 높은 균일성이 요구됨
- 수명 및 피로 성능 : 10 년 이상의 장기간 연속 사용을 지원함.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3.5 실제 적용 사례

(1) 원자력발전소 노심보호모듈

- 텅스텐 합금 막대는 원자로 핵심 구조 주위에 감마선 차폐층을 형성합니다.
- 흑연, 수냉식, 지르코늄 합금 등과 함께 사용됩니다.
- 국내 3 세대 원자력발전 프로젝트에서는 납층을 대체하여 텅스텐 합금 차폐층을 채택했습니다.

(2) 연구용 원자로 제어봉 및 안전봉

- B₄C 분말 구조로 코팅된 중공 텅스텐 합금 막대가 제어 막대로 사용됩니다.
- 핵반응을 급히 중단해야 할 때, 텅스텐 합금 막대를 핵에 삽입하여 에너지를 흡수하고 감마선을 차단할 수 있습니다.
- 대부분의 과학 연구용 원자로는 안전 단자 부품으로 "W-Ni-Fe/B₄C" 복합 재료를 사용합니다.

(3) 핵폐기물 건식저장용기의 라이닝 구조

- 텅스텐 합금 보호봉은 핵폐기물 건조탱크의 바깥층에 설치 됩니다 .
- 납 라이닝과 비교했을 때 누출 위험 없이 더 강력한 보호 기능을 제공합니다.
- 강한 지진과 강한 충격에도 견딜 수 있는 능력을 가지고 있습니다 .

5.3.6 관련 표준 및 인증 시스템

텅스텐 합금 막대는 핵에너지 분야에서 사용되며 다음과 같은 국제/산업 표준을 충족해야 합니다.

표준/시스템	콘텐츠
ASTM B777	고밀도 텅스텐 합금 의 분류 및 성능 요구 사항
ISO 12749/BS EN 61331	원자력 방호물질 성능 평가 기준
국제원자력기구(IAEA) TS-G-1.1	핵물질 포장 및 운송 안전 지침
GB/T 24298	원자력 에너지용 텅스텐 합금 재료 특성 및 시험 방법
CNNC/중국핵공업집단공사 내부 표준	핵 등급 재료 조달 및 수용 프로세스 표준

또한, 핵 목적의 제품 수출은 핵 공급자 그룹(NSG)의 통제 조항을 준수해야 하며 핵 목적 에 대한 최종 사용 설명서를 신고해야 합니다 .

5.3.7 개발 동향 및 기술 전망

- 복합텅스텐합금 구조 : 텅스텐합금을 B, Gd 및 기타 재료와 공소결, 열간프레스, 나노코팅 등을 통해 통합하여 중성자 및 감마선의 공동차폐능력을 향상시킵니다.
- 모듈형 핵 차폐 구조 응용 분야 : 텅스텐 합금 막대는 정밀 가공되고 기계적으로 연결되어 분리 가능하고 재구성 가능한 차폐 모듈을 형성합니다. 이는 이동식 원자력 발전소 및 선박용 원자로에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **고온 및 고압 서비스 성능 향상** : 미래의 첨단 원자로(고속로, ADS 시스템 등)의 고에너지 조건을 충족하기 위해 고온 내성 텅스텐 합금 공식 및 열처리 공정을 개발합니다.
- **3D 프린팅된 텅스텐 합금 핵 구성품** : 적층 제조를 통해 복잡한 기하학 구조와 공동 구조를 갖춘 핵 텅스텐 합금 구성품을 제조하여 무게를 줄이고 방열 성능을 개선합니다.

요약

텅스텐 합금봉은 원자력 분야에서 구조 지지, 방사선 방호, 열 관리 등 다양한 기능을 수행합니다. 높은 밀도, 환경 보호 및 안전성을 갖춘 텅스텐 합금봉은 원자력 시스템의 필수적인 핵심 소재 중 하나로 자리 잡았습니다. 청정 원자력과 안전한 원자력 시설에 대한 전 세계적인 수요 증가에 따라, 보호 부품 및 중성자 제어 소자에 텅스텐 합금을 적용하는 전망은 더욱 밝아질 것입니다.

5.4 의료기기(방사선치료기)용 고밀도 구조봉

현대 방사선 치료 기술의 급속한 발전과 함께, 텅스텐 합금은 고밀도, 고흡수 성능, 그리고 우수한 기계적 특성으로 인해 의료 장비의 방사선 차폐 및 선량 조절에 핵심 소재로 자리 잡았습니다. 텅스텐 합금 막대를 방사선 치료 장비(선형 가속기, 감마 나이프, 사이버나이프 등)에 적용하면 장비의 정밀한 방사선 제어가 가능할 뿐만 아니라 의료진과 환자를 불필요한 방사선 피해로부터 효과적으로 보호할 수 있습니다.

5.4.1 방사선 치료 장비에 텅스텐 합금을 적용하는 배경

방사선 치료는 고에너지 X 선, 감마선 또는 전자선을 이용하여 종양 부위에 정밀하게 조사합니다. 장비의 차폐 및 조정 구조는 다음 요건을 충족해야 합니다.

- 방사선 누출을 방지하기 위해 **방사선을 효율적으로 흡수합니다**.
- 밀도가 높아 제한된 부피 내에서 최대의 차폐 효과를 달성합니다.
- 강력한 기계적 안정성 으로 장비의 움직임과 진동을 견딜 수 있습니다.
- 높은 가공 정밀도로 방사선 빔의 정확한 유도가 보장됩니다.
- 생물학적으로 안전 하고 독성이 없으며 무해하며 의료 및 건강 기준을 충족합니다.

텅스텐 합금(17.0-18.8 g/cm³)은 감마선과 X 선을 차폐하는 데 이상적인 소재로, 기존 납 소재보다 우수하고 환경 친화적입니다.

5.4.2 텅스텐 합금 막대의 일반적인 적용 위치

1. 방사선 치료 장비용 보호 실드 및 부싱
 - o 선형 가속기 튜브 주변에 사용되어 산란된 광선을 차단합니다.
 - o 정밀 가공을 통해 방사선 빔 모양과 선량의 균일성이 보장됩니다.
2. 블레이드 조절의 균형추와 블레이드 구조(멀티 리프 다이어프램, MLC)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o MLC 블레이드는 일반적으로 밀도가 높아 텅스텐 합금으로 만들어지며, 방사선을 효과적으로 차단하고 치료 영역의 모양을 제어할 수 있습니다.
 - o 텅스텐 합금 막대를 사용하여 칼날의 골격과 균형추를 만들어 부드럽고 정밀한 칼날의 움직임을 보장합니다.
3. 방사선 차폐벽 및 이동식 차폐 패널 라이닝
- o 고밀도 텅스텐 합금 막대 또는 판은 방사선 침투를 차단하는 보호 구조를 형성합니다.
 - o 가벼운 디자인으로 무게를 줄이고 안전성을 향상시켰습니다.
4. 투여량 조절 장치의 내부 중량 구조
- o 치료를 정확하게 제어하기 위해 방사선량과 방향을 조정합니다.
 - o 텅스텐 합금 막대는 크기가 안정적이고 가공성이 우수하여 기계 설계의 높은 요구 사항을 충족합니다.

5.4.3 주요 성과 요구 사항

의료용 방사선 치료 장비에 사용되는 텅스텐 합금 막대는 다음과 같은 기술 지표를 충족해야 합니다.

- 밀도 : $\geq 17.5 \text{ g/cm}^3$, 충분한 방사선 흡수 용량을 보장합니다.
- 치수 정확도 : $\pm 0.01 \sim 0.03 \text{ mm}$, 구조적 일치 및 방사선 정확도 보장
- 기계적 성질 :
 - o 인장강도 $\geq 700 \text{ MPa}$, 장비 작동 중 발생하는 응력을 견딜 수 있음
 - o 경도 $\geq \text{HRC } 30$ 으로 내마모성을 보장합니다.
- 표면 품질 : $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$, 장비 이동 및 방사선 전달에 영향을 미치지 않도록 합니다.
- 무독성, 무해성 : 의료기기 안전기준을 준수하고 유해성분 누출을 방지합니다.
- 환경 적 안정성 : 내식성, 고온 내구성(정상적인 작업 환경에서)이 뛰어나며 장기간 사용 후에도 변형이 없습니다.

5.4.4 가공 및 제조 기술

의료용 텅스텐 합금 막대는 일반적으로 고순도 분말 야금 기술로 제조된 후 정밀 가공을 통해 성형됩니다. 주요 공정은 다음과 같습니다.

- 정밀 열간 등방성 압축(HIP)은 재료가 밀도가 높고 기공이 없는지 확인합니다.
- 복잡한 모양과 높은 치수 정확도를 달성하기 위한 CNC 선삭 및 연삭 ;
- 가공 흔적과 오염물질을 제거하기 위한 표면 연마 및 세척
- 비파괴 검사 (초음파, X 선)를 통해 내부 결함이 없는지 확인합니다.
- 표면 코팅 (산화물 피막이나 세라믹 코팅 등)은 내식성과 생체적합성을 개선할 수 있습니다.

5.4.5 일반적인 사례

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **선형 가속기 다중 입 조리개용 텅스텐 합금 블레이드**
 - W-Ni-Fe 텅스텐 합금으로 제작되었으며, 블레이드 밀도는 18.0g/cm³에 이릅니다.
 - 블레이드 크기는 정밀하게 제어되며, 고정밀 기계식 전달 시스템을 통해 밀리미터 단위의 조정이 가능합니다.
 - 치료 목표 영역의 위치 정확도와 환자 안전을 크게 향상시킵니다.
- **감마 나이프 헤드 보호 실드**
 - 초고밀도 텅스텐 합금으로 제작되었으며, 두께는 납 보호재의 절반에 불과합니다.
 - 정밀 가공 및 열처리를 통해 장기 안정성과 보호 성능이 보장됩니다.
 - 장치의 휴대성을 개선하고 전체 무게를 줄입니다.

5.4.6 개발 동향 및 기술 최전선

- **고성능 텅스텐 합금 소재**
 - 나노입자는 텅스텐 합금을 강화하여 강도와 인성을 향상시키고 장비 수명을 연장합니다.
 - 낮은 자성 텅스텐 합금은 MRI 적합성 요구 사항을 충족합니다.
- **텅스텐 합금 블레이드의 지능형 제조**
 - 적층 제조(3D 프린팅) 기술을 사용하여 복잡한 구조를 제조하고 무게를 줄입니다.
 - 레이저 가공과 결합하면 표면 품질과 제조 효율성이 향상됩니다.
- **기존 납 소재에 대한 환경 친화적 대안**
 - 텅스텐 합금은 무독성 대체 소재로서 의료 환경 보호 추세와 규정을 준수합니다.
 - 의료폐기물의 안전한 처리 및 재활용을 달성합니다.

요약

텅스텐 합금 봉은 고밀도, 고정밀도, 그리고 우수한 기계적 특성으로 인해 현대 의료 방사선 치료 장비의 필수적인 핵심 소재로 자리 잡았습니다. 방사선 방호, 선량 조절, 그리고 구조적 안정성 측면에서 텅스텐 합금 봉은 방사선 치료 기술의 정확성과 안전성을 크게 향상시켰습니다. 재료 과학과 제조 기술의 발전으로 의료 분야에서 텅스텐 합금의 적용은 더욱 광범위하고 심도 있게 이루어질 것입니다.

5.5 고정밀 계측기의 동적 밸런싱 로드 및 회전 관성 부품

텅스텐 합금 막대는 높은 밀도, 높은 강성, 그리고 우수한 가공 성능으로 인해 다양한 고정밀 기기 및 장비에 널리 사용되며, 특히 고정밀 동적 밸런싱 및 관성 제어에 필요한 회전 부품에 적합합니다. 텅스텐 합금 막대는 질량 분포의 미세 조정 및 동적 성능 최적화를 효과적으로 달성하고, 기기의 측정 정확도와 작동 안정성을 향상시킬 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5.1 응용 프로그램 배경 및 중요성

자이로스코프, 플라이휠 자이로스코프, 항공우주 항법 장비, 정밀 동력 시스템, 고속 회전 기계와 같은 고정밀 기기는 동적 평형 및 관성 성능에 대한 요구 사항이 매우 높습니다. 동적 평형 막대와 관성 부품의 주요 기능은 다음과 같습니다.

- 회전체의 질량 분포를 조절하고, 토크 불균형을 해소하며, 진동과 소음을 줄입니다.
- 회전체의 안정성과 수명을 향상시키고, 불균형으로 인한 베어링 마모 및 장비 고장을 방지합니다.
- 관성 모멘트를 정밀하게 조정하여 계측기 응답 성능과 제어 정확도를 최적화합니다.

텅스텐 합금 막대는 높은 밀도($17.0\sim 18.8\text{ g/cm}^3$)와 뛰어난 기계적 특성으로 인해 이러한 핵심 부품을 제조하는 데 이상적인 재료입니다.

5.5.2 동적 밸런스 바의 구조 및 설계

- **재료 선택** : 대부분 W-Ni-Fe 또는 W-Ni-Cu 고밀도 텅스텐 합금을 사용하여 높은 밀도와 충분한 기계적 강도를 보장합니다.
- **형태 사양** : 일반적으로 원통형 막대, 계단형 막대 또는 특수 단면 막대로, 기계 구조에 쉽게 내장되어 질량 분포를 조정할 수 있습니다.
- **치수 정확도** : 가공 정확도 요구 사항은 매우 높고, 치수 허용 오차는 일반적으로 $\pm 0.01\text{mm}$ 이내로 제어되어 동적 균형 효과를 보장합니다.
- **표면 처리** : 마찰과 부식을 줄이기 위해 연마, 니켈 도금 또는 코팅을 통해 표면 품질을 개선합니다.

5.5.3 회전 관성 부품에 대한 성능 요구 사항

회전 관성 부품은 일반적으로 다음과 같은 속성을 가져야 합니다.

- **높은 밀도와 균일성**으로 관성 모멘트의 정확한 계산이 가능합니다.
- **우수한 기계적 강도와 인성**으로 고속 회전 시 발생하는 원심력을 견딜 수 있음
- 장기 작동 시 안정적인 크기와 성능을 보장하기 위한 **열 안정성**
- **내식성** 이 뛰어나고 , 특히 습도가 높거나 부식성 환경에서 사용 수명이 연장됩니다.

고속 으로 작동해도 변형되거나 파손되지 않아 장비의 고정밀 작동이 유지됩니다.

5.5.4 일반적인 적용 사례

1. 동적

밸런스 로드는 항공우주 자이로스코프의 회전 부품에 널리 사용됩니다. 질량

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분포를 정밀하게 조정함으로써 장비의 편차를 최소화하고 드리프트를 최소화할 수 있습니다.

2. 고속 회전 기계는

고속 모터와 터빈 블레이드의 동적 균형을 맞추는 데 사용되어 진동을 효과적으로 줄이고 장비의 신뢰성과 수명을 향상시킵니다.

3. 간섭계 등 정밀 측정 기기

의 회전부에서 원활한 회전과 측정 정확도를 보장합니다 .

5.5.5 생산 공정 및 시험 방법

- **제조 공정** : 고밀도 텅스텐 합금 막대는 분말 야금으로 제조되고 정밀 선삭 및 연삭을 통해 형성됩니다.
- **열처리** : 기계적 성질과 내부 구조의 균일성을 향상시킵니다 .
- **표면 처리** : 부식 방지 코팅 및 연마로 서비스 수명을 연장합니다.
- **품질 검사** : 동적 밸런싱 테스트, 고정밀 좌표 측정기 및 비파괴 검사 기술을 사용하여 결함이 전혀 없음을 보장합니다.

5.5.6 미래 개발 동향

- **마이크로나노구조 텅스텐 합금** : 기계적 성질과 피로 저항성을 향상시킵니다.
- **경량 설계** : 구조적 최적화를 통해 텅스텐 합금 의 양을 줄여 가벼운 무게와 높은 강도를 달성했습니다.
- **적층 제조 기술** : 복잡한 형상의 동적 밸런싱 부품의 통합 제조를 실현합니다.
- **지능형 동적 밸런싱 시스템** : 감지 기술과 결합하여 텅스텐 합금 동적 밸런싱 막대의 위치가 실시간으로 조정되어 시스템의 동적 성능이 향상됩니다.

요약

텅스텐 합금 막대는 고정밀 기기의 동적 밸런스 막대 및 회전 관성 부품 분야에서 핵심적인 역할을 합니다. 높은 밀도와 우수한 기계적 특성은 장비를 더욱 부드럽고 정밀하게 작동시킵니다. 소재 기술과 제조 공정의 지속적인 발전으로 텅스텐 합금은 정밀 회전 기계 및 고급 기기 분야에서 더욱 큰 잠재력을 발휘할 것입니다.

5.6 전자산업 및 통신장비의 지지 및 방열구조

전자 장비 및 통신 기술의 급속한 발전으로 장치의 소형화, 고출력 밀도, 고속 동작은 소재에 대한 더욱 높은 성능 요구 사항을 제시하고 있습니다. 텅스텐 합금 봉은 고밀도, 높은 열전도도, 우수한 기계적 강도를 갖추고 있어 전자 산업 및 통신 장비의 핵심 지지 및 방열 구조재로 자리 잡았으며, 장비의 안정성과 열 관리 효율을 효과적으로 향상시킵니다.

5.6.1 응용 프로그램 배경

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

의 열 관리 및 기계적 지지 성능 :

- 장비는 작동 시 많은 열을 발생시키며, 방열이 제대로 이루어지지 않으면 성능이 저하되거나 심지어 손상될 수도 있습니다.
- 지지 구조는 기계적, 열적 스트레스를 견뎌야 하며 장치 위치 정확도를 유지해야 합니다.
- 재료는 치수 안정성과 전자기적 적합성이 좋아야 합니다.

텅스텐 합금 막대는 높은 밀도, 뛰어난 열전도도, 낮은 열팽창 계수를 갖추고 있어 이러한 요구 사항을 충족하는 데 이상적인 선택입니다.

5.6.2 전자 및 통신 장비에서 텅스텐 합금의 주요 응용 분야

1. 고전력 소자용 방열 지지 구조

- o 방열베이스 및 전력 증폭기와 RF 모듈 지원
- o 텅스텐 합금은 장치에서 발생하는 열을 빠르게 제거하는 데 도움이 됩니다.
- o 재료의 높은 밀도와 강성은 안정적인 구조를 보장하고 진동의 영향을 줄여줍니다.

2. 마이크로파 및 밀리미터파 통신 장치의 감쇠추

- o 텅스텐 합금 균형추를 통해
- o RF 구성 요소의 미세 동작과 위치 편차를 효과적으로 제어합니다.

3. 반도체 패키징의 방열판 소재

- o 텅스텐 합금은 고급 칩 패키징의 방열판으로 사용되어 칩의 방열 효율을 개선하는 데 도움이 됩니다.
- o 칩이 열 응력으로 인해 손상되는 것을 방지하려면 기계적 강도와 열 팽창 일치율을 모두 고려해야 합니다 .

4. 정밀 기계 위치 및 지지 부품

- o 작은 기계 부품의 상대적 위치와 안정성을 유지합니다.
- o 일반적으로 광섬유 통신 장비와 레이저 시스템의 기계적 브라켓과 고정 장치에 사용됩니다.

5.6.3 주요 재료 성과 지표

- 밀도 : $\geq 17.0 \text{ g/cm}^3$, 구조의 높은 강성과 안정성을 보장합니다.
- 열전도도 : $\geq 120 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, 빠른 열 방출;
- 열팽창 계수 : $\leq 6 \times 10^{-6} / \text{K}$, 반도체 소재의 열팽창계수와 일치함
- 기계적 강도 : 인장 강도 $\geq 800 \text{ MPa}$, 경도 $\geq \text{HRC } 30$;
- 치수 정확도 : 가공 정확도가 마이크론 수준에 도달하여 조립 정확도를 보장합니다.
- 표면 거칠기 : $Ra \leq 0.2 \mu\text{m}$, 응력 집중 및 열 저항을 피하기 위해 ;
- 전자기 적합성 : 자기 응답성이 낮아 신호 간섭이 줄어듭니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.6.4 가공기술 및 품질관리

- 고순도 텅스텐 분말은 분말 야금법을 통해 제조되어 재료가 밀도가 높고 균일하도록 보장됩니다.
- 기계적, 열적 전도성을 개선하기 위한 열간 등방성 압축(HIP) 및 고온 소결 ;
- 복잡한 구조와 높은 치수 정확도를 달성하기 위한 CNC 가공 ;
- 표면 결함을 줄이기 위한 연삭 및 광택 처리 등의 표면 마감 처리
- 다양한 비파괴 검사 기술 (초음파, X 선 CT)을 통해 내부 품질을 보장합니다.

5.6.5 일반적인 사례

- 5G 기지국 RF 전력 모듈 방열 브라켓
 - o 텅스텐 합금 막대는 고전력 증폭기 모듈을 지지하여 방열 효율성과 기계적 안정성을 보장합니다.
 - o 장비의 신뢰성과 서비스 수명을 향상시킵니다.
- 하이엔드 서버 칩 냉각 모듈
 - o 텅스텐 합금 방열판 구조를 사용하여 칩 온도 제어를 개선합니다.
 - o 열 스트레스를 줄이고 장기적으로 안정적인 작동을 보장합니다.
- 레이저 기계 지원
 - o 텅스텐 합금 브라켓은 레이저 경로의 안정성을 보장합니다.
 - o 진동 방지 설계로 광학적 오류가 줄어듭니다.

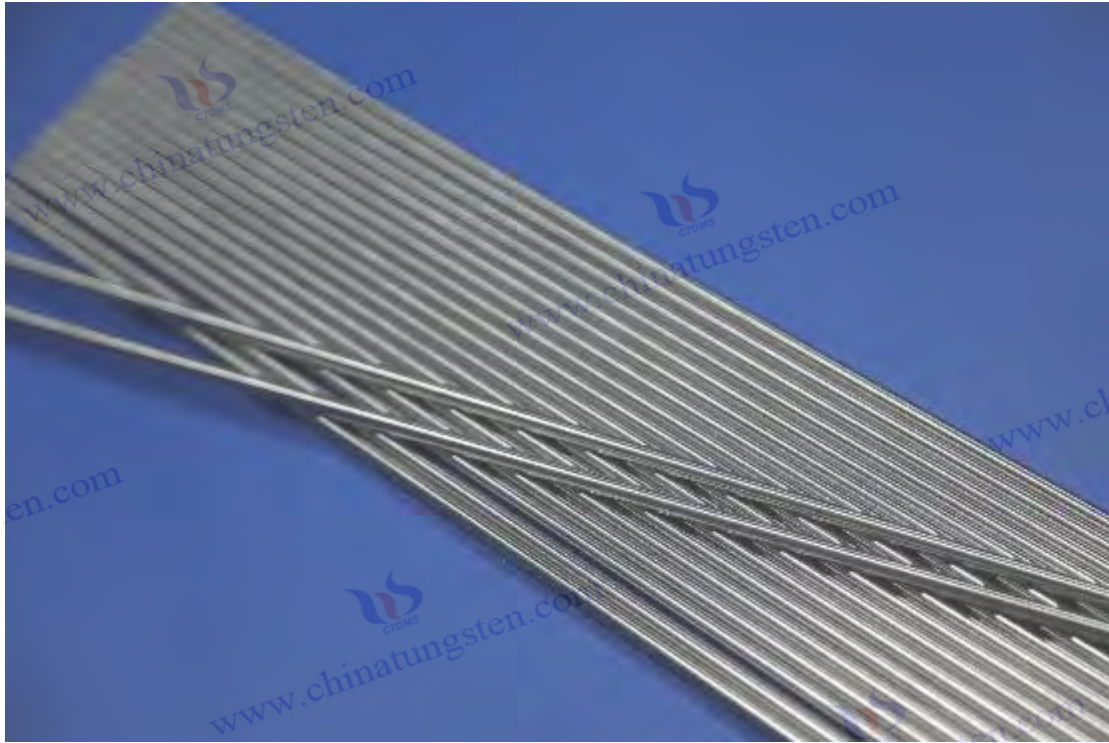
5.6.6 개발 동향 및 기술 전망

- 나노구조 텅스텐 합금의 열 관리 성능이 향상되어 더욱 효율적인 방열이 실현되었습니다.
- 텅스텐 합금과 탄소 기반 소재를 사용하여 전체 무게를 줄이는 동시에 방열 성능을 보장합니다.
- 복잡한 방열 구조와 장치 지지대를 제조하기 위해 적층 제조 기술을 통합합니다 .
- 지능형 방열 시스템은 텅스텐 합금 소재와 결합되어 실시간 온도 제어와 적응형 방열을 구현합니다.

요약

텅스텐 합금 봉은 전자 산업 및 통신 장비의 지지 및 방열 구조에 사용됩니다. 높은 밀도, 높은 열전도도, 그리고 기계적 안정성 덕분에 장비의 성능과 신뢰성을 크게 향상시킵니다. 전자 장비의 전력 밀도가 지속적으로 증가하고 소형화 추세에 따라 텅스텐 합금의 역할은 더욱 중요해질 것이며, 이는 산업이 효율적이고 지능적인 발전을 향해 나아가는 데 기여할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 6 장 특수 텅스텐 합금봉의 연구, 개발 및 업그레이드

6.1 나노입자 강화 텅스텐 합금 막대

첨단 장비 제조 및 극한 작업 환경으로 인해 텅스텐 합금의 성능에 대한 요구가 높아짐에 따라, 기존 텅스텐 합금의 강도, 인성 및 열 안정성에 대한 병목 현상이 점차 뚜렷해지고 있습니다. 나노입자 강화 기술은 소재의 성능 한계를 극복하는 핵심 방법 중 하나로 자리 잡았습니다. 텅스텐 합금 매트릭스에 나노 크기의 강화상을 균일하게 분산시킴으로써 소재의 전반적인 성능을 효과적으로 향상시키고 텅스텐 합금의 응용 분야를 확대할 수 있습니다.

나노입자 강화 텅스텐 합금의 설계 개념

나노입자 강화 텅스텐 합금 막대는 주로 다음과 같은 설계 개념을 기반으로 합니다.

- **나노입자 강화 효과** : 나노 크기의 입자가 매트릭스 내에 2 차상으로 균일하게 분포되어 결정립계 이동 및 전위 이동을 방해하고 강도와 경도를 향상시킵니다.
- **계면 강화** : 나노입자와 텅스텐 매트릭스가 단단히 결합되어 강력한 계면을 형성하여 재료의 인성과 파괴 인성을 향상시킵니다.
- **향상된 열 안정성** : 나노입자는 결정립 경계를 고정하고, 고온에서 결정립 성장을 억제하고, 미세한 결정립 구조를 유지하며, 고온 성능을 유지할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

- **향상된 방사선 저항성** : 나노입자는 방사선 결합에 대한 포획 지점 역할을 하여 핵 에너지와 같은 고방사선 환경에서 텅스텐 합금의 수명을 늘립니다.

6.1.2 일반적으로 사용되는 나노강화상소재 및 그 특성

나노입자 소재	주요 특징	장점	응용 프로그램 초점
, Al ₂ O ₃ 등)	우수한 열 안정성 및 화학적 불활성	고온 패시베이션, 입자 안정화	고온 내식성, 고강도 및 인성 텅스텐 합금
TiC 등)	높은 경도, 내마모성	경도와 내마모성이 크게 향상되었습니다.	공구소재, 기계부품
규산염 및 복합산화물	우수한 열팽창 매칭 및 더 나은 인성	열응력을 줄이고 열기계적 특성을 개선합니다.	전자 패키징, 열적으로 안정된 구조
탄소나노튜브와 그래핀 유도체	높은 전도성, 높은 강도	강도와 전도성이 크게 향상되었습니다.	기능성 텅스텐 합금, 전자기 응용

나노입자 강화 텅스텐 합금의 제조 공정

나노입자 강화 텅스텐 합금은 고정밀 분말 혼합 및 성형 기술을 사용합니다. 주요 공정은 다음과 같습니다.

1. 나노입자 분말 제조 및 분산

- o 나노입자는 화학적 침전, 분무 건조, 기계적 합금화 등을 통해 제조됩니다.
- o 초음파 분산과 고에너지 볼 밀링 기술을 사용하여 텅스텐 분말에 나노입자를 균일하게 분산시켜 응집을 방지합니다.

2. 분말 혼합 및 전처리

- o 나노입자와 텅스텐 분말은 불활성 분위기에서 완전히 혼합되어 깨끗한 계면을 보장합니다.
- o 일부 공정에서는 분말 유동성을 개선하기 위해 분산제와 결합제를 첨가합니다.

3. 성형 및 프레스

- o 냉간 등방성 프레스(CIP), 다이 프레스 또는 열간 등방성 프레스(HIP)로 성형합니다.
- o 열간 등방성 압축은 높은 밀도와 낮은 기공률을 가진 고밀도 구조를 얻을 수 있습니다.

4. 소결 및 열처리

- o 고온 진공 소결은 텅스텐 매트릭스와 나노입자 사이의 계면 결합을 촉진합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 적절한 열처리는 결정립 크기를 조절하고 상분포를 강화할 수 있습니다.

5. 가공 및 표면 처리

- 필요한 크기와 모양을 얻기 위한 정밀 가공
- 표면 연마 및 코팅으로 성능이 향상됩니다.

6.1.4 성능 개선 메커니즘 분석

• 강화 메커니즘

- 나노입자는 전위 운동을 방지하는 장벽 역할을 하여 인장 강도와 항복 강도를 크게 증가시킵니다.
- 나노입자는 입자를 미세화하고, 경도를 높이고, 인성을 향상시킵니다.
- 입자 강화 계면은 결정립 경계를 효과적으로 고정하고 고온 결정립 조대화를 방지할 수 있습니다.

• 열 안정성 및 내식성

- 나노입자의 열 안정성은 재료의 고온 서비스 성능을 향상시킵니다.
- 수동화 층을 형성하면 산화 부식이 억제되고 수명이 연장됩니다.

• 방사선 손상 억제

- 나노입자는 방사선에 의해 생성된 결함을 포착하여 전위 미끄러짐과 공식 응집을 줄입니다.
- 핵반응로와 같은 환경에서 텅스텐 합금의 조사 안정성을 향상시킵니다.

6.1.5 적용 사례 및 효과 검증

• 원자력 에너지용 텅스텐 합금 막대

- 나노 Y_2O_3 입자를 첨가하면 고온 및 방사선 조사 조건에서 더 나은 구조적 안정성과 방사선 저항성을 보입니다.
- 기존 텅스텐 합금보다 30% 이상 더 깁니다.

• 고온 항공기 엔진 부품

- 나노 $-TiC$ 강화 텅스텐 합금은 열 피로 저항성을 크게 향상시켰습니다.
- 재료의 강도는 20~40% 증가하고, 인성도 현저히 향상되었습니다.

• 전자 패키징 방열판 재료

- 나노 $-Al_2O_3$ 강화 텅스텐 합금은 열전도도와 열팽창 매칭을 개선하여 열 응력을 감소시킵니다.
- 향상된 열 안정성으로 장기적으로 안정적인 작동이 보장됩니다.

6.1.6 개발 동향 및 과제

• 다성분 나노복합 강화 시스템

- 여러 나노입자를 결합하여 시너지 효과를 높이고 성능 한계에 도달합니다.

• 나노입자 계면 공학

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 입자와 매트릭스 사이의 계면 구조를 최적화하고, 계면 접합 강도와 인성을 향상시킵니다.
- **친환경 저비용 제조 기술**
 - 나노입자 제조 및 합성 공정 비용을 절감하고 산업화 가능성을 높입니다.
- **나노입자의 크기와 분포를 정밀하게 제어**
 - 고급 특성화 기술을 사용하여 정밀한 재료 설계를 위한 미세구조의 실시간 모니터링.

요약

나노입자 강화 텅스텐 합금 봉은 고성능 나노 강화상을 도입하여 텅스텐 합금의 강도, 인성, 고온 안정성 및 내방사선성을 크게 향상시킵니다. 이는 원자력, 항공우주, 전자 등 첨단 분야에서 텅스텐 합금을 적용하기 위한 견고한 소재 기반을 제공합니다. 앞으로 나노소재 제조 및 복합재 기술의 지속적인 발전으로 나노입자 강화 텅스텐 합금은 더욱 폭넓은 적용 가능성과 더욱 뛰어난 성능을 보여줄 것입니다.

미세합금 텅스텐 합금봉의 설계 및 성능 개선

미세합금 기술은 텅스텐 합금 매트릭스에 미량의 합금 원소를 첨가하여 미세한 2 차상 입자 또는 고용체 강화를 형성함으로써 재료의 기계적 특성과 열적 안정성을 향상시키는 효과적인 방법입니다. 기존 합금화 방식과 비교했을 때, 미세합금 기술은 적은 양, 낮은 비용, 그리고 상당한 성능 향상으로 인해 텅스텐 합금 봉의 성능을 최적화하는 중요한 전략으로 자리 잡았습니다.

6.2.1 미세합금 설계 개념

미세합금화의 핵심은 미량 합금 원소를 첨가하여 다음과 같은 목표를 달성하는 것입니다.

- **고용체 강화** : 합금 원소가 텅스텐 기지 내에 고용체 형태로 균일하게 분포되어 격자 변형이 증가하고 전위 이동이 방해됩니다.
- **침전 강화** : 작고 균일하게 분포된 2 차상 침전물을 형성하고, 전위와 결정립계를 고정하며, 강도와 인성을 향상시킵니다.
- **입자 미세화** : 입자 성장을 억제하고, 미세구조를 최적화하며, 재료의 종합적인 기계적 성질을 개선합니다.
- **고온 성능 향상** : 재료의 열 안정성과 크리프 저항성을 개선하고 서비스 수명을 연장합니다.
- **공정 적응성 최적화** : 소재의 성형 및 가공 성능을 개선하고 가공의 어려움을 줄입니다.

6.2.2 일반적으로 사용되는 미세합금 원소 및 그 작용 메커니즘

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합금 원소	작용 기전	일반적인 효과
티타늄(Ti)	안정된 탄화물 또는 산화물을 형성하고 입자를 미세화합니다.	강도, 인성 및 내마모성을 향상시킵니다.
니오븀(Nb)	고용체 강화 및 석출 강화	고온 강도 및 내식성 향상
바나듐(V)	안정적인 2 차상 입자를 형성하기 위한 침전 강화	항복 강도 및 피로 저항성 향상
알루미늄(Al)	고용체 강화, 구조 균일성 향상	고온 산화 저항성 및 인성 향상
지르코늄(Zr)	안정된 산화물 입자를 형성하여 결정립 경계를 고정합니다.	고온 기계적 성질 및 항산화 능력 향상
구리(Cu)	결정립계 강화를 촉진하고 가소성을 향상시킵니다.	가공 성능을 최적화하고 포괄적인 기계적 특성을 개선합니다.

미세합금 텅스텐 합금봉의 제조 공정

1. 합금 원소 선정 및 첨가 방법

- 목표 성능에 따라 적절한 요소와 그 함량(일반적으로 0.1%-2% 범위 내의 미량)을 선택합니다.
- 균일한 분포를 보장하기 위해 고순도 합금 분말이나 원소 분말 혼합물을 사용합니다.

2. 분말 혼합 및 균질화

- 고에너지 볼 밀링, 기계적 합금화 및 기타 기술을 사용하여 합금 원소와 텅스텐 분말의 균일한 혼합을 달성합니다.
- 볼 밀링 매개변수를 제어하여 과도한 분쇄 및 응집을 방지합니다.

3. 성형 및 소결

- 밀도를 보장하기 위해 냉간 정수압 압축, 성형 및 기타 방법을 사용합니다.
- 고온 소결 공정은 합금 원소의 확산과 두 번째 상의 침전을 촉진합니다.

4. 열처리 및 가공

- 적절한 열처리는 합금 원소를 활성화하고 강화 단계를 형성합니다.
- 정밀 가공을 통해 최종 치수와 표면 품질이 보장됩니다.

6.2.4 성능 향상 효과

• 기계적 특성이 크게 향상됨

- 인장 강도와 항복 강도가 10%-30% 증가하고, 일부 고성능 미세 합금 텅스텐 합금 막대는 1000MPa 이상에 도달할 수도 있습니다.
- 신장성과 파괴인성이 향상되고, 충격 저항성이 강화됩니다.

• 향상된 열 안정성 및 고온 강도

- 미세합금 원소의 침전 강화는 입자 성장을 억제하고, 재료는 고온에서 안정적인 조직 구조를 유지합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 고온 응용 분야에 적합한 향상된 크립 저항성.
- 향상된 부식 및 산화 저항성
 - 고온 산화 및 화학적 부식을 방지하기 위해 안정적인 수동화층을 형성합니다.
 - 재료의 수명과 신뢰성을 향상시킵니다.
- 처리 성능 최적화
 - 미세합금 원소는 분말의 유동성과 성형성을 개선하여 가공의 어려움과 비용을 줄여줍니다.

6.2.5 응용 프로그램 예제

- 군사 분야의 텅스텐 합금 코어 소재
 - 미량의 Ti 와 Nb 를 첨가함으로써 높은 강도와 인성을 얻었으며, 장갑 관통 능력이 향상되었습니다.
 - 코어의 내마모성과 내열성이 크게 향상되었습니다.
- 항공우주 고온 구조 부품
 - 엔진의 고온 부품에 미세합금 텅스텐 합금을 사용하면 서비스 수명을 연장할 수 있습니다.
 - 고온 강도를 유지하고 열 피로 손상을 줄입니다.
- 의료 방사선 치료 장비의 텅스텐 합금 막대
 - Zr 과 V 원소를 미량 첨가하면 내마모성과 내부식성이 향상되고 장비 수명이 연장될 수 있습니다.

6.2.6 개발 동향 및 과제

- 미세 합금 원소 함량 및 분포의 정밀 제어
 - 고급 특성화 기술을 사용하여 합금 설계를 최적화하고 정확한 성능 제어를 달성합니다.
- 다원소 시너지 증강 메커니즘 연구
 - 다양한 미세합금 원소 간의 상승효과를 살펴보고 성능을 더욱 향상시키세요.
- 녹색 및 환경 친화적 제조 기술
 - 환경보호 요구 사항을 충족하기 위해 저에너지 소모, 저오염 마이크로 합금 텅스텐 합금 생산 공정을 개발합니다.
- 산업화 및 대규모 적용
 - 비용 및 공정 복잡성 문제를 해결하고, 미세합금 텅스텐 합금이 더욱 다양한 분야에 널리 적용되도록 촉진합니다.

요약

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

미세합금 기술은 텅스텐 합금 봉에 미량의 기능성 합금 원소를 첨가하여 재료의 기계적 특성, 열 안정성 및 가공 성능을 다차원적으로 향상시킵니다. 이 기술은 텅스텐 합금의 응용 범위를 넓힐 뿐만 아니라 고성능 텅스텐 합금 소재의 연구 개발을 위한 효과적인 길을 제공합니다. 앞으로 제조 기술과 이론 연구의 심화로 미세합금 텅스텐 합금은 더욱 폭넓은 개발 전망을 제시할 것입니다.

6.3 고강도 및 인성 텅스텐 합금봉의 조성 제어

텅스텐 합금 막대는 항공우주, 군사 산업, 원자력 에너지와 같은 극한의 작업 환경에서 사용되며, 일반적으로 고강도와 고인성을 모두 갖춰야 합니다. 기존의 텅스텐 합금은 고강도에 중점을 두지만, 인성이 부족하여 파손되기 쉽습니다. 고강도 및 고인성 텅스텐 합금 막대를 제조하는 핵심 전략은 합금 조성을 정밀하게 제어하여 기지상과 제 2 상의 최적 조합을 달성하는 것입니다.

6.3.1 고강도 및 고강도 텅스텐 합금의 조성 제어를 위한 기본 원리

1. 주요 합금 원소 비율의 합리적인 선택

- 텅스텐 기지에서 니켈(Ni), 철(Fe), 구리(Cu)와 같은 주요 원소의 비율은 기지의 기계적 성질과 조직 구조를 결정합니다.
- 강도와 인성 사이의 균형을 맞추기 위해 Ni/Fe 비율과 구리 함량을 합리적으로 조정합니다.

2. 시너지 강화를 달성하기 위해 다양한 합금 원소 도입

- 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 바나듐(V) 등의 미량합금원소를 첨가함으로써 강화상을 형성하여 미세립 강화 및 석출 강화를 실현한다.
- 다양한 요소의 상승효과로 인해 계면 결합이 강화되고 전반적인 인성이 향상됩니다.

3. 불순물 원소의 함량을 제어합니다

- 산소, 탄소, 유황 등의 불순물을 줄이고, 취성상의 형성을 방지하며, 재료의 인성을 향상시킵니다.

4. 합금 조성 기울기 설계 최적화

- 경도와 인성의 구역별 분포를 달성하고 전반적인 성능을 개선하기 위해 경사 합금 설계가 채택되었습니다.

6.3.2 조직 구조에 대한 성분 조절의 영향

• 텅스텐 기지와 합금 원소 의 고용체 거동

텅스텐 기지에서 합금 원소의 고용체 강화는 강도를 향상시키지만 과도한 고용체는 인성을 감소시키므로 함량을 정밀하게 제어해야 합니다.

• 2차 상 침전물 형성

미세합금 원소에 의해 형성된 탄화물과 산화물 입자는 침전상으로 작용하여 결정립을 미세화하고 균열 전파를 방해합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 입자 크기와 분포

조성 제어는 입자 크기에 영향을 미치고, 입자 성장을 억제하여 인성과 피로 성능을 향상시킵니다.

6.3.3 일반적인 고강도 및 고인성 텅스텐 합금 구성 설계

성분 시스템	주요 특징	성능
W-Ni-Fe-Cu-Ti-Zr	다중 미세 합금 원소, 입자 미세화 및 침전 강화	강도는 20~30% 증가, 인성은 크게 향상
W-Ni-Fe-Cu-V-Al	시너지 효과로 고용체와 석출 강화, 뛰어난 피로 저항성	향상된 충격 인성 및 연장된 피로 수명
W-Ni-Cu-미량 희토류 원소	희토류 원소는 결정립계 결합을 개선하고 취성 파괴를 방지합니다.	파괴인성 증가 및 내열성 향상

6.3.4 성분 규제에 의한 성능 개선 메커니즘

- 계면 강화 및 균열 고정

작은 2 차상 입자는 결정립 경계의 결합력을 강화하고 균열이 결정립 경계를 따라 확장되는 것을 방지합니다.

- 결정립 미세화 및 전위 방해

조성 조절은 결정립 미세화를 촉진하고, 전위 이동 저항성을 증가시키며, 강도와 가소성을 향상시킵니다.

- 고용체 강화 및 인성 최적화

고용체 원소의 함량을 정밀하게 제어하여 강도와 인성 간의 관계를 균형 있게 유지합니다.

6.3.5 적용 분야 및 효과 검증

- 군사용 장갑 관통 심재의

고강도, 고강도의 텅스텐 합금봉은 관통력과 내마모성을 크게 향상시키고, 취성 파괴 위험을 감소시킵니다.

- 항공기 엔진의 고온 내구성 구조 부품을 사용하면

고온 환경에서 재료의 인성과 강도를 모두 보장하여 안전성을 향상시킬 수 있습니다.

- 원자력 장비의 방사선 차단 부품을 사용하면

서비스 수명이 연장되고 유지 보수 비용이 절감됩니다.

6.3.6 향후 개발 방향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **계산 재료 설계는**
계산 시뮬레이션을 사용하여 구성과 성능 간의 관계를 정확하게 예측하여 맞춤형 고강도 및 고인성 텅스텐 합금을 생산할 수 있습니다.
- **첨단 합성기술은 성분설계**
, 열처리, 열간등방압착 등의 기술과 결합되어 성분조절의 효과를 더욱 강화할 수 있습니다.
- **나노 수준부터 거시 수준까지 다중 스케일 구조 조절을 통해 성능 최적화를 달성합니다.**

요약

고강도 및 인성 텅스텐 합금 봉재의 조성 제어는 합금 원소의 종류와 비율을 정밀하게 설계하고 미세 구조를 최적화함으로써 강도와 인성을 시너지 효과로 향상시킵니다. 이러한 전략은 텅스텐 합금의 취성 문제를 해결할 뿐만 아니라 극한 작업 조건에서도 폭넓게 적용할 수 있는 탄탄한 기반을 마련합니다. 재료 설계 이론과 제조 기술의 발전으로 고강도 및 인성 텅스텐 합금의 성능은 지속적으로 향상될 것이며, 관련 산업의 기술 발전을 촉진할 것입니다.

6.4 고온 내열 텅스텐 합금봉의 열처리에 관한 연구

텅스텐 합금은 높은 용점, 고밀도, 그리고 우수한 기계적 성질로 인해 고온 환경에서 널리 사용됩니다. 그러나 텅스텐 합금은 극한의 고온 조건에서 결정립 성장, 구조적 불안정성, 그리고 성능 저하를 겪기 쉽습니다. 열처리는 텅스텐 합금의 미세 구조와 특성을 조절하는 핵심 공정이며, 텅스텐 합금의 고온 저항성을 향상시키는 중요한 수단입니다.

6.4.1 텅스텐 합금 열처리의 목적 및 의의

- **균일성 향상** : 적절한 어닐링 및 숙성 공정을 통해 내부 응력을 제거하고 입자 크기를 균일하게 만듭니다.
- **기계적 특성 개선** : 입자 크기와 2 차상 침전을 최적화하여 강도와 인성을 향상시킵니다.
- **고온 성능 안정화** : 입자 성장 억제, 고온 크리프 및 연화 지연
- **내식성 향상** : 표면 열처리를 통해 산화피막의 밀도와 안정성을 향상시킵니다.

6.4.2 일반적으로 사용되는 열처리 공정 및 매개변수

프로세스 유형	온도 범위(°C)	절연 시간	주요 기능
---------	-----------	-------	-------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

가열 냉각	800~1200	1~5 시간	내부 응력을 제거하고 곡물을 정제합니다.
노화	500~900	2~10 시간	2 단계의 침전을 촉진하고 매트릭스를 강화합니다.
용액 처리	1200~1400	0.5~3 시간	상을 용해하고 조성을 균일하게 만듭니다
표면 열처리(질화/침탄)	900~1100	1~4 시간	표면 경도 및 산화 저항성 향상

6.4.3 열처리가 미세조직에 미치는 영향

- 입자 크기 제어:

적절한 어닐링 온도는 입자를 미세화하고, 과도한 입자 성장을 방지하며, 재료의 강도와 인성 사이의 균형을 유지할 수 있습니다.

- 2상 침전 및 분포

시효 처리는 강화상의 미세하고 균일한 침전을 촉진하고 전위의 이동을 방해하는 효과를 향상시킨다.

- 내부 응력 제거

어닐링 공정은 가공 잔류 응력을 방출하고, 응력 집중을 줄이며, 취성 파괴 위험을 낮춥니다.

6.4.4 고온 저항성 향상 메커니즘

- 입자 미세화는

미세하고 균일한 입자 구조를 강화하여 고온 크리프 저항성과 피로 수명을 향상시킵니다.

- 침전된 상은

안정적인 2 차 상 입자를 강화하고 결정립 경계를 고정하여 결정립 경계 이동을 방해하고 고온 강도를 향상시킵니다.

- 산화피막 보호:

표면 열처리로 치밀한 산화피막을 형성하여 산화부식을 차단하고 항산화 특성을 향상시킵니다.

6.4.5 대표적인 연구 결과 및 사례

- 고온 어닐링 최적화

연구에 따르면 1100°C 에서 3 시간 동안 어닐링하면 결정립이 상당히 미세화되고, 텅스텐 합금의 인장 강도가 15% 증가하고, 신장률이 10% 증가하는 것으로 나타났습니다.

- 시효 강화 효과

650°C에서 6 시간 시효 처리 후, 강화상이 균일하게 침전되고 재료의 고온 크리프율이 20% 감소합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **표면 질화 처리**

표면 질화 처리로 경도가 40% 증가하고, 산화 온도가 약 200℃ 증가하며, 산화 저항성이 크게 향상됩니다.

6.4.6 열처리 공정 최적화 전략

- **다단계 열처리 공정 설계는**

어닐링, 용액 처리, 시효를 결합하여 조직 구조를 조정적으로 조절합니다.

- **정밀한 온도 제어 및 분위기 제어는**

진공 또는 보호 분위기를 사용하여 2 차 산화를 방지하고 열처리 효과를 보장합니다.

- **열처리는 성형 공정과 연계되어**

이전 성형 공정의 특성에 따라 열처리 계획을 맞춤화하여 조직 손상을 방지합니다.

6.4.7 개발 동향 및 과제

- **지능형 열처리 기술은**

온라인 모니터링과 제어를 활용하여 열처리 공정을 실시간으로 최적화합니다.

- **고온 서비스 성능의 장기 평가**

열처리가 고온 크리프 및 피로 특성에 미치는 영향에 대한 심층 연구.

- **미세구조와 성능을 결합하여 열처리 공정 설계를 안내하는**

다중 규모 시뮬레이션 도구를 개발합니다 .

요약

열처리 기술은 텅스텐 합금 봉의 고온 저항성을 향상시키는 핵심 요소입니다 . 과학적이고 합리적인 열처리 공정 설계를 통해 미세 구조를 효과적으로 제어하고, 강도, 인성 및 고온 안정성을 향상시켜 항공우주, 원자력 등 다양한 분야에서 고온 텅스텐 합금 소재에 대한 엄격한 요구 사항을 충족할 수 있습니다. 앞으로 지능형 디지털 열처리 기술은 텅스텐 합금 열처리 공정을 한 단계 더 발전시킬 것입니다.

6.5 표면 코팅 및 내마모성 강화 텅스텐 합금 막대

텅스텐 합금 봉은 고밀도 및 고강도라는 장점을 가지고 있지만, 고응력, 마찰 또는 부식 환경에서는 노출된 텅스텐 합금 표면이 마모, 산화 및 부식되기 쉬워 수명과 성능 안정성에 영향을 미칩니다. 표면 코팅 기술은 텅스텐 합금의 표면 성능을 향상시키는 핵심 수단입니다. 보호층을 형성하여 내마모성과 내부식성을 크게 향상시키며, 이는 특수 텅스텐 합금 봉 연구 개발의 중요한 방향입니다.

6.5.1 텅스텐 합금 표면의 마모 및 부식 메커니즘

- **기계적 마모**

텅스텐 합금의 접촉 및 마찰 과정에서 표면 재료는 마찰과 전단력으로 인해

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

소성 변형과 피로 균열을 겪으며, 이로 인해 재료가 벗겨지고 연마 입자가 떨어집니다.

- **화학적 부식 및 산화**
고온이나 부식성 매체의 작용으로 텅스텐 합금 표면에 산화물 층이나 부식 생성물이 형성되어 표면 강도가 감소하고 벗겨지기 쉽고 마모가 심화됩니다.
- **피로 마모와 계면 열화로 인한**
반복 하중으로 인해 미세 균열이 확산되고, 표면 코팅이 벗겨지며, 보호 효과가 사라집니다.

6.5.2 표면 코팅 재료의 선택

코팅 유형	주요 특징	장점 및 응용 분야
경질 세라믹 코팅 (예 : TiN, CrN, Al ₂ O ₃)	높은 경도, 내마모성, 고온 저항성	기계부품, 금형 및 내마모부품
탄소 기반 코팅(다이아몬드, 질화탄소 등)	매우 높은 경도, 낮은 마찰 계수	정밀기기, 절삭공구
NiCr 등)	인성, 내마모성, 내식성이 우수합니다.	고부하 기계 부품
다층 기능성 코팅	경도, 인성 및 산화 저항성의 조합	복잡한 서비스 환경에서의 포괄적인 성능 요구 사항

6.5.3 표면 코팅 제조 기술

- **물리 기상 증착(PVD)은**
증발 또는 스퍼터링을 이용하여 단단한 막을 증착합니다. 코팅은 치밀하고 결합력이 강하여 고정밀 텅스텐 합금 부품에 적합합니다.
- **화학 기상 증착(CVD)은**
화학 반응을 이용해 균일한 코팅을 형성하는데, 이는 복잡한 모양의 부품에 적합하며 우수한 고온 내구성을 가지고 있습니다.
- **용사 기술은**
용융 입자를 분사하여 코팅을 증착하는 기술입니다. 두꺼운 코팅 및 보수 작업에 적합하며, 코팅의 인성이 우수합니다.
- **레이저 표면 클래딩은**
레이저를 사용하여 분말 재료를 녹여 코팅과 기질 사이에 금속적 결합을 달성함으로써 코팅을 내마모성과 내부식성으로 만듭니다.
- **전기 도금과 전기 화학 증착은**
표면 전도성과 내식성을 개선하기 위해 금속 코팅을 증착하는 데 적합합니다.

6.5.4 표면 코팅을 통한 텅스텐 합금 성능 향상

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **경도와 내마모성이 크게 향상됩니다.**
코팅은 기질보다 경도가 높아 마찰, 마모 및 표면 소성 변형을 효과적으로 방지합니다.
- **내식성과 산화 저항성을 강화하여**
안정적인 보호막을 형성하고, 부식성 매체를 격리하며, 산화 과정을 지연시킵니다.
- **표면 마찰 성능을 개선하고**
, 마찰 계수를 낮추고, 열 발생과 재료 손실을 줄입니다.
- **고온 서비스 성능을 향상시킵니다.**
본 코팅은 우수한 고온 내성을 가지며 고온 환경에서 구조적 안정성을 보장합니다.

6.5.5 내마모성 강화 텅스텐 합금 막대의 설계 전략

- **코팅과 기질의 매칭 설계**
는 코팅의 열팽창 계수를 기질의 열팽창 계수와 일치시켜 고온에서 열 응력으로 인한 코팅의 균열 및 벗겨짐을 방지합니다.
- **다층 복합 코팅 기술은**
단단한 층과 강한 층을 사용하여 내마모성과 내충격성을 결합합니다.
- **표면 거칠기 최적화:**
코팅 전 세부적인 표면 처리를 통해 코팅 접착력을 향상시킵니다.
- **코팅 두께 및 균일성 제어**
코팅 두께를 합리적으로 설계하여 두께 불균일로 인한 성능 저하를 방지합니다.

6.5.6 적용 사례

- **항공우주 엔진 터빈 블레이드 의 텅스텐 합금 코팅**
채택 TiN / Al₂O₃ 복합 코팅은 내마모성을 50% 향상시키고 블레이드 수명을 크게 연장합니다.
- **군용 장갑관통 코어 코팅 기술:**
단단한 카바이드 코팅은 코어 표면의 경도를 높이고 관통력과 내마모성을 향상시킵니다.
- **전자 방열 부품 표면의**
열전도성과 내식성이 향상되어 장비의 장기적이고 안정적인 작동이 보장됩니다.

6.5.7 개발 동향 및 과제

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **나노구조 코팅의 개발**
나노결정 코팅은 밀도가 높고, 경도와 인성을 모두 갖추고 있으며, 내마모성이 더 뛰어납니다.
- **지능형 코팅 기능 통합은**
자체 복구, 항균, 부식 방지 등의 기능을 결합하여 적용 분야를 확장합니다.
- **환경 친화적인 코팅 기술과**
친환경 제조 공정은 환경 영향을 줄이고 산업의 지속 가능성을 향상시킵니다.
- **코팅과 기질 사이의 계면 엔지니어링 최적화는**
계면 접합 강도를 향상시키고 코팅 벗겨짐과 피로 파괴를 방지합니다.

요약

표면 코팅 기술은 텅스텐 합금 막대에 효율적인 내마모성 및 내부식성을 제공하여 극한 환경에서의 사용 수명과 성능 안정성을 크게 향상시킵니다. 첨단 코팅 재료 및 제조 공정의 지속적인 개발을 통해 내마모성이 강화된 텅스텐 합금 막대는 항공우주, 군사 산업 및 고급 제조 분야에서 더욱 중요한 역할을 할 것입니다. 앞으로 코팅 기능의 다양화 및 지능화는 기술 개발의 새로운 방향이 될 것입니다.

6.6 기능성 텅스텐 합금봉 : 전기전도도, 열전도도, 항자성

고밀도, 고성능 소재인 텅스텐 합금 막대는 우수한 기계적 특성과 고온 안정성을 가질 뿐만 아니라, 현대 산업 및 첨단 기술 분야에서 다기능 소재에 대한 수요가 증가하고 있습니다. 전기 전도성, 열 전도성, 항자성 등 기능성 텅스텐 합금 막대는 점차 연구 개발의 초점이 되고 있습니다. 소재 설계 및 공정 제어를 통해 텅스텐 합금 막대의 기능성을 향상시키고, 응용 분야를 확장하며, 전반적인 성능을 향상시킬 수 있습니다.

전도성 텅스텐 합금 막대의 설계 및 응용

- **디자인 원칙**
 - 우수한 기계적 특성을 유지하면서 합금의 전기 전도도를 향상시킵니다.
 - 합금 원소의 종류와 함량을 최적화하여 전자 이동의 장애물을 줄입니다.
 - 미세구조를 제어하고 결정립계와 결함이 저항에 미치는 영향을 줄입니다.
- **일반적인 합금 원소**
 - 구리(Cu)는 전도성이 뛰어난 원소로, 텅스텐 합금의 전도성을 개선하는 데 자주 사용됩니다.
 - 은(Ag)과 니켈(Ni)과 같은 원소를 적절히 첨가하면 전도성과 기계적 특성의 균형을 맞추는 데 도움이 됩니다.
- **적용 분야**
 - 전자 포장재;
 - 진공 전자소자의 전극 재료

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 고주파 회로에 대한 방열 지원.
- 성능 특성
 - 저항률은 마이크로옴-cm 수준으로 낮아질 수 있습니다.
 - 동시에 높은 강도와 열 안정성을 유지합니다.
 - 가공성이 좋고 치수 안정성이 우수합니다.

열전도성 텅스텐 합금 막대의 설계 및 응용

- 디자인 전략
 - 텅스텐 자체의 높은 열전도도를 활용하고, 높은 열전도도 합금 원소와 결합하여 전체 열전도도를 개선합니다.
 - 미세구조를 최적화하고 열 저항 인터페이스를 줄입니다.
 - 산란 효과를 줄이기 위해 입자 미세화 및 결합 제어 공정을 적용합니다.
- 일반적인 합금 시스템
 - 텅스텐-구리(W-Cu) 복합 합금은 높은 열전도도가 필요한 분야에서 널리 사용됩니다.
 - 미세합금 및 나노구조 설계를 통해 열전도도를 향상시킵니다.
- 응용 프로그램 시나리오
 - 고전력 전자소자용 방열부품;
 - 항공기 엔진 연소실 및 열교환기
 - 레이저 및 원자로의 열 관리 구성 요소 .
- 성능 이점
 - 열전도도는 순수 텅스텐보다 훨씬 뛰어나며 $200 \text{ W / (m \cdot K)}$ 이상에 이릅니다 .
 - 높은 밀도, 높은 강도, 뛰어난 열 안정성을 갖추고 있습니다.

반자성 텅스텐 합금봉의 설계 및 응용

- 디자인 목표
 - 강한 자기장 환경에서 텅스텐 합금을 비자성 또는 약자성으로 만듭니다.
 - 자기장 간섭을 방지하고 장비의 정상적인 작동을 보장합니다.
- 성분 관리
 - 철(Fe), 코발트(Co), 니켈(Ni) 등 강자성 원소의 함량을 줄인다.
 - 크롬(Cr), 망간(Mn) 등의 비자성 합금 원소를 첨가한다.
 - 고용체 강화와 2 차상 제어를 활용해 자기 반응을 줄입니다.
- 적용 분야
 - 자기공명영상(MRI) 장비
 - 고정밀 자기장 측정 장비
 - 입자가속기 및 원자로 구성 요소.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 성능
 - o 자기 투자율은 1(진공의 자기 투자율)에 가깝습니다.
 - o 우수한 기계적 및 고온 저항 특성을 유지합니다.
 - o 우수한 방사선 및 내식성.

기능성 텅스텐 합금봉의 제조 기술

- 정밀 분말 야금 기술은
분말 순도와 입자 크기를 제어하여 균일한 구성을 보장하고 결함을 줄입니다.
- 첨단 열처리 기술로
미세구조를 조절하고 기능적 성능을 최적화합니다.
- 표면 개질 기술은
전도성 코팅, 내마모성 코팅 등 표면 기능을 개선합니다.
- 적층 제조는
다기능적 요구 사항을 충족하기 위해 복잡한 구조와 기능적 경사 설계를 가능하게 합니다.

6.6.5 향후 개발 동향

- 다기능 통합 설계는
복잡한 응용 분야 요구 사항을 충족하기 위해 전기 전도도, 열 전도도, 자기 저항성과 같은 여러 기능을 고려합니다 .
- 나노구조 조작은
나노기술을 사용하여 성능을 더욱 개선하고 안정성을 강화합니다.
- 스마트 소재 개발
환경 변화에 대응하고 적응형 성능 조절을 달성하는 스마트 텅스텐 합금 소재를 개발합니다.
- 녹색 및 환경 친화적인 제조 기술은
낮은 에너지 소비와 낮은 오염 제조 공정을 촉진하고 지속 가능한 개발을 촉진합니다.

요약

기능성 텅스텐 합금 봉은 합리적인 조성 설계와 공정 최적화를 통해 전기 전도성, 열 전도성, 항자성 등 다양한 특수 기능을 성공적으로 달성하여 첨단 기술 분야에서 텅스텐 합금의 적용 범위를 크게 확대했습니다. 재료 과학 및 제조 기술의 지속적인 발전과 함께 기능성 텅스텐 합금 봉은 전자, 항공, 의료 등 여러 첨단 분야에서 점점 더 중요한 역할을 할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

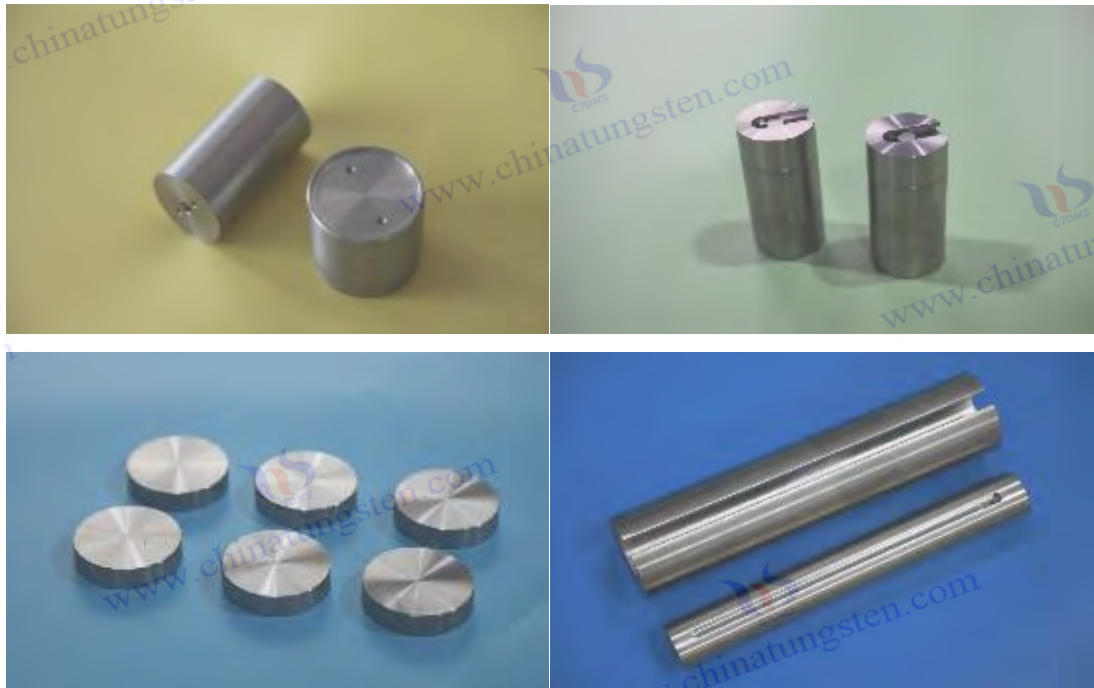
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

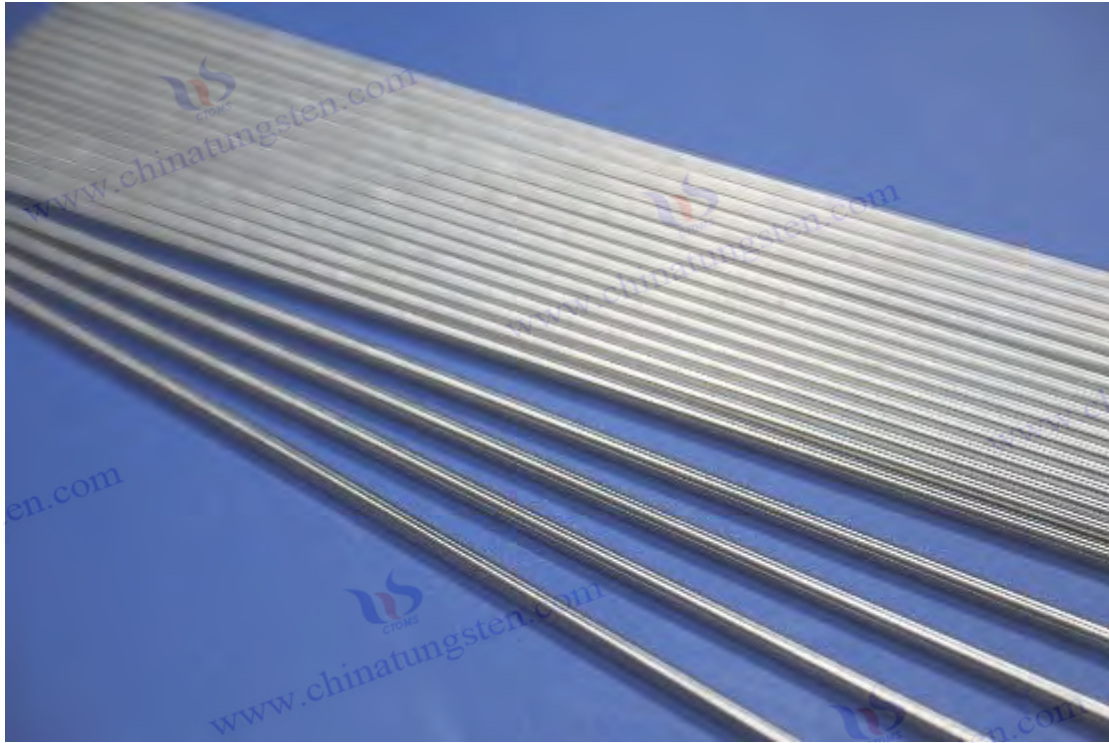
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



제 7 장 텅스텐 합금봉에 대한 규정 준수 시스템

7.1 중국 국가/산업 표준(GB/T, YS/T)

중요한 고성능 소재인 텅스텐 합금 봉은 산업 생산 및 적용 분야에서 엄격한 품질 및 성능 기준을 충족해야 합니다. 중국의 국가 표준(GB/T) 및 산업 표준(YS/T) 시스템은 텅스텐 합금 봉의 제조, 시험 및 적용에 대한 규제 기반을 제공하여 안정적인 제품 품질과 산업의 건전한 발전을 보장합니다.

7.1.1 중국 표준 시스템 개요

- **국가 표준(GB/T)**

국가 표준은 국가시장감독관리총국과 국가표준화국에서 발행하며, 재료 특성, 시험 방법, 기술 요건 등을 포괄하며 기업의 생산 및 품질 검사의 기준이 됩니다. 예: GB/T 23789-2017 "고비중 텅스텐 합금 재료" 및 GB/T 20211-2006 "텅스텐 합금 봉".

- **산업 표준(YS/T)**

은 관련 산업 기관에서 제정하며, 산업 특성에 따라 표준 요건을 개선하고 산업 내 기술 사양 및 평가에 적용됩니다. 예: YS/T 531-2014 "텅스텐 합금 및 텅스텐-구리 합금 재료에 대한 일반 기술 조건".

- **지방표준과 기업표준**

일부 지역과 기업은 실제 필요에 따라 경영을 개선하고 경쟁력을 강화하기 위해 보완표준을 제정합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1.2 주요 국가표준(GB/T)

표준 번호	표준 이름	주요 내용 및 응용
GB/T 23789-2017	고비중 텅스텐 합금 소재	텅스텐 합금 분류, 기술적 요구 사항, 성과 지표 등
GB/T 20211-2006	텅스텐 합금 막대	텅스텐 합금봉의 화학적 조성 및 기계적 성질 시험 방법
GB/T 13298-2009	텅스텐 합금 재료 기계적 특성 시험 방법	기계적 성질 시험 표준 및 시험 방법 표준화
GB/T 19290-2003	텅스텐 합금 재료 밀도 측정 방법	텅스텐 합금 밀도의 결정 및 오차 분석

7.1.3 주요 산업 표준(YS/T)

표준 번호	표준 이름	적용범위 및 특성
YS/T 531-2014	텅스텐 합금 및 텅스텐-구리 합금 재료에 대한 일반 기술 요구 사항	텅스텐 합금 및 텅스텐 구리 합금에 대한 기술 요구 사항의 세부 사양
YS/T 155-2012	고밀도 텅스텐 합금 제품	텅스텐 합금 제품의 제조 공정 및 성능 제어
YS/T 786-2016	텅스텐 합금 기계적 특성 시험 방법	정확한 시험 데이터를 보장하기 위한 기계적 특성 시험 표준

7.1.4 표준의 주요 사항

- **화학적 성분 관리**
기준은 텅스텐, 니켈, 철, 구리 등의 원소의 함량 범위와 불순물 한계를 명확히 정의하여 재료의 안정적인 성능을 보장합니다.
- **기계적 성능 지표는**
인장 강도, 항복 강도, 신율, 경도 등과 같은 주요 성능 지표를 지정하여 다양한 응용 프로그램 요구 사항을 충족합니다.
- **치수 정확도와 표면 품질은**
텅스텐 합금 막대의 치수 허용 오차, 표면 거칠기 및 결함 한계에 대한 구체적인 요구 사항을 제시합니다.
- **검사 및 시험 방법**
에는 밀도 측정, 금속조직 분석, 기계적 특성 시험 및 비파괴 검사 기술 표준이 포함되어 제품 품질을 제어할 수 있는지 확인합니다.

7.1.5 표준 구현 및 감독 관리

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

- **제조기업의 책임**
기업은 제품이 사양을 충족하는지 확인하기 위해 생산 및 검사에서 국가 및 산업 표준을 엄격히 따라야 합니다.
- **품질감독**
기관의 품질감독부서는 제품품질에 대한 기준의 시행 및 무작위 검사를 감독하는 업무를 담당합니다.
- **인증 및 테스트 기관**
제 3 자 인증 기관은 회사와 제품에 대한 품질 인증을 제공하여 시장 수용도를 높입니다.

7.1.6 표준 업데이트 및 개발 동향

- **첨단 애플리케이션 요구 사항에 맞춰**
항공우주, 원자력 산업 및 기타 분야의 기술이 업그레이드됨에 따라 성능 지표와 감지 정확도를 개선하기 위해 표준이 지속적으로 개선되고 있습니다.
- **환경 및 안전 기준을 통합함으로써**
녹색 제조 및 국제 규정 준수 요구 사항에 맞춰 환경 보호 및 안전 성과 사양이 강화됩니다 .
- **국제적 통합과 조율은**
ISO 및 기타 국제 표준과의 통합을 촉진하고, 중국 텅스텐 합금봉 산업의 국제화를 촉진합니다.

요약

중국의 텅스텐 합금봉 국가 표준(GB/T) 및 산업 표준(YS/T) 시스템은 텅스텐 합금 봉의 생산 및 적용에 대한 포괄적인 기술 지원과 품질 보증을 제공합니다. 기술 발전과 시장 수요 변화에 따라 표준 시스템은 지속적으로 개선되어 중국 텅스텐 합금봉 산업이 고품질 개발과 국제 경쟁력을 향해 꾸준히 나아가는 데 기여하고 있습니다.

7.2 미국 표준 시스템(ASTM, MIL)

미국은 첨단 제조 및 소재 기술 분야에서 세계 주요 국가로서 텅스텐 합금 봉의 생산, 시험 및 적용에 광범위한 영향력을 행사합니다. ASTM(미국재료시험학회) 표준과 MIL(미국군사규격)은 미국 텅스텐 합금 소재 규격의 핵심이며, 제품 성능이 민간 및 군수 분야의 엄격한 요건을 충족하도록 보장합니다.

7.2.1 ASTM 표준 시스템 개요

- ASTM International 은 국제적으로 유명한 표준 설정 기관으로서 재료 과학 및 산업 응용 분야의 개발을 촉진하기 위해 재료 특성, 시험 방법 및 품질 관리를 다루는 일련의 표준을 개발하는 역할을 담당합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

• 텅스텐 합금 과 관련된 ASTM 표준

ASTM 표준은 텅스텐 합금의 화학적 조성, 기계적 특성, 시험 방법 및 품질 평가를 체계적으로 규제합니다.

7.2.2 주요 ASTM 표준 및 적용

표준 번호	표준 이름	내용물
ASTM B777	텅스텐 및 텅스텐 합금 분말의 사양	분말 품질 요구 사항 및 검사 방법
ASTM B777-18	텅스텐 합금 밀도 및 기계적 특성 시험 표준	텅스텐 합금 밀도, 인장 강도 및 경도 시험
ASTM E8/E8M	금속재료 인장시험 규격	텅스텐 합금의 인장 시험 절차 표준화
ASTM B765	텅스텐 합금 재료의 화학 분석 방법	텅스텐 합금 조성의 분광 분석 및 검출 방법
ASTM E112	입자 크기 측정 표준	텅스텐 합금 미세 구조용

7.2.3 MIL(군사표준) 시스템 개요

• MIL 규격 시스템은

미국 국방부에서 제정한 군사 규격으로, 군용 제품에 대한 매우 높은 성능, 신뢰성 및 안전 요건을 제시합니다. 핵심 소재 중 하나인 텅스텐 합금의 경우, MIL 규격은 재료 준비, 성능 지표 및 품질 관리를 포괄합니다.

• MIL 표준의 특징은

재료의 성능과 환경 적응성에 중점을 둡니다. 이 규격은 엄격하고 실제 적용이 가능하며, 군용 탄약, 항공우주 및 원자력 장비에 널리 사용됩니다.

7.2.4 일반적인 MIL 표준 및 응용 프로그램

표준 번호	표준 이름	주요 내용
MIL-T-21005	텅스텐 합금 막대 및 제품	텅스텐 합금 막대의 구성, 기계적 특성 및 치수 사양
밀리터리 스탠다드-810	환경 공학 고려 사항 및 실험 시험 표준	혹독한 환경에서의 텅스텐 합금 소재
밀리터리 스탠다드-883	마이크로 전자 소자 재료 시험 방법	마이크로 전자 패키징의 텅스텐 합금

7.2.5 표준의 주요 사항

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

- **엄격한 화학 성분 및 불순물 관리**
MIL 표준은 재료 특성이 일관되고 군사적 적용의 높은 표준을 충족하도록 보장하기 위해 합금 성분 및 불순물 함량에 대한 엄격한 제한을 두고 있습니다.
- **포괄적인 기계적 특성 시험**
에는 인장 강도, 항복 강도, 신장, 경도 및 피로 성능이 포함되어 극한 조건에서 텅스텐 합금 막대의 신뢰성을 보장합니다.
- **환경 적응성 테스트:**
고온, 저온, 습도, 진동, 충격 및 기타 환경에 대한 자세한 테스트 계획을 개발합니다.
- **품질 관리 및 추적 시스템**
재료 품질의 전체 수명 주기 관리를 보장하기 위해 생산 공정 제어와 제품 추적을 강조합니다.

7.2.6 미국 표준 시스템의 장점 및 영향

- **높은 국제적 인정**
ASTM 및 MIL 표준은 전 세계적으로 널리 인정되고 채택되어 텅스텐 합금 막대의 국제 무역과 기술 협력을 촉진합니다.
- **기술 혁신**
표준을 촉진하고, 재료 성능과 시험 기술의 지속적 업그레이드를 촉진하며, 산업 기술 진보를 촉진합니다.
- **중요 애플리케이션의 안전을 보장합니다**
항공우주, 군사 및 원자력 산업에서 텅스텐 합금 소재의 안전하고 안정적인 사용을 보장하기 위해 엄격한 기준이 적용됩니다.

요약

미국의 ASTM 및 MIL 표준 시스템은 텅스텐 합금 봉재의 품질 관리 및 성능 보증을 위한 완벽한 프레임워크를 제공하여 민간용부터 군수용까지 다양한 요구를 충족합니다. 과학적이고 엄격한 표준 내용과 폭넓은 산업 적용 가능성은 전 세계적으로 텅스텐 합금 소재의 개발 및 적용을 촉진하는 데 긍정적인 역할을 해왔습니다.

7.3 EU 및 ISO 국제 표준

전 세계 텅스텐 합금 소재 무역 및 기술 교류가 증가함에 따라, 유럽 연합(EU)과 국제표준화기구(ISO)가 제정한 관련 표준은 텅스텐 합금 봉 산업의 국제화를 촉진하고 기술 규격을 통일하는 데 중요한 역할을 하고 있습니다. EU 표준은 환경 보호, 안전 및 규정 준수를 강조하는 반면, ISO 표준은 재료 특성 및 시험 방법의 국제적 통일에 중점을 두어 세계 시장에서 텅스텐 합금 봉에 대한 권위 있는 기술 프레임워크를 제공합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

7.3.1 EU 표준 시스템 개요

- **EU 표준화 기구**
는 주로 유럽표준화위원회(CEN), 유럽전기기술표준화위원회(CENELEC), 유럽전기통신표준협회(ETSI)로 구성됩니다. 텅스텐 합금봉 관련 표준은 일반적으로 CEN 에서 제정하며, 안전, 환경 및 성능 요건에 중점을 둡니다.
- **EU 규정 준수 프레임워크 텅스텐**
합금 소재는 RoHS(유해물질 제한 지침), REACH(화학물질 등록, 평가, 허가 및 제한) 등의 EU 환경 규정을 준수하여 제품 안전과 환경 규정 준수를 보장해야 합니다.

7.3.2 주요 EU 관련 표준 및 규정

표준/규정 이름	주요 내용	적용 범위
EN 12502 시리즈	텅스텐 및 텅스텐 합금 소재의 사양 및 시험 방법	텅스텐 합금 소재 성능 및 품질 테스트
RoHS 지침(2011/65/EU)	전기·전자제품 내 유해물질 사용 제한	텅스텐 합금 전자 부품 및 관련 제품
REACH 규정(EC 1907/2006)	화학 물질 등록 및 안전 관리 요구 사항	텅스텐 합금 생산 및 공급망의 환경 규정 준수
CE 마킹	제품 안전 및 규정 준수 인증 마크	텅스텐 합금 제품, EU 시장 진출

7.3.3 ISO 국제 표준 시스템 개요

- **ISO 조직 소개**
국제 표준화 기구(ISO)는 재료 특성, 시험 방법, 품질 관리 등 많은 측면을 포괄하는 글로벌 통합 표준을 개발하는 권위 있는 조직입니다.
- **텅스텐 합금 과 관련된 ISO 표준**
ISO 표준은 텅스텐 합금 소재의 성능 지표, 시험 방법 및 품질 관리를 규제하는 데 중점을 두고 있으며, 국제 무역 및 기술 협력을 위한 통합된 기반을 제공합니다.

7.3.4 주요 ISO 표준 및 그 응용 분야

표준 번호	표준 이름	주요 내용
ISO 9001	품질 경영 시스템 요구 사항	텅스텐 합금봉 제조기업의 품질경영시스템
ISO 16143	금속 분말 소재 - 분말 야금 텅스텐 합금	텅스텐 합금 분말의 기술 사양 및 시험 방법
ISO 4967	탄소 및 황 측정 방법	텅스텐 합금 소재의 화학 성분 테스트
ISO 6892	금속 재료의 인장 시험 방법	텅스텐 합금 기계적 성질 인장 시험 표준
ISO 6507	금속 경도 시험 - 비커스 경도	텅스텐 합금 경도 시험에 대한 국제 표준

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3.5 표준의 주요 사항

- **환경 및 안전 규정 준수**

EU 표준은 유해 물질의 사용을 엄격히 제한하여 텅스텐 합금 소재가 환경 보호 요구 사항을 충족하고 친환경 제조를 촉진하도록 보장합니다.

- **국제 성능 시험 통일**

ISO 표준은 텅스텐 합금의 물리적, 기계적 성능 시험 방법을 통합하여 국가 간 제품 성능 데이터의 비교성을 보장합니다.

- **품질경영시스템 구축은**

텅스텐 합금 제조업체가 건전한 품질경영시스템을 구축하고 생산 및 관리수준을 개선하도록 촉진합니다.

- **기술 교류와 시장 접근성을**

통해 국제 무역 장벽이 낮아지고 텅스텐 합금 막대 제품이 글로벌 시장에 진출하기 쉬워집니다.

7.3.6 EU 와 ISO 표준 간의 시너지

- EU 표준은 종종 ISO 국제 표준을 참조하여 공식화되어 기술 표준의 글로벌 일관성을 촉진합니다.
- ISO 표준은 기업에 품질 관리 및 기술 사양에 대한 기반을 제공하고 EU 규정에 따라 규정 준수 인증을 지원합니다 .
- 양측은 텅스텐 합금 산업의 기술적 업그레이드와 녹색 개발을 공동으로 촉진하고 국제 협력을 추진합니다.

요약

EU 및 ISO 표준 시스템은 텅스텐 합금 봉 산업에 성능, 시험, 환경 보호 및 품질 관리 등 다양한 측면을 포괄하는 포괄적인 국제 규제 체계를 제공합니다. 이러한 표준 준수는 제품 품질과 안전을 보장하는 데 도움이 될 뿐만 아니라 중국 텅스텐 합금 기업의 국제 경쟁력과 시장 확대에도 기여합니다. 앞으로 국제 표준의 지속적인 개선 및 업데이트를 통해 텅스텐 합금 봉 산업은 더 높은 수준의 표준화와 국제적 발전을 이룰 것입니다.

7.4 환경보호 및 재료안전인증(RoHS, REACH, MSDS)

전 세계적으로 환경 보호와 산업 보건 및 안전에 대한 관심이 높아짐에 따라, 텅스텐 합금 봉의 생산 및 적용은 관련 환경법 및 규정, 그리고 재료 안전 기준을 엄격히 준수해야 합니다. RoHS, REACH, MSDS 인증은 텅스텐 합금 기업이 국제 시장, 특히 EU 시장에 진출하는 데 필수적인 요건이 되었습니다. 이러한 인증은 재료의 환경 규정 준수를 보장할 뿐만 아니라 사용자와 환경의 안전을 보장합니다.

7.4.1 RoHS 지침(유해물질 제한 지침)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **지침 소개**
RoHS(유해물질 제한) 지침은 유럽연합이 2003 년에 전기·전자 장비에서 유해물질 사용을 제한하고 환경과 인간의 건강을 보호하기 위해 발표한 지침입니다.
- **주요 제한 물질**
로는 납(Pb), 수은(Hg), 카드뮴(Cd), 6 가 크롬(Cr(VI)), 폴리브롬화 비페닐(PBB) 및 폴리브롬화 디페닐 에테르(PBDE)가 있습니다.
- **텅스텐 합금봉에 미치는 영향**
텅스텐 합금 소재를 전자·전기 제품에 사용하는 경우, 위에서 언급한 유해 물질의 함량이 RoHS 한도를 충족하는지 확인해야 하며, 한도를 초과하여 시장 진입에 영향을 미치는 것을 방지해야 합니다.
- **테스트 및 규정 준수 회사**
엄격한 재료 구성 테스트를 실시하고 RoHS 준수 선언 및 테스트 보고서를 제공해야 합니다.

7.4.2 REACH 규정(화학물질의 등록, 평가, 허가 및 제한)

- **규제 배경**
REACH 는 유럽연합이 2007 년에 시행한 포괄적인 화학물질 관리 규정으로, 제조업체와 수입업체가 화학물질의 안전성을 등록하고 평가하도록 요구합니다.
- **텅스텐 합금 소재 의 등록 의무**
텅스텐 합금 제조업체는 자사 제품을 유럽 화학품청(ECHA)에 등록하고 안전 데이터와 위험성 평가 결과를 제출해야 합니다.
- **물질 평가 및 제한**
텅스텐 및 그 화합물이 매우 우려되는 물질(SVHC) 목록에 포함된 경우 특별 관리 및 제한이 필요합니다.
- **공급망에 대한 책임을 다**
하기 위해서는 회사가 공급망 내 화학 물질 정보를 투명하게 공개하고 하류 사용자가 물질 안전 정보를 알도록 해야 합니다.

7.4.3 MSDS(물질안전보건자료)

- **정의 및 기능**
MSDS 는 텅스텐 합금 막대의 화학적 특성, 건강 위험, 보호 조치 및 응급 처치 지침을 제공하는 물질안전보건자료입니다.
- **콘텐츠에는**
물리적 및 화학적 특성, 위험 식별, 보관 및 운송, 노출 관리 및 개인 보호에 대한 정보가 포함되어야 합니다.
- **기업의 의무**
생산 및 공급 기업은 안전한 사용을 보장하기 위해 국제 표준을 준수하는 MSDS 를 작성하여 제공해야 합니다.

7.4.4 환경보호 및 안전인증의 중요성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 유해물질 배출을 통제하고 환경오염과 직업적 건강 위험을 줄임으로써 **환경과 건강을 보호합니다.**
- **시장 진출 촉진**
RoHS 및 REACH 인증을 통해 텅스텐 합금 막대 제품은 EU 및 주요 글로벌 시장에서 인정을 받고 있습니다.
- **기업 경쟁력 향상**
환경 규정 준수는 기업의 사회적 책임과 브랜드 평판을 나타내는 중요한 지표입니다.
- **지속 가능한 발전을 지원하고,**
녹색 제조와 순환 경제를 촉진하며, 산업의 건강한 발전을 촉진합니다.

7.4.5 텅스텐 합금 기업의 대응 전략

- **재료 구성 관리를 강화**
하고 유해물질 함량을 엄격히 통제합니다.
- **테스트 및 모니터링 시스템을 개선하고,**
내부 테스트 역량을 구축하며, 제 3 자 인증 기관과 협력하여 규정 준수 테스트를 수행합니다 .
- **고객과 시장의 요구를 충족시키기 위해 RoHS, REACH 등 관련 인증을 적극적으로 신청하여 취득합니다.**
- **정보 투명성을 개선**
하고 완벽한 MSDS 및 기술 지원을 제공하여 고객이 안전하게 사용할 수 있도록 보장합니다.

요약:

환경 보호 및 재료 안전 인증은 텅스텐 합금 봉재 산업이 국제 시장 진출을 위한 중요한 관문입니다. 기업은 RoHS 및 REACH 규정을 엄격히 준수하고 MSDS 관리를 개선함으로써 제품 의 안전과 규정 준수를 보장할 뿐만 아니라 지속 가능한 발전과 글로벌 경쟁을 위한 탄탄한 기반을 마련합니다. 앞으로 환경 보호 관련 법규가 지속적으로 강화됨에 따라, 텅스텐 합금 봉재 기업은 더욱 높아지는 시장 및 사회적 요구에 부응하기 위해 환경 관리 수준을 지속적으로 향상시켜야 합니다.

7.5 항공, 군사 및 의료 분야의 품질 시스템 요구 사항

핵심 고성능 소재인 텅스텐 합금 봉은 항공우주, 군사 장비, 의료 장비 등 첨단 산업 분야에서 사용되며, 이러한 분야에서는 품질 시스템에 대한 요구 사항이 매우 높습니다. 관련 산업에서는 일반적으로 엄격한 품질 관리 시스템과 인증 기준을 채택하여 재료의 안전성, 신뢰성 및 일관성을 보장하고 극한 작업 조건에서의 서비스 요건을 충족합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.5.1 항공우주 분야의 품질 시스템 요구 사항

- 산업 표준 및 인증
 - o AS9100: ISO 9001 을 기반으로 항공우주 특정 요구 사항을 추가한 항공우주 품질 관리 시스템 표준입니다.
 - o NADCAP: 열처리 및 비파괴 검사와 같은 주요 링크를 포괄하는 항공우주 특수 공정 인증입니다.
- 주요 품질 관리 지점
 - o 배치 추적성 및 재료의 일관성
 - o 엄격한 물리적, 화학적 성능 테스트
 - o 고정밀 크기 제어 및 표면 품질 요구 사항.
- 품질 관리 조치
 - o 위험 관리 및 프로세스 제어를 구현합니다.
 - o 비파괴 검사를 위해 첨단 검사 기술(예: X 선, CT 스캔)을 사용합니다.
 - o 정기적으로 공급망 감사와 현장 검토를 실시합니다.

7.5.2 군수산업의 품질 시스템 요구사항

- 군사 품질 기준
 - o MIL-Q-9858A: 군사 품질 보증 시스템;
 - o MIL-STD-105E: 군사 샘플링 검사 표준;
 - o MIL-STD-1916: 군사 공정 관리 표준.
- 성능 및 안정성 요구 사항
 - o 극한의 온도, 충격 및 진동 환경에 대한 성능 사양을 충족합니다.
 - o 높은 순도와 낮은 불순물 함량은 재료의 사용 수명을 보장합니다.
 - o 엄격한 결함을 관리 및 결함 수리 기준.
- 품질 보증 조치
 - o 완벽한 제품 추적 시스템
 - o 고급 측정 및 테스트 장비를 사용합니다.
 - o 직원 교육과 프로세스 사양 구현을 강조합니다.

7.5.3 의료 분야의 품질 시스템 요구 사항

- 의료기기 품질 기준
 - o ISO 13485: 의료기기에 대한 품질 관리 시스템 표준;
 - o FDA 21 CFR Part 820: 의료 기기에 대한 미국 식품의약국 품질 규정.
- 안전성 및 생체적합성
 - o 텅스텐 합금 소재는 독성 및 알레르기 반응을 피하기 위해 생체적합성 요구 사항을 충족해야 합니다.
 - o 엄격한 세척 및 살균 기준
 - o 방사선 치료 등 의료 환경에서 재료의 안정성과 안전성을 보장합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **품질 관리 조치**

- o 포괄적인 위험 관리 시스템(ISO 14971)을 구축합니다.
- o 문서화된 설계 제어 및 변경 관리 프로세스
- o 정기적인 내부 감사 및 외부 인증.

7.5.4 공통 품질 시스템 구현 지점

- **시스템 인증 및 지속적 개선**

기업은 관련 분야의 권위 있는 기관의 품질 경영 시스템 인증을 통과해야 하며, 품질 관리 프로세스를 지속적으로 개선하고 최적화해야 합니다.

- **엄격한 공급망 관리란**

원자재 조달부터 최종 제품 배송까지 전체 프로세스에 걸쳐 품질 관리와 추적성을 구현하는 것을 말합니다.

- **데이터 기반 품질 모니터링은**

빅데이터와 정보 기술을 사용하여 생산 공정에 대한 실시간 모니터링과 조기 경고를 수행합니다.

- **인재육성과 문화건설은**

품질에 대한 인식을 함양하고, 모든 직원이 참여하는 품질경영 문화를 조성하는 데 중점을 둡니다.

요약

항공, 군사, 의료 분야는 텅스텐 합금 봉재의 품질 시스템에 대해 매우 높은 기준과 엄격한 관리 요건을 설정해 왔습니다. 기업은 극한 작업 조건에서도 재료의 신뢰성과 안전성을 보장하기 위해 업계 특성에 기반한 완벽한 품질 관리 시스템을 구축해야 합니다. 이는 고객 요구를 충족하는 기반일 뿐만 아니라 기업 경쟁력 강화 및 업계의 고품질 발전을 촉진하는 핵심 요소입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 8 장 텅스텐 합금봉의 포장, 보관 및 운송

8.1 포장방법 및 보호조치(진공포장, 건조제)

텅스텐 합금 막대는 밀도와 경도가 높고 특수한 용도 요건을 가지고 있으므로 포장 및 보호 조치가 특히 중요합니다. 합리적인 포장 설계는 제품을 기계적 손상, 부식 및 환경적 영향으로부터 보호할 뿐만 아니라 운송 중 안전성과 무결성을 보장합니다.

8.1.1 패키징

- 진공 포장
 - o 진공 기술을 사용하여 패키지 내의 공기를 추출하여 산소와 습기로 인한 텅스텐 합금 표면의 산화 및 부식을 줄입니다.
 - o 장기 보관 및 수출 운송에 적합하며, 특히 습도가 높거나 온도 차이가 큰 환경에서 적합합니다.
 - o 진공 포장 백은 일반적으로 기밀성과 기계적 강도가 좋은 다층 복합 소재로 만들어집니다.
- 방청지 및 플라스틱 필름 포장
 - o 텅스텐 합금 막대의 표면을 방청지로 감싸서 물리적인 절연층을 형성하여 수증기와 부식성 매체의 침투를 방지합니다.
 - o 바깥층은 기계적 긁힘과 먼지 오염을 방지하기 위해 플라스틱 필름으로 포장됩니다.
 - o 일반적인 환경 조건에서 단기간 보관 및 운송에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 나무 상자 및 나무 팔레트 포장
 - o 1 차 포장 후, 텅스텐 합금 막대는 운송 중 충격과 진동을 방지하기 위해 튼튼한 나무 상자에 넣어집니다.
 - o 나무 상자에는 폼이나 진주면과 같은 완충재가 장착되어 있어 제품을 더욱 보호합니다.
 - o 나무 팔레트는 지게차로 쉽게 운반할 수 있어 물류 효율성이 향상됩니다.
- 금속 드럼 또는 강철 실린더 포장
 - o 특수 사양이나 고가의 텅스텐 합금 막대, 금속 배럴 또는 강철 실린더를 포장에 사용하여 보호 강도를 향상시킵니다.
 - o 동시에 밀봉하고 보호하기 쉽기 때문에 해상 운송에 적합합니다.

8.1.2 보호 조치

- 건조제 사용
 - o 포장 공간의 습기를 효과적으로 흡수하고 습기로 인한 산화를 방지하기 위해 포장 내부에 건조제(실리카겔, 분자체 등)를 넣습니다.
 - o 건조제의 양은 포장 용량과 운송 환경의 습도에 따라 합리적으로 구성되어야 합니다.
 - o 포장 환경의 건조성을 보장하기 위해 건조제를 정기적으로 교체하세요.
- 부식 방지 코팅 또는 오일 필름
 - o 텅스텐 합금 막대 표면에 방청유나 특수 부식 방지 코팅을 도포하여 화학적 보호층을 제공합니다.
 - o 습기와 소금 분무 환경으로 인해 재료 표면이 부식되는 것을 방지하세요.
- 충격 방지 버퍼 디자인
 - o 운송 중 기계적 진동과 충격을 줄이기 위해 포장 상자 내부에 다층 완충 구조를 설계합니다.
 - o 텅스텐 합금 막대는 표면 긁힘과 변형을 방지하기 위해 충격 흡수 재료로 감싸져 있습니다.
- 밀봉 성능 보장
 - o 포장은 공기와 먼지가 들어오지 않도록 밀봉 성능이 좋아야 합니다.
 - o 진공 또는 질소 충전 포장을 사용하면 밀봉 효과를 더욱 향상시킬 수 있습니다.

8.1.3 포장 디자인의 핵심 포인트

- 제품 크기와 무게에 따라 포장 구조를 맞춤 설계하십시오.
텅스텐 합금 봉은 무겁기 때문에 포장재와 구조는 운송 중 손상을 방지하기 위해 충분한 지지력을 가져야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **라벨은 명확하고 완벽합니다.**
제품 사양, 무게, 주의사항, 운송 방향은 포장 상자 외부에 표시되어 물류 및 창고 관리가 용이합니다.
- **친환경 소재 선택은**
친환경적이고 재활용 가능한 소재를 우선시하며, 녹색 제조 및 환경 규정을 준수합니다.

요약

과학적이고 합리적인 포장 방법과 보호 조치는 텅스텐 합금 봉의 품질과 안전한 운송을 보장하는 핵심 요소입니다. 진공 포장, 건조제 사용, 부식 방지 코팅 및 완충 설계를 통해 산화, 부식 및 기계적 손상을 효과적으로 방지하여 텅스텐 합금 봉의 보관 및 운송을 안전하게 보호합니다. 물류 기술과 환경 보호 개념의 발전에 따라 텅스텐 합금 봉 포장 솔루션은 산업의 친환경적이고 지속 가능한 발전을 위해 지속적으로 최적화될 것입니다.

8.2 보관 조건 및 주의사항(온도 및 습도 조절, 부식 방지)

보관 과정에서 텅스텐 합금 봉은 주변 온도, 습도 및 화학 매체의 영향을 크게 받습니다. 부적절한 보관 조건은 재료 표면 산화 및 부식을 유발하고 심지어 내부 성능 저하를 초래할 수 있습니다. 따라서 텅스텐 합금 봉의 품질을 유지하려면 과학적이고 합리적인 보관 관리가 필수적입니다.

8.2.1 온도 및 습도 제어

- **온도 요구 사항**
 - 보관 환경은 일정하고 적절한 온도를 유지해야 하며, 일반적으로 15°C~25°C가 권장되며 급격한 온도 변화는 피해야 합니다.
 - 고온은 재료 표면의 산화 반응을 가속화하여 표면 마감 및 기계적 특성에 영향을 미칠 수 있습니다.
 - 낮은 온도와 함께 습도가 높아지면 응축수가 형성되어 부식이 발생할 가능성이 높습니다.
- **습도 요구 사항**
 - 상대 습도는 과도한 습도로 인해 금속 표면에 녹이 생기는 것을 방지하기 위해 40%~60% 사이로 조절해야 합니다.
 - 습도가 너무 낮으면 건조제가 빨리 손상되어 적절한 시기에 교체해야 합니다.
 - 건조한 환경을 유지하려면 제습기 등의 공기 제습 장비를 갖추세요.
- **환경 모니터링**
 - 보관 창고에는 실시간으로 환경 매개변수를 모니터링할 수 있는 온도 및 습도 모니터링 장치가 갖추어져야 합니다.
 - 이상 발생 시 적시에 조정 조치를 취해 안정적인 환경을 확보합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.2.2 부식 방지 조치

- **녹 방지제 및 코팅 보호**
 - o 텅스텐 합금 막대의 표면에 방청 그리스나 특수 부식 방지 코팅을 하여 산소와 습기의 직접 접촉을 방지하는 절연층을 형성합니다.
 - o 정기적으로 코팅의 무결성을 점검하고 손상이 발견되면 수리하거나 다시 코팅하세요.
- **격리 패키징**
 - o 제품이 공기와 직접 접촉하는 것을 줄이기 위해 방청지나 플라스틱 필름으로 포장하세요.
 - o 습기를 흡수하고 내부에 습한 환경이 형성되는 것을 방지하기 위해 포장재 내부에 건조제를 넣으세요.
- **창고 환경 관리**
 - o 텅스텐 합금 막대가 젖은 땅과 직접 접촉하는 것을 피하고 위쪽에 보관하세요.
 - o 창고 환경으로 화학적 부식성 가스(황화물 및 염화물 등)가 침투하는 것을 방지합니다.
 - o 밀폐된 공간에 유해 가스가 쌓이는 것을 방지하려면 정기적으로 환기를 하세요.

8.2.3 스토리지 관리 참고 사항

- **스태킹 방법**
 - o 압력 으로 인한 변형을 방지하기 위해 적절하게 적층해야 합니다 .
 - o 쉽게 관리하고 검색할 수 있도록 사양에 따라 일괄적으로 쌓아 놓습니다.
- **보호 로고**
 - o 보관 장소에는 "방습, 방화, 방압" 등의 안전 주의사항을 명확하게 표시해야 합니다.
 - o 중요한 재료는 혼합 및 교차 오염을 방지하기 위해 전용 보관 구역이 있어야 합니다.
- **정기적인 점검 및 유지관리**
 - o 포장의 완전성, 녹 방지 및 환경적 매개변수를 점검하기 위한 보관 검사 시스템을 구축합니다.
 - o 비정상적인 상황이 발견되면 즉시 처리하여 품질 문제가 확대되는 것을 방지해야 합니다.

요약

합리적인 온도 및 습도 조절과 과학적 부식 방지 조치는 텅스텐 합금 봉의 보관 품질을 보장하는 기본입니다. 적절한 환경 조건을 유지하고 효과적인 포장 보호 및 보관 관리를 병행함으로써 제품 수명을 극대화하고, 사용 전 재료의 우수한 물리적

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

및 기계적 특성을 유지할 수 있습니다. 기업은 보관 과정에 주의를 기울이고 관리 시스템을 구축하여 텅스텐 합금 봉의 안전하고 안정적인 보관을 보장해야 합니다.

8.3 국제 운송 규정 및 위험물 신고 지침

고밀도 금속 소재인 텅스텐 합금 봉의 국제 운송은 여러 국가의 규정 및 세관 요건을 준수해야 합니다. 운송 안전, 규정 준수 및 원활한 통관을 위해서는 관련 규정을 엄격히 준수해야 합니다. 특히 위험물 신고 시, 기업은 제품의 특성을 정확하게 판단하고 완전한 운송 서류를 준비해야 합니다.

8.3.1 국제 운송 규정 개요

- **국제 해상 위험물 규정(IMDG 규정)**
국제 해사 기구(IMO)가 제정한 국제 해상 위험물 규정은 해상 운송 중 위험물의 분류, 포장, 라벨링 및 신고를 규제합니다.
- **국제항공운송협회(IATA) 위험물 규정**
포장, 신고, 라벨링 및 취급 절차를 포함하여 항공으로 운송되는 위험물에 대한 요구 사항을 규제합니다.
- **위험물 운송에 관한 유엔 권고(UN 권고)**
전 세계의 위험물 분류 및 라벨링 표준을 통합한 것으로, 다양한 국가의 위험물 운송 규정의 기초가 됩니다.
- **각 국가의 세관 및 운송부서는**
텅스텐 합금봉의 국가 간 운송에 대해 구체적인 요구 사항을 가지고 있으며, 수입 및 수출국의 관련 법률을 반드시 준수해야 합니다.

8.3.2 텅스텐 합금봉의 운송 분류 및 위험물 신고

- **텅스텐 합금 막대는 위험한 품목인가?**
 - 일반적으로 순수 텅스텐 합금 막대는 위험물이 아니며 특별히 위험한 화학적 특성이 없습니다.
 - 그러나 텅스텐 합금 막대의 표면에 인화성 그리스가 코팅되어 있거나 다른 유해 화학 물질이 포함되어 있는 경우 해당 범주에 따라 신고해야 합니다.
- **신청 절차**
 - 제품 데이터 시트와 안전 데이터 시트(MSDS)를 준비합니다.
 - 운송 수단에 따라 위험물 신고서를 작성하고, 포장 유형 및 라벨을 명시하십시오.
 - 기준을 충족하는 포장 및 라벨을 제공합니다.
 - 운송업체 및 관련 규제 당국에 신고하고 승인을 받으세요.

8.3.3 포장 및 라벨링 요구 사항

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **운송 기준을 충족하는 포장**
 - 포장재는 IMDG 및 IATA 의 강도 및 밀봉 요구 사항을 충족해야 합니다.
 - 운송 중 포장이 진동, 압출, 기후 변화를 견딜 수 있는지 확인하세요.
- **위험물 표지판 및 라벨**
 - 위험하지 않은 물품에는 특별한 라벨이 필요하지 않지만, 무게, 크기, 취급 주의 사항을 표시해야 합니다.
 - 위험물질이 포함되어 있는 경우, 해당 위험물 라벨과 운송 표시를 부착해야 합니다.
- **위험물 포장 코드**
 - 포장상자에는 UN 번호, 포장유형, 성능시험 표시가 있어야 합니다.

8.3.4 국제 운송 시 주의사항

- **정확한 분류**
 - 배송 지연이나 벌금으로 이어질 수 있는 잘못된 보고를 피하기 위해 제품의 속성과 관련 재료를 주의 깊게 확인하세요.
- **파일 완료**
 - 상업 송장, 포장 목록, 위험물 신고서, 안전 데이터 시트 및 관련 라이선스를 포함한 완전한 선적 문서를 준비합니다.
- **규정을 준수하는 운송업체를 선택하세요**
 - 운송 계획이 규정 요구 사항을 준수하는지 확인하려면 경험이 풍부한 물류 및 통관 중개인을 선택하세요.
- **배송 보험**
 - 운송 위험을 예방하기 위해 적절한 화물 운송 보험에 가입하세요.
- **비상 계획**
 - 교통 사고에 대한 비상 대응 계획을 개발하고 필요한 비상 물품을 갖추세요.

요약

텅스텐 합금 봉재는 복잡한 규정과 절차를 수반합니다 . 운송 분류 및 신고 요건을 정확하게 이해하고 표준 포장 및 라벨을 사용하는 것이 운송 안전 및 원활한 통관의 핵심입니다. 기업은 완벽한 운송 규정 준수 시스템을 구축하고, 관리 수준을 개선하며, 운송 위험을 줄이고, 텅스텐 합금 봉재 제품의 원활한 글로벌 유통을 보장해야 합니다.

8.4 텅스텐 합금봉 수출에 대한 세관 감독 및 허가 요건

전략적 금속 소재인 텅스텐 합금봉의 수출은 여러 국가의 엄격한 규제를 받습니다. 수출 기업은 관련 국가 법률 및 규정을 준수하고, 필요한 수출 허가를 신청하며, 세관 신고 의무를 이행하고, 제품이 원활하게 수출되고 수입국의 요건을 충족하도록 해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.4.1 세관 감독 정책 개요

- 전략적 자원 관리

텅스텐은 희귀 금속이기 때문에 국가에서는 일반적으로 이를 핵심 관리가 필요한 전략적 자원으로 지정하고 수출에 대한 할당 관리 및 허가 제도를 시행하고 있습니다.

- 세관 신고 요구 사항:

텅스텐 합금 막대의 수출은 세관 규정에 따라 정확한 상품 코드(HS 코드), 사양 모델, 수량 및 가치 및 기타 정보를 제공하여 신고해야 합니다.

- 수출 제한 및 통제

일부 국가 및 지역에서는 텅스텐 합금 수출에 대해 기술적 민감성 통제, 반덤핑 조사 등 특별한 제한을 두고 있습니다. 기업은 관련 정책을 미리 이해해야 합니다.

8.4.2 수출 허가 신청 절차

- 면허는

일반적으로 국가상무부나 금속재료관리부에서 발급합니다.

- 지원서류

- o 기업의 영업허가증 및 자격증;
- o 제품 테스트 보고서 및 품질 인증 문서
- o 계약 및 주문 증빙서류
- o 세관 신고 및 관련 운송 서류.

- 승인 프로세스

1. 신청 서류를 관할 기관에 제출합니다.
2. 관련 부서에서는 제품 품질과 규정 준수 사항을 검토합니다.
3. 승인 후 수출 허가증이 발급됩니다.
4. 기업은 허가를 받아 세관 수출 절차를 거쳐야 합니다.

- 유효 기간 및 갱신

수출 허가증에는 일반적으로 유효 기간이 있으며, 기업은 지속적인 수출을 보장하기 위해 적시에 허가증을 갱신해야 합니다.

8.4.3 세관신고 및 감독의 주요 사항

- 정확한 HS 코드

텅스텐 합금 막대는 정확한 통관 분류 및 과세를 보장하기 위해 국제적으로 인정된 HS(조화 시스템) 코드를 사용해야 합니다.

- 통관 문서

에는 송장, 포장 목록, 수출 허가증, 계약서, 운송 서류, 원산지 증명서 등이 포함되어 모든 문서가 완전한지 확인합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **세관 검사 및 무작위 검사**
텅스텐 합금봉은 수출 시 검사를 받을 수 있으며, 기업은 샘플과 시험 보고서를 제공하는 데 협조해야 합니다.
- **세금 정책**
수출세금환급 정책과 관련 혜택을 이해하고, 수출 과정을 합리적으로 계획하세요.

8.4.4 예방조치 및 위험 예방 및 통제

- **허위 신고 및 불법 수출 과 같은 불법 활동을 방지하여**
벌금 및 명예 훼손을 방지합니다.
- **정책 변화**
국내 및 국제 무역 정책과 수출 통제 추세에 주의를 기울이고, 수출 전략을 시기적절하게 조정합니다.
- **국경 간 무역 규정 준수에는**
수입국의 규제 요구 사항을 준수하고 필요한 인증 및 검사 절차를 완료하는 것이 필요합니다.
- **공급망 조정은**
물류, 통관 및 검사 기관과의 소통을 강화하여 원활한 수출 과정을 보장합니다.

요약:

텅스텐 합금봉 수출은 복잡한 세관 감독 및 허가 관리 절차를 수반합니다. 기업은 관련 법률, 규정 및 절차를 충분히 이해하고 엄격히 준수해야 합니다. 과학적인 수출 관리는 규정 준수를 보장할 뿐만 아니라 기업의 국제 경쟁력 강화 및 시장 진출 역량 강화에도 도움이 됩니다. 기업은 전담 무역 규정 준수 팀을 구성하고, 위험 관리를 강화하며, 수출 사업의 건전한 발전을 촉진하는 것이 바람직합니다 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 9 장 텅스텐 합금봉 시장 구조 및 발전 추세

9.1 글로벌 텅스텐 자원 및 합금봉 산업 사슬 개요

텅스텐은 희귀하고 중요한 전략적 금속으로서 높은 녹는점, 높은 밀도, 그리고 우수한 기계적 성질로 인해 항공우주, 군수 산업, 전자, 의료 등 첨단 분야에서 널리 사용됩니다. 텅스텐 자원의 심층 가공의 중요한 제품으로서, 텅스텐 합금 봉재에 대한 시장 수요는 지속적으로 증가하고 있으며, 텅스텐의 산업 체인 시스템은 복잡하고 세계적인 특성을 지니고 있습니다.

9.1.1 세계 텅스텐 자원 분포

- 주요 생산 지역은

전 세계 텅스텐 자원에 집중되어 있으며, 주로 중국, 러시아, 캐나다, 베트남, 포르투갈, 오스트리아 등의 국가에 분포되어 있습니다.

- 중국은 세계 최대의 텅스텐 광석 생산국으로, 전 세계 생산량의 80% 이상을 차지하며, 풍부한 텅스텐 매장량과 성숙한 채굴 기술을 보유하고 있습니다.
- 러시아와 캐나다도 대규모 텅스텐 매장량을 보유하고 있으며 국제시장에 일정한 영향력을 가지고 있습니다.
- 베트남과 포르투갈은 텅스텐 자원이 비교적 집중되어 있고 잠재력이 더 큰 생산 지역입니다.

- 자원 유형 텅스텐 광석은 주로 칼칸타이트(CaWO_4)

(FeWO_4) 형태로 존재합니다. 4) 및 세일라이트(WO_3)가 있습니다. 광석 품위와 채굴 난이도는 자원 개발 효율성에 영향을 미칩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **자원 및 환경 문제**
: 텅스텐 채굴은 환경적 압박과 자원 고갈 위험에 직면해 있으며, 이로 인해 산업은 효율적인 자원 활용과 순환 경제 방향으로 발전하게 되었습니다.

9.1.2 텅스텐 자원 채굴 및 가공 현황

- **채굴 기술은**
노천 채굴과 지하 채굴을 조합하여 다양한 광상 조건에 따라 유연하게 선택할 수 있습니다. 채굴 효율성과 안전성을 향상시키기 위해 현대적인 기계 및 자동화 기술이 점차 도입되고 있습니다.
- **1차 제련 및 정광 생산**
텅스텐 광석은 선광, 배소, 화학적 침출 과정을 거쳐 고순도 텅스텐 정광을 얻습니다. 정광의 품질은 후속 텅스텐 합금 분말 및 제품의 성능에 직접적인 영향을 미칩니다.
- **제련 기술의 발전**
탄소 열 환원, 수소 환원 및 화학 기상 증착을 포함한 텅스텐 제련 기술의 지속적인 혁신으로 고순도 텅스텐 생산이 가능해졌습니다.

9.1.3 텅스텐 합금봉 산업 체인 구조

텅스텐 합금 막대 산업 체인은 주로 다음과 같은 링크로 구성됩니다.

1. **텅스텐 생산을 위한 기본 원료입니다. 텅스텐 합금 봉.**
원자재의 품질과 안정적인 공급은 제품 일관성 및 비용 관리와 관련이 있습니다.
2. **분말 야금 및 합금 제조**
분말 야금 공정을 통해 텅스텐 분말을 니켈, 철, 구리 등의 합금 원소와 균일하게 혼합하고, 가압 및 소결합니다. 이 단계는 텅스텐 합금 봉의 조직 구조와 성과 지표를 결정합니다.
3. **성형 가공**
에는 기계 가공, 열처리 및 표면 처리가 포함되어 제품이 설계 크기 및 성능 요구 사항을 충족하는지 확인합니다.
4. **성능 테스트 및 품질 관리**
엄격한 물리적, 화학적, 기계적 성능 테스트를 통해 제품 품질을 보장합니다.
5. **판매 및 응용**
텅스텐 합금 막대는 항공우주, 군사, 의료, 전자 및 기타 분야에서 널리 사용되고 있으며 시장 수요는 꾸준히 확대되고 있습니다.

9.1.4 산업사슬의 세계화의 특징

- **공급망 내 다국적 협력**
텅스텐 광석 자원 분포와 하류 가공 용량 영역이 완전히 중복되지 않아 텅스텐 합금봉 산업 사슬에 다국적 협력 패턴이 형성되었습니다. 중국은 광물

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

자원과 대규모 제련 역량이라는 장점을 보유하고 있는 반면, 유럽, 미국, 일본, 한국 등은 고급 가공 및 정밀 제조에 중점을 두고 있습니다.

- **기술과 시장의 이중 구동**

기술 진보는 텅스텐 합금 막대의 성능 향상을 촉진하는 반면, 시장 수요의 다변화는 산업 사슬의 조정을 촉진합니다.

- **무역 흐름**

텅스텐 원자재는 주로 자원이 풍부한 국가로 수출되며, 가공된 제품은 국제 시장에 유통됩니다. 고부가가치 제품인 텅스텐 합금 봉의 무역 활동은 점차 증가하고 있습니다.

요약

세계 텅스텐 자원은 비교적 집중되어 있지만, 텅스텐 합금 봉 산업 체인은 고도로 국제화되고 복잡합니다. 자원 분포와 산업 체인 구조를 이해하는 것은 텅스텐 합금 봉의 시장 패턴과 발전 추세를 파악하는 기초가 됩니다. 앞으로 기술 발전과 친환경 제조 개념의 확산을 통해 텅스텐 합금 봉 산업 체인은 더욱 완벽해지고 산업의 고품질 발전을 촉진할 것입니다.

9.2 텅스텐 합금 막대 시장 규모 및 성장 추세 분석

고성능 기능성 소재인 텅스텐 합금 막대는 항공우주, 군사 장비, 의료 장비, 고급 전자 제품, 원자력 공학 등에서 널리 사용됩니다. 글로벌 제조 산업의 변화와 업그레이드, 신흥 산업의 부상으로 텅스텐 합금 막대의 시장 규모는 꾸준히 확대되어 수요 증가, 지역 집중, 다각화 등의 중요한 특징을 보이고 있습니다.

9.2.1 현재 글로벌 시장 규모

- **국제 텅스텐산업협회(ITIA)와 시장조사기관(MarketsandMarkets , Grand View Research 등)** 이 발표한 자료에 따르면 , 2024 년 전 세계 텅스텐 합금 시장 규모는 약 **13억~15억 달러**이며 , 이 중 텅스텐 합금 봉재가 차지하는 비중은 약 30%인 **4억~5억 달러** 입니다 . 2030년에는 이 규모가 **8억 달러** 를 넘어설 것으로 예상됩니다 .
- **생산과 소비의 지역적 분포**
 - **중국** : 텅스텐 합금 막대의 세계 최대 생산국이자 소비국으로, 완벽한 산업 사슬과 대규모 제조 역량을 갖추고 있으며, 시장의 50% 이상을 차지합니다.
 - **북미 및 유럽** : 주로 고급 애플리케이션에 초점을 맞추고, 품질과 성능에 중점을 두며, 수입 비율이 높습니다.
 - **아시아 태평양의 다른 지역** (예: 한국, 일본, 인도): 강력한 기술 지향성과 빠르게 성장하는 소비자 수요를 갖춘 신흥 성장 시장
 - **중동 및 아프리카** : 현재 규모는 제한적이지만, 원자력 에너지와 의료 장비에 대한 투자로 인해 성장 잠재력이 보입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.2.2 시장 성장 동인

1. 첨단 제조업의 급속한 발전

- 항공우주, 미사일 시스템, 고정밀 기기 등 산업의 급속한 발전으로 고밀도, 고강도 텅스텐 합금 막대에 대한 수요는 계속해서 증가하고 있습니다.
- 지능형 제조, 첨단 무기 시스템, 새로운 에너지 기술의 개발로 인해 텅스텐 합금에 대한 시장 수요는 더욱 증가했습니다.

2. 의료 및 핵 분야로의 응용 확대

- 텅스텐 합금 막대는 방사선 치료 장비, 방사선 차폐, 감마 나이프 등에 널리 사용되어 전 세계 인구 고령화와 의료 투자 증가로 인해 혜택을 얻고 있습니다.
- 원자력 발전과 핵융합 연구는 중성자 흡수 및 고온 부품 분야에서 텅스텐 합금 막대의 적용을 촉진해 왔습니다.

3. 공급망 및 보안 전략 홍보

- 각국은 전략금속에 대한 통제를 강화하고, 국산화 비중을 높이며, 텅스텐 합금봉 생산능력을 다양한 지역으로 확산시킨다.
- 전 세계적으로 대체 소재에 대한 탐색이 계속되고 있지만, 단기적으로 텅스텐 합금을 대체할 만한 소재는 아직 없습니다.

4. 기술의 발전은 제품의 부가가치를 증가시킨다

- 나노 강화, 고순도 제어, 지능형 제조와 같은 기술의 개발로 텅스텐 합금 막대의 성능이 지속적으로 향상되고 새로운 응용 분야가 확대되었습니다.

9.2.3 산업 성장 추세 예측(2025~2030 년)

연령	글로벌 텅스텐 합금봉 시장 가치(10 억 달러)	연평균 성장률(CAGR)
2025	5.2	—
2026	5.6	7.7%
2027	6.1	8.0%
2028	6.7	9.0%
2029	7.4	10.0%
2030	8.1	10.3%

참고: 본 전망은 첨단 제조업 및 의료용 원자력 에너지에 대한 투자가 지속적으로 증가할 것이라는 가정에 기반합니다. 원자재 가격 변동이나 대체 소재 기술 발전에 따라 성장 곡선이 조정될 수 있습니다.

9.2.4 시장 개발 특성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

- **저가형에서 고가형으로의 업그레이드를 위해**
전통적인 가공을 위한 텅스텐 합금 막대에서 고밀도, 고인성, 내식성 및 우수한 고온 성능을 갖춘 고가형 제품으로 전환되었습니다.
- **지역 경쟁이 치열해짐**에 따라 중국이 여전히 주도적인 위치를 차지하고 있지만, **유럽, 미국, 일본도**
공급망 보안 문제를 해결하기 위해 자국의 텅스텐 자원 처리 역량을 강화하고 있습니다.
- **친환경적이고 지속 가능한 트렌드가 부상하고 있습니다.**
텅스텐 자원 재활용이 새로운 성장 동력으로 부상했으며, 재활용 텅스텐 합금 봉재에 대한 기술과 정책이 빠르게 발전하고 있습니다.

9.2.5 과제

- **원자재 가격은 변동합니다.**
텅스텐 정광 가격은 자원 부족, 환경 보호 정책, 그리고 투기적 요인의 영향을 크게 받으며, 이로 인해 비용 관리가 기업의 어려운 과제가 되었습니다.
- **국제 무역**
장벽, 수출 제한, 기술적 봉쇄, 반덤핑 조사 및 기타 무역 문제는 텅스텐 합금 막대의 국경 간 유통에 영향을 미칠 수 있습니다.
- **고급 시장의 기술적 장벽:**
국내 텅스텐 합금 막대는 여전히 항공 및 원자력과 같은 일부 첨단 기술 분야에서 공정 격차와 인증 장벽에 직면해 있습니다.

요약

텅스텐 합금 막대 시장은 글로벌 고급 제조, 의료 및 에너지 산업의 발전에 힘입어 빠르게 성장하고 있지만, 원자재 의존도, 기술 발전, 무역 위험 등의 어려움에도 직면해 있습니다. 향후 몇 년간 제조 역량 강화 및 응용 분야 확대를 통해 텅스텐 합금 막대 시장은 지속적으로 성장할 것입니다. 업계 기업들은 전략적 기회를 포착하기 위해 고급 제품, 글로벌 레이아웃, 친환경 전환이라는 세 가지 주요 방향에 집중해야 합니다.

9.3 주요 제조업체 및 경쟁업체(중국, 유럽, 미국, 일본 및 한국)

텅스텐 합금 봉 산업은 기술 집약성과 자원 의존성이라는 두 가지 특징을 가지고 있습니다. 세계 시장은 주로 중국, 유럽, 미국, 일본, 한국과 같이 풍부한 텅스텐 자원이나 선도적인 가공 기술을 보유한 국가들이 주도하고 있습니다. 각 지역 기업들은 자원 관리, 기술 경로, 제품 포지셔닝, 시장 전략 등에서 뚜렷한 차이를 보이며, 이러한 요소들이 텅스텐 합금 봉 산업의 다극적 경쟁 양상을 형성하고 있습니다.

9.3.1 중국 기업: 자원 우위와 대규모 제조에 대한 강조

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

세계 최대 텅스텐 자원국이자 텅스텐 가공 중심지인 중국은 텅스텐 합금봉 분야에서 광범위한 기업 기반과 완벽한 산업 체인을 보유하고 있습니다. 중국 기업의 특징은 생산 능력, 다양한 제품, 그리고 엄격한 원가 관리입니다.

- 대표 기업
 - CTIA GROUP LTD 는 산업 사슬의 자원에 대한 강력한 통제력과 강력한 지원 역량을 보유하고 있습니다.
- 경쟁 우위
 - 안정적인 공급을 보장하기 위한 원자재 자급률이 높습니다.
 - 강력한 비용 관리 능력과 경쟁력 있는 제품 가격
 - 고객의 맞춤형 요구 사항과 짧은 납기 주기에 신속하게 대응합니다.
- 개발 병목 현상
 - 고정밀 가공과 극한 성능 제어 측면에서 중국과 유럽, 미국, 일본 사이에는 여전히 격차가 존재합니다.
 - 국제시장에 미치는 영향은 상대적으로 제한적이며, 고급 인증제도 구축은 아직 진행 중이다.

9.3.2 유럽 및 미국 기업: 기술 장벽과 하이엔드 애플리케이션이 지배적

유럽과 미국 기업들은 오랫동안 고성능 합금 소재 개발에 깊이 관여해 왔습니다. 분말 야금, 고온 합금, 원자력 소재 등에서 축적된 기술적 우위를 바탕으로 텅스텐 합금 봉의 고급 응용 분야에서 선도적인 위치를 차지하고 있습니다.

- 대표 기업
 - Plansee Group(오스트리아) : 텅스텐과 몰리브덴 합금의 세계적인 생산업체로, 이들 제품은 항공, 반도체, 의료 기기에 널리 사용됩니다.
 - HC Starck Tungsten(독일/미국) : 고순도 텅스텐과 고성능 텅스텐 합금에 중점을 두고, 첨단 분말 야금 및 분위기 제어 기술을 숙달합니다.
 - Global Tungsten & Powders Corp(GTP, 미국) : 고순도 텅스텐 분말 및 합금 막대 제조에 대한 성숙한 기술을 보유하고 있으며 글로벌 판매 네트워크를 보유하고 있습니다.
- 경쟁 우위
 - 우리는 심오한 기술 축적을 갖추고 있으며, 일련의 독립적인 특허와 핵심 기술을 보유하고 있습니다.
 - AS9100, NADCAP 등 최첨단 인증 시스템을 통과하고 항공 및 군수 공급망에 진출했습니다.
 - 브랜드 효과가 강하고, 유럽과 미국의 하이엔드 고객에게 안정적인 서비스를 제공합니다.
- 과제와 추세
 - 비용이 높고, 납품 주기가 길며, 중·저가 시장에서 경쟁력이 약합니다.
 - 환경 규제와 에너지 비용 상승으로 인한 압박에 직면하여 일부 생산 용량이 동유럽이나 동남아시아로 이전되고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.3.3 일본 및 한국 기업: 정밀 가공 및 전자 응용 분야에 의해 주도됨

일본과 한국 기업은 텅스텐 합금 막대의 초정밀 가공 및 고순도 관리에 있어 독보적인 우위를 가지고 있으며, 이들 제품은 마이크로 전자공학, 의료 및 정밀 기기 분야에서 널리 사용되고 있습니다.

- 대표 기업
 - 미쓰이광업& 제련 : 전자 패키징 및 의료 산업에 사용되는 다양한 미립자 강화 텅스텐 합금을 개발합니다.
 - 일본 의 토소(Tosoh)는 텅스텐 분말의 미세 가공과 고밀도 합금의 개발 분야에서 기술을 축적해 왔습니다.
 - 한국 의 HEMC(주)는 강력한 R&D 와 신속한 대응 능력을 바탕으로 고정밀 텅스텐 합금 막대와 특수 형상 부품의 맞춤 생산에 중점을 두고 있습니다.
- 기술적 하이라이트
 - 고순도 물질을 제조하는 뛰어난 능력
 - 미세구조 제어 및 나노 강화 분야를 선도합니다.
 - 복잡하고 소형의 텅스텐 합금 부품을 일괄적으로 안정적으로 가공합니다.
- 시장 포지셔닝
 - 전자제품, 디스플레이 장치, 레이저 부품 등 중급~고급 시장을 타겟으로 합니다.
 - 제품 단가가 높고, 서비스 역량이 강하며, 품질과 기술력으로 승부합니다.

9.3.4 글로벌 경쟁 환경 및 추세 요약

영역	회사 특징	기술 수준	시장 포지셔닝	장점	단점
중국	자원 주도 + 대규모 제조	중급과 고급이 공존하다	중급에 집중하고 고급으로 진출	저렴한 비용과 안정적인 공급	고급 인증제도 미흡
유럽과 미국	기술 중심 + 브랜드 선도	하이엔드 리더십	항공, 군사, 의료	강력한 기술과 완벽한 표준	높은 비용과 높은 가격
일본어와 한국어	정밀성 + 맞춤화	순도가 높고 미세하다	전자 및 의료 응용 분야	높은 처리 정확도	소규모 생산 용량

요약

글로벌 텅스텐 합금봉 시장은 "중국의 생산 능력이 압도적이고, 유럽과 미국은 고급 시장을, 일본과 한국은 정밀 시장에 깊이 관여"하는 경쟁 구도를 보이고 있습니다. 앞으로 신소재 기술의 발전, 공급망 국산화 추세 강화, 고급 시장 경쟁 심화에 따라 각 지역 기업들은 전략적 포지셔닝을 지속적으로 최적화할 것입니다. 중국 기업이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

강자로 도약하려면 소재 설계, 정밀 가공 및 인증 시스템에 대한 지속적인 노력이 필요합니다. 유럽과 미국 기업은 비용 및 공급망 재구축의 압력에 대처하고 기술 리더십을 유지해야 합니다. 일본과 한국 기업은 시장 세분화를 지속적으로 심화하고 고부가가치 제품 분야에서 우위를 유지할 것입니다.

9.4 원자재 가격 변동 및 비용 구조 분석

텅스텐 합금 봉은 원자재 가격, 특히 텅스텐 정광, 텅스텐 분말, 합금 원소(예: Ni, Fe, Cu) 등의 가격 변동에 크게 좌우되며, 이는 전체 산업 체인의 안정성과 수익성에 지대한 영향을 미칩니다. 전 세계 텅스텐 자원 매장량은 제한적이고 시장은 고도로 집중되어 있으며, 수요와 공급, 정책, 환경 보호, 지정학 등의 요인에 따라 가격이 순환적으로 변동합니다.

텅스텐 합금 막대의 구조

텅스텐 합금 막대는 주로 다음과 같은 부품으로 구성됩니다 .

비용 범주	비율(참조 범위)	설명하다
텅스텐 원자재 비용	50%~65%	농축물, 암모늄 파라텅스테이트 (APT), 텅스텐 분말 등을 포함한 가격 변동은 총 비용에 가장 큰 영향을 미칩니다.
합금 원소 비용	10%~15%	Ni, Fe, Cu 등의 경우 텅스텐에 비해 가격 변동폭이 작지만 여전히 불안정하다.
에너지 및 보조재료	8%~12%	전기, 수소, 보호가스, 금형소재 등은 에너지 소비구조와 지역정책에 영향을 받습니다.
노동 및 관리 비용	5%~10%	급여, 공장 임대료, 관리비 등을 포함합니다.
장비 및 감가상각비	3%~5%	대형 소결 및 프레스 장비와 유지 보수 비용
환경 보호 및 안전 비용	2%~5%	특히 중국과 EU 에서는 환경보호에 대한 투자가 계속 증가하고 있습니다.

참고: 비용 구조는 공정, 원산지, 생산 규모 및 제품 사양에 따라 달라집니다.

9.4.2 텅스텐 원료 가격의 변동 추세

텅스텐은 여러 복잡한 요인의 영향을 받습니다. 최근 몇 년간 텅스텐 주요 원자재 가격 변동은 다음과 같습니다.

(1) 텅스텐 정광($WO_3 \geq 65\%$) 가격 동향

- 2020 년~ 2022 년 : 톤당 95,000 위안~110,000 위안 수준으로 가격이 안정화될 전망 입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 2022-2023 년 : 신 에너지 투자 붐, 공급 부족, 환경 보호 제한 등 의 영향으로 가격이 **톤당 125,000 위안 이상** 으로 상승합니다 .
- 2024 년 : 국내 정책 규제와 세계 경제 침체의 영향으로 가격이 하락하여 **톤당 113,000~120,000 위안** 사이에서 변동할 것으로 예상됩니다 .

(2) APT(파라텡스텐 산암모늄) 및 텅스텐 분말 가격

- 2024 년 중반에 **톤당 175,000 위안~190,000 위안**으로 인상
- 텅스텐 분말의 가격 안정성은 다소 낮습니다. 가공 기술과 입자 크기 규격의 영향이 크기 때문에 가격은 **톤당 24 만 위안에서 28 만 위안** 사이를 오가는 경우가 많습니다 .

(3) 합금원소 가격

- 니켈(Ni) 가격은 큰 변동성을 보입니다. 신에너지 산업과 스테인리스 산업 의 영향으로 **2023 년에는 톤당 20 만 위안을** 돌파했고 , 2024 년에는 안정화되었습니다.
- 구리(Cu)와 철(Fe)의 가격은 비교적 크게 변동하지 않지만, 국제 무역 상황의 변화에 따라 어느 정도 영향을 받습니다.

9.4.3 원자재 변동이 사업 운영에 미치는 영향

영향 차원	특정 증상
비용 관리가 더 어려워진다	텅스텐 원자재는 특히 중소기업의 총이익을 압박했습니다 .
잡은 가격 변동	하류 고객의 구매주기가 원자재 가격 변동과 맞지 않아 주문 불확실성 증가
재고 및 조달 전략 위험 증가	원자재 가격을 미리 고정하면 가격 불일치가 발생하여 현금 흐름과 재고 가치에 영향을 미칠 수 있습니다.
전도도 차별화	선도적인 기업들은 기술 프리미엄을 통해 비용 압박을 전가할 수 있는 반면, 소규모 기업들은 협상력이 약합니다.

9.4.4 대응 전략 및 추세 판단

(1) 가격 고정 및 헤징 메커니즘 구축

- 기업은 선물이나 장기 계약을 이용해 원자재 구매 가격을 확정할 수 있습니다.
- 자원 공급업체와의 협력을 강화하고 안정적인 조달 채널을 구축합니다.

(2) 제품구조 최적화 및 고부가가치화 전환

- 고강도, 고온 내구성 등의 특수 특성을 갖춘 텅스텐 합금 막대를 개발하여 단위 매출 총이익률을 개선합니다.
- 프로세스 차별화를 통해 원자재 비용 변동에 대한 헤지를 확보하세요 .

(3) 생산과정의 에너지 절약 및 비용 관리 강화

- 등방성 압축 및 레이저 소결과 같은 에너지 절약 공정을 통해 특정 에너지 소비를 줄입니다.
- 수율과 원자재 활용률을 개선하기 위해 린 생산 관리를 구현합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(4) 재활용텅스텐합금의 녹색 재활용 및 활용

- 텅스텐 소재 재활용 시스템을 구축하고 재활용 텅스텐 분말 기술을 개발합니다.
- 재활용된 텅스텐의 비용은 광석을 추출하는 비용보다 훨씬 낮기 때문에 향후 비용을 절감하는 중요한 방법입니다.

요약

텅스텐 합금 봉 생산은 원자재 가격, 특히 텅스텐 분말 및 합금 원소의 가격 변동에 매우 민감하며, 이는 기업의 수익성에 직접적인 영향을 미칩니다. 세계적인 자원 전략화, 더욱 엄격해지는 환경 보호 정책, 그리고 고부가가치 제품의 지속적인 성장 속에서 원자재 가격의 높은 변동은 새로운 표준이 될 수 있습니다. 앞으로 기업은 위험 관리 역량을 강화하고, 비용 압박에 대처하며, 다각화된 원자재 전략, 고부가가치 제품, 그리고 친환경 제조를 통해 지속 가능한 발전을 달성해야 합니다.

9.5 산업 정책 및 수출 상황 해석

높은 기술력과 고부가가치를 지닌 희소 금속 제품인 텅스텐 합금봉은 산업 정책과 국제 수출 규제에 영향을 크게 받습니다. 특히 글로벌 "자원 전략"과 "공급망 현지화"의 맥락에서 각국 정부는 핵심 소재 공급망의 보안을 확보하고 핵심 금속에 대한 무역 감독을 강화하기 위한 관련 정책을 도입했습니다. 기업은 규정 준수를 전제로 정책 변화 추세를 정확히 파악하여 위험 감수성과 글로벌 경쟁력을 강화해야 합니다.

9.5.1 중국의 텅스텐 산업 정책 방향

(1) 자원보호 및 총량관리

- 텅스텐은 국가가 보호하는 핵심 광물로 지정되어 의무적인 총생산관리가 시행되고 있습니다.
- 2002 년부터 텅스텐 광산에 대해 총 채굴량 관리 계획을 시행하고 있으며, 2024 년 텅스텐 정광(WO_3 함량 65%) 의무 생산량은 약 11 만 톤입니다.
- 국가는 불법 채굴을 엄격히 통제하고 불법 자원 거래를 단속합니다.

(2) 산업 고도화 및 녹색 전환

- "희귀금속 산업 발전 계획"과 "신소재 산업 발전 지침"은 텅스텐 자원을 고성능 합금, 첨단 구조 재료, 기능성 재료로 전환하는 것을 장려합니다.
- 재료 등 고급 제품의 생산을 확대 하고, 높은 오염과 비효율적인 생산 능력을 제거합니다.
- 텅스텐 합금 분야의 기술 혁신과 장비 국산화 역량을 강화하여, "자원-제품-응용"의 완전한 체인을 형성합니다.

(3) 수출관리 및 제한정책

- 텅스텐 합금 막대와 그 모재는 "이중 용도 품목 및 기술 수출 통제 목록"에 있는 민감한 제품이므로 법률에 따라 수출 허가가 필요합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 상무부와 세관총서는 공동으로 감독하며, 수출기업은 반드시 관련 자격과 관리제도를 갖추어야 합니다.
- 신고 내용을 은폐하거나 제 3 자를 통해 제품명을 변경하는 등 수출 감독을 회피하는 행위는 금지됩니다. 위반 시 벌금 및 수출 자격 정지 처분을 받게 됩니다.

9.5.2 국제 수출 환경의 변화

(1) 유럽과 미국 간 '양방향 통제' 강화

- 미국과 유럽은 텅스텐 합금을 '중요 광물' 또는 '전략 물자' 목록에 포함시키고 수입 텅스텐 제품에 대한 검토를 강화했습니다.
- 기술적 추적 요건 및 이중 용도 검토를 포함하여 중국 텅스텐 제품(텅스텐 합금 막대 포함)에 특정 무역 제한을 부과합니다.
- 미국은 일부 군용 텅스텐 제품을 국내 공급업체나 "우호국"으로부터 구매하는데 우선권을 주어 기술적 장벽을 형성합니다.

(2) 일본과 한국 시장은 상대적으로 개방적이지만 진입장벽이 높다

- 한국과 일본은 특히 의료, 전자, 반도체 등 고정밀 응용 분야에서 기술 검토 및 제품 성능 기준에 대한 요구 사항이 매우 높으며, 텅스텐 합금 막대에 대한 맞춤화 및 미세 구조 제어와 같은 기술적 기준을 제시하고 있습니다.
- 기업은 ISO, JIS, MIL 등 일련의 표준 인증을 통과해야 하며, 고객 공장 감사 및 배치 안정성 검증과 같은 엄격한 프로세스도 통과해야 합니다.

(3) 일대일로 연선국가들의 시장 잠재력이 확대되고 있다

- 중앙아시아, 중동, 동유럽 등 '일대일로' 연선국가의 인프라 건설 및 에너지 투자 확대로 고밀도 균형추 및 방사선 방호용 텅스텐 합금 제품에 대한 수요가 새롭게 창출되었습니다.
- 정책은 수출신용보험, 국경 간 인민폐 결제, 세무 협정 등의 도구를 통해 기업이 신흥 시장을 개척하도록 지원합니다.

9.5.3 수출 상황 및 위험 예방 및 통제

주요 위험 유형	설명 및 대책
무역 마찰이 확대되다	미국과 같은 시장에서 잠재적인 "반덤핑 조사" 및 "원산지 차별" 정책을 처리하기 위해 제품 차별화 및 회피 경로 배치(예: 재수출 무역)를 채택할 수 있습니다.
인증 임계값 제한	AS9100(항공우주), NADCAP(열처리) 등 국제표준체계 인증 역량 구축 가속화로 하이엔드 공급망 진출
수출 승인 지연	수출 허가 주기 연장은 납품에 영향을 미칠 수 있습니다. 기업은 통관 주기를 사전에 계획하고 내부 규정 준수 준비 역량을 강화하는 것이 좋습니다.
지정학적 변동성	단일 국가에 대한 과도한 의존을 피하기 위해 고객 시장을 다각화하고, 위험을 다각화하기 위해 현지 파트너와의 협력을 강화합니다.

9.5.4 정책 권장 사항 및 기업 대응 전략

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. 정책 추적 및 정보 조기 정보 메커니즘을 강화해야 합니다. 기업은 국가발전개혁위원회, 상무부, 세관, 그리고 국제 산업 협회 에서 발표하는 정책 동향에 주의를 기울이고 규제 변화에 적극적으로 대응하기 위해 전담팀을 구성해야 합니다 .
2. 규정을 준수하는 수출 시스템 및 자격 관리 역량 구축
 - o "이중용도품목허가증", "수출등록증" 등 필요한 자격을 신청합니다.
 - o 제품 추적 시스템과 전체 프로세스에 걸친 세관 신고 문서 보관 메커니즘을 구축합니다.
3. 국제표준 제정에 적극 참여하고 , 과학연구기관과 공동으로 새로운 ISO/ASTM 표준 제정에 참여하여 국제적 위상을 강화하고 제품 품질 시스템 구축을 개선합니다.
4. 다양한 국제 시장 확대
 - o 유럽, 미국, 일본의 고급 고객을 깊이 있게 육성합니다.
 - o 동시에 우리는 지정학적 집중으로 인한 위험을 줄이기 위해 중동, 인도, 동남아시아 등의 신흥 시장을 개발할 것입니다.

요약

전략 물자로서 텅스텐 합금봉의 수출 상황은 정책 지침과 국제 환경 변동에 큰 영향을 받습니다. 중국은 자원 관리 및 고부가가치 전환 전략을 시행하고 있으며, 유럽과 미국은 기술 및 무역 장벽을 강화하고, 일본과 한국은 기술 인증을 통해 제품 진입을 유도하고 있습니다. 기업은 이러한 정책 논리를 정확히 이해하고 적응해야 하며, 기술 내용 개선, 규정 준수 시스템 개선, 다각화된 시장 확대를 통해 자체적인 국제 경쟁력을 확보해야 합니다.

9.6 고급 제조업에서 텅스텐 합금봉에 대한 미래 수요 예측

세계 제조업이 고성능, 경량화, 지능형, 친환경이라는 새로운 시대로 빠르게 전환됨에 따라, 소재에 대한 더 높은 기준과 다양한 요구가 제기되고 있습니다. 텅스텐 합금 봉은 뛰어난 고밀도, 고용점, 뛰어난 기계적 성질, 내방사선성, 그리고 열적 안정성을 갖추고 있어 항공우주, 원자력, 군수 산업, 전자 의료 등 첨단 제조 분야에서 필수적인 핵심 소재로 자리 잡았습니다. 앞으로도 이러한 산업의 고도화는 텅스텐 합금 봉의 수요, 성능 요건, 그리고 적용 분야를 지속적으로 확대할 것입니다.

9.6.1 하이엔드 제조업 발전 동향 개요

산업 방향	개발 추세	텅스텐 합금 막대에 대한 요구 사항
항공우주	더 높은 추력 대 중량 비율과 더 강한 하중 저항을 향해 개발	높은 비중 + 높은 인성 + 제어 가능한 관성 구조 부품

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

초음속 무기	고속 비행 + 고온 충격 환경	열충격 저항성 + 열 안정성 + 캐비테이션 피로 저항성
핵융합/핵분열	극한의 온도 + 높은 방사선 강도	방사선 저항성 + 고온 강도 + 중성자 흡수
의료 장비	소형화 및 정밀화	고밀도 + 가공성 + 재료 생체적합성
반도체 및 전자 패키징	높은 전력 밀도 + 열 관리 과제	열전도도 + 포장강도 + 소형 정밀구조
정밀기계 및 로봇공학	높은 동적 제어 + 관성 맞춤형 구성 요소	고밀도 + 기하학적 정밀 제어 기능

9.6.2 주요 분야의 미래 수요 예측

(1) 항공우주 및 관성 제어 부품

- 위성 컨스텔레이션의 급속한 발전으로 재사용 가능한 로켓과 상업용 항공기의 경우, 균형추와 관성 제어 부품용 텅스텐 합금 막대에 대한 수요가 크게 증가했습니다.
- 새로운 세대의 항공기는 치수 정확도, 기계적 강도, 재료의 신뢰성에 대한 요구가 더 높습니다.
- 2030년까지 항공우주 분야의 텅스텐 합금봉 수요는 연평균 10~12% 성장할 것으로 추산됩니다.

(2) 원자력 및 핵융합에너지공학

- ITER 및 CFETR과 같은 핵융합 프로젝트에서 텅스텐 소재는 계속해서 심화되고 있으며, 방사선 차폐 및 제어봉 구조에서 텅스텐 합금 막대의 적용이 계속 확대되고 있습니다.
- 4세대 핵분열로(고속 중성자로, 용융염 원자로)도 텅스텐 합금을 구조재 후보로 꼽았습니다.
- 중국, 유럽연합, 미국, 일본 등 여러 국가가 텅스텐 기반 핵물질을 개발하기 위한 프로젝트를 시작했습니다.
- 2035년까지 핵에너지 분야에서 텅스텐 합금봉의 연평균 성장률은 13% 이상을 유지할 것으로 예상됩니다.

(3) 고급 의료장비

- 방사선 치료 가속기에 사용됩니다. 감마선 칼, 방사선원 보호 구조물 등
- 인구 고령화와 암 치료 장비 수요의 급속한 증가;
- 고밀도, 저불순물 의료용 텅스텐 봉 분야에서 중국기업은 유럽, 미국 표준 장벽을 돌파하는 데 박차를 가하고 있습니다.
- 2030년까지 글로벌 의료용 텅스텐 합금 막대 시장 규모는 3억 달러를 넘어설 것으로 예측됩니다.

(4) 지능형 제조 및 첨단 공작기계

- 고속, 고관성 공구 균형추, 자동 공구 고정 장치 등에서 점차 고밀도 텅스텐 합금이 전통적인 강철을 대체하고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- CNC 공작 기계 및 고정밀 스피들 구성품용 텅스텐 합금 막대가 새로운 성장 포인트가 되었습니다.
- 향후 5 년간 8~10% 의 성장률을 보일 것으로 추산됩니다 .

(5) 국방 및 초음속 무기체계

- 전술 무기가 고속 관통, 궤도 조정, 소형화 방향으로 발전함에 따라 텅스텐 합금 막대가 총알 심, 균형 잡힌 꼬리 부분 등에 점점 더 많이 사용되고 있습니다.
- 장갑 관통 발사체와 운동 에너지 무기 의 경우 나노 강화, 고밀도, 고인성 소재로의 업그레이드에 중점을 둘 것입니다.
- 군용 텅스텐 합금 막대는 연평균 8-9 % 의 성장률을 유지할 것으로 예상됩니다 .

9.6.3 성능 기술 동향

성과 지표	개발 방향	기술 경로의 예
비중 제어 정확도	$\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 이내	타겟 프레싱 + CNC 압출 성형
열충격 저항성	1000°C를 초과하는 열구배 충격	ZrC / La ₂ O ₃ 복합 세라믹 입자 첨가
미세구조 균일성	입자 크기는 5 μm 이내로 제어됩니다.	나노파우더 + 진공소결
처리 정확도	$\phi \pm 0.005\text{mm}$, 표면 Ra<0.1 μm	미세 입자 밀도화 + 초미세 분쇄
방사선 저항성	중성자 흡수/감마선 방호 강화	B/C 및 기타 원소 코팅/공소결

9.6.4 기업 개발 제안 및 미래 지향적 레이아웃

1. 제품 구조는 고성능 맞춤형으로 발전하고 있으며
항공우주 관성 균형추 시리즈, 의료용 방사선 치료 차폐 시리즈, 반도체 방열 시리즈 등 다양한 응용 분야에 맞는 일련의 제품을 개발하여 고객 유지도를 높이고 있습니다.
2. 하이엔드 고객 인증 체계를 구축하고,
AS9100, ISO13485, MIL 등 품질 시스템을 사전에 계획하여 글로벌 하이엔드 제조 고객 기반을 확대합니다.
3. 녹색 및 재활용 제조 시스템에 투자하면
텅스텐 합금 분말 재활용, 녹색 소결 및 저탄소 기술을 중심으로 미래 공급망에서 새로운 이점을 창출할 수 있습니다 .
4. 스마트 제조와 디지털 모니터링을 도입하여
Industry 4.0 개념을 도입하고, 재료 준비 프로세스 전반에 걸쳐 디지털 모니터링과 데이터 중심을 실현하여 일관성과 수율을 개선합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

요약

텅스텐 합금 붕은 향후 10 년 동안 고급화, 세분화, 세계화라는 새로운 개발 기회를 가져올 것입니다. 항공우주, 핵융합, 의료, 정밀 제조, 방위 산업은 앞으로도 수요 증가의 핵심 동력이 될 것입니다. 기업들이 소재 혁신, 품질 시스템, 시장 확대, 기술 업그레이드에 끊임없이 노력해야만 이 고급 제조 열풍 속에서 개발 주도권을 확보할 수 있습니다.

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

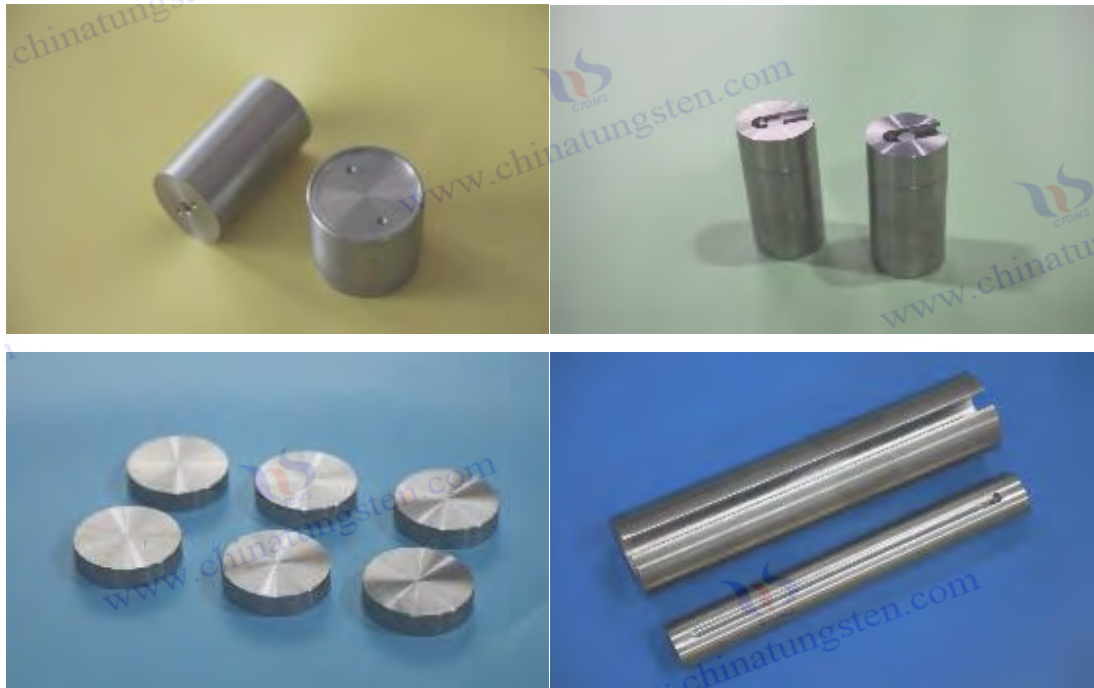
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



제 10 장 텅스텐 합금 막대의 연구 핫스팟 및 첨단 기술

10.1 고밀도 텅스텐 합금봉의 치밀화 공정에 관한 연구

텅스텐 합금 막대는 기계적 특성, 열전도도, 내식성 및 사용 수명에 결정적인 영향을 미칩니다. 텅스텐 합금 막대를 이론 밀도(>98.5%) 또는 최대 밀도에 가까운 밀도로 제조하는 것은 현재 재료 공학 및 분말 야금 분야에서 중요한 연구 분야입니다. 고밀도화 공정의 품질은 핵융합 구조 부품, 미사일 밸런스 부품, 고전력 전자 방열판 등 첨단 응용 분야에서 제품의 구조적 무결성, 미세 구조 균일성 및 신뢰성을 직접적으로 결정합니다.

10.1.1 밀도화의 기본 원칙 및 지수 요구 사항

고밀도화는 분말 압축체에 온도, 압력 또는 기타 에너지 입력을 가함으로써 입자 사이의 기공이 점차 닫히고, 입자 계면이 결합되고, 입자가 효과적으로 쌓이고 확산되는 과정을 말합니다.

주요 지표:

- 체적 밀도 $\geq 18.5 \text{ g/cm}^3$ (W 함량 > 90% 합금)
- 다공성 $\leq 1.5\%$
- 눈에 띄는 내포물, 균열 또는 기공 농도 영역 없음
- 입자 크기는 $20\mu\text{m}$ 이하로 제어 가능합니다.

10.1.2 전통적인 소결 고밀도화 기술

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

(1) 기존의 진공소결

- 일반적인 공정 온도: 1450~1550°C
- W-Ni-Fe, W-Ni-Cu 시스템에 적용 가능
- 장점: 성숙한 기술, 일괄 생산에 적합
- 단점: 기공을 완전히 배수하기 어렵고, 밀도화를 촉진하기 위해 액상이 필요합니다.

(2) 액상보조소결

- Ni 또는 Cu 에 의한 임계 액상 형성은 소결 온도에서 입자 재배열을 촉진합니다.
- 조직 균일성과 결합 능력을 향상시킬 수 있습니다.
- "액상 분리" 및 "입자 성장"의 위험이 있으며, 액상 비율을 엄격하게 제어해야 합니다.

(3) 다단소결 및 자연소결

- 다단계 가열 또는 일정 시간 동안 다른 온도 구역을 유지하면 입자 크기를 배출하고 제어하는 데 도움이 됩니다.
- 특히 초미립분말이나 나노분말에 효과적입니다.

10.1.3 고급 고밀화 기술 경로

(1) 열간등방압성형(HIP)

- 고온에서 등방성 가스 압력(100~200MPa)을 가해 내부 미세기공을 붕괴시킨다.
- 밀도를 99.5% 이상으로 증가시킬 수 있습니다.
- 단점: 장비가 고가이고, 사이클이 길며, 고급 부품의 후가공에 적합

(2) 스파크 플라즈마 소결(SPS)

- 고전류 펄스 + 축 방향 압력에 의한 빠른 밀도화
- 빠른 가열 속도(최대 100°C/분) 및 짧은 소결 시간(몇 분 이내)
- 나노입자를 유지하며 과도한 성장을 억제할 수 있습니다.
- 단점: 금형에 의해 제품 크기가 제한되어 소형 고부가가치 소재에 적합

(3) 마이크로파소결

- 텅스텐의 마이크로파 흡수를 이용하여 균일한 내부 가열을 달성
- 높은 열효율과 빠른 밀도화 속도, 하지만 아크 및 핫스팟 문제는 해결해야 함

(4) 레이저 보조 고밀화

- 특수한 모양의 구조나 다층 복합 구조를 가진 텅스텐 합금 막대.
- 기술은 아직 연구 및 실험 단계에 있으며 산업화에는 더 많은 혁신이 필요합니다.

10.1.4 밀도화에 대한 재료 요인의 영향

- 분말 입자 크기 : 입자 크기가 작을수록(특히 <1μm) 밀도화 온도가 낮아지고 속도가 빨라지지만 비정상적인 소결 목 성장이 발생할 가능성이 더 높습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **분말 형태** : 구형 분말은 밀도가 높아지기 쉽지만, 조각 모양이나 각진 분말은 소결 중에 공극이 형성될 가능성이 더 높습니다.
- **불순물 및 산소 함량** : Si, O, C 와 같은 불순물은 계면에서 중간층이나 2 차상을 형성하여 밀도화 과정을 방해하는 경향이 있습니다.
- **합금 원소 분포** : Ni/Cu 의 균일한 분포는 액상 확산 경로를 최적화하고 밀도를 향상시킬 수 있습니다.

10.1.5 밀도화의 미시적 메커니즘

- **확산 메커니즘** : 대량 확산과 결정립계 확산이 지배적이며, 활성 원소(예: La 및 Zr)를 첨가하면 단거리 확산을 촉진할 수 있습니다.
- **입자 재배열 이론** : 액체 상태가 존재할 경우 입자는 최소 에너지 배열로 이동하여 밀도가 높은 적층 구조를 형성합니다.
- **기공 이동 및 수축** : 작은 기공이 큰 기공 쪽으로 모이거나 열-기계적 결합 작용으로 단혀 완전한 밀집체를 형성합니다.
- **성장 억제** : 가열 속도를 조절하고 결정립 경계 억제제(예: 희토류 산화물)를 추가하여 미세한 결정립 구조를 유지합니다.

10.1.6 응용 사례 및 연구 진행 상황

- **과학원 금속연구소** : SPS 를 사용하여 99.4%의 W-5Ni-2Fe 합금 밀도와 6.2 μ m 의 평균 입자 크기를 달성함;
- **플랜제 , 오스트리아** : 상업용 HIP+등온 단조 기술이 항공우주용 고밀도 텅스텐 막대에 적용되었으며, 기공률은 0.3% 미만입니다.
- **중국텅스텐하이테크** : 액상 및 마이크로파 복합 고밀도화 공정을 개발하여 W-Ni-Cu 막대의 밀도를 18.9g/cm³ 이상으로 높였습니다. 이는 군용 발사체 코어에 널리 사용됩니다.

10.1.7 미래 개발 동향 및 과제

개발 방향	기술 경로	도전
나노스케일 분말 고밀도화	초고속 소결 및 냉간 소결	분말 응집 및 산화 억제가 어렵다
대형 텅스텐 합금 막대의 고밀도화	다단계 HIP + 열간 단조 조합	열 응력 제어, 비용 제어
고밀도 복합 구조 설계	코어-셸 파우더, 그래디언트 구조 소재	공정 정밀도 및 장비 용량 제한
지능형 소결 공정 모니터링	온라인 밀도 평가 + 피드백 제어	인식 기술과 AI 알고리즘을 통합하는 것은 어렵다

요약

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

고밀도 텅스텐 합금 봉은 재료 과학 분야의 복잡한 시스템 엔지니어링으로, 분말 공학, 열역학 제어, 계면 물리학, 그리고 가공 기술을 통합합니다. 앞으로 고급 응용 분야의 수요 증가, 고밀도화 기술의 지속적인 발전, 그리고 지능형 제조 개념의 심층적인 통합을 통해 텅스텐 합금 봉의 고밀도화 공정은 정밀성, 친환경성, 그리고 개인화라는 두 가지 방향으로 더욱 발전할 것입니다.

10.2 지능형 제조 및 자동화된 텅스텐 합금 막대 생산 라인

글로벌 제조업이 "고급, 지능형, 친환경"으로 전환됨에 따라, 텅스텐 합금 봉재 생산 분야 또한 기존의 대량 생산 모델에서 지능형 제조 단계로 점차 전환되고 있습니다. 사이버 물리 시스템(CPS), 산업 사물 인터넷 (IIoT), 인공지능(AI), 디지털 트윈과 같은 차세대 제조 기술을 도입하여 높은 자동화, 뛰어난 품질 일관성, 그리고 높은 대응 유연성을 갖춘 지능형 공장을 구축하는 것이 첨단 텅스텐 소재 기업의 핵심 전략 방향이 되었습니다.

10.2.1 텅스텐 합금봉의 지능형 제조의 필요성

운전자	설명하다
다양한 제품 사양	다양한 크기, 합금 구성 및 조직 구조를 갖춘 맞춤형 제품에 대한 수요가 증가하고 있습니다.
비용 및 효율성 압박	노동비 상승, 에너지 소비량 조절, 품질 변동으로 생산에 어려움이 발생
품질 안정성 요구 사항	항공, 핵에너지, 의료 및 기타 분야에서는 배치 일관성에 대한 요구 사항이 매우 높습니다.
규정 준수 및 추적성 압력	국제 인증 시스템에는 전체 프로세스 추적성과 완전한 생산 데이터 기록이 필요합니다.
안전 및 환경 보호 요구 사항	분말 공정은 가연성 및 폭발성이 있으므로 자동화를 통해 안전 수준을 개선할 수 있습니다.

10.2.2 스마트 제조 생산라인의 핵심 모듈

분말 제조 → 성형 → 소결 → 열처리 → 가공 → 테스트 및 포장 의 전체 공정 체인을 포괄하며 , 자동화 장비와 정보 시스템을 통합하여 종단 간 협업 제어를 실현합니다.

(1) 자동 분말 혼합 및 블렌딩 시스템

- 다양한 텅스텐 기반 분말과 첨가 원소의 비율을 정확하게 제어합니다.
- 자동 저울, 진공 공급 시스템, 폐쇄형 볼 밀 및 건조 시스템을 갖추고 있습니다.
- MES 시스템과 협력하여 공식 및 배치 데이터 관리를 실현합니다.

(2) 지능형 프레스싱 유닛(성형/등압프레스)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 성형: 서보 유압 시스템과 위치 폐쇄 루프 제어를 갖춘 자동 프레스;
- 등방성 프레스: 원격 사전 설정 및 공정 곡선 관리 기능을 갖춘 지능형 오토클레이브 제어 시스템
- 자동적재-프레스-탈형의 통합을 실현합니다.

(3) 소결 및 분위기 제어 자동라인

- 자동 온도 및 가스 제어 진공로 또는 수소로;
- 연속소결을 실현하기 위해 트랙형 소재랙 이송시스템을 갖추고 있습니다.
- 프로세스 매개변수의 원격 스케줄링 및 실시간 대기 품질 모니터링 (O_2 및 H_2 함량의 온라인 분석).

(4) 열처리 및 치밀화의 통합 제어

- 열간등방압착(HIP) 자동적재 및 하역 시스템을 갖추고 있습니다.
- 고온 단조 또는 압출 공정과 협력하여 고밀도 및 균일한 조직 가공 능력을 형성합니다.
- 온도 및 압력 곡선은 자동으로 제어되며, 프로세스 데이터 기록은 클라우드에 업로드됩니다.

(5) CNC 가공 및 온라인 테스트 시스템

- CNC 선반, 연삭기, 연마 라인은 MES 시스템에 연결됩니다.
- CCD 비전과 레이저 직경 측정 장비는 실시간으로 크기 편차를 모니터링합니다.
- 가공 매개변수는 적응형 가공을 지원하도록 자동으로 조정됩니다.

(6) 자동 포장 및 라벨링

- 지능형 포장 라인은 진공, 건조제 충전, 진동 방지 버퍼 구성을 실현합니다.
- 바코드/QR 코드 + RFID 자동 라벨 인쇄 및 추적 시스템.

10.2.3 디지털화 및 정보 시스템 지원

시스템 유형	기능
MES(제조 실행 시스템)	생산 계획 관리, 장비 일정, 배치 추적성 및 프로세스 실행 모니터링을 실현합니다.
SCADA 시스템	온도, 대기, 압력, 전류 등 주요 매개변수의 실시간 수집 및 시각적 표시
QMS(품질경영시스템)	결함 경고 및 통계적 공정 관리(SPC)를 달성하기 위해 전체 프로세스 품질 관리 프로세스를 구축합니다.
ERP 시스템 연동	주문, 조달, 재고 및 제조를 통합하여 폐쇄 루프 관리를 형성합니다.
AI 지원 의사결정 엔진	여러 배치의 데이터를 분석하고, 매개변수 설정을 최적화하고, 첫 번째 통과율을 개선합니다.
디지털 트윈 시스템	프로세스 최적화, 장비 예측 유지 관리 및 시뮬레이션을 달성하기 위한 가상 생산 모델 구축

10.2.4 현재 병목 현상과 미래 방향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

주요 과제	성능	개발 방향
높은 비용 임계값	자동화 장비에 대한 초기 투자는 크다	대규모 제조 + 정부 지원 + 단계적 투자
특수 형상의 작업물에 대한 적응성이 낮음	기존 장비의 대부분은 표준 바 사양입니다.	다양한 형상 처리에 적응할 수 있는 모듈형 지능형 유닛 개발
데이터 시스템 사일로	정보 시스템 간의 일관되지 않은 인터페이스	개방형 표준 및 산업 프로토콜 통합(OPC UA 등)을 촉진합니다.
인간과 기계의 협업이 부족합니다	주요 링크에는 여전히 인간의 개입이 필요합니다.	인간-기계 협업 강화 및 가상현실 통합 제조

10.2.5 미래 기술 동향 전망

1. **엣지 컴퓨팅 및 AI 엣지 배포** : 주요 프로세스 링크에 AI 스마트 터미널을 배포하여 실시간 엣지 모니터링, 매개변수 자체 조정 및 장비 상태 예측을 달성합니다.
2. **다중 소스 데이터 융합 분석** : 이미지, 음향, 열화상, 진동 등 여러 센서 데이터를 융합하여 제품 품질 및 결함 위치에 대한 종합적인 판단을 달성합니다.
3. **저탄소 제조 및 탄소발자국 추적 시스템** : 텅스텐 합금 막대의 수명주기 전반에 걸친 탄소 배출량을 평가하고 녹색 제조 평가 시스템을 구축합니다.
4. **클라우드 제조 및 유연한 협업 네트워크** : 5G+산업용 인터넷을 통해 상류 및 하류 제조 리소스를 연결하여 다중 공장 협업 생산 일정 및 원격 프로세스 구성을 실현합니다.

요약

텅스텐 합금 봉재는 "부분 자동화"에서 "완전 공정 지능화"로 전환하는 중요한 단계에 있습니다 . 앞으로 핵심 공정 변수의 심층적인 디지털화, 장비 지능화 기능 향상, 그리고 관리 시스템의 상호 연결 및 통합을 통해 텅스텐 합금 봉재 제조는 "경험 중심"에서 "데이터 중심"으로 점진적으로 근본적인 전환을 달성하고, 고성능 금속 소재 산업 전체를 새로운 지능화 시대로 이끌 것입니다.

텅스텐 합금 막대와 적층 제조의 통합 개발

항공우주, 원자력, 군사 및 의료 분야에서 적층 제조 기술의 적용이 가속화됨에 따라, 기존의 고성능 합금 소재는 복잡한 형상, 맞춤형 구성, 효율적인 제조라는 새로운 과제에 직면하고 있습니다. 극한 조건에서 구조적 및 기능적 소재로 활용되는 텅스텐 합금은 적층 제조가 가능한 정밀 부품 소재 시스템에 점차 진입하고 있습니다 . 텅스텐 합금 봉은 와이어, 분말 등 인쇄 소재의 원료로 사용될 뿐만 아니라, 적층 제조 기술 과 점차 통합되어 기능성 부품의 직접 인쇄, 금형 및 야금의 혼합 제조 등 다양한 응용 분야에 활용되고 있습니다 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

적층 제조에 적용된 텅스텐 합금 소재의 기술적 가치

특성	적층 제조 수요	해당 텅스텐 합금의 장점
매우 높은 녹는점	>3000°C 핫멜트 공정	텅스텐 기반 합금은 내열성과 내식성이 뛰어나 극한의 열장에서 부품을 인쇄하는 데 적합합니다.
고밀도	기능성 균형추, 방사선 방호 구조	AM 은 복잡한 균형추/중공 구조를 인쇄하여 경량화를 달성할 수 있습니다.
방사선 차폐	핵융합/의료장비 응용	통합을 개선하기 위한 사용자 정의 가능한 중성자 흡수 구조 부품
열전도도	방열판, 노즐, 마이크로채널 냉각	AM 을 사용하면 매우 복잡한 냉각 채널을 제조할 수 있습니다.
통제 가능한 조직	미세구조 최적화	AM 은 방향성 응고/구배 조성 제어를 달성합니다.

10.3.2 텅스텐 합금에 적용 가능한 첨가 제조 공정 유형

(1) 레이저 파우더 베드 퓨전(LPBF)

- 원리: 레이저는 금속 분말을 층층이 녹인 후 빠르게 냉각시켜 응고시킵니다.
- 장점: 인쇄 정확도가 높고 복잡한 미세 구조를 구현할 수 있음
- 적합한 분말: 구형 W, W-Ni-Fe, W-Cu 합금 분말;
- 과제: 녹는점이 높으면 레이저 흡수 효율이 낮아지고 균열 경향이 커집니다.

(2) 전자빔 용융(EBM)

- 원리: 높은 에너지 밀도의 전자빔을 사용하여 텅스텐 분말을 녹입니다.
- 순수 텅스텐이나 W-Ta 합금과 같은 고용점 금속에 적합합니다.
- 진공 환경과 낮은 산소 함량의 장점이 있습니다.
- 항공우주 추진 시스템 노즐과 같은 고온 구성품에 사용됩니다.

(3) 지향성 에너지 증착(DED)

- 원리: 동기식 분말 공급 또는 와이어 공급 + 레이저/전자빔/플라즈마 소스;
- 모양을 구현할 수 있는 대형 텅스텐 합금 구조
- 텅스텐 합금 막대 부분 및 고온 부품의 재건, 수리 및 두꺼워짐에 적합합니다.

(4) FDM 금속판 융합필라멘트 제작 + 탈바인딩 소결

- 금속 분말 + 폴리머 바인더를 사용하여 압출 성형합니다.
- 인쇄 후 탈지 및 소결을 실시하여 치밀한 구조를 얻습니다.
- 텅스텐 합금은 작고 저렴한 맞춤형 부품을 생산할 수 있는 잠재력을 가지고 있습니다.
- W-Cu 마이크로파 장치, 균형추 등에 사용하기 위해 상용화되었습니다.

10.3.3 텅스텐 합금 AM의 주요 기술적 어려움

질문	성능	대처 전략
----	----	-------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고용점 재료는 녹기 어렵습니다.	레이저 에너지가 부족하거나 용융 풀 제어가 어려움	레이저 출력을 높이고 예열된 기판을 사용하세요
분말 산화에 민감함	인쇄 중 산화 내포물이나 기공이 쉽게 형성됩니다.	고순도 아르곤 보호/진공 인쇄 시스템 사용
열균열 및 잔류응력	급속 냉각으로 인해 균열이 형성됩니다.	예열된 플랫폼과 최적화된 스캐닝 경로를 사용하세요
재료의 유동성이 좋지 않음	불균일한 분말 축적 및 불안정한 용융 풀	분말 구형화 개질, 동일 크기의 혼합 분말 사용
구성 요소 분리	W 의 녹는점은 합금원소의 녹는점과 매우 다르다	기계적 합금화를 이용한 균질한 예비 혼합

10.3.4 응용 사례 및 연구 진행 상황

- **NASA 및 ORNL :**
DED 기술을 사용하여 순수 텅스텐 노즐 모듈을 인쇄하여 고온 추력 시험에 성공적으로 활용했습니다. 또한, 핵 열 추진 시험을 위한 W-Re 합금 구조 부품을 개발했습니다.
- **과학원 금속연구소 :**
W-5Ni 합금의 LPBF 프린팅을 통해 레이저 매개변수를 최적화한 후 밀도가 97% 이상에 도달했으며 미세구조가 균일하고 균열 억제가 양호했습니다.
- **프라운호퍼 연구소, 독일 :**
고열 플럭스 전자 패키징을 위한 W-Cu 분말 LPBF 인쇄 공정을 확립하고 임베디드 마이크로채널 방열판 구조를 성공적으로 구현했습니다.
- **러시아 , 톰스크 공과대학교 :**
고온 플라즈마 용기의 내벽 재료 연구를 위해 W-Mo-Ta 합금의 3D 프린팅 경로를 탐색합니다.

텅스텐 합금 막대와 적층 제조의 커플링 개발 모델

모델	설명하다	응용 프로그램 가치
첨가 + 감산 복합 제조	텅스텐 합금 막대는 거친 블랭크로 미리 제작되고 AM 을 사용하여 미세 구조 강화 또는 기능적 클래딩을 달성합니다.	비용 절감 및 성과 향상
적층 툴링 제조	AM 으로 제작된 복잡한 금형으로 막대의 역파우더 프레싱을 실현	특수 모양의 막대의 일괄 생산에 적합
막대 → 와이어 → 와이어 공급 인쇄	고순도 텅스텐 합금 막대를 뽑아서 대형 부품의 DED 인쇄에 사용합니다.	완전한 재료-공정 체인 구축
막대 성능 수정	텅스텐 막대 표면에 국소 기능층(산화방지층, 완방제 등) 인쇄	서비스 기능 및 수명 향상
디지털 트윈 구조 부품의 진화	AM 을 사용하여 관성 조절 막대, 에너지 흡수 막대 등의 구배 밀도 구조 부품을 구현합니다.	방향성 성능 제어 설계 달성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3.6 미래 개발 동향 및 경로 제안

1. 최적화된 입자 크기 분포, 높은 구형도, 낮은 산소 함량 및 강한 유동성을 갖춘 텅스텐 합금 분말을 개발하고 표준화를 촉진하기 위해 특수 텅스텐 합금 AM 분말 시스템을 구축합니다.
2. 장비 및 에너지원 업그레이드
에는 텅스텐 기반 소재 인쇄에 적응하기 위한 더 높은 에너지 밀도 레이저/전자빔 장비 및 지능형 제어 플랫폼 개발이 포함됩니다.
3. 다중 규모 조직 제어 및 시뮬레이션은
열 응력 결합 시뮬레이션과 공정 매개변수 반전 알고리즘을 도입하여 구성-구조-성능 매핑의 정확한 제어를 달성합니다.
4. 고급 부품의 대량 생산 및 검증은
단품 시제품 생산에서 대량 일괄 생산으로 전환되었으며, 항공우주, 원자력, 의료 장비 등의 분야에 적응하기 위해 성형-열처리-시험 표준 체계가 확립되었습니다.
5. 텅스텐 합금-AM 통합 생산 라인은
텅스텐 합금 막대 원료 준비 - 구형화 분말 생산 - 인쇄 성형 - 후처리 - 테스트로 이어지는 통합 "인쇄 공장"을 구축하여 전체 프로세스의 제어를 개선합니다.

요약

텅스텐 합금 및 적층 제조는 기존 가공 문제를 해결하고 복잡한 부품 제조를 실현할 수 있는 전례 없는 가능성을 제공합니다. 소재 적용, 장비 성능 및 공정 표준의 지속적인 개선을 통해 텅스텐 합금 막대는 더 이상 단순한 최종 제품을 넘어 3D 프린팅의 원천 소재, 핵심 부품, 그리고 복합 기술 캐리어가 될 것입니다. 이를 통해 금속 제조 산업은 지능, 기능성, 정밀성의 새로운 시대로 진입할 수 있습니다.

고성능 합금 대체 소재 의 비교 및 기술 경로

신소재 기술의 발전으로 텅스텐 합금은 일부 응용 분야에서 다양한 고성능 합금과의 경쟁 및 대체에 직면하고 있습니다. 특히 항공우주, 원자력, 전자 방열 및 고온 구조물 분야에서 고객의 소재 성능에 대한 다차원적인 요구가 지속적으로 증가하고 있으며, 이로 인해 텅스텐 합금은 더 가볍고, 더 강하며, 더 높은 고온 저항성과 더 친환경적인 방향으로 끊임없이 발전해야 합니다.

동시에, "유사한 기능"이나 "명백한 비용 효율성 이점"을 갖춘 다양한 대체 소재가 산업화를 가속화하고 있으며, 이는 텅스텐 합금의 시장 구조에 심대한 영향을 미치고 있습니다.

10.4.1 텅스텐 합금의 주요 성능 이점 및 한계

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

성능 차원	장점	제한 사항
밀도	매우 높음(19.3g/cm ³), 균형추, 보호 및 관성 시스템에서 대체 불가	밀도가 높으면 처리가 어렵고 운송비도 많이 든다
녹는점 및 열 안정성	최대 3422°C 의 녹는점으로 극한의 고온 환경에 적합합니다.	고온가공 및 용접이 어렵고 열응력이 크다
방사선 저항성	우수한 중성자 흡수 및 감마선 차폐 성능	부식성이 매우 강한 핵 환경에서는 여전히 보호층 지원이 필요합니다.
열전도도	구리, 은 다음으로 방열판/방열 구조에 적합	열전도도와 산화저항성의 균형을 맞추는 것은 어렵다
가공성	합금화(예: W-Ni-Fe) 후에는 일정한 가공성을 갖는다.	순수 텅스텐 또는 고텍스텐 비율 합금은 여전히 가공하기 어렵습니다.
가격 및 자원 보장	중국은 풍부한 자원 매장량과 안정적인 공급을 보유하고 있습니다.	고순도 텅스텐은 가격이 비싸고 가공이 어렵습니다.

10.4.2 대표적인 고성능 대체 소재의 비교 분석

재료	녹는점/밀도	일반적인 장점	한정	응용 프로그램 중점
몰리브덴 합금(Mo)	~2620°C / 10.3g/cm ³	가볍고, 열전도성이 좋으며, 성형성이 우수합니다.	내식성이 약하고 텅스텐보다 온도 저항성이 낮음	고온 전극, 열전도성 시트, 전자 방열 구조
탄탈륨 합금(Ta)	~3017°C / 16.6g/cm ³	내식성, 연성이 좋음	값비싸고 부족한 자원	원자로 재료, 생체적합성 재료
고엔트로피 합금(HEA)	가변 녹는점 / 중간 밀도	다단계 제어, 내식성/고강도	복잡한 프로세스, R&D 단계	항공 핫엔드 구성품 및 구조 부품
세라믹 매트릭스 복합재(CMC)	>2000°C / 낮은 밀도	고온 강도 및 경량성	취성, 충격 저항성 낮음	항공우주 노즐, 단열 구조
텅스텐 구리 복합소재(W-Cu)	고/중밀도	강력한 열전도성, 아크 저항성, 열충격 저항성	비용이 많이 들고 강도가 중간 수준입니다.	스팟 용접 전극, 방열판 모듈
탄소 기반 소재(C/C, 흑연)	높음/ 매우 밝음	매우 가볍고 열충격에 강하며 마모에 강함	산화되기 쉽고 부식에 강하지 않음	노즐, 미사일 단열재

10.4.3 치환 추세에 따른 텅스텐 합금의 차별화 전략

1. 기능적 세분화 적용 전략 :

- o 매우 높은 밀도와 관성 성능이 필요한 상황(관성 항법 시스템, 동적 밸런싱 웨이트)에서는 여전히 대체 불가능합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o 핵에너지와 고에너지 물리 실험에서 중성자 흡수 능력이 다른 금속보다 뛰어나고 장기적으로 안정하다는 장점이 있습니다.
- 2. 성과 경제 전략 개선 :
 - o 희토류 원소 강화 및 나노 분말 고밀도화 기술을 통해 고온 강도 및 충격 인성을 향상시킵니다.
 - o 복합 구조(텅스텐/탄탈륨 바이메탈, 텅스텐 도금 구리 복합재 등)를 개발합니다.
- 3. 제조 협업 전략 :
 - o 적층 제조, 초정밀 가공, 고에너지 빔 용접 기술을 사용하여 복잡한 구조의 실현 가능성을 향상시킵니다.
 - o 다양한 소재(예: 티타늄 합금 및 니켈 기반 합금)를 결합하여 다중 소재 협업 제조 및 기능 통합을 실현합니다.
- 4. 녹색 환경 보호 및 전체 수명 주기 전략 :
 - o 환경 규정과 자원 지속 가능성 요구 사항을 충족하기 위해 재활용, 재처리 및 재사용의 폐쇄 루프 시스템을 구축합니다.
 - o RoHS/REACH 규정을 준수하는 저오염 제품 및 가공 기술을 홍보합니다.

10.4.4 종합 비교: 미래 재료 시스템에서 텅스텐 합금의 지위

치수	텅스텐 합금	대체 재료의 장단점	개발 전략
고밀도 보호	확실한 장점	탄탈륨과 텅스텐 구리만이 부분적으로 대체할 수 있지만 비용이 더 많이 듭니다.	지배적 지위 유지
고온 구조 부품	강한	HEA, CMC 등이 경쟁력이 있습니다	합금체계 강화 및 복합소재 개발
방열판 및 방열	사용 가능	W-Cu 와 Mo 가 더 유리하다	다중 재료 복합 경로
핵에너지 구조	훌륭한	탄탈륨과 Mo 는 몇 가지 응용 분야가 있습니다.	표면 코팅 + 다층 합금
비용 및 환경 보호	단점	Mo, C/C 는 더 가볍고 저렴합니다.	녹색 제조 시스템 구축

10.4.5 기술 경로 권장 사항 및 R&D 방향

- 1. 다성분 합금 최적화 :
 - o 고온 강도, 연성 및 가공성을 고려하여 W-Mo-Re 및 W-Ta-Ni 와 같은 3 원/4 원 시스템을 개발합니다 .
- 2. 복합재료 개발 :
 - o 인터페이스 강화와 다기능 성능을 극대화하기 위해 텅스텐/세라믹, 텅스텐/금속, 텅스텐/흑연 복합 구조를 설계합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. 플랫폼 구축 :

- o LPBF, DED, HIP+단조 , 진공 확산 용접 및 기타 플랫폼에 투자하여 텅스텐 합금 + 대체 소재의 협업적 성형을 모색하세요.

4. 서비스 시뮬레이션 및 신뢰성 데이터베이스 구축 :

- o 신소재의 수명과 경제성을 평가하기 위해 고온-조사-부식 다중필드 결합 시뮬레이션 플랫폼을 구축합니다.

5. “텅스텐+” 개발 전략 :

- o 텅스텐을 핵심으로 하는 다기능 통합 구조 유닛 출시, 예를 들어 "텅스텐-관성 모듈", "텅스텐-방열-보호 통합 블록" 등이 있습니다.

요약

다양한 고성능 소재가 텅스텐 합금의 잠재적 대체재로 떠오르고 있지만, 밀도, 방사선 차폐, 그리고 극한의 환경 적응성이라는 핵심적인 장점 덕분에 텅스텐 합금은 앞으로도 여러 핵심 분야에서 대체 불가능한 위치를 오랫동안 유지할 것입니다. 앞으로는 소재 업그레이드와 제조 통합에 집중하여 텅스텐 합금의 ***대체 불가 + 시너지 효과 통합*** 개발 패턴을 구축하고, 고급 제조 분야에서 텅스텐 합금의 전략적 입지를 더욱 공고히 해야 합니다.

10.5 미래의 극한 서비스 조건에서 텅스텐 합금의 성능 진화

텅스텐 합금은 매우 높은 용점, 고밀도, 우수한 열전도도 및 중성자 흡수 능력으로 인해 핵융합 장치의 첫 번째 벽, 항공우주 노즐, 원자로 중성자 차폐막, 극초음속 항공기 열 보호 구조물 등 극한 환경에서 핵심 부품으로 오랫동안 사용되어 왔습니다. 그러나 이러한 작동 조건에서는 재료가 강한 열 부하, 심각한 열 응력, 방사선 손상, 가스 침식, 그리고 다중 필드 결합 열화 효과에 직면하게 됩니다 . 텅스텐 합금 구조 부품의 장기적이고 안정적인 사용을 보장하기 위해서는 사용 중 성능 변화에 대한 심층적인 이해가 필수적입니다.

10.5.1 극한 서비스 환경의 분류 및 특성

환경 유형	특성 매개변수	일반적인 응용 프로그램 시나리오
고온 열충격	$>2000^{\circ}\text{C}$, 열유속 $>10\text{ MW/m}^2$	항공우주 노즐, 플라즈마 히터, 그리고 핵융합의 첫 번째 벽
강한 조사장	감마선 방사선을 포함한 중성자 플럭스 $>10^{25}\text{ n/m}^2$	핵분열/핵융합로
높은 충격/높은 변형률	충격파, 폭발 하중, 관성 가속도	탄도 장갑 관통체, 운동 에너지 무기 균형추
화학적 부식 및 산화	고온 산화 분위기, 액체 금속 냉각수	항공기 재진입 단계, 대형 냉각 시스템
진공-열 사이클 환경	진공 + 열 응력의 빈번한 교대	우주선 껍질 구조, 심우주 탐사 프로브

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

10.5.2 미세구조 및 성능 진화 메커니즘

(1) 고온 재결정 및 결정립 조대화

- 고온에서 장기간 사용하면 결정립계 이동과 결정립 성장이 쉽게 발생할 수 있습니다.
- 이로 인해 강도가 감소하고 가소성이 떨어지며, 특히 미세입자 텅스텐 합금의 경우 더욱 그렇습니다.
- (La_2O_3 , Y_2O_3) 이나 결정립계 고정 전략 으로 지연될 수 있습니다 .

(2) 방사선에 의한 전위 축적 및 기포 형성

- 빠른 중성자 조사는 전위 루프와 공식-간극 쌍을 생성합니다.
- 나노캐비테이션 과 심지어 "거품 사슬" 을 유발합니다 .
- 이로 인해 재료 취성화, 열전도도 감소, 치수 변화(팽창)가 발생합니다.
- 해결책에는 나노결정화 , 인터페이스 설계, 헬륨 증착 장벽 구조가 포함됩니다.

(3) 열피로 및 열충격부식

- 순환적 가열-냉각은 균열의 시작과 확산을 일으킬 수 있습니다.
- 열유속 밀도가 높으면($>20 \text{ MW/m}^2$) 재료 표면에 '균열'이나 침식이 발생하기 쉽습니다.
- 표면 전처리(거칠기) 및 기능성 코팅(W-Re, W- TaC) 을 통해 충격 저항성을 향상시킬 수 있습니다.

(4) 산화 및 부식 저하

- 고온 에서 텅스텐은 O_2 , H_2O 등과 쉽게 반응하여 WO_3 를 생성하는데 , 이는 중발 손실을 증가시킵니다.
- PbLi 와 같은 액체 금속 냉각제는 결정립계에 대한 강한 투과성을 가지고 있습니다.
- 고밀도 표면 코팅과 산화 억제 합금화가 주된 대처 전략입니다.

10.5.3 성능 저하 거동 및 수명 예측 모델

진화적 행동	성능 영향	모델링 접근 방식
재결정 및 입자 성장	강도와 인성을 감소시킨다	입자 성장 동역학 모델
열 피로 균열 성장	구조적 실패	파리 공식, 코핀-맨슨 모델
방사선 취성	신장률과 파괴인성 감소	속도 이론 + MD 시뮬레이션
산화 중발	질량 손실 및 열전도도 저하	아레니우스 반응 속도 + 다중장 결합 모델
He 캐비테이션 확장	차원 변화, 구조적 왜곡	클러스터 동역학 모델

10.5.4 일반적인 응용 시나리오에서의 적응성 최적화

● 핵융합로 텅스텐 합금 1 차벽(ITER 계획 등)

- 중성자속 저항성 $>10^2 \text{ 6n/m}^2$ 및 높은 열속 안정성이 필요합니다.
- 초미립 W, W-Re 합금, W/강의 기능적 등급 구조를 개발합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 연구 방향: 기포 제어, 미세균열 자체 복구 메커니즘.
- 초음속 비행체 첨단소재
 - 스텝핑 가열로 인해 국부 온도가 2500°C+에 도달하여 심각한 열충격이 발생합니다.
 - W 기반 세라믹 복합재나 텅스텐 섬유 강화 구조를 사용할 수 있습니다.
 - 코팅 시스템은 산화에 대한 저항성이 있어야 하며, 방사선 투과율이 높아야 하고 방사선 투과율이 낮아야 합니다.
- 장갑관통핵/운동에너지 투사체
 - 충격 가속도는 $10^4 \sim 10^5 g$ 에 달하여 심각한 전단 및 변형을 초래합니다.
 - 도핑된 W-Ni-Fe 합금은 파괴 모드 제어를 개선하도록 설계되었습니다.
 - 높은 변형률 속도에서의 동적 강도와 파괴 인성을 자세히 조사할 필요가 있습니다.
- 의료용 방사선 치료 산란체/차폐체
 - 정확한 복용량 제어와 안정적인 기하학이 필요합니다.
 - 치수와 물리적 특성은 방사선 조사/온도 상승 환경에서도 안정적으로 유지되어야 합니다.
 - 표면 처리와 레이저 수리를 통해 서비스 수명을 연장할 수 있습니다.

10.5.5 재료 최적화 및 구조 설계를 위한 새로운 전략

1. 그래디언트 구성 및 다중 스케일 구조 설계
 - o 표면층은 내식성을, 중간층은 높은 강도를, 핵심층은 인성을 갖춘 기능적 경사 재료(FGM)입니다.
 - o "맞춤형 구조"를 구현하기 위해 적층 제조 + 확산 용접이 사용됩니다.
2. 계면 강화 및 이중 결정립계 제어
 - o 열간 등방성 압축 + 급속 냉각 공정을 통해 고에너지 결정립계가 도입되어 방사선 저항성이 강화됩니다.
 - o 다상 인터페이스는 He 캐비테이션 "트랩" 역할을 하여 팽창과 취성을 늦춥니다.
3. 방사선 저항성 코팅 및 자가 치유 시스템
 - o ZrC 및 HfN 과 같은 고용점 세라믹의 얇은 층을 사용하여 표면 산화/침투를 방지합니다.
 - o Bi 와 Cr 을 도핑하는 등 조사 장 에서 자체 복구가 가능한 소규모 구조를 개발합니다 .
4. AI 기반 서비스 저하 예측
 - o 복잡한 작업 조건에서 성능 저하를 예측하기 위해 고처리량 실험과 머신 러닝을 결합합니다.
 - o 텅스텐 합금의 "수명 데이터베이스"와 디지털 소재 설계 플랫폼을 구축합니다.

요약

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

미래의 극한 환경에서의 텅스텐 합금은 다학제적, 다규모적 횡단적 연구 주제입니다. 고온, 방사선, 열충격 등의 문제로 인해 심각한 어려움이 있지만, 재료 설계, 공정 최적화, 디지털 모델링을 통해 원자력, 항공우주, 방위 산업 등 핵심 분야에서 극한 사용 가능성을 지속적으로 확장할 수 있습니다. 미래의 텅스텐 합금 개발은 더 이상 "단일 재료 + 정적 사용"의 전통적인 모델이 아니라 "다규모 구조 + 동적 적응 + 지능적 예측"의 새로운 재료 시스템으로 진화할 것입니다.

부록

부록 1: 텅스텐 합금 막대의 일반적인 기술 매개변수 요약

이 부록은 텅스텐 합금 막대의 산업 생산 및 응용 분야에서의 주요 기술적 매개변수를 요약한 것으로, 화학 성분 범위, 물리적 성능 지표, 기계적 성능 매개변수, 크기 사양 등을 다루며, 생산 관리 및 품질 검사에 참고할 수 있습니다.

1. 화학 조성(일반적인 비율 범위)

요소	함량범위(질량백분율)	주목
텅스텐(W)	85% – 98%	주요 성분은 밀도와 강도를 결정합니다.
니켈(Ni)	0% – 10%	바인더상은 인성 및 성형성을 향상시킵니다.
철(Fe)	0% – 5%	접착상, 기계적 성질 향상
구리(Cu)	0% – 5%	열전도도와 내마모성을 향상시킵니다.
코발트(Co)	0% – 3%	특수 합금 제형에 사용됨
기타 요소	추적하다	몰리브덴, 망간, 티타늄, 니오븀 및 기타 미량 첨가물 과 같은

2. 물리적 성능 지표

성능	수치 범위	시험 표준/방법
밀도	17.0 – 18.8g/cm ³	ASTM B311, GB/T 3879
비율	17.0 – 18.8	위와 동일
녹는점	약 3400°C	—
선팽창계수	4.5 – 6.0 × 10 ⁻⁶ / °C	ASTM E228
열전도도	70~180W/ m·K	ASTM E1461
저항률	1.5 – 5.0 μΩ·cm	ASTM B193
자기	낮은 자기성 또는 비자성	—

3. 기계적 성질 매개변수

성능	수치 범위	시험 표준/방법
인장강도 (σ _b)	400~1200MPa	ASTM E8, GB/T 228.1
항복강도(σ _{0.2})	200~900MPa	위와 동일
신장(δ)	1% – 25%	위와 동일
경도	HV 200 – HV 500	ASTM E384
충격 인성	10 – 80 주얼	ASTM E23

4. 치수 및 공차

매개변수	공통 사양	주목
직경 범위	3mm – 150mm	맞춤형 제품 범위가 더 넓어질 수 있습니다
길이 범위	100mm ~ 2000mm	고객 요구 사항에 따라 맞춤 제작 가능
치수 허용차	±0.01mm – ±0.1mm	가공기술 및 제품 요구사항에 따라

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

표면 거칠기	라 0.2 – 1.6 μm	연마/연삭 공정에 따라
직진성	$\leq 0.05\text{mm/m}$	고정밀 막대

5. 특수 사양 및 성능

유형	설명하다
고밀도 텅스텐 합금 막대	W 함량 >95%, 높은 균형추, 높은 차폐 응용 분야에 사용
고인성 텅스텐 합금 막대	충격 인성 및 가공 성능을 개선하기 위해 Ni 및 Fe 함량을 증가시킵니다.
텅스텐 구리 복합 막대	열전도도와 강도를 모두 고려하여 Cu >5% 함유
표면 처리된 텅스텐 합금 막대	내식성 및 서비스 수명 향상을 위한 니켈 도금, 분무 및 산화층 처리
나노입자 강화 텅스텐 합금 막대	나노스케일 강화층을 첨가하여 기계적 성질 및 안정성을 향상

6. 일반적인 제품 모델의 예

모델	화학성분(W-Ni-Fe)	밀도(g/cm ³)	인장 강도(MPa)	주요 응용 분야
WG-90	90-6-4	17.8	900	항공 균형추, 군수 산업
WG-95	95-3-2	18.5	700	핵방호, 의료장비
WG-97	97-2-1	18.7	600	고급 계측기, 정밀 부품

VII. 기준 표준

- ASTM B311 - 텅스텐 및 텅스텐 합금 막대에 대한 기술 표준
- GB/T 3879 — 텅스텐 합금 막대에 대한 일반 사양
- ISO 683-11 — 텅스텐 합금에 대한 기술 사양
- MIL-STD-1567 - 군용 텅스텐 합금에 대한 품질 관리 요구 사항

8. 노트

- 텅스텐 합금은 제조업체마다 다릅니다. 매개변수 표는 일반적인 범위이며 참조용입니다.
- 특정 제품은 고객의 요구 사항과 애플리케이션 환경에 따라 맞춤화되고 최적화되어야 합니다.
- 제품 품질을 보장하기 위해 생산 공정에서는 분말 순도, 밀도, 열처리 조건을 엄격하게 관리해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

부록 2: 텅스텐 합금 등급 및 화학 조성 비교표

이 부록은 시중에서 흔히 볼 수 있는 텅스텐 합금 등급과 표준 시스템, 그리고 그에 해당하는 주요 화학 성분 범위를 요약하여 엔지니어, 구매자, 품질 관리 담당자가 신속하게 대응하고 선택하는 데 편리하게 해줍니다.

1. 일반적인 텅스텐 합금 등급의 분류 및 구성(질량 백분율)

상표	W(텅스텐)	니(Ni)	철(Fe)	Cu(구리)	코발트(Co)	주목
WG-90	90.0±1	6.0±0.5	4.0±0.5	≤0.5	—	고밀도, 고강도로 항공우주 분야에 널리 사용
WG-93	93.0±1	4.0±0.5	3.0±0.5	≤0.5	—	높은 강도와 인성으로 군사 분야에서 선호됨
WG-95	95.0±1	3.0±0.3	2.0±0.3	≤0.3	—	원자력 및 전자 장비 차폐
WG-97	97.0±1	2.0±0.3	1.0±0.3	≤0.2	—	고순도 텅스텐 합금, 정밀기기 응용
WG-Cu5	92.0-95.0	—	—	5.0±0.5	—	텅스텐 구리 합금, 열전도도 및 강도
WG-Co3	92.0-95.0	—	—	—	3.0±0.3	텅스텐-코발트 합금, 내마모성 및 내식성이 우수함

2. 중국 표준(GB/T) 브랜드 비교

GB/T 브랜드	텅스텐 함량(W)	니켈 함량(Ni)	철분 함량(Fe)	구리 함량(Cu)	주목
GBW90	89.5-90.5	5.5-6.5	3.5-4.5	≤0.5	항공 균형추와 군수 산업
GBW93	92.5-93.5	3.5-4.5	2.5~3.5	≤0.5	일반 고강도 및 인성 합금
GBW95	94.5-95.5	2.5~3.5	1.5~2.5	≤0.3	핵에너지 및 보호 응용 분야
GBW97	96.5-97.5	1.5~2.5	0.5-1.5	≤0.2	고순도, 고밀도 텅스텐 합금

3. 미국 ASTM 및 MIL 표준 등급의 대응

ASTM/MIL 등급	텅스텐 함량(W)	니켈 함량(Ni)	철분 함량(Fe)	구리 함량(Cu)	주목
ASTM B386 WG90	89.5-90.5	5.5-6.5	3.5-4.5	≤0.5	항공우주용 일반 등급
ASTM B386 WG93	92.5-93.5	3.5-4.5	2.5~3.5	≤0.5	군사 및 고강도 응용 분야
MIL-W-24441 WG95	94.5-95.5	2.5~3.5	1.5~2.5	≤0.3	핵에너지 및 방사선 방호 분야

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

4. 특수 기능 텅스텐 합금 등급

상표	주요 원소 조합	특징 및 용도
WG-나노	W + Ni + Fe + 나노입자	인성과 강도를 향상시키기 위한 나노입자 강화
WG-높음 강함	W + 높은 Ni/Fe 비율	충격 및 동적 하중 저항에 적합한 고인성 설계
WG-High Cu	W + Cu 고함량	고열전도도 텅스텐 구리 합금, 전자 방열 및 전극 응용
WG-Co	W + Co 함량 높음	우수한 내마모성 및 내식성, 공작기계 및 고온부품

5. 노트

- 다양한 제조업체의 제형은 다르며, 실제 등급 범위는 약간 조정될 수 있습니다.
- 등급의 숫자는 일반적으로 텅스텐 함량의 백분율에 해당하며, 접미사는 주요 합금 원소나 특수 공정을 나타낼 수 있습니다.
- 지원 시에는 구체적인 성과 요구 사항과 프로세스 제한 사항을 종합적으로 고려하여 선정해야 합니다.

부록 3: 텅스텐 합금 막대 표준 문서 및 참조 색인

본 분야의 권위 있는 표준문서, 기술규격 및 주요 참고자료를 수집하여 과학연구자, 엔지니어, 품질관리인원이 편리하게 참조하고 활용할 수 있도록 하였습니다.

1. 국제 및 국가 표준

표준 번호	표준 이름	출판사	적용 범위
ASTM B311	텅스텐 및 텅스텐 합금 막대 및 막대에 대한 표준 사양	ASTM 인터내셔널	텅스텐 및 텅스텐 합금 막대의 사양 및 기술 요구 사항
GB/T 3879	텅스텐 합금 막대에 대한 일반 기술 요구 사항	중국 국가표준화국	텅스텐 합금봉의 물리적, 기계적 특성 및 시험 방법
ISO 683-11	열처리 강, 합금 강 및 채삭 강 - 11 부: 텅스텐 합금	국제 표준화 기구(ISO)	텅스텐 합금 기술 사양
군사표준 1567	텅스텐 합금 품질 관리를 위한 군사 표준	미국 국방부	군용 텅스텐 합금 제품
YS/T 547	고밀도 텅스텐 합금의 기술적 요구 사항	중국 야금 산업 표준	텅스텐 합금 막대 산업 기술 표준

3. 주요 학술지 논문 및 컨퍼런스 논문

논문 제목	작가	저널/컨퍼런스	게시됨	연구 초점
텅스텐 합금의 고온 거동	S. Zhang, Y. Liu	재료과학 저널	2022	텅스텐 합금의 고온 특성 및 미세 구조 진화
W-Ni-Fe 합금의 미세구조 진화	M. Chen, X. Wang	분말 야금	2021	미세구조 진화와 기계적 특성 간의 관계
방사선 저항성 텅스텐 합금의 발전	이정재, 김현수	핵물질	2023	텅스텐 합금의 방사선 손상 메커니즘 및 방사선 저항 설계
항공우주용 고밀도 텅스텐 합금 개발	L. 스미스, D. 존슨	국제 항공우주 컨퍼런스	2022	항공우주 분야의 텅스텐 합금

4. 기술 보고서 및 산업 정보

자료 이름	릴리스 유닛	연령	요약
텅스텐 합금 소재 성능 시험 기술 사양	중국텅스텐산업협회	2021	텅스텐 합금의 물리적 특성, 기계적 특성 및 시험 방법 표준
텅스텐 합금 막대 생산 공정 및 품질 관리 보고서	대형 텅스텐 합금 제조 회사	2023	텅스텐 합금 막대 제조 공정 및 주요 품질 지표
핵에너지 분야의 텅스텐 합금	국가원자력기술연구센터	2022	원자로 및 보호재의 텅스텐 합금

5. 참고 웹사이트 및 데이터베이스

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

- **국제텅스텐산업협회(ITIA)**
<https://www.itia.info/InternationalTungstenIndustryAssociation> , 텅스텐 자원 및 산업 동향.
- **ASM 국제 재료 데이터베이스**
<https://www.asminternational.org/> 텅스텐 합금 재료 데이터를 포함한 재료 과학 및 공학 데이터베이스.
- **NIST 재료 데이터 저장소**
<https://materialsdata.nist.gov/> 미국 국립표준기술원 재료 데이터 저장소.

부록 4: 텅스텐 합금 용어집 및 영어 약어

이 부록은 텅스텐 합금 분야에서 일반적으로 사용되는 전문 용어와 관련 영어 약어에 대한 정의와 설명을 모아서 독자들이 기술적 내용과 국제 문헌을 더 잘 이해하는 데 도움을 주는 것을 목표로 합니다.

1. 텅스텐 합금 관련 전문 용어

용어	해석
텅스텐 합금	텅스텐을 주성분으로 하고 결합 금속(니켈, 철, 구리 등)을 첨가한 고밀도 합금 소재입니다.
분말야금(PM)	분말 압착 및 소결 공정을 통해 금속 재료를 제조하는 방법.
소결	고온에서 분말 입자를 결합하여 밀도가 높은 고체로 만드는 과정.
고밀화	소결, 열처리 및 기타 공정을 통해 재료의 기공률을 줄이고 밀도를 높이는 과정입니다.
열처리	가열, 단열, 냉각을 통해 재료의 구조와 특성을 변화시키는 과정.
미세구조	재료의 결정립 형태, 상 구조 및 결합 분포는 현미경으로 관찰할 수 있습니다.
경도	재료가 국부적인 소성 변형을 저항하는 능력은 일반적으로 로크웰 경도와 비커스 경도로 표현됩니다.
인장 강도	인장 하중 하에서 최대 응력을 견딜 수 있는 재료의 능력.
항복 강도	재료가 영구 변형을 겪기 시작하는 응력 값입니다.
연장	일반적으로 백분율로 표현되며, 파괴되기 전에 재료가 소성적으로 변형될 수 있는 능력입니다.
열팽창 계수(CTE)	재료의 단위 온도 변화에 의해 발생하는 치수 변화의 비율입니다.
열전도도	열을 전도하는 물질의 능력($W/(m \cdot K)$)로 측정.
비파괴 검사(NDT)	초음파 및 X 선 검사와 같이 재료의 무결성을 손상시키지 않는 탐지 방법.
나노 강화	나노 크기의 입자나 구조를 이용해 재료의 기계적 성질을 개선하는 기술입니다.
서비스 성과	실제 작업 조건에서 재료가 어떻게 성능을 발휘하는지.

2. 일반적인 영어 약어에 대한 설명

약어	성명	해석
여	텅스텐	텅스텐
니	니켈	니켈
철	철	철
구리	구리	구리
주식회사	코발트	코발트
오후	분말 야금	분말 야금
ASTM	미국 재료 시험 협회	ASTM

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

GB/T	Guobiao 표준(중국 국가 표준)	중국 국가 표준
ISO	국제 표준화 기구	국제 표준화 기구
밀	군사 표준	군사 표준
비파괴검사	비파괴 검사	비파괴 검사
CTE	열팽창 계수	선팽창계수
HV	비커스 경도	비커스 경도
전자 현미경	주사전자현미경	주사전자현미경
XRF	X 선 형광	X 선 형광 분광법
ICP	유도 결합 플라즈마	유도 결합 플라즈마 광 방출 분광법
온히	산소, 질소, 수소	산소, 질소 및 수소 함량 분석
여성 할레	기능적으로 등급이 매겨진 소재	기능적으로 등급이 매겨진 재료
옴디	분자 동역학	분자 동역학
일체 포함	인공지능	일체 포함

3. 자주 사용되는 용어 보충

용어	해석
무거운 합금	일반적으로 10g/cm ³ 이상의 높은 밀도를 갖는 합금 소재인 텅스텐 합금이 이 범주에 속합니다.
접착 단계	텅스텐 합금에서 텅스텐 입자를 연결하는 데 사용되는 Ni 및 Fe 와 같은 낮은 녹는점 금속상입니다.
열팽창 불일치	서로 다른 재료나 상 사이의 열팽창 계수 차이로 인해 발생하는 응력이나 변형입니다 .
미세 균열	재료의 내부나 표면에 작은 균열이 생기면 피로 파괴가 발생할 수 있습니다.
충격 인성	충격 하중을 받았을 때 재료가 에너지를 흡수할 수 있는 능력.
표면 거칠기	재료 표면의 미세한 거칠기는 마찰, 피로 및 부식 특성에 영향을 미칩니다.
입자 크기 분포	분말소재의 입자크기의 통계적 분포 특성.
대기 제어	소결 또는 열처리 중 주변 가스 구성 및 압력을 제어합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

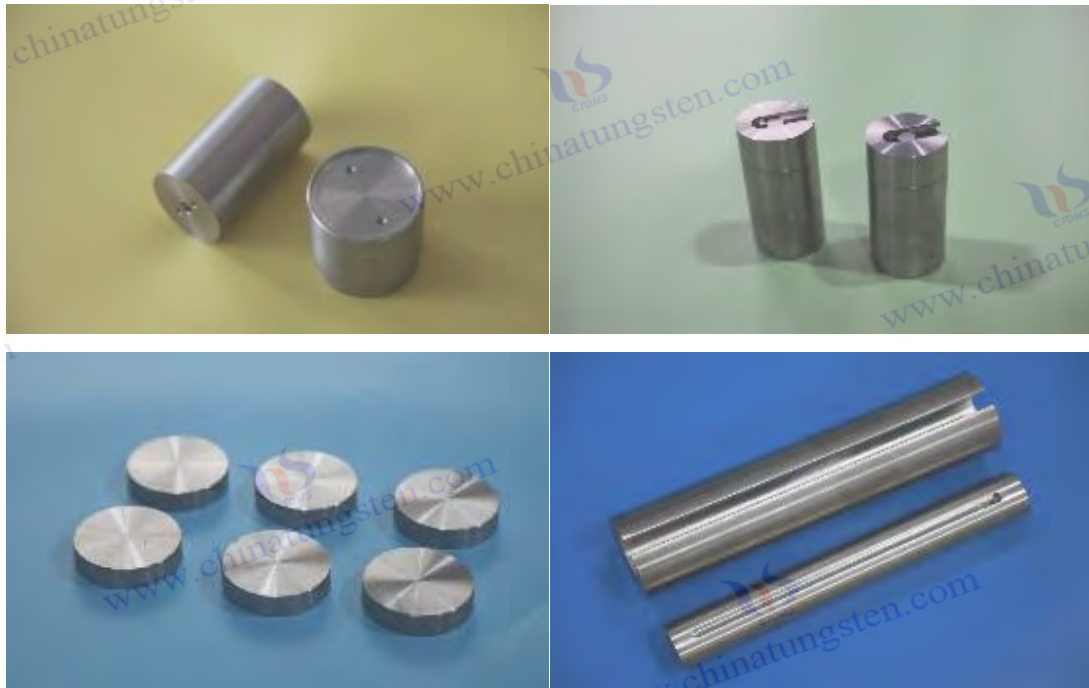
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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