

텅스텐 합금판 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 촉진하는 데 전념하고 있습니다. 1997년 www.chinatungsten.com을 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 30년 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 30년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE은 20개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹사이트를 구축하여 20개 이상의 언어를 지원하고 있으며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 뉴스, 가격, 시장 분석 자료를 백만 페이지 이상 보유하고 있습니다. 2013년부터 워터 공식 계정인 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 4만 건 이상의 정보를 게시하여 약 10만 명의 팔로워를 확보하고 전 세계 수십만 명의 업계 전문가에게 매일 무료 정보를 제공하고 있습니다. 웹사이트 클러스터와 공식 계정 누적 방문자 수가 수십억 회를 기록하며, CHINATUNGSTEN ONLINE은 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업 분야에서 세계적으로 인정받는 권위 있는 정보 허브로 자리매김했습니다. 24시간 다국어 뉴스, 제품 성능, 시장 가격, 시장 동향 서비스를 제공합니다.

CTIA 그룹은 CHINATUNGSTEN ONLINE의 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 개발, 시제품 제작, 마무리, 포장 및 물류에 이르는 전 공정 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE은 전 세계 13만 명 이상의 고객에게 50만 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 GROUP의 한스 박사와 그의 팀은 30년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 작성하여 공개하고 텅스텐 업계와 자유롭게 공유해 왔습니다. 1990년대부터 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 그리고 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조 분야에서 30년 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

제 1 장: 텅스텐 합금판의 기본 개념 및 개발 역사

- 1.1 텅스텐 합금판의 정의 및 기본 특성
- 1.2 텅스텐 합금판의 형성 및 개발 역사
- 1.3 텅스텐 합금판의 분류 (조성, 공정, 용도별)
- 1.4 텅스텐 합금판, 텅스텐 막대, 텅스텐 와이어 및 텅스텐-구리판의 유사점과 차이점
- 1.5 국내외 텅스텐 합금판 기술 발전 및 특허 개요

제 2 장: 텅스텐 합금판의 물리적 및 기계적 특성

- 2.1 밀도, 비중 및 치수 제어 정확도
- 2.2 인장 강도, 항복 강도 및 파괴 인성
- 2.3 경도 및 내마모성
- 2.4 열전도도, 열팽창 계수 및 고온 안정성
- 2.5 전기적 특성, 자기 응답 및 내방사선성
- 2.6 내식성 및 화학적 안정성 분석

제 3 장: 텅스텐 합금판의 제조 및 성형 기술

- 3.1 텅스텐 분말 및 바인더 금속의 원료 선정 및 가공
- 3.2 분말 야금 제조 공정 (프레싱, 등방성 프레싱, 소결)
- 3.3 열간 압연 및 냉간 압연 성형 공정
- 3.4 표면 처리 기술 (연마, 산세, 전기 도금, PVD)
- 3.5 판금에서의 레이저 클래딩 및 적층 제조 응용
- 3.6 나노입자 강화 및 기능적 등급 판금 제조 기술

제 4 장: 텅스텐 합금판의 품질 검사 및 성능 평가

- 4.1 기하학적 치수 및 표면 평탄도 검출
- 4.2 미세 조직 및 밀도 특성 분석 (SEM, XRD)
- 4.3 기계적 특성 시험 표준 (ASTM, GB, ISO)
- 4.4 원소 조성 및 불순물 함량 분석 (ICP, XRF, ONH)
- 4.5 표면 결함 검출 (초음파, CT, 와전류, 자분)
- 4.6 표면 거칠기 및 코팅 접착력 평가

제 5 장: 텅스텐 합금판의 일반적인 적용 분야

- 5.1 원자력 산업 차폐판 및 열 제어 장치
- 5.2 항공우주 보호 구조 및 균형추 판
- 5.3 의료용 방사선 치료 장치의 고밀도 보호판
- 5.4 고온로 벽 및 열 환경용 텅스텐 합금판
- 5.5 다이스틸 복합판 및 기계 부품 라이닝
- 5.6 정밀 기기 및 전자 제품의 방열 및 방사선 저항 구조

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제 6 장: 특수 텅스텐 합금판의 연구, 개발 및 혁신

- 6.1 나노구조 텅스텐 합금판의 제조 및 특성
- 6.2 미세 합금화 및 다성분 합금 설계 전략
- 6.3 고온 텅스텐 합금판의 미세 구조 최적화 및 열처리
- 6.4 텅스텐-구리/텅스텐-니켈 복합판의 계면 접합 메커니즘
- 6.5 내마모성 및 내식성 판을 위한 표면 코팅 개발
- 6.6 열전도성, 전기 전도성 및 반자성 기능성 텅스텐 합금판 설계

제 7 장: 텅스텐 합금판의 국제 표준 및 품질 시스템

- 7.1 중국 텅스텐 합금판 표준 (GB/T, YS/T)
- 7.2 미국 표준 해석 (ASTM, MIL)
- 7.3 유럽 및 ISO 텅스텐 합금판 표준 편집
- 7.4 RoHS, REACH 및 MSDS 환경 규정 준수 요구 사항
- 7.5 항공, 핵 및 의료 분야의 품질 관리 시스템 (AS9100, ISO 13485 등)

제 8 장: 텅스텐 합금판의 포장, 보관 및 운송

- 8.1 포장재 및 형태 (진공 포장, 건조제, 팔레트 포장)
- 8.2 보관 환경 요건 및 산화 방지, 방습 조치
- 8.3 국내 및 국제 운송에 대한 예방 조치 및 규정

제 9 장: 텅스텐 합금판의 산업 구조 및 시장 동향

- 9.1 세계 텅스텐 자원 현황 및 판 가공 체인
- 9.2 텅스텐 합금판 시장 용량 및 미래 성장 분석
- 9.3 중국 텅스텐 지능형 제조 텅스텐 합금판 (CTIA GROUP LTD)
- 9.4 원자재 비용, 에너지 가격 및 판 가격 간의 연관성 분석
- 9.5 기술 장벽 및 산업 체인 개발 전략

제 10 장: 텅스텐 합금판의 연구 프런티어 및 개발 방향

- 10.1 초고밀도 텅스텐 합금판의 고밀도화 메커니즘
- 10.2 적층 제조 및 지능형 텅스텐 합금판 공장
- 10.3 다기능 복합판의 통합 및 응용 확장
- 10.4 극한 환경(방사선, 고온, 부식)에서의 성능 진화 연구
- 10.5 텅스텐판을 위한 고성능 대체 소재 및 미래 지속 가능한 전략

부록

- 부록 1: 텅스텐 합금판의 일반적인 물리적 및 기계적 매개변수
- 부록 2: 텅스텐 합금 등급 및 화학 조성 비교표
- 부록 3: 텅스텐 합금판 표준 문서 및 주요 참고 자료
- 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

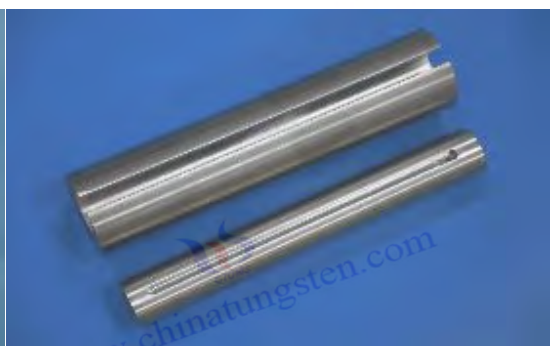
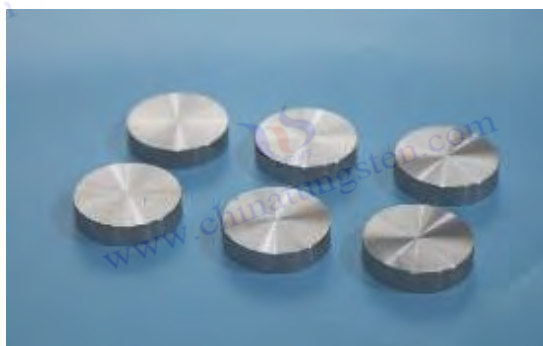
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

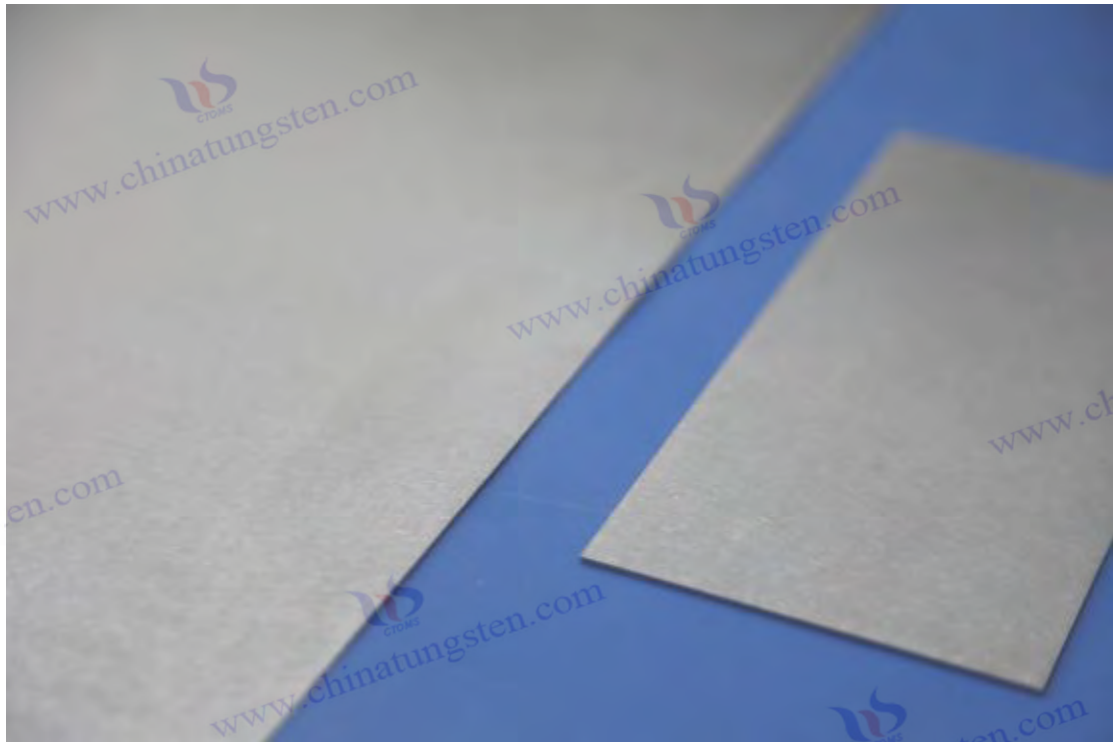
Official website: www.tungsten-alloy.com



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



제 1 장 텅스텐 합금판의 기본 개념 및 개발 역사

1.1 텅스텐 합금판의 정의 및 기본 특성

텅스텐 합금판은 텅스텐(W)을 주원료로 하고, 니켈(Ni), 철(Fe), 구리(Cu), 코발트(Co) 또는 기타 원소를 분말 야금, 열간 압연, 냉간 압연 또는 적층 제조를 통해 첨가하여 만든 판상 합금 소재입니다. 텅스텐은 본질적으로 높은 용점(3422°C), 뛰어난 밀도(19.25 g/cm^3), 우수한 열전도도 및 내방사선성을 가지고 있어 항공우주, 원자력, 방호복, 의료 장비, 고온 구조물, 전자 열 관리 등 다양한 핵심 응용 분야에 널리 사용됩니다.

1. 텅스텐 합금판의 정의

재료 과학의 관점에서 텅스텐 합금판은 주로 고비율의 텅스텐 분말로 구성되며, 소량의 결합상 금속(일반적으로 Ni-Fe, Ni-Cu 또는 Ni-Co 시스템)이 첨가되어 치밀한 다상 합금 시스템을 형성합니다. 텅스텐 합금판은 일반적으로 두께 0.1mm에서 50mm까지, 길이와 너비는 맞춤 제작 가능한 직사각형 또는 특수 모양의 평평한 금속판 형태입니다. 기존의 텅스텐 막대나 텅스텐 와이어와 비교하여 텅스텐 합금판은 표면적이 더 넓고 절단이 용이하며, 피복, 차폐, 구조 부품 제조 등 다양한 용도로 사용할 수 있습니다.

2. 텅스텐 합금판의 주요 구성 및 분류

다양한 합금 구성, 성형 방법 및 응용 분야에 따라 텅스텐 합금판은 다음과 같은 범주로 나눌 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

• **합금계에 따른 분류 :**

- W-Ni-Fe 합금판(일반형, 고강도, 고밀도, 우수한 기계적 성질)
- W-Ni-Cu 합금판(비자성형, 전자 및 의료 분야에 사용)
- W-Cu 합금판(높은 열전도도, 전자 방열 및 전극 응용 분야에 적합)
- W-Co 합금판(내마모성 및 내식성 향상)
- 나노텅스텐 합금판(나노입자 강화기술을 이용하여 인성 및 미세안정성을 향상)

• **생산 공정에 따른 분류 :**

- 분말야금판(성형/등방압성형+소결+열간가공)
- 압연텅스텐합금판(열간압연/냉간압연 후 가공)
- 텅스텐 합금 시트의 적층 제조(레이저 용융 및 3D 프린팅과 같은 새로운 기술)
- 복합 텅스텐 합금판(예: W-Cu 샌드위치 구조, 텅스텐-티타늄 복합판 등)

• **기능별 분류 :**

- **구조용 텅스텐 합금판** : 정적 하중과 충격 하중을 견디는 구조 부품
- **기능성 텅스텐 합금판** : 열전도성, 자기방출, 방사선 차단 등의 특정 물리적 기능을 가지고 있음
- **차폐 텅스텐 합금판** : 방사선 방호, 의료용 방사선 치료 장비 등에 사용됨

3. 텅스텐 합금판의 주요 성능 특성

1. **고밀도** : 일반적인 텅스텐 합금판의 밀도는 $17.0 \sim 18.5 \text{ g/cm}^3$ 로, 동일 부피의 강철보다 2.2 배 높습니다. 관성 하중, 동적 평형, 방사선 차폐에 효과적으로 사용됩니다.
2. **우수한 기계적 특성** : 인장 강도가 높고(보통 $700 \sim 1000 \text{ MPa}$ 까지), 충격 인성 및 가공성이 좋으며, 복잡한 모양의 부품을 제조하는 데 적합합니다.
3. **고온 안정성** : 텅스텐 기반 합금은 1000°C 이상에서 안정적인 구조와 성능을 유지할 수 있으며, 진공 고온로 및 열장 시스템에 적합합니다.
4. **우수한 열 및 전기 전도성** : 특히 W-Cu 합금 시스템에서 열 전도도는 $170 \sim 220 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 에 도달할 수 있으며 방열 구조 및 전자 기판에 널리 사용됩니다.
5. **우수한 방사선 저항성** : 텅스텐은 원자 번호가 높고 밀도가 높아서 X 선과 감마선 차폐 효과가 뛰어나며, 기존의 납판보다 훨씬 뛰어납니다.
6. **우수한 화학적 안정성 및 내식성** : 중성 및 약산성 환경에서 안정적이며 고온이나 강한 산화 환경에서 다른 중금속보다 우수한 성능을 발휘합니다.

4. 텅스텐 합금판의 형상 및 사양 개요

텅스텐 합금판은 일반적으로 사용자 요구사항에 따라 크기가 맞춤 제작됩니다. 일반적인 사양은 다음과 같습니다.

- 두께 범위: $0.1 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$
- 폭 범위: $10 \text{ mm} \sim 600 \text{ mm}$
- 길이 범위: $10 \text{ mm} \sim 2000 \text{ mm}$
- 표면 상태: 선반 가공, 연삭, 연마, 화학 도금, PVD 코팅 등.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

일부 고정밀 응용 분야(입자 가속기 및 핵자기 장비 등)에서는 표면 거칠기 $Ra < 0.2 \mu m$ 와 두께 허용 오차 $\pm 0.01 mm$ 도 필요합니다.

5. 텅스텐 합금판과 기존 금속판의 비교 우위

성능 매개변수	텅스텐 합금판	스테레오	강판	구리판
밀도 (g/cm^3)	17.0~18.5	11.3	7.8	8.9
녹는점 ($^{\circ}C$)	2700+	327	1500	1083
차폐 능력	매우 강함(감마/중성자)	일반(X/γ)	약한	일반적으로
열전도도	좋은	차이점	일반적으로	훌륭한
고온 안정성	훌륭한	차이점	일반적으로	차이점
환경 보호	높음(무독성)	낮음(독성)	높은	높은

텅스텐 합금판은 강도, 밀도, 열적 특성, 환경 보호 특성 덕분에 점차 특수 기능 분야에서 납과 강철을 대체하는 소재로 자리 잡고 있습니다.

요약하자면, 텅스텐 합금판은 고밀도, 고강도, 고온 안정성 및 탁월한 차폐 성능을 갖춘 첨단 소재로서 현대의 첨단 제조 및 정밀 응용 분야에서 중요한 가치를 지닙니다. 제조 기술의 지속적인 발전과 공정 비용 절감으로 인해 텅스텐 합금판의 적용 범위는 군사 및 원자력 에너지 분야에서 전자, 의료, 항공우주 등 더 광범위한 산업 시스템으로 점차 확대되고 있습니다.

1.2 텅스텐 합금판의 형성 및 개발의 간략한 역사

중요한 고성능 금속 소재인 텅스텐 합금판의 개발은 분말 야금 기술의 발전, 텅스텐 자원의 전략적 개발, 그리고 첨단 산업 분야의 극한 환경에서의 소재 성능 향상을 위한 끊임없는 노력과 긴밀히 연관되어 왔습니다. 초기 실험적 응용 분야부터 오늘날 원자력 산업, 항공우주, 의료 방호 등 핵심 분야에서 광범위하게 활용되기까지, 텅스텐 합금판의 개발 역사는 금속 소재 기술 발전의 축소판일 뿐만 아니라, 전 세계 제조 산업이 기존 금속에서 초고성능 기능성 소재로 도약하는 모습을 보여줍니다.

1. 텅스텐 소재의 발견 및 초기 연구

텅스텐(W)은 18세기 중반에 인류에게 처음 알려졌습니다. 1781년 스웨덴의 화학자 칼 빌헬름 셸레(Carl Wilhelm Scheele)는 텅스텐산나트륨(Sodium Tungstate)에서 산화텅스텐을 최초로 추출했고, 몇 년 후 스페인의 엘후야르(Elhuyar) 형제(후안 호세(Juan José)와 파우스토 엘후야르(Fausto Elhuyar))는 금속 텅스텐을 성공적으로 분리했습니다. 텅스텐은 매우 높은 녹는점($3422^{\circ}C$)과 밀도($19.25 g/cm^3$)로 잘 알려져 있으며, 백열전구 필라멘트, 전기 접점, 고온 합금 등에 빠르게 사용되었습니다.

그러나 텅스텐은 본래 취성이 강하고 가공이 어렵기 때문에 전통적인 야금법으로는 얇은 판이나 시트 형태로 가공하기가 어려웠습니다. 따라서 "텅스텐 합금 판"에 대한 초기 시도는 대부분 실험실 연구 단계에 머물러 있었으며, 실제 공학적 응용은 20세기 중반이 되어서야 서서히 시작되었습니다.

2. 분말야금기술의 발전과 판금성형의 실현

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

20 세기 초, **분말 야금** 기술의 급속한 발전과 함께 과학자들은 텅스텐과 몰리브덴과 같은 고용점 내화 금속을 프레스와 소결을 통해 구조용 부품으로 가공하려는 시도를 시작했습니다. 이 기술은 제 2 차 세계 대전 전후, 특히 미국, 독일, 소련 등 여러 국가의 군산복합체에서 집중적으로 연구되었으며, 결국 텅스텐 합금판과 같은 제품의 실제 생산을 촉진했습니다.

1950 년대부터 1970 년대까지 원자력 및 항공우주 기술의 발전으로 고밀도, 고강도, 내방사선성 소재에 대한 수요가 급격히 증가하면서 W-Ni-Fe 및 W-Ni-Cu 와 같은 **고밀도 텅스텐 합금 시스템**이 체계적으로 구축되었습니다. 이 시기에 텅스텐 합금판은 주로 프레스 소결 + 열간 압연 공정으로 제조되었으며, 박판 부품의 산업 생산이 처음으로 실현되었습니다. 주로 다음과 같은 용도로 사용되었습니다.

- 원자로용 차폐판 및 중성자 흡수체;
- 항공기 및 미사일 균형추 시스템
- 의료 분야의 X 선/감마선 차폐 부품.

3. 응용 분야 중심의 기술 성숙도(1980 년대~2000 년대)

1980 년대 의료용 방사선 치료 장비의 대중화, 전자 산업의 급속한 발전, 그리고 "납 대체제"에 대한 환경 규제에 시급한 요구로 인해 텅스텐 합금판에 대한 수요가 급격히 증가했습니다. 이 기간 동안 텅스텐 합금판 기술의 발전은 다음과 같은 중요한 추세를 보였습니다.

- **정밀 압연 및 냉간 가공 기술**은 판의 두께 제어 정확도와 표면 품질을 크게 향상시킵니다.
- 의료용 자기공명영상 및 일부 항공우주장비의 자기간섭 문제를 해결하기 위해 **비자성 W-Ni-Cu 합금**을 개발했습니다 .
- **복합 구조판** (예: W-Cu 샌드위치 구조)은 다양한 성능의 통합을 달성하기 위해 등장했습니다.
- 품질 관리 시스템은 점점 더 표준화되고 있으며 ASTM B777, GB/T 3879 등 많은 국가 및 산업 표준이 도입되었습니다.

이 시기에 텅스텐 합금판은 초기 구조재에서 구조와 기능을 모두 갖춘 복합 소재로 점차 발전해 왔습니다. 텅스텐 합금판은 정밀 기기, 열 관리 시스템, 방사선 차폐, 고온 노벽 패널 등 다양한 첨단 분야에 널리 사용되고 있습니다.

IV. 현대 발전 단계와 개척 (2000 년대~현재)

21 세기에 접어들면서 신기술 산업의 소재 성능에 대한 요구가 더욱 엄격해짐에 따라, 텅스텐 합금판 개발은 **고성능, 경량화, 지능형, 다기능화를 동시에 추구하는 새로운 단계로 접어들었습니다** . 주요 특징은 다음과 같습니다.

1. 소재 미세구조 최적화

- 나노 강화 W-합금 기술은 합금에 더 높은 항복 강도와 파괴 인성을 부여하기 위해 도입되었습니다.
- 기능적 등급 패널 (FGM)은 다양한 물리적 성능 요구 사항을 고려하여 점차 항공우주 열 제어 시스템 및 원자로 패널에 사용하도록 설계되고 있습니다.

2. 제조 방법의 혁신

- 레이저 선택적 용융 (SLM) 및 전자빔 용융 (EBM)과 같은 **적층 제조 기술**은 맞춤형 텅스텐 합금판의 빠른 제조에 사용되기 시작했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 진공 열간 등방성 압축 및 초음파 압연과 같은 첨단 기술을 사용하여 고밀도 판을 제조하여 완제품의 일관성과 조직적 안정성을 개선합니다.

3. 국제 출원 확대 가속화

- 미국, 일본, 독일 등의 국가에서는 달 탐사 차량, 핵융합 실험로(ITER 프로젝트 등), 고급 가속기 부품 등에 텅스텐 합금판을 널리 사용하고 있습니다.
- 중국의 텅스텐 합금판 제조 기술 역시 점차 '원자재 의존'에서 '자주설계, 대량생산, 군민융합'의 새로운 구도로 전환되어 수많은 선도기업과 국가중점실험실을 형성했습니다.

V. 미래 발전 동향 전망

새로운 소재 전략의 발전과 텅스텐 자원의 가치 증가에 따라 텅스텐 합금판의 미래 개발 방향은 다음 사항에 집중될 것입니다.

- **기능적 통합** : 열전도, 전기전도 및 방사선 저항을 통합한 다기능 합금판
- **극한의 서비스 적응성** : 고온 내성, 충격 내성, 우주, 핵융합, 심부 지구와 같은 복잡한 환경을 위한 고밀도 텅스텐 판;
- **녹색 제조 및 지속 가능한 개발** : 저에너지, 재활용 가능하고 환경 친화적인 합금 시스템의 설계 및 대량 제조
- **지능형 소재 통합** : 감지, 자가 수리 및 기타 기능을 텅스텐 합금 판 구조에 통합하여 미래의 지능형 시스템 개발에 적응합니다.

요약하자면, 텅스텐 합금판의 개발은 재료 과학과 산업적 요구 사이의 심오한 상호 작용을 여실히 보여줍니다. 초기 물리학 실험실 시료부터 현대의 고성능, 고안정성 핵심 구조 재료에 이르기까지, 텅스텐 합금판은 고유한 종합적 특성을 바탕으로 글로벌 재료 기술 시스템에서 점점 더 중요한 역할을 수행하고 있습니다. 앞으로 신에너지, 첨단 제조, 국방 과학 기술 등 다양한 분야에서 텅스텐 합금판의 응용 가능성은 더욱 확대될 것입니다.

1.3 텅스텐 합금판의 분류(조성, 공정 및 용도별)

텅스텐 합금판은 다양한 종류와 성능으로 인해 널리 사용됩니다. 텅스텐 합금판의 성능 특성과 적용 사례를 더욱 체계적으로 이해하기 위해서는 재료 구성, 제조 공정, 용도 등 다양한 측면을 기반으로 분류할 필요가 있습니다. 텅스텐 합금판에 대한 자세한 분류 방법은 다음과 같습니다. **구성에 따른 분류, 제조 공정에 따른 분류, 그리고 용도에 따른 분류**입니다 .

1. 합금성분에 따른 분류

텅스텐 합금판은 주요 합금 시스템에 기반합니다. 실제 생산 및 적용 시, 다양한 결합재 금속은 판의 물리적 특성, 가공성 및 기능성에 상당한 영향을 미칩니다.

1. W-Ni-Fe 합금판(기존형)

- **조성 특성** : 텅스텐 함량은 일반적으로 85%~97%이며, 결합상으로 Ni 와 Fe 가 보충되어 있으며, 비율은 대략 Ni:Fe = 7:3 입니다.
- **성능 특성** : 강도, 인성이 우수하며, 가공 성능이 균형 잡혀 있습니다. 가장 일반적인 구조용 텅스텐 합금판입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **적용 시나리오** : 관성 구성요소, 균형추 판, 보호 구조 등
 - 2. **W-Ni-Cu 합금판(비자성형)**
 - **조성 특성** : 주로 텅스텐, 결합상은 주로 Ni 와 Cu 로, 자기장에 민감한 경우에 자주 사용됩니다.
 - **성능 특성** : 비자성, 양호한 전도성, 강력한 차폐 성능을 지녔지만 강도는 W-Ni-Fe 시스템보다 약간 낮습니다.
 - **적용 시나리오** : 의료 장비, 자기공명영상(MRI) 구성 요소, 전자 장치용 보호 커버.
 - 3. **W-Cu 합금판 (고열전도도)**
 - **조성특성** : 텅스텐과 구리로 구성되어 있으며, 대표적인 금속간 복합재료이다.
 - **성능 특성** : 매우 높은 열 및 전기 전도성, 열 충격에 대한 저항성, 열 관리 애플리케이션에 적합함.
 - **적용 시나리오** : 전자 패키징 기판, 고주파 스위치, 전극 및 방열판.
 - 4. **W-Co 합금판(내마모형)**
 - **조성 특성** : 텅스텐 기반이며, 결합 금속으로 코발트(Co)가 보충되어 있습니다.
 - **성능 특성** : 내마모성과 내부식성이 뛰어나며 극한의 기계적 마모 환경에서도 우수한 성능을 발휘합니다.
 - **적용 시나리오** : 충격 방지 보호판, 곰팡이 라이너, 장갑 관통 보호 구조.
 - 5. **나노 강화 텅스텐 합금판**
 - **구성 특성** : 기존 텅스텐 합금 시스템에 나노입자나 2 차 강화재를 도입합니다.
 - **성능 특성** : 강도와 인성이 크게 향상되어 극한의 성능 요구 사항이 있는 분야에 적합합니다.
 - **적용 시나리오** : 핵융합로 외벽, 심우주 탐사선 케이싱 등
- 2. 성형 및 제조 공정에 따른 분류**
- 텅스텐 합금판은 다양한 공정 경로를 통해 제조될 수 있으며, 서로 다른 공정은 미세 구조, 밀도, 기계적 특성 및 비용 구조에 상당한 영향을 미칩니다.
1. **분말야금판(PM)**
 - **공정 흐름** : 텅스텐 분말 + 접합 분말 → 프레싱(성형 또는 등방성 프레싱) → 고온 소결 → 열간 가공 또는 압연.
 - **장점** : 구조가 조밀하고 성능이 균일하며 제어성이 뛰어나며 중간 및 두꺼운 사양의 판에 적합합니다.
 2. **열간압연 및 냉간압연 강판**
 - **공정 흐름** : 빌렛 소결 → 열간 압연(또는 냉간 압연)하여 판으로 → 표면 처리.
 - **장점** : 치수 정확도가 높고, 표면 품질이 좋으며, 대량 생산에 적합합니다.
 3. **빠른 경화 및 테이프 기술**
 - **공정 흐름** : 고온 용융 후 급속히 냉각되고 응고되어 얇은 스트립이나 시트를 형성합니다.
 - **장점** : 구조가 정교하고, 고주파 전자소자에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. 적층 제조 플레이트(3D 프린팅)

- **공정 흐름** : 레이저 용융 또는 전자빔 용융 → 층별 축적 → 마무리.
- **장점** : 복잡한 모양의 판을 맞춤 생산할 수 있어 고급 군사 및 항공우주 부품에 적합합니다.

5. 복합 적층 텅스텐 합금판

- **공정 흐름** : 텅스텐 합금층 + 기타 금속층(구리, 티타늄 등) 열간 압착 성형.
- **장점** : 다기능 복합소재를 실현할 수 있으며 전자 패키징 및 전극 분야에 적합합니다.

3. 목적 및 기능에 따른 분류

텅스텐 합금판은 높은 밀도, 내방사선성, 우수한 열전도도, 그리고 뛰어난 가공 성능으로 인해 다양한 산업 분야에 적합합니다. 텅스텐 합금판은 용도에 따라 다음과 같은 범주로 구분할 수 있습니다.

1. 구조용 텅스텐 합금판

- 하중 지지 구조물, 기계 부품 또는 동적 균형 시스템에 사용되며 기계적 강도와 치수 안정성을 강조합니다.
- 대표적인 응용 분야: 관성 플라이휠, 항공우주용 균형추, 샤프트 밸런스 플레이트.

2. 보호용 텅스텐 합금판

- 감마선, X 선, 중성자 등에 대한 차폐를 포함한 보호 능력에 중점을 둡니다.
- 대표적인 적용 분야: 방사선 치료 장비의 보호 패널, 원자로의 차폐층, 항공기 객실의 방탄 구조물.

3. 열 제어 및 방열 텅스텐 합금판

- 열전도도와 열충격 안정성에 중점을 둡니다.
- 대표적인 적용 분야: 반도체 소자 방열판, 히트파이프 벽판, 플라즈마 장비 냉각 장치.

4. 기능성/전자용 텅스텐 합금판

- 전도성, 비자성, 고강도의 기능을 결합하여 정밀 전자 시스템에 사용됩니다.
- 대표적인 응용 분야: 고주파 스위치 패키징, 마이크로파 흡수체, 항공 전자 장비의 자기 방지 구조 부품.

5. 복합텅스텐 합금판

- 구조적, 기능적 통합을 달성하기 위해 다층 구조와 이질적 소재의 복합 제조를 채택합니다.
- 일반적인 응용 분야: 텅스텐-구리 복합판(전자 기판), 텅스텐-티타늄 복합판(경량 장갑 구조).

IV. 분류 요약 비교표

분류	주요 유형	기능 키워드	적용 분야
요소	W-Ni-Fe, W-Ni-Cu, W-Cu, W-Co, 나노텅스텐 합금	밀도, 자성, 열전도도, 내마모성, 향상된 기능성	군수산업, 의료, 열관리, 핵에너지
기술	분말야금, 압연, 적층 제조, 복합 적층	밀도, 치수 정확도, 맞춤화 기능, 다기능 통합	고급 제조, 대량 생산 및 복잡한 구조의 맞춤화
사용	구조형, 보호형, 방열형,	기계적 강도, 방사선 차폐, 열	항공우주, 원자력, 전자,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

전자형, 복합형	및 전기 전도도, 지능형 통합	의료
----------	------------------	----

요약하자면, 다재다능하고 고성능의 금속 재료인 텅스텐 합금판은 다차원적이고 체계적인 분류 접근법을 필요로 합니다. 조성, 가공 및 용도 간의 연관성을 명확히 함으로써 산업 사용자가 목표에 맞는 적합한 제품을 선택하는 데 도움을 줄 뿐만 아니라, 후속 연구 개발 및 표준 설정을 위한 명확한 기술 참조 경로를 제공합니다. 재료 설계 개념과 가공 방법이 지속적으로 확장됨에 따라 텅스텐 합금판의 분류는 더욱 다양하고 지능화되어 미래 첨단 제조의 정교한 요구에 부응할 것입니다.

1.4 텅스텐 합금판, 텅스텐 막대, 텅스텐 와이어 및 텅스텐 구리판의 유사점과 차이점

텅스텐 소재는 높은 녹는점, 높은 밀도, 그리고 우수한 열적 및 기계적 특성으로 인해 다양한 산업 분야에서 널리 사용됩니다. 실제 응용 분야에서 텅스텐 제품은 형태와 기능에 따라 주로 텅스텐 합금판, 텅스텐 막대, 텅스텐 와이어, 텅스텐 구리판으로 구성됩니다. 이들은 모두 텅스텐 기반 시스템에 속하지만, 화학적 조성, 제조 방법, 구조적 특성 및 응용 분야에서 상당한 차이를 보입니다. 이 섹션에서는 독자들이 재료 시스템 내에서 텅스텐 합금판의 고유한 위치를 완전히 이해할 수 있도록 이 네 가지 대표적인 텅스텐 소재를 수평적으로 비교합니다.

1. 텅스텐 합금판 소개

텅스텐 합금판은 텅스텐을 주성분으로 하고 니켈, 철, 구리, 코발트 및 기타 원소를 첨가한 고밀도 합금판입니다. 주요 특성은 고밀도, 고강도, 우수한 내방사선성 및 열전도도로, 고강도 구조 부품, 차폐 보호판 및 방열 부품에 적합합니다.

기본 기능 :

- 모양: 평평한 직사각형 판, 두께는 0.1mm에서 50mm까지 다양합니다.
- 제조: 주로 분말야금, 열간압연, 냉간압연, 적층 제조 등.
- 응용분야: 항공기 균형추, 방사선 치료 보호 장치, 열 제어 시스템, 관성 부품 등에 널리 사용됩니다.

2. 텅스텐 막대 소개

텅스텐 막대는 가장 기본적인 텅스텐 가공 소재 중 하나로, 일반적으로 단단한 원통형이며 순수 텅스텐 또는 텅스텐 합금으로 제작됩니다. 치밀한 구조를 가지고 있으며, 주로 고온 구조 부품, 전자 방출원, 고전압 전극 및 기타 분야에 사용됩니다.

기본 기능 :

- 모양: 원통형 또는 정사각형 막대, 직경 2mm~100mm;
- 준비: 소결 및 프레스 후 열간 등방성 프레스/단조 또는 선삭;
- 응용분야: 전자관 음극, 지지봉, 충격도구, 전극 등

3. 텅스텐 필라멘트 소개

텅스텐 와이어는 텅스텐 잉곳에서 뽑아낸 얇은 와이어입니다. 고온 크리프 저항성과 전기 전도성이 우수합니다. 광원, 전자 부품, 전기 가열 응용 분야에 중요한 소재입니다.

기본 기능 :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 형태: 길고 얇은 필라멘트이며, 직경은 마이크로미터 수준입니다.
- 준비: 단조, 압연 및 반복 드로잉;
- 응용분야: 필라멘트, 진공증착열선, 전자빔방출원.

4. 텅스텐 구리판 소개

텅스텐 구리판은 텅스텐과 구리로 구성된 복합 소재 판입니다. 텅스텐의 높은 녹는점과 구리의 높은 열전도도를 결합한 금속간 복합 소재입니다. 열 관리 및 전기 접점 분야에 중요한 소재입니다.

기본 기능 :

- 형태 : 얇은 판 또는 중간 판, 두께 1mm~20mm;
- 준비: 분말야금 압착 및 소결/열간 압착 복합재;
- 적용분야 : 방열기판, 전극판, 고주파 패키징 등

5. 성능 및 사용 비교 분석

프로젝트 비교	텅스텐 합금판	텅스텐 막대	텅스텐 와이어	텅스텐 구리판
주요 성분	W + Ni/Fe/Cu/Co 등	순수 W 또는 텅스텐 합금	고순도 W	W + Cu (보통 50:50)
일반적인 형태	직사각형 판	둥글거나 정사각형 막대	필라멘트	평평한
밀도	17.0~18.5g/cm ³	18.5~19.2 g/cm ³ (순수 W)	위와 동일	14.5~17.0g/cm ³
기계적 성질	고강도, 고인성	높은 경도, 높은 취성	유연하고 가소성이 뛰어나며 인장 강도가 높습니다.	중간, 경도와 열전도도를 결합
열 성능	우수한 열전도도, 열충격 저항성	우수한 고온 안정성	고온 증발 및 크리프 저항성	우수한 열전도도 (>200 W/ m • K)
처리 어려움	중간, 가공 가능 및 가공 가능	가공이 어렵고 고강도 장비 지원이 필요함	가공이 어렵고 여러 번의 드로잉과 어닐링이 필요함	비교적 쉽게 처리 가능
일반적인 응용 프로그램	방사선 방호, 균형 추, 열 제어 구성 요소	전극, 열장 브라켓, 고온 부품	필라멘트, 진공 전자 장치, 가열 소자	라디에이터, 스위치 전극, 전자 패키징

6. 유사점과 차이점 요약

공통점:

1. 재료 기준: 모든 제품은 텅스텐을 주요 원소로 사용하며, 일부 제품은 순수 텅스텐이고 일부는 텅스텐 기반 합금입니다.
2. 성능 특성: 높은 밀도, 높은 녹는점, 우수한 고온 성능;
3. 생산 방식: 대부분은 분말야금 공정을 기반으로 하며, 열처리나 후가공을 보완합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. 주요 분야: 항공우주, 전자, 군사, 에너지, 의료 등 첨단 산업에 널리 사용됩니다.

차이점:

- 다양한 형태와 기능: 판은 주로 덮개/구조적 부품에 사용되고, 막대는 압력을 받거나 지지하는 부품에 사용되고, 와이어는 가열/방출에 사용되고, 텅스텐 구리 판은 열전도/전기적 접촉에 사용됩니다.
- 다양한 가공 방법: 판재는 일반적으로 압연과 단조로 만들어지고, 막대는 주로 소결과 단조로 만들어지며, 선재는 여러 가지 인발 공정을 거치고, 텅스텐-구리 복합 소재는 특수한 소결 및 압착 기술이 필요합니다.
- 사용 조건이 다릅니다. 텅스텐 필라멘트는 증발 및 저항 특성을 강조하고, 텅스텐 구리판은 방열 및 열 전도성을 강조하며, 텅스텐 합금판은 구조적 강도와 포괄적인 열 물리적 특성을 강조합니다.

7. 텅스텐 합금판의 장점

위의 텅스텐 기반 소재와 비교했을 때 텅스텐 합금판은 포괄적인 성능과 적용 시나리오에서 고유한 장점을 가지고 있습니다.

- 높은 기능적 집적도: 고밀도, 고강도, 방사선 저항성 및 가공성;
- 양호한 형태 안정성: 판형 구조는 보호 및 열 제어 시스템을 덮는 데 더욱 적합합니다.
- 광범위한 적용 범위: 군사 산업, 항공 우주, 의료, 전자 등 다양한 분야에서 기능 내장 및 통합 설계를 실현할 수 있습니다.

요약하자면, 텅스텐 합금판은 텅스텐 기반 소재 시스템에서 전략적이고 핵심적인 위치를 차지하고 있습니다. 텅스텐 막대의 기계적 성능 이점뿐만 아니라 텅스텐 구리판의 열적 성능도 갖추고 있으며, 텅스텐 와이어보다 구조적 무결성과 방사선 보호성이 더 뛰어납니다. 제조 기술의 발전과 신흥 분야의 확장에 따라 텅스텐 합금판은 앞으로도 다기능 집적화 방향에서 핵심적인 역할을 계속 수행할 것입니다.

1.5 텅스텐 합금판 기술 발전 및 국내외 특허 현황

고성능 내화 금속 재료의 중요한 분야인 텅스텐 합금판은 항공우주, 원자력 방호, 전자 패키징, 고에너지 물리 실험, 의료 장비 등 핵심 분야에서 널리 사용되고 있습니다. 다운스트림 응용 분야가 지속적으로 확장됨에 따라 세계는 텅스텐 합금판의 기술 혁신 역량, 특허 보호 및 산업화 수준에 점점 더 많은 관심을 기울이고 있습니다. 본 섹션에서는 기술 발전 과정, 핵심 기술 노드, 대표 국가 및 기업 구조, 주요 특허 내용 및 동향의 네 가지 측면에서 텅스텐 합금판의 국내외 기술 개발 및 지적 재산권 현황을 체계적으로 정리합니다.

1. 세계 텅스텐 합금판 기술의 발전 및 진화 개요

1. 초기 단계(1950년대~1970년대) - 보호 재료 탐색

고밀도 보호재와 중성자 차폐 분야에서 비롯되었습니다. 미국과 소련은 분말 야금 공정을 통해 텅스텐 합금판(일반적으로 W-Ni-Fe) 개발을 선도했습니다. 이 판들은 핵 잠수함, 미사일 카운터웨이트, 방사선 차폐 장갑에 사용되었습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

대표적인 기술적 혁신은 다음과 같습니다.

- 텅스텐 분말 입자 크기 제어 및 저온 소결 메커니즘;
- 열간 압연판의 밀도화 및 미세구조 균일성 제어
- W-Ni-Cu 비자성 합금 시스템 구축

2. 성숙기 개발단계(1980년대~2000년대) - 고정밀 패널 및 다기능 개발

이 기간 동안 전자정보산업의 급속한 발전과 방사선치료장비의 보급으로 텅스텐 합금 판 기술은 점차 구조적 성능과 기능적 성능을 결합하는 방향으로 전환되었으며, 미국, 일본, 독일 등 선진국에서는 표준화된 생산체계를 형성했습니다.

주요 개발 내용은 다음과 같습니다.

- 고밀도 플레이트 프레스 기술;
- 다중 원소 비율 제어 최적화(Co, Mo, Re 첨가 등)
- 고정밀 냉간압연 및 표면처리 공정의 표준화.

이 시기에는 미국의 제너럴 일렉트릭(GE), 독일의 플랜시(Plansee), 일본의 미쓰비시 머티리얼(MMC) 등의 기업이 기술적으로 선도적인 위치를 차지하였고, 핵심 제조 공정 및 응용 설계에 대한 다수의 특허를 보유하고 있었습니다.

3. 첨단 제조 단계(2000년대~현재) - 미세 구조 제어 및 복합재 통합 기술의 발전

21 세기에 들어서면서 텅스텐 합금판은 지능형 제조, 극한의 서비스 조건, 다양한 기능의 통합 측면에서 지속적으로 획기적인 발전을 이루었습니다.

대표적인 기술은 다음과 같습니다.

- 나노 강화 텅스텐 합금판(W-ZrO₂, W-La₂O₃ 등);
- 선택적 레이저 용융(SLM)과 같은 적층 제조 기술은 텅스텐 판의 맞춤형 제작에 사용됩니다.
- 기능적 등급 소재(FGM)는 금속/세라믹 복합 구조의 판에 통합됩니다.

현재 텅스텐 합금판은 더 이상 단일한 "고비중 소재"가 아니라 다양한 물리적 특성을 지닌 구조적-기능적 통합으로 발전하고 있습니다.

2. 국내 텅스텐 합금판 기술의 발전 경로 및 성과

세계에서 가장 큰 텅스텐 자원 매장량과 생산량을 보유한 국가인 중국은 텅스텐 합금 소재 기술 개발에 뒤처졌지만 급속히 발전하여 최근 몇 년 동안 많은 핵심 분야에서 뒤처졌습니다.

1. 초기 수입 및 모방 의존(1980년대~1990년대)

중국의 텅스텐 합금판은 초기에는 중국과학원, 중국항공우주과기공업집단공사, 그리고 군사 연구 기관을 중심으로 국방 및 원자력 산업 분야에 집중되었습니다. 대부분의 기술은 소련 체제에서 유래했거나 해외에서 도입되었습니다.

2. 시스템 구축 및 산업 확장 (2000년대~2010년대)

국내 분말야금기술의 발전에 따라 샤먼진루, 중국텅스텐고기술, AVIC 신소재, 바오테 그룹 등 여러 대학과 중점기업이 점차 텅스텐 분말 제조, 합금 배합, 판 압연까지 완전한 공정체계를 형성하였습니다.

주요 기술 혁신은 다음과 같습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 낮은 기공률과 높은 밀도의 합금판의 압착 및 소결;
- 바인더상 비율 최적화
- 텅스텐-구리 복합판의 열간압착 확산 접합 기술.

3. 지능형 제조와 독자적 혁신은 함께 간다(2015 년~현재)

현재 중국의 텅스텐 합금판 기술은 고정밀 항공 구조 부품, 핵의학 보호, 전자 패키징 기판 등 분야에서 국제 경쟁력을 갖추고 있습니다. 많은 핵심 기술이 국가 과학기술상을 수상했으며 C919 대형 항공기, 우주 정거장 객실, 핵 방사선 표적 구조 등의 프로젝트에 적용되었습니다.

3. 텅스텐 합금판 핵심기술 특허의 세계시장 분포 분석

1. 특허 지역 분포

WIPO 와 중국 국가지식재산권국 (CNIPA) 의 통계에 따르면, 2024 년 말까지 전 세계적으로 텅스텐 합금판과 관련된 유효 특허가 4,000 건이 넘으며, 주로 다음과 같이 분포됩니다.

국가/지역	비율 (%)	주요 특허 출원인
중국	45%	중국텅스텐하이테크, 샤먼진루, 베이징비철금속연구소, 바오티 등
미국	22%	Plansee, GE, Kennametal 등
일본	13%	미쓰비시 머티리얼, 스미토모 전기공업(주), 도쿄제철 등
독일	8%	HC 스타크, 플랜제 등
한국, 러시아	5%	포스코, 트리니티 등
기타 지역	7%	스위스, 이스라엘, 인도 등

2. 특허기술 유형별 분포

특허 내용은 크게 5 가지 기술 방향으로 요약할 수 있다.

기술 방향	대표적 내용
합금 공식 혁신	W-Ni-Co, W-Cu-Re, W-Mo 계열 비율
미세구조 조절	나노결정 강화 메커니즘 및 침전물 분포 제어
판재 가공 및 표면 처리	멀티패스 롤링 기술, 전해연마, 플라즈마 표면처리
복합재 구조 및 접합 기술	텅스텐-구리, 텅스텐-티타늄 복합판 프레스, 브레이징/확산 접합
응용 프로그램 적응성 설계	방사선 치료 보호 모듈 구조, 가열판 분포 최적화 설계 등

IV. 국내외 대표 특허 사례

특허명	허가된 국가	특허 번호	간략한 설명
고밀도 W-Ni-Fe 텅스텐 합금판의 제조 방법	중국	CN108982173B	소결 온도 및 압축 매개변수를 최적화하고 밀도가 99.5% 이상인 프로세스를 제안했습니다.
비자성 텅스텐 합금판 및 그 제조방법	미국	US8574432B2	비자성 특성과 연성 제어를 강조한 W-Ni-Cu 합금판
경사 구조를 갖는 텅스텐-구리 복합판 및 이의	일본	JP2018147022A	고주파 열전도성 전기소자에 적합한 W/Cu 기능등급판 개발

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제조 방법			
방사선 치료 장비용 텅스텐 합금 보호판 모듈	중국	CN110456887A	모듈식 패널 접합 시스템 설계는 보호 효율성을 향상시키고 교체 및 유지 관리를 용이하게 합니다.
적층 제조용 텅스텐 합금판 분말 및 이의 레이저 소결 방법	독일	DE102018001328A1	텅스텐 판의 SLM 제조에 적합한 특수 구형 분말 조성 및 매개변수 제어 방법이 제안됩니다.

V. 기술 및 지식재산권 개발 동향에 대한 전망

1. '단일 물리적 성능'에서 '다기능 통합'으로 진화

미래에는 텅스텐 합금판은 밀도나 강도 요건을 충족할 뿐만 아니라 열전도도, 전기전도도, 내식성, 내방사선성 등 여러 가지 특성을 통합하게 될 것입니다.

2. 적층 제조 기술은 개인화된 보드 제작의 발전을 선도할 것입니다.

레이저/전자빔 기반 텅스텐 합금판 3D 프린팅은 방위 및 핵 에너지와 같은 복잡한 맞춤형 구조에 널리 사용될 것입니다.

3. 고급 특허 및 기술 장벽이 더욱 높아질 것입니다.

핵심 공식, 복합 구조 및 판 미세 구조 제어가 주요 기술 기업의 초점이 될 것이며, 특허 경쟁은 점점 더 치열해지고 있습니다.

4. 중국은 점차 '특허 양대국'에서 '특허 질대국'으로 전환될 것입니다.

물질 데이터베이스 개선, 프로세스 표준 체계 구축, 국제 특허 협력 및 레이아웃 강화 등을 통해 지적재산권의 세계화를 촉진합니다.

요약하자면, 텅스텐 합금판 기술의 세계적 발전은 "군사적 기원 - 산업 확장 - 다기능 통합 - 지능형 제조"의 네 단계로 구성됩니다. 중국의 특허 시스템은 점점 더 복잡해지고 있으며, 핵심 기술은 대부분 과점화되어 있습니다. 중국은 다소 늦게 시작했지만, 자원 우위와 산업 시스템을 바탕으로 독립적이고 통제 가능한 혁신 시스템 구축을 가속화하고 있습니다. 향후 텅스텐 합금판 기술과 지식재산권 간의 경쟁은 세계 신소재 분야의 중요한 전략적 초점이 될 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

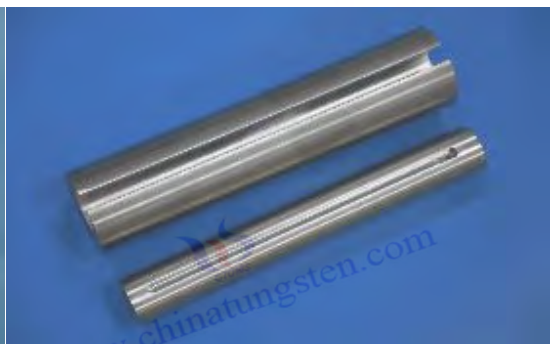
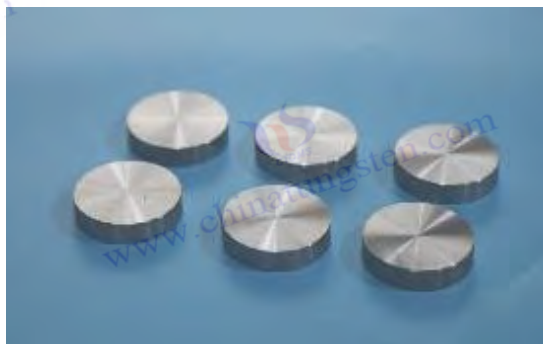
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

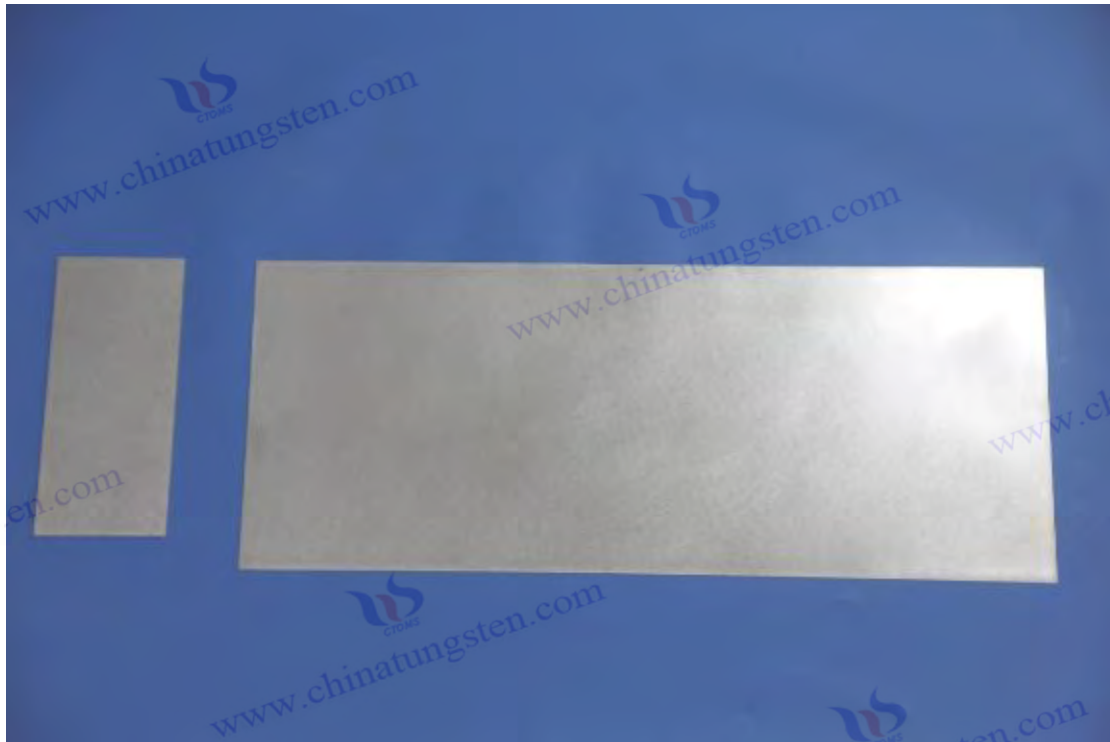
Official website: www.tungsten-alloy.com



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 2 장 텅스텐 합금판의 물리적 및 기계적 특성

2.1 밀도, 비중 및 크기 제어 정확도

텅스텐을 기반으로 하는 고성능 금속 복합 재료인 텅스텐 합금판의 물리적 특성은 **밀도 제어의 균일성, 비중의 일관성**, 그리고 **판 치수의 정확도**에 크게 좌우됩니다. 항공우주, 원자력 산업, 정밀 의료기기와 같이 매우 높은 품질과 구조적 정확성을 요구하는 분야에서는 이러한 매개변수의 미세한 편차만으로도 계통 오차, 강도 손실 또는 열팽창 불균형이 발생할 수 있습니다. 따라서 본 절에서는 "밀도 및 비중 제어 기술", "치수 제어 정확도 기준", 그리고 "주요 공정 영향 요인"의 세 가지 관점에서 텅스텐 합금판의 물리적 특성에 대한 기본 지표와 기술적 요건을 체계적으로 살펴보겠습니다.

1. 텅스텐 합금판의 밀도 및 비중

1. 밀도와 비중의 정의

- **밀도** : 단위 부피당 질량을 말하며, 일반적으로 g/cm^3 로 표현되며, 재료의 밀도를 측정하는 핵심 매개변수입니다.
- **중력** : 물질 밀도와 순수한 물의 밀도 (4°C , 1 g/cm^3)의 비율을 말하며, 고밀도 합금의 직관적 분류 기준으로 자주 사용됩니다.

텅스텐의 이론 밀도는 19.25 g/cm^3 인 반면, 텅스텐 합금판의 밀도는 일반적으로 합금 구성과 밀도화 정도에 따라 달라집니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합금 유형	일반적인 밀도 범위 (g/cm³)
W-Ni-Fe	17.0 - 18.5
W-Ni-Cu(비자성형)	16.5 - 18.0
W-Cu(열전도형)	14.5 - 17.0
나노 강화 텅스텐 합금	≥18.5(이론적으로 99.9% 이상 밀도)

2. 밀도 제어의 기술적 요점

밀도 제어는 단순히 합금 성분의 비율만이 아니라, 더 중요하게도 전체 제조 공정에서 다음 사항을 달성하는 것이 필요합니다.

- **분말 입자 크기 분포 최적화** : 미세 분말과 조분말의 비율을 조절하면 기공률을 효과적으로 줄일 수 있습니다.
- **압축 공정의 일관성** : 성형/등압 압축은 단위 부피당 균일한 압력을 유지해야 합니다.
- **고온 소결 밀도화** : 액상 보조 소결 또는 다단계 소결은 최종 밀도를 크게 개선할 수 있습니다.
- **압연 후 열처리 및 밀도 조정** : 압연 후 조직의 재균질화를 통해 소재의 밀도를 더욱 향상시킬 수 있습니다.

3. 비중에 대한 일관성 요구 사항

엔지니어링 분야, 특히 **균형추** 와 **관성 부품** 에서 비중 일관성은 **전체 기계의 동적 균형** 과 구조적 반응 시간에 직접적인 영향을 미칩니다. ASTM B777 및 MIL-T-21014 와 같은 일반적인 국제 표준은 비중 허용 오차에 대한 엄격한 사양을 가지고 있으며, 일반적으로 배치별 비중 변동을 $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ 이하로 요구합니다. 일부 정밀 부품의 경우, 이 한계는 $\pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ 로 제한됩니다.

2. 텅스텐 합금판의 크기 제어 정확도

1. 크기 매개변수 개요

텅스텐 합금 판은 세 가지 주요 차원을 포함합니다.

- **두께** : 일반적으로 0.1mm 에서 50mm 사이이며, 일부 특수 제품은 0.05mm 에 달할 수 있습니다.
- **길이 및 너비** : 적용 분야에 따라 다르지만 일반적으로 50mm~500mm 범위입니다.
- **평탄도와 모서리 각도** : 보드 조립 및 패널의 완전성과 직접적으로 관련됩니다.

2. 치수정밀도 등급 기준

일반적으로 사용되는 국제 치수 허용 오차 기준 표준은 다음과 같습니다.

표준 번호	프로젝트	정확도 수준	주목
ASTM B777	두께 및 너비 허용 오차	$\pm 0.05 \sim 0.2 \text{ mm}$	판 두께 및 압연 상태에 따른 분류
GB/T 3876	길이, 대각선 차이	$\pm 0.3 \text{ mm}$	국가표준 일반규격
ISO	더욱 정밀한 판금용 공	괜찮은	전자 및 의료 치료와 같은 정밀 용

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2768-f	차 등급	용 분야용
--------	------	-------

방사선 치료용 콜리메이션 시스템이나 핵 검출기용 구조판 등에 사용되는 일부 고급 텅스텐 합금판은 $\pm 0.01\text{mm}$ 이내의 기하학적 정확도 제어를 달성하기 위해 **레이저 절단 및 CNC 밀링이 필요합니다.**

3. 크기 제어에 영향을 미치는 주요 프로세스 요소

- **금형 정확도 및 압착 균일성** : 빈 시트의 치수 일관성에 직접 영향을 미칩니다.
- **소결수축률 예측 및 제어** : 소결 중 선형수축률은 약 10%~15%로 정확한 계산이 필요합니다.
- **압연 변형 및 탄성 반발 제어** : 열간 압연 및 냉간 압연은 재료 경화 및 변형 보상을 충분히 예측해야 합니다.
- **후가공 제어** : 연삭, 연마, 트리밍 및 기타 공정을 포함하여 치수 정확도 제어 목표와 조정되어야 합니다.

3. 밀도와 치수 정확도의 상승효과

텅스텐 합금판은 단독으로 존재하지 않지만, 서로를 제한하고 최적화하는 핵심적인 물리적 특성입니다. 예를 들면 다음과 같습니다.

- 밀도가 높으면 판의 휘어짐 경향이 커지는 경우가 많으며, 적절한 압연 경로를 통해 평탄도를 최적화해야 합니다.
- 치수 허용오차가 작아지면 판 내부 구조의 균일성에 대한 요구도 높아집니다.
- 정밀 판금의 미세한 두께 변동은 비중 평가와 기능적 구성 요소의 역학에 미치는 영향을 증폭시킬 수 있습니다.

따라서 산업 실무에서 텅스텐 합금판의 "**밀도-크기 2차원 제어 시스템**"은 일반적으로 **수치 시뮬레이션** (유한 요소 열 변형 분석 등), **지능형 측정 장비** (레이저 간섭계, 3 좌표 측정기 등) 및 **품질 관리 시스템** (ISO 9001, AS9100 등)에 의존하여 최종 제품이 높은 신뢰성 요구 사항을 충족하는지 확인해야 합니다.

IV. 요약

텅스텐 합금 판의 밀도와 비중은 전반적인 물리적 안정성과 구조적 강도를 평가하는 핵심 지표 중 하나이며, 치수 제어 정확도는 고급 제조 시스템에서의 적응성과 호환성을 결정합니다. 고성능, 미세 구조, 그리고 집적도를 지향하는 신소재 개발의 배경 속에서, 텅스텐 합금 판의 밀도 및 치수 제어 기술은 "**고밀도, 고정밀, 그리고 지능형 제조**"를 향해 끊임없이 발전하고 있습니다.

2.2 인장강도, 항복강도 및 파괴인성

고성능 구조 재료인 텅스텐 합금 판의 **인장 강도**, **항복 강도**, **파괴 인성**과 같은 기계적 특성은 외부 하중 및 고온 응력에 노출되었을 때의 적용 가능성, 안전성 및 수명을 직접적으로 결정합니다. 항공우주, 고에너지 물리학, 방호복과 같은 응용 분야에서 텅스텐 합금 판은 높은 강도를 가져야 할 뿐만 아니라 응력 집중, 충격 하중, 열 피로와 같은 극한 조건에서도 구조적 무결성을 유지해야 합니다. 따라서 텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합금 판의 기계적 반응 거동에 대한 포괄적인 이해는 설계, 제조 및 엔지니어링 응용 분야의 핵심 기반입니다.

1. 인장강도와 항복강도의 기본 정의

- 강도 (UTS):** 재료가 단축 인장 하에서 견딜 수 있는 최대 응력입니다. 단위는 MPa 또는 ksi이며, 이는 재료의 최대 지지력을 나타냅니다.
- 강도 (YS):** 외력의 작용으로 재료가 소성 변형을 일으키기 시작하는 응력 값을 말합니다. 이는 설계된 구조물의 안전 한계를 나타내는 중요한 지표입니다.

텅스텐 합금판은 높은 밀도와 강력한 금속 결합으로 인해 일반 구조용 합금보다 강도가 훨씬 높습니다. 일반적인 매개변수는 다음과 같습니다.

합금 시스템	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	주목
W-Ni-Fe	700 - 1000	500 - 750	정상 온도 조건에서
W-Ni-Cu(비자성형)	600 - 850	450 - 700	약간 더 나은 연성
나노 W 합금판	>1000	>850	입자 크기 <500 nm, 강화 메커니즘 포함

참고 : 실제 기계적 특성은 합금 비율, 열처리 상태, 판 두께, 미세 구조에 따라 달라지며 시험 표준(예: ASTM E8/E8M, GB/T 228.1)을 따릅니다.

2. 강도의 미시적 메커니즘 분석

텅스텐 합금판은 주로 다음 요인에 의해 제어됩니다.

- 텅스텐 매트릭스 :** 홀-페치 관계에 따르면, 결정립이 미세할수록 항복 강도가 높아집니다. 나노결정 텅스텐 합금은 초미세 결정립 구조로 인해 뛰어난 강도를 나타냅니다.
- 다상 금속 결합상(Ni, Fe, Cu) :** 소결 과정에서 연속 또는 네트워크 분포를 형성하고, 텅스텐 입자와 전이상 계면을 형성하며, 가소성을 향상시킵니다.
- 다공성 및 결합 제어 :** 고밀도(>98.5%)는 미세균열 발생을 줄이고 인장 강도를 향상시킬 수 있습니다.
- 잔류응력과 열처리 상태 :** 열간가공이나 압연으로 인한 잔류응력은 강도의 균일성을 저하시키고, 어닐링 처리가 강도를 안정화하는 데 도움이 됩니다.
- 원소 강화 기구 :** Re, Mo 등을 첨가하면 강화상을 형성하여 전위의 이동을 억제하고 항복 강도를 증가시킬 수 있다.

3. 파괴인성 및 파괴거동

1. 정의 및 중요성

파괴인성 (K_{IC})은 재료가 노치나 균열이 있을 때 파괴에 저항하는 능력을 나타냅니다. 구조적 안전성을 측정하는 핵심 매개변수이며, 단위는 $MPa \cdot m^{1/2}$ 입니다.

텅스텐 합금은 강도가 높지만, 텅스텐 기지 자체의 취성으로 인해 파괴인성이 티타늄 합금이나 알루미늄 합금보다 훨씬 낮습니다. 따라서 보호 및 구조 충격 분야에서 인성 성능을 최적화하는 것이 특히 중요합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. 일반적인 인성 매개변수

합금 유형	파괴인성 K_{IC} (MPa • m ^{1/2})	주목
일반 W-Ni-Fe 판	15 - 25	정상 온도 검사 값
정제된 W-Ni-Cu 판	20~30 세	비자성형, 연성이 약간 더 좋음
나노 강화 W 합금판	30 - 45	초미립자 강화로 인성이 대폭 향상

3. 균열 전파 메커니즘

인장 하중을 받는 텅스텐 합금판은 다음과 같은 특성을 갖습니다.

- 높은 취성-인성 전이 온도 : 대부분의 W 합금 판은 실온에서 준취성 파괴를 나타냅니다.
- 균열 변형 메커니즘 : 다상 구조의 Ni/Cu 결합상은 균열 전파 에너지를 부분적으로 흡수하여 변형을 일으킬 수 있습니다.
- 세립 텅스텐 합금판은 충분한 평면을 나타내고 , 그 일부는 복합적인 뒤틀-분할 모드를 나타냅니다.

파괴인성을 향상시키기 위해 다음과 같은 방법이 자주 사용됩니다.

- 큰 입자로 인한 응력 집중을 피하기 위해 분말 입자 크기 분포를 제어합니다.
- 결합 단계의 연속성과 인성을 향상시킵니다.
- 판을 열처리한 후, 계면을 따라 확장되는 균열을 수동화하기 위해 "방향성 압연"을 수행합니다.

4. 기계적 성질 시험 방법 및 기준

1. 인장 강도 시험 : ASTM E8 또는 GB/T 228.1 표준에 따라 표준 덤벨 시편을 사용합니다.
2. 파괴인성 시험 : 일반적으로 단일 모서리 노치 빔 시편 (SENB) 또는 콤팩트 시편 (CT) 이 사용됩니다. ASTM E399 를 참조하세요.
3. 시험 조건 제어 :
 - 온도: 실온 ~ 고온 (300° C~800° C)
 - 방향성: 판 두께 방향과 압연 방향 사이의 성능 차이는 상당합니다.
 - 균열 크기/하중률 등

5. 다른 고강도 소재와의 비교 분석

재료 유형	인장강도 (MPa)	파괴인성 (MPa • m ^{1/2})	앱 리뷰
티타늄 합금 Ti-6Al-4V	~900	~50 - 60	우수한 종합 성능으로 항공 구조물에 적합
고강도 알루미늄 합금 7075	~600	~25 - 35	밀도는 낮지만 텅스텐 합금만큼 강하지는 않음
텅스텐 합금판 (W-Ni-Fe)	800 - 1000	20~30 세	고밀도, 고강도로 관성 및 보호 구조에 적합
텅스텐 구리 복합판	~600	~15	열전도도는 좋으나 인성이 약간 낮아 방열부품에 적합

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금판은 강도와 비중 면에서 알루미늄 합금과 티타늄 합금보다 훨씬 뛰어나지만, 인성은 약간 낮습니다. 텅스텐 합금판은 항공우주용 균형추, 원자로 보호 장치, 철갑탄 구조물 등 크기가 작고 하중이 크며 즉각적인 충격 대응이 요구되는 구조 부품에 적합합니다.

VI. 요약

텅스텐 합금 판재는 높은 인장 강도와 항복 강도를 자랑하며, 높은 비중과 내열성을 유지하는 동시에 파괴인성을 지속적으로 최적화합니다. 정교한 입자 제어, 결합상 설계, 그리고 향상된 열처리 공정을 통해 현대식 텅스텐 합금 판재는 높은 강도와 제어된 인성의 균형을 이루는 포괄적인 구조적 성능을 점진적으로 발전시켜 왔습니다. 이러한 특성 덕분에 텅스텐 합금 판재는 방위, 항공우주, 의료 기기, 전자 냉각과 같은 핵심 분야에서 대체 불가능한 소재적 이점을 제공합니다.

2.3 경도 및 내마모성

고밀도, 고강도, 내열성 및 내식성을 갖춘 고급 금속 소재인 텅스텐 합금판의 **경도**와 **내마모성**은 특히 고속 이동 부품, 충격 접촉 표면, 강한 마찰 조건 등의 분야에서 사용 수명과 구조적 안정성을 측정하는 핵심 매개변수입니다. 이 두 가지 특성은 소재 자체의 미세 구조에 의해서만 제어되는 것이 아니라 구성 설계, 제조 공정 및 표면 처리 상태와 밀접한 관련이 있습니다.

1. 텅스텐 합금판의 경도 기준

1. 경도의 정의와 일반적인 단위

경도는 재료가 국부적인 소성 변형, 압입 또는 굽힘에 저항하는 능력을 나타냅니다. 텅스텐 합금판의 경도는 일반적으로 다음과 같은 방식으로 표현됩니다.

- **브리넬 경도 (HB)** : 두꺼운 텅스텐 판에 적용되며 전반적인 경화 상태를 반영합니다.
- **비커스 경도 (HV)** : 정밀 측정, 특히 미세 구조 연구에 적합합니다.
- **록웰 경도 (HRC/HRB)** : 중간 경도 합금판의 현장 신속 테스트에 적합합니다.

2. 텅스텐 합금판의 일반적인 경도 범위

합금 유형	일반적인 경도 범위
W-Ni-Fe 합금판	200~300 헤비
W-Ni-Cu 합금판	180 - 260 헤비급
고강도 텅스텐 합금판	320~400 헤비
텅스텐 구리 복합판(경질 표면)	150~200 헤비
나노결정 텅스텐 합금판	≥400 HV

일반적으로 텅스텐 함량이 높을수록 밀도가 높아지고, 입자가 미세할수록 재료의 경도가 높아집니다.

3. 경도에 영향을 미치는 미시적 메커니즘

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 텅스텐 매트릭스의 고유 경도는 매우 높습니다 . 순수 텅스텐의 비커스 경도는 350~450HV 에 달할 수 있으며, 이는 재료 전체에 변형에 대한 저항성을 부여합니다.
- 다상구조의 강화효과 : Ni, Fe, Cu 등의 결합상이 분산되어 응력분산능력이 향상됩니다.
- 결정립 미세화 및 강화 : 홀-페치 기구는 미세 전위 운동에 대한 저항성을 크게 향상시킵니다.
- 열처리 효과 : 풀림 처리로 경도는 감소하고 연성은 증가하며, 용액 강화 및 시효 처리로 전체 경도는 증가합니다.

2. 텅스텐 합금판의 내마모성

1. 내마모성의 정의와 중요성

접촉 운동 중 물리적 마모, 표면 박리 또는 미세 절삭 손상이 발생할 수 있습니다 . 텅스텐 합금판은 높은 경도, 높은 용점, 그리고 강력한 금속 결합으로 인해 마찰 부품, 금형 템플릿, 회전 베어링 링 등 건조 마찰, 높은 하중, 부식성 매체에도 불구하고 낮은 마모율을 유지해야 하는 분야에 자주 사용됩니다 .

2. 내마모 메커니즘 분석

텅스텐 합금판은 주로 다음과 같은 메커니즘에 의해 지배됩니다.

- 높은 경도상이 내마모성을 지배합니다 . 텅스텐 입자 자체가 높은 경도를 가지고 있어 이물질이나 공구 모서리에 의한 절단을 효과적으로 방지할 수 있습니다.
- 결합상의 마모 제어 기능 : Ni, Cu 등의 금속상은 비교적 부드럽지만 충격 하중을 완충하고 충격 마모 저항성을 향상시킬 수 있습니다.
- 기공률과 결합 제어가 중요합니다 . 미세기공이 많을수록 표면이 피로 벗겨지기 쉽습니다.
- 표면처리 개선 메커니즘 : 텅스텐 합금판에 플라즈마 질화, 니켈 전기도금, 세라믹층 분사 등의 처리를 실시하면 내마모성을 현저히 향상시킬 수 있다.

3. 일반적인 내마모성 테스트 및 데이터

일반적인 테스트는 다음과 같습니다.

- 건조 마찰 시험 (핀온디스크) : 마모량을 및 마찰계수 결정;
- 연삭 휠 마모 시험 (ASTM G65) : 침식 및 굽힘 저항성을 평가하는 데 사용됩니다.
- 고속 충격 마모 시험 : 탄도 침식 환경(예: 철갑탄 코어의 마찰열)을 시뮬레이션합니다.

테스트 결과의 몇 가지 예는 다음과 같습니다.

재료 유형	마모율 ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)	마찰계수	테스트 조건
W-Ni-Fe 보드	2.1×10^{-6}	0.18	건조 마찰, 20 N, RT
표면산화 W 합금판	1.3×10^{-6}	0.12	산화층은 두께가 약 $2\mu\text{m}$ 이다

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분무 지르코니아-W 복합판	0.8×10^{-6}	0.10	세라믹 층은 내마모성을 크게 향상시킵니다.
----------------	----------------------	------	-------------------------

3. 경도 및 내마모성 향상을 위한 공학적 대책

1. 머티리얼 디자인 최적화 :

- 텅스텐 함량을 증가시키고 결합상의 비율을 조절합니다.
- 강화 원소 (Mo, Co, Re 등)를 추가합니다.
- 나노입자 분산 강화 메커니즘;

2. 미세조직 제어 및 열처리 :

- 다단계 소결은 밀도를 향상시킵니다.
- 급속 냉각이나 온도 조절 어닐링은 거친 입자를 줄입니다.

3. 표면처리기술 :

- 플라즈마 질화 또는 실리콘 질화 코팅;
- 카바이드층 또는 세라믹층을 분사합니다.
- 레이저 표면 클래딩은 밀도가 높은 코팅을 형성합니다.

4. 복합구조 설계 :

- W-TiC 및 W-ZrO₂ 와 같은 내마모성 세라믹 복합 구조판
- 경도 구배 표면을 형성하기 위한 국소 경화 처리입니다.

4. 일반적인 적용 사례

- 전자 장비용 방열판 : 높은 경도 지지력과 내굽힘성이 요구됨
- 방탄 및 방폭 구조층 : 충격 및 마모 저항성이 강철보다 훨씬 우수합니다.
- 고속 가공 금형 라이닝 : 고주파 절삭 및 열 피로 마모에 강함;
- 항공기 계기 인터페이스 보드 : 빈번한 열-기계적 결합 부하를 견뎌야 함

텅스텐 합금판은 고코발트 합금, 스테인리스 스틸, 니켈 기반 합금과 같은 기존의 내마모성 금속을 대체하는 데 있어 상당한 이점을 제공합니다.

V. 요약

높은 경도와 내마모성을 갖춘 텅스텐 합금판은 다양한 고급 제조 및 극한 작업 조건에서 대체할 수 없는 적용 가치를 지닙니다. 경도는 미세 구조, 합금 조성, 열처리 상태에 영향을 받는 반면, 내마모성은 경도, 결합상 설계, 그리고 표면 엔지니어링의 조화로운 최적화를 통해 결정됩니다. 앞으로 나노구조 미세 구조 제어, 지능형 표면 처리, 그리고 복합 다기능 통합을 통해 정밀 내마모성 및 고하중 마찰 조건에서 텅스텐 합금판의 적용 가능성은 지속적으로 확대될 것입니다.

2.4 열전도도, 열팽창계수 및 고온안정성

텅스텐 합금판은 높은 밀도, 고강도, 그리고 뛰어난 고온 안정성으로 인해 항공우주, 원자력 산업, 전자 냉각 및 기타 분야에서 널리 사용됩니다. 텅스텐 합금판의 **열전도도**, **열팽창 특성**, 그리고 **고온 기계적 특성**은 복잡한 열 환경에서의 사용 수명 및 안전성과 직접적인 관련이 있으므로, 본 섹션에서는 이러한 성능 지표와 영향 요인 분석에 중점을 둘 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. 열전도도

1. 열전도도의 정의와 중요성

열전도도는 재료가 열 에너지를 전도하는 능력을 나타내며, 단위는 일반적으로 $W/(m \cdot K)$ 입니다. 텅스텐 합금 판재의 경우, 높은 열전도도는 열을 빠르게 방출하고, 열응력 축적을 방지하며, 재료의 열 피로 및 균열을 방지하는 데 도움이 됩니다.

2. 텅스텐 합금판의 열전도도 특성

- 순수 텅스텐의 열전도도는 약 $170 - 180 W/(m \cdot K)$ (실온)으로 매우 높습니다.
- 텅스텐 합금의 경우 열전도도는 감소하지만 일반적으로 $50 - 100 W/(m \cdot K)$ 의 높은 수준을 유지합니다.
- W-Cu 복합 텅스텐 합금판은 열전도도가 더 좋으며, 일부 재료의 열전도도는 $200 W/(m \cdot K)$ 를 초과할 수 있어 효율적인 열 관리 응용 분야에 적합합니다.

3. 열전도도에 영향을 미치는 요인

- 합금 구성** : 구리의 높은 열전도도는 합금의 열전도도를 크게 향상시킵니다.
- 밀도** : 높은 다공성은 열전도도를 감소시킵니다.
- 미세구조** : 입자 크기와 계면 산란은 열 흐름 전달에 영향을 미칩니다.
- 온도 변화** : 일반적으로 열전도도는 온도가 증가함에 따라 감소합니다.

2. 열팽창계수

1. 열팽창계수의 정의

열팽창계수(CTE)는 온도 변화에 따른 재료의 치수 변화율을 나타내며, 단위는 $10^{-6}/K$ 입니다. 열응력 집중 및 구조적 파손을 방지하기 위해서는 CTE를 적절히 맞추는 것이 중요합니다.

2. 텅스텐 합금판의 열팽창 특성

- 순수 텅스텐의 CTE는 약 $4.5 \sim 5.0 \times 10^{-6}/K$ (실온 $\sim 100^{\circ}C$)로 낮습니다.
- Ni, Fe, Cu와 같은 합금 원소를 추가하면 CTE가 증가하며 일반적으로 $6 - 8 \times 10^{-6}/K$ 범위입니다.
- W-Cu 복합기판은 구리 함량이 높기 때문에 CTE가 $12 \sim 16 \times 10^{-6}/K$ 에 달할 수 있으므로 접합재료와의 매칭에 주의해야 한다.

3. 공학적 중요성

CTE는 다른 재료에 비해 열응력, 계면 박리, 구조 변형을 쉽게 유발할 수 있습니다. 특히 열 사이클이 빈번한 항공우주 및 원자력 에너지 분야에서는 엄격한 제어가 필수적입니다.

3. 고온 성능

1. 고온 강도 및 안정성

텅스텐 합금판은 고온에서도 우수한 기계적 특성을 유지할 수 있으며, 이는 텅스텐 합금판의 중요한 장점입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 고온 인장 강도는 실온의 60%~80%로 유지될 수 있습니다.
- 열 연화 온도는 1200° C 를 초과하므로 고온 환경에서 사용하기에 적합합니다.
- 합금에 함유된 Ni, Fe 등의 원소의 녹는점은 텅스텐의 녹는점보다 훨씬 낮아 고온 한계가 제한됩니다.

2. 열산화 거동

텅스텐 및 텅스텐 합금은 고온 산화 환경에서 취성 산화 피막을 형성하기 쉽고 이는 서비스 수명에 영향을 미칩니다.

- 일반적으로 산화를 늦추기 위해 **보호 코팅** 이나 **불활성 분위기**가 필요합니다.
- 나노코팅 기술과 복합소재 설계를 통해 산화 저항성을 효과적으로 향상시킬 수 있습니다.

IV. 결론

텅스텐 합금판은 뛰어난 열전도도와 낮은 열팽창 계수를 제공하여 고온, 고열유속 환경에서 사용하기에 적합합니다. 합금 설계 및 표면 처리를 통해 고온 안정성과 내산화성이 지속적으로 향상되어 다양한 산업 요구를 충족합니다.

2.5 전기적 특성, 자기적 응답 및 방사선 저항성

텅스텐 합금판은 뛰어난 기계적 및 열적 특성으로 유명할 뿐만 아니라, 전자, 전자기학, 원자력 분야에서도 독보적인 장점을 보여줍니다. 텅스텐 합금판의 **전기적 특성**, **자기적 응답 특성**, 그리고 내 **방사선성**은 첨단 장비, 원자로 구조물, 보호재 등 핵심 응용 분야에서 텅스텐 합금판의 성능, 안정성, 그리고 안전성을 결정하는 기본 지표입니다.

1. 전기적 특성

1. 전도도와 저항률

- 텅스텐 자체는 전기 전도도가 높은 전이 금속이지만 합금화 후 Ni, Fe, Cu 등의 원소로 도핑하면 전기 전도도가 감소합니다.
- 텅스텐 합금판의 저항률은 일반적으로 약 5~15 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ (실온) 범위로 순수 구리(약 1.68 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)보다 훨씬 높지만 세라믹 소재보다 낮습니다.
- 저항률은 합금 조성, 제조 공정, 결정립 크기, 그리고 온도의 영향을 받습니다. 온도가 상승하면 저항률은 일반적으로 양의 온도 계수를 나타냅니다.

2. 전기적 특성의 공학적 중요성

- 전자 방열 구조에서 텅스텐 합금판은 우수한 전기 및 열 전도성으로 인해 전자 부품의 과열을 효과적으로 줄일 수 있습니다.
- 특정 전자파 차폐 응용 분야의 경우, 텅스텐 합금 판의 저항률 특성은 전자파 간섭을 줄이는 데에도 유익합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. 자기 응답 특성

1. 자석형

- 텅스텐과 대부분의 텅스텐 합금은 상자성 또는 약반자성을 띕니다. 니켈과 철을 첨가하면 자기 반응이 발생할 수 있지만, 실제 합금의 강자성은 텅스텐의 높은 밀도와 결정 구조로 인해 일반적으로 억제됩니다.
- W-Ni-Fe 합금은 특정 비율 이하에서 약한 자성을 나타내며, 주로 자기적 특성을 제어해야 하는 특수한 용도에 사용됩니다.

2. 자기 성능 매개변수

- 자기 투자율이 낮아 고주파 전자기기 및 무선주파수 장비에 적합합니다.
- 자기포화 강도가 낮아 자기장으로 인한 재료 특성의 급격한 변화를 방지합니다.
- 특정 비자성 텅스텐 합금(예: W-Ni-Cu)은 자기장 간섭을 피하기 위해 항공우주 및 의료 분야에서 널리 사용됩니다.

3. 방사선 저항성

1. 방사선 저항 메커니즘

- 텅스텐 합금판은 원자번호가 매우 높고($Z=74$) 밀도가 높아 감마선, X선, 중성자선을 효과적으로 차단하고 흡수할 수 있습니다.
- 안정적인 격자 구조와 강력한 결합력으로 인해 고에너지 방사선 환경에서도 재료의 무결성을 유지하여 방사선으로 인한 재료의 팽창, 취성 또는 저하를 줄일 수 있습니다.
- 합금에 Ni, Fe와 같은 원소가 들어 있으면 방사선 손상을 복구하는 능력을 향상시킬 수 있습니다.

2. 적용 시나리오

- 원자로의 보호 차폐재로서 중성자와 감마선을 효과적으로 흡수합니다.
- 의료 방사선 장비 및 방사선 치료 장치의 구성품의 보호 커버;
- 우주선 전자장비에 대한 방사선 차폐.

3. 방사선 환경에서의 성능 안정성

- 실험 결과, 텅스텐 합금의 기계적 특성은 고용량 방사선에 노출된 후에도 거의 변하지 않으며 미세 구조적 손상도 제한적입니다.
- 산화 저항성과 방사선 내성을 더욱 개선하기 위해서는 표면 코팅 기술을 결합해야 합니다.

4. 결론

텅스텐 합금판은 뛰어난 전기적 성능 조절 능력, 낮은 자기 응답, 그리고 뛰어난 방사선 저항성을 갖추고 있어 전자 방열, 원자력 에너지 보호, 항공우주 등 다양한 첨단 분야의 요구를 충족할 수 있습니다. 재료 조성 설계 및 복합재 구조 최적화를 통

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

해 전자파 및 방사선 환경에서의 성능이 더욱 향상될 것이며, 향후 광범위한 개발 잠재력을 가지고 있습니다.

2.6 내식성 및 화학적 안정성 분석

텅스텐 합금판은 산업 분야에서 습기, 대기 산화, 산-염기 부식, 고온 산화와 같은 복잡한 환경 조건에 자주 노출됩니다. **텅스텐 합금판의 내식성 과 화학적 안정성**은 장기적인 안정적인 작동을 보장하고 재료의 수명을 연장하는 데 매우 중요합니다. 본 절에서는 텅스텐 합금판의 내식성, 화학 반응 메커니즘, 그리고 관련 보호 전략을 체계적으로 분석합니다.

1. 텅스텐 합금판의 내식성 특성

1. 의 화학적 안정성

: 텅스텐 금속 자체는 특히 중성 및 약알칼리 환경에서 강한 내식성을 가지고 있습니다. 텅스텐의 높은 녹는점과 강한 결합력은 대부분의 산 및 알칼리 용액에서 반응 속도를 늦추어 표면에 조밀한 산화막을 형성하여 보호 기능을 제공합니다.

2. 합금 원소의 영향

텅스텐 합금은 일반적으로 니켈, 철, 구리와 같은 합금 원소를 포함합니다. 이러한 원소의 내식성은 비교적 약하며, 특히 염화물 이온이나 황산과 같은 강한 부식성 매질에서 부식의 시작점이 될 수 있습니다.

3. 부식

성능. 기공과 미세균열은 국부 부식을 쉽게 유발하고 응력 부식 균열(SCC)을 촉진할 수 있습니다.

2. 화학적 안정성 및 부식 메커니즘

1. 대기 산화

텅스텐 합금은 상온에서 대기 산화에 대한 저항성이 강하며, 표면에 치밀한 텅스텐 산화막(WO_3)을 형성하여 내부 금속을 추가 산화로부터 보호할 수 있습니다. 그러나 고온에서는 산화 속도가 빨라져 산화막이 두꺼워지고 취성이 발생합니다.

2. 산 및 알칼리 부식

- **산성 환경** : 질산, 염산 등 산성 환경에서는 텅스텐 합금 표면이 용해되거나 수소취성이 발생하고 Ni 및 Fe 상은 부식되기 쉽습니다.
- **알칼리성 환경** : 텅스텐과 그 산화물은 일반적으로 안정적이며 알칼리성 부식에 약하지만, 수산화나트륨과 같은 일부 강염기는 고농도에서도 여전히 재료 표면을 손상시킬 수 있습니다.

3. 화학적 부식

전해질 매질에서 텅스텐 합금은 미세 배터리 효과를 형성하여 국소 부식을 증가시킬 수 있습니다. 텅스텐 상은 음극으로, 합금 결합 상은 양극으로 작용하여 부식 전류를 형성할 수 있습니다.

3. 내식성 향상을 위한 기술적 대책

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. **머티리얼 디자인 최적화**

- 텅스텐 함량을 늘리고 부식에 민감한 상의 비율을 줄입니다.
- 전반적인 안정성을 강화하기 위해 몰리브덴, 크롬과 같은 내식성 원소가 추가되었습니다.

2. **표면 보호 기술**

- 표면 산화 처리로 보호 산화막이 형성됩니다.
- 부식 방지 코팅(세라믹, 금속 화합물)을 적용합니다.
- 니켈이나 크롬과 같은 금속층을 전기 도금하면 표면 내식성을 강화할 수 있습니다.

3. **환경 제어**

- 고농도 부식성 매체와의 접촉을 피하십시오.
- 전기화학적 부식 위험을 줄이려면 온도와 습도를 조절하세요.

4. **프로세스 개선**

- 밀도를 개선하고 기공과 미세균열을 줄입니다.
- 정교한 열처리로 조직의 균일성을 개선합니다.

4. **일반적인 응용 분야에서의 부식 방지의 예**

- **핵 산업** : 텅스텐 합금 보호재를 사용할 때 산화 부식을 방지하기 위해 불활성 분위기나 진공 포장에 종종 사용됩니다.
- **의료 장비** : 텅스텐 합금 방사선 치료 장치는 엄격한 생체적합성과 내식성이 요구되며, 종종 생체 불활성 코팅으로 보호됩니다.
- **항공우주** : 고온 다습한 환경에서는 재료의 안정성을 높이기 위해 표면 질화 또는 내식성 코팅의 분무가 필요합니다.

V. **요약**

텅스텐 합금판은 높은 텅스텐 함량과 안정적인 격자 구조를 가지고 있어 대부분의 환경에서 우수한 내식성과 화학적 안정성을 보입니다. 합금 설계, 표면 처리 및 환경 제어를 통해 부식 과정을 효과적으로 억제하여 열악한 작업 조건에서도 재료의 장기적이고 안정적인 작동을 보장합니다.

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

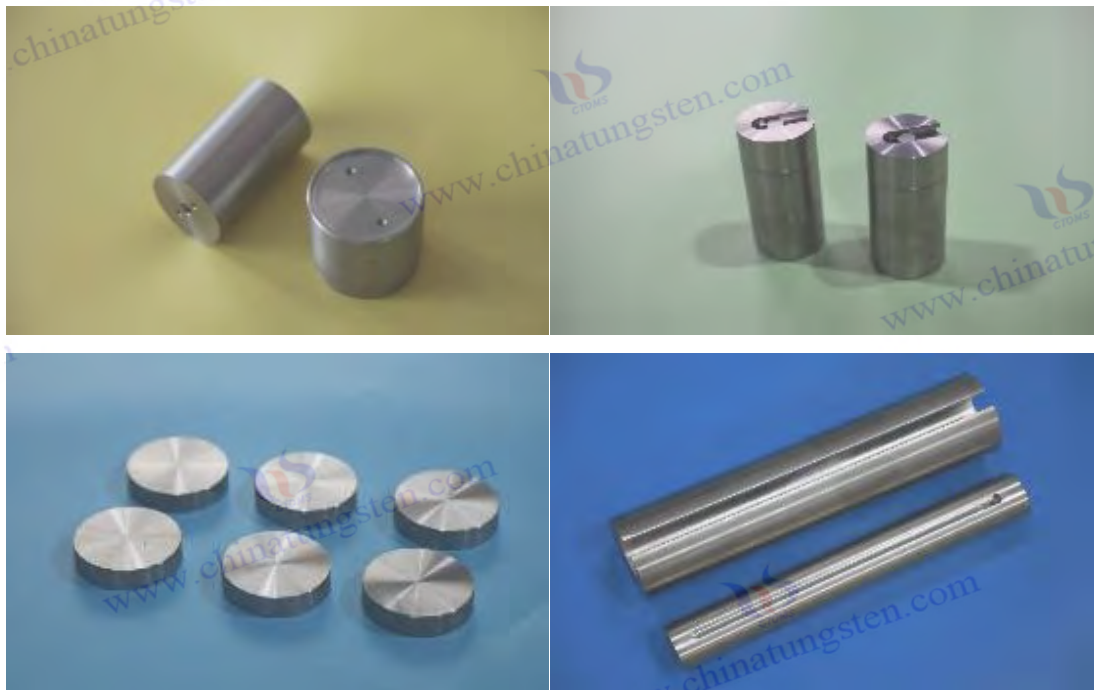
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

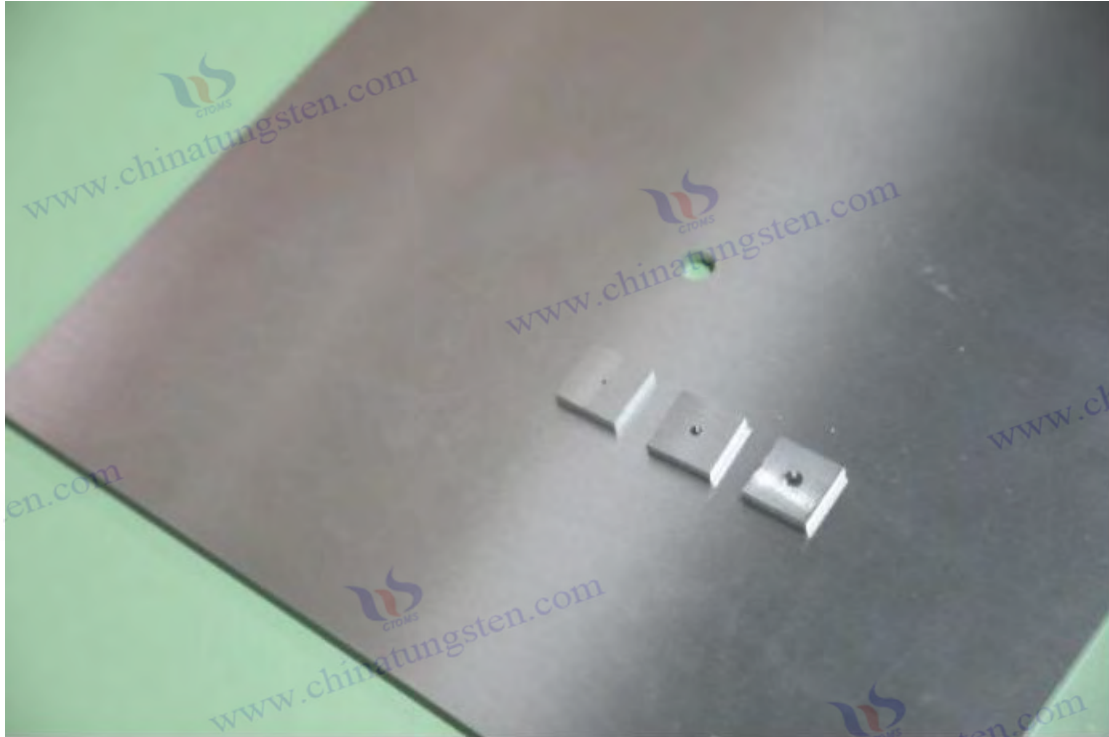
Official website: www.tungsten-alloy.com



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 3 장 텅스텐 합금판의 제조 및 성형 기술

3.1 텅스텐 분말 및 바인더 금속의 원료 선정 및 가공

텅스텐 합금판은 원자재 선정 및 가공, 특히 텅스텐 분말과 금속 접합 분말의 품질에 따라 결정되며, 이는 최종 합금판의 성능 안정성과 성형 효율을 직접적으로 좌우합니다. 본 절에서는 텅스텐 분말의 특성, 금속 접합의 종류와 기능, 그리고 원자재 전처리 기술을 자세히 소개합니다.

1. 텅스텐 분말의 선정 및 특성

1. 텅스텐 분말의 물리적 및 화학적 특성

텅스텐 분말은 텅스텐 합금의 골격 재료이며 다음과 같은 기본 특성을 가져야 합니다.

- **고순도** : 텅스텐 함량은 일반적으로 $\geq 99.9\%$ 로 합금 특성에 대한 불순물의 영향을 줄입니다.
- **적합한 입자 크기** : 입자 크기 분포는 균일하며, 일반적으로 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 입니다. 미세 분말은 소결 밀도 증가에 유리하고, 거친 분말은 유동성과 성형성에 유리합니다.
- **규칙적인 입자 모양** : 구형 또는 아구형 분말은 유동성이 좋으며 균일한 압착에 적합합니다.
- **낮은 산소 함량** : 밀도와 기계적 특성에 영향을 미치는 산화물을 방지합니다.

2. 텅스텐 분말의 제조 방법

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **수소 환원법** : 텅스텐산을 입자크기를 조절할 수 있는 금속 텅스텐 분말로 환원합니다.
- **탄소열환원법** : 탄소분말을 사용하여 텅스텐 화합물을 환원하는 방법으로 비용은 낮지만 입자 크기가 더 큼니다.
- **분무 건조 방법** : 구형 텅스텐 분말을 생산하고 유동성을 향상시킵니다.
- **기계적 합금화** : 나노텅스텐 분말을 제조하고 강화 효과를 개선하는 데 사용됩니다.

2. 결합금속의 종류와 선택

1. 주요 결합 금속

- **니켈 (Ni)** : 젓음성과 고온 강도가 좋은 일반적으로 사용되는 바인더상으로, 텅스텐 분말 사이의 결합을 효과적으로 강화할 수 있습니다.
- **철 (Fe)** : 니켈과 함께 사용하면 합금의 강도와 경도를 높이고 비용을 절감할 수 있습니다.
- **구리 (Cu)** : 특정 텅스텐-구리 복합재료에 사용되어 열전도도와 전기적 특성을 개선하지만 접합력이 약함
- **코발트 (Co)** : 일부 고성능 텅스텐 합금에 사용되어 내마모성과 고온 성능을 개선합니다.

2. 결합 금속의 물리적 요구 사항

- 분말 입자 크기는 균일하며 일반적으로 텅스텐 분말 (0.5~5 μm) 보다 미세합니다.
- 불순물로 인한 재료 결함을 방지하기 위해 높은 순도를 유지합니다.
- 유동성과 혼합성이 우수하여 균일한 혼합이 가능합니다.

3. 원료 전처리 기술

1. 분말 혼합

- 볼 밀링, 교반 등의 기계적 혼합 방법을 사용하여 텅스텐 분말과 결합 금속 분말이 균일하게 분산되도록 합니다.
- 첨가제를 적절히 첨가하면 분산성이 향상되고 응집이 방지됩니다.

2. 분말 건조 및 탈산소화

- 혼합 후, 일반적으로 분말을 건조하여 수분과 유기 잔류물을 제거해야 합니다.
- 진공 또는 수소 분위기에서의 탈산처리는 소결 중 산소 함량과 산화를 감소시킬 수 있다.

3. 스크리닝 및 분류

- 균일성과 압축 밀도를 보장하기 위해 스크린이나 기류 분류를 통해 입자 크기 분포를 제어합니다.
- 너무 크거나 너무 미세한 비정상적인 입자를 제거합니다.

4. 품질 관리 및 테스트

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **화학 성분 분석** : ICP, XRF 및 기타 방법을 사용하여 텅스텐 및 합금 원소의 함량을 감지합니다.
- **입자 크기 분포 검출** : 레이저 입자 크기 분석기 또는 현미경 분석;
- **산소 함량 시험** : 열 탈착, 탄소 및 유황 분석 및 기타 모니터링 장비를 사용합니다.
- **유동성 시험** : 흐름 각도 또는 흐름 속도 측정 장비를 사용하여 분말 유동성을 시험합니다.

V. 요약

텅스텐 합금판은 고품질 텅스텐 분말 원료 선정 및 금속 접합, 그리고 과학적인 전처리 공정을 기반으로 합니다. 분말 입자 크기, 순도, 산소 함량 및 혼합 균일도를 합리적으로 제어하는 것은 후속 성형 및 소결 공정의 순조로움과 안정적인 제품 품질을 보장하는 핵심 요소입니다. 앞으로 나노 분말 및 기능화된 표면 분말의 개발을 통해 텅스텐 합금판의 성능이 더욱 향상될 것입니다.

3.2 분말야금 제조 공정(프레스, 등방프레스, 소결)

텅스텐 합금판은 분말 야금 기술을 기반으로 합니다. 텅스텐 분말의 혼합, 성형, 소결 및 금속 분말의 접합 단계를 거쳐 고밀도 및 고성능 합금판을 얻을 수 있습니다. 본 절에서는 분말 야금 제조의 주요 공정과 공정 변수가 재료 품질에 미치는 영향을 체계적으로 소개합니다.

1. 분말 혼합 및 준비

- 텅스텐 분말과 결합 금속 분말은 비율에 따라 엄격하게 혼합되어 구성이 균일합니다.
- 볼 밀링 및 기계적 교반과 같은 공정을 사용하여 분말 분산성을 개선합니다.
- 소결 중 산화를 방지하기 위해 혼합 분말을 건조하고 산화제거합니다.
- 유동성과 균일한 압착을 보장하기 위해 큰 입자와 응집물을 선별하여 제거합니다.

2. 프레스 공정

1. 단축 프레스

- 균일하게 혼합된 분말을 금형에 넣고 단일 방향으로 압력을 가해 모양을 만듭니다.
- 장점: 장비가 간단하고, 생산 효율이 높으며, 형상이 간단한 텅스텐 합금 슬라브를 제조하는 데 적합합니다.
- 단점: 압착 공정 중 밀도 분포가 고르지 않아 밀도 구배가 발생하기 쉽고, 이는 소결 밀도에 영향을 미칩니다.

2. 냉간 등방압 가압(CIP)

- 분말을 밀봉된 고무 봉지에 넣고 액체 매체에 담근 후 균일한 등압력을 가합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 장점: 밀도가 높고 균일한 그린 바디를 얻을 수 있으며, 내부 결함과 기공이 줄어듭니다.
- 복잡한 모양이나 높은 밀도가 요구되는 텅스텐 합금판 생산에 적합합니다.
- 압력 범위는 일반적으로 100~300MPa 입니다.

3. 열간 등방압 가압(HIP)

- 고온, 고압을 결합하여 분말체를 불활성 가스 환경(아르곤 등)에서 가압하고 소결합니다.
- 장점: 소결과 치밀화가 동시에 완료되어 합금의 기계적 성질과 균일성이 향상됩니다.
- 고급 텅스텐 합금판 제조에 적합하며 인장 강도와 경도를 크게 향상시킬 수 있습니다.

3. 소결 공정

1. 소결 원리

- 고온에서 가열하면 텅스텐 분말과 결합 금속이 확산되고 용해되어 입자 간의 결합이 강화됩니다.
- 분말 사이의 기공을 제거하고 재료의 밀도를 높입니다.

2. 소결 분위기

- 산화와 불순물 오염을 방지하기 위해 일반적으로 수소, 질소 또는 고순도 불활성 가스가 보호용으로 사용됩니다.
- 수소 분위기는 환원 효과가 있어 산화물 형성을 방지합니다.

3. 온도 및 시간 조절

- 소결 온도는 일반적으로 1350~1600° C 로 조절되며, 이는 합금 조성 and 소결 장비에 따라 결정됩니다.
- 보유 시간은 분말의 적절한 확산을 보장해야 하며, 일반적으로 30 분에서 수 시간까지입니다.
- 온도가 너무 높으면 입자가 성장하고 기계적 특성에 영향을 미칠 수 있습니다.

4. 후속 처리 및 고밀화

- 일부 공정에서는 2 차 고밀도화를 위해 열간 등방성 압축(HIP)을 결합합니다.
- 열처리 는 조직의 특성을 조절하고 인성과 경도를 향상시킵니다.
- 가공 전 어닐링 처리를 하면 소재의 가소성과 가공 특성이 향상됩니다.

5. 성능에 대한 프로세스 매개변수의 영향

프로세스	주요 매개변수	텅스텐 합금판의 성능에 미치는 영향
막다	압력 크기 및 유지 시간	그린바디의 밀도에 영향을 미치며 밀도 균일성은 소결 품질을 결정합니다.
소결	온도, 분위기, 시간	입자 크기, 결합 강도 및 밀도에 영향을 미칩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

열간 등방압 가압	온도, 압력, 시간	밀도와 기계적 성질을 더욱 향상시킵니다.
--------------	------------	------------------------

VI. 요약

분말야금 제조는 텅스텐 합금 판 제조의 핵심 기술입니다. 프레스 방법의 합리적인 선택과 소결 공정 변수의 제어는 고성능 텅스텐 합금 판을 얻는 데 핵심적인 요소입니다. 장비 및 공정의 지속적인 발전과 함께, 열간 등압 프레스와 같은 첨단 기술의 적용은 텅스텐 합금 판의 기계적 특성, 밀도 및 구조적 균일성을 지속적으로 향상시켜 고급 응용 분야의 요구 사항을 충족해 왔습니다.

3.3 열간압연 및 냉간압연 성형 공정

텅스텐 합금판을 분말야금 소결로 성형한 후, 판의 구조와 성능을 더욱 정밀하게 조정하고, 밀도와 기계적 강도를 향상시키며, 표면 품질과 치수 정밀도를 개선하기 위해 **열간 압연 및 냉간 압연과 같은 기계적 가공**을 거치는 경우가 많습니다. 이 절에서는 열간 압연 및 냉간 압연의 공정 흐름, 기술적 요점, 그리고 텅스텐 합금판의 성능에 미치는 영향을 자세히 소개합니다.

1. 열간압연 성형 공정

1. 프로세스 개요

- 열간 압연은 텅스텐 합금 슬래브를 적절한 온도(보통 800~1200° C 범위)로 가열하고 압연기에서 압력을 가해 소성 변형시키는 공정입니다.
- 열간 압연은 결정립을 효과적으로 미세화하고, 합금의 내부 구조를 개선하고, 인성과 가소성을 향상시킬 수 있습니다.

2. 열간압연 온도 제어

- 적절한 가열 온도는 재료의 가소성이 양호하고 균열과 파손을 방지합니다.
- 온도가 너무 높으면 입자가 성장하고 기계적 특성이 저하될 수 있습니다.
- 온도가 너무 낮으면 변형 저항이 증가하고 판 표면에 균열이 생길 수 있습니다.

3. 열간압연 변형 및 압연속도

- 구조물의 균일성을 보장하기 위해 변형은 합리적인 범위 내에서 제어됩니다(단일 압연 두께 감소는 일반적으로 10%~30%).
- 압연 속도는 온도 분포에 영향을 미치며, 냉각 불균일로 인해 응력이 발생하는 것을 방지하기 위해 장비 및 재료 조건에 맞게 조정해야 합니다.

4. 어닐링

- 열간 압연 후에는 내부 응력을 제거하고 재료의 인성을 회복하기 위해 어닐링이 필요한 경우가 많습니다.
- 어닐링 온도는 일반적으로 열간 압연 온도보다 약간 낮으며, 시간은 판 두께와 재료 특성에 따라 조정됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. 냉간압연 성형 공정

1. 프로세스 개요

- 냉간 압연은 실온에서 열간 압연 텅스텐 합금판에 여러 단계의 소성 가공을 실시하여 판 정밀도와 표면 품질을 더욱 향상시키는 것입니다.
- 냉간 압연은 소재의 강도와 경도를 크게 높여 고성능 텅스텐 합금판을 제조하는 데 적합합니다.

2. 냉간압연 변형 및 압연 계획

- 단일 변형은 일반적으로 5%~15%로 작아서 판의 균열을 방지합니다.
- 가소성을 회복하고 과도한 경화를 방지하기 위해 압연과 간헐적 어닐링을 여러 번 반복합니다.

3. 표면 품질 및 크기 제어

- 냉간 압연은 표면 거칠기를 효과적으로 줄이고 매끄러움을 개선할 수 있습니다.
- 판 두께를 정밀하게 제어하여 높은 치수 정확도와 균일성을 달성합니다.

3. 열간압연과 냉간압연의 종합적용

- 일반적으로 열간 압연과 냉간 압연을 결합한 공정을 채택하여 재료의 가소성과 밀도를 보장하는 동시에 높은 강도와 우수한 표면 품질을 달성합니다.
- 텅스텐 합금판은 압연 경로와 열처리 공정을 합리적으로 설계함으로써 최적화될 수 있습니다.

4. 텅스텐 합금판 성능에 대한 공정의 영향

프로세스	주요 매개변수	영향
열간 압연	온도, 변형, 속도	입자 미세화, 내부응력 해소 및 인성 향상
냉간 압연	변형, 패스 수	향상된 강도와 경도, 매끄러운 표면 및 높은 치수 정확도

3.4 표면처리기술(연마, 산세, 전기도금, PVD)

텅스텐 합금판은 제조 후 일반적으로 표면 품질, 내식성 및 기능적 특성을 개선하기 위해 일련의 표면 처리 공정을 거쳐야 합니다. 표면 처리는 소재의 외관과 치수 정확도를 향상시킬 뿐만 아니라 내마모성, 내산화성 및 전기 전도성을 향상시킵니다. 이 섹션에서는 텅스텐 합금판에 일반적으로 사용되는 네 가지 표면 처리 기술인 연마, 산세척, 전기 도금, 그리고 물리 기상 증착(PVD)에 대해 중점적으로 설명합니다.

1. 연마(기계연마)

1. 연마의 목적

- 텅스텐 합금판 표면의 산화층, 버 및 가공 흔적을 제거합니다.
- 표면의 평탄도와 매끄러움을 개선하고, 표면 거칠기를 줄입니다.
- 전기 도금 및 코팅과 같은 후속 공정을 위한 좋은 기질을 제공합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. 연마 공정

- 사포, 연마 페이스트, 연마 휠을 사용하여 점차적으로 미세하게 갈아줍니다.
- 조분쇄, 중분쇄, 미분쇄는 단계적으로 가공되며, 입자 크기는 점차 미세화됩니다.
- 현대 공정에서는 일관성과 효율성을 개선하기 위해 자동 연마 장비가 사용됩니다.

3. 참고사항

- 표면 과열과 조직 변형을 방지하기 위해 분쇄 온도를 조절합니다.
- 표면 긁힘이나 구멍이 생기는 것을 방지하려면 적절한 연마제를 선택하세요.

2. 피클링(화학적 처리)

1. 피클링

- 표면 산화물, 녹 및 불순물을 제거합니다.
- 표면 활성을 개선하고 코팅이나 전기 도금층의 접착력을 증진시킵니다.
- 표면 거칠기를 조절하고 젖음성을 향상시킵니다.

2. 피클링제 및 공정 매개변수

- 일반적으로 사용되는 산세 용액: 희석 염산, 황산 또는 혼합산;
- 과도한 부식을 방지하기 위해 산세척 온도, 농도 및 시간을 엄격하게 제어해야 합니다.
- 산세척 후에는 잔여산을 방지하기 위해 적절한 시기에 중화 및 세척을 실시해야 합니다.

3. 안전 및 환경 보호

- 산성가스와 폐수 오염을 방지하기 위해 배기 및 폐액 처리 시설을 갖추어야 합니다.
- 작업자는 안전을 보장하기 위해 보호 장비를 착용해야 합니다.

3. 전기도금 기술

1. 전기도금의 목적

- 텅스텐 합금판 표면에 금속층(니켈, 크롬, 구리 등)을 도금하여 내식성과 내마모성을 향상시킵니다.
- 전기 전도성과 용접 성능을 향상시킵니다.
- 미관상 보기 좋고 표면 경도가 좋아집니다.

2. 일반적으로 사용되는 전기 도금 금속층

- **니켈 도금** : 일반적으로 부식 저항성과 경도를 높이고 윤활 성능을 개선하는데 사용됩니다.
- **크롬 도금** : 높은 경도와 내마모성, 밝은 표면을 제공합니다.
- **구리 전기 도금** : 전도성을 향상시키고 전자 산업에 적합합니다.

3. 전기 도금 공정

- 표면 전처리(탈지, 산세척)
- 금속 이온 흡착을 촉진하기 위한 활성화 처리;
- 전기 도금 탱크에 담그고 전류를 흘려 코팅을 형성합니다.
- 후처리(패시베이션, 세척, 건조)

4. 전기도금 품질 관리

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 코팅 두께와 균일성을 제어합니다.
- 코팅의 물질, 구멍, 벗겨짐을 방지하세요.
- 코팅의 접착력과 경도를 정기적으로 점검하세요.

4. 물리 기상 증착 (PVD)

1. PVD 기술 소개

- 진공 환경에서 타겟 물질을 증발시키거나 스퍼터링하여 텅스텐 합금판 표면에 증착시키는 박막 기술;
- 일반적인 코팅 재료에는 탄화물(TiC, WC 등), 질화물(TiN, CrN) 및 금속층이 포함됩니다.

2. PVD의 장점

- 코팅은 강력한 결합 강도를 가지고 있으며, 밀도가 높고 균일하며, 내마모성과 내부식성이 크게 향상되었습니다.
- 환경 친화적이고 오염이 없으며, 현대의 친환경 제조 요구 사항에 부합합니다.
- 코팅의 두께와 구성을 조절하여 기능적인 표면 디자인을 구현할 수 있습니다.

3. PVD 적용 공정

- 재료 세척 및 전처리
- 진공 챔버에 넣은 후 타겟을 가열하거나 스퍼터링합니다.
- 코팅 증착, 후냉각 및 후처리.

4. 일반적인 응용 프로그램

- 항공우주 및 군사 분야의 텅스텐 합금판
- 전자장비의 방열 및 접촉부 표면강화;
- 의료 기기를 위한 내마모성 및 생체적합성 코팅.

V. 요약

표면 처리는 텅스텐 합금판의 전반적인 성능을 향상시키는 핵심 단계입니다. 연마는 우수한 표면 품질을 보장하고, 산세척은 불순물과 산화막을 효과적으로 제거하며, 전기 도금은 내식성과 기능성 금속 보호층을 제공하며, 첨단 코팅 기술인 PVD는 뛰어난 내마모성과 내부식성을 부여합니다. 이러한 표면 처리 공정을 합리적으로 결합하고 최적화함으로써 텅스텐 합금판의 성능과 수명을 크게 향상시킬 수 있습니다.

3.5 판재에 대한 레이저 클래딩 및 적층 제조의 적용

첨단 제조 기술의 지속적인 발전에 따라 레이저 클래딩 및 적층 제조(3D 프린팅) 기술이 텅스텐 합금판의 제조 및 수리에 점차 적용되고 있습니다. 이러한 기술은 고정밀, 고에너지 밀도 레이저 빔을 통해 재료의 국부 용융 및 증착을 달성하고, 뛰어난 성형 성능과 재료 활용도를 자랑하며, 텅스텐 합금판의 적용 범위와 성능 향상 영역을 크게 확대합니다.

1. 레이저 클래딩 기술 소개

1. 공정 원리:

레이저 클래딩은 고출력 레이저 빔을 사용하여 금속 분말 또는 와이어를 부분적으로 용융시켜 기판 표면에 증착하여 치밀한 합금층을 형성합니다. 이 합금

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

층은 우수한 접합 강도와 성능 구배를 가지며, 기판의 내마모성, 내부식성 및 고온 성능을 향상시킬 수 있습니다.

2. 기술적 이점

- 클래딩 층의 두께와 구성을 정밀하게 제어하여 기능적으로 등급이 매겨진 재료 디자인을 구현합니다.
 - 열영향부가 작고, 기판 변형이 적으며, 잔류응력이 낮습니다.
 - 텅스텐 합금판의 표면 결함을 수리하고 수명을 연장할 수 있습니다.
- ## 3. 응용 프로그램 시나리오
- 텅스텐 합금판을 강화하여 내마모성과 내식성을 향상시켰습니다.
 - 사용 중 발생한 제조 결함 및 마모나 부식 손상에 대한 국부적 수리
 - 텅스텐 합금판 표면에 고경도 코팅을 클래딩합니다.

2. 적층 제조 기술과 그 장점

1. 적층 제조 개요

적층 제조 (AM)는 금속 분말을 층층이 쌓아 레이저나 전자빔과 같은 에너지를 이용하여 텅스텐 합금판을 거의 정형에 가까운 형상으로 성형하는 기술입니다. 일반적으로 사용되는 기술로는 선택적 레이저 용융 (SLM)과 전자빔 용융 (EBM)이 있습니다.

2. 기술적 이점

- 높은 수준의 설계 자유도를 갖추고 있어 복잡한 구조물과 기능적으로 등급이 매겨진 부품을 제조할 수 있습니다.
- 높은 재료 활용도로 낭비와 비용을 줄입니다.
- 신속한 프로토타입 제작으로 제품 개발 주기를 단축할 수 있습니다.

3. 프로세스 과제

- 텅스텐 합금 분말은 녹는점이 높고 열전도도가 높아 용융 제어가 어렵습니다.
- 균열과 구멍이 발생하기 쉽기 때문에 공정 매개변수와 분말 품질을 최적화해야 합니다.
- 성형된 부품의 밀도와 기계적 특성은 더욱 개선되어야 합니다.

3. 레이저 클래딩 및 적층 제조의 공정 흐름

프로세스	주요 내용
분말 제조	유동성과 순도를 보장하기 위해 적절한 입자 크기와 형태를 가진 텅스텐 합금 분말을 선택하십시오.
장비 준비	레이저 출력, 스캐닝 속도, 가스 보호 시스템 및 기타 매개변수 디버깅
전처리	클래딩 층과 기판 사이의 견고한 결합을 보장하기 위해 기판 표면이 깨끗해야 합니다.
클래딩/인쇄	레이저 빔은 녹은 분말을 스캔하여 층층이 쌓이는 것을 구현합니다.
후처리	구조 및 성능 개선을 위한 열처리, 가공 및 표면 연마

4. 응용 사례 분석

1. 항공우주 분야에서는

레이저 클래딩 기술을 사용하여 텅스텐 합금판 표면을 강화하여 고온 저항성과 내마모성을 개선하여 엔진 구성 요소의 고성능 요구 사항을 충족합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. 원자력 산업에서는

적층 제조를 통해 복잡한 텅스텐 합금 보호판을 제작하여 가볍고 효율적인 차폐를 달성하고, 이를 통해 원자로의 안전성과 수명을 향상시킵니다.

3. 금형은

텅스텐 합금판 표면에 고경도 합금층을 레이저 클래딩하여 제조되어 금형의 내마모성과 내부식성을 향상시키고 금형의 수명을 연장합니다.

V. 개발 동향 및 과제

- **기술 최적화** : 균열 및 구멍과 같은 결함을 해결하기 위해 레이저 매개변수와 분말 준비 공정을 지속적으로 개선합니다.
- **재료 혁신** : 레이저 클래딩 및 적층 제조에 적합한 텅스텐 합금 분말을 개발하여 성형 품질을 개선합니다.
- **다중재료 복합재 제조** : 기능적으로 기울어진 재료와 복합구조물의 효율적인 제조 실현
- **지능형 제어** : 인공지능과 실시간 모니터링을 도입하여 프로세스 안정성과 완제품의 일관성을 개선합니다.

VI. 요약

레이저 클래딩 및 적층 제조 기술은 텅스텐 합금판의 제조 및 성능 향상을 위한 새로운 솔루션을 제공합니다. 정밀한 소재 증착 및 구조 설계를 통해 텅스텐 합금판 표면을 효과적으로 수리 및 강화할 뿐만 아니라, 고성능, 복잡한 형상 및 맞춤형 제작을 위한 텅스텐 합금판 제조 개발을 촉진합니다. 앞으로 기술 발전과 소재 혁신을 통해 레이저 기반 제조는 텅스텐 합금 분야에서 점점 더 중요한 역할을 할 것입니다.

3.6 나노입자 강화 및 기능적 경사판 제작 기술

재료 과학의 지속적인 발전과 함께 나노 기술과 기능적 경사 재료(FGM)는 텅스텐 합금판의 성능 향상을 위한 핵심 방향으로 자리 잡았습니다. 나노입자 강화상을 도입하고 조성 및 구조의 경사 분포를 구현함으로써 텅스텐 합금판의 기계적 특성, 내마모성 및 열 안정성을 크게 향상시켜 더욱 복잡하고 까다로운 응용 분야 요건을 충족할 수 있습니다.

1. 나노입자 강화 기술

1. 나노입자의 종류와 기능

- **일반적으로 사용되는 나노입자** : 탄화물(WC, TiC 등), 산화물(Al_2O_3 , ZrO_2 등), 탄소 나노 튜브(CNT) 및 그래핀 등.
- **강화 메커니즘** : 나노입자는 입자를 미세화하고, 전위 이동을 방해하며, 균일하게 분산된 2차 상을 형성하여 매트릭스의 강도와 경도를 향상시킵니다.
- **계면 강화** : 나노입자는 텅스텐 매트릭스와 강력한 계면 결합을 형성하여 재료의 전반적인 인성을 향상시킵니다.

2. 나노입자 분산 기술

- **기계적 합금화** : 고에너지 볼 밀링으로 나노입자가 텅스텐 분말에 균일하게 분산됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **표면 개질** : 화학적 또는 물리적 방법을 통해 나노입자와 매트릭스의 적합성을 개선하고 응집을 방지합니다.
 - **분산제 첨가** : 균일한 분포를 돕기 위해 계면활성제를 도입합니다.
3. **프로세스의 어려움과 해결책**
- 나노입자는 응집되기 쉽기 때문에 분산 과정을 최적화해야 합니다.
 - 열응력 집중을 피하기 위해 인터페이스 접합 강도와 열팽창 매칭을 합리적으로 설계해야 합니다.
 - 나노입자의 함량을 조절하여 과도한 양으로 인해 취성이 생기는 것을 방지합니다.

2. 기능적 경사 플레이트 제조 기술

1. 기능적 등급 재료 소개

- 기능적으로 등급이 매겨진 텅스텐 합금판은 두께 방향이나 표면에서 다양한 구성이나 구조의 경사를 달성함으로써 성능의 공간적 분포를 최적화합니다.
- 주요 목표는 강도, 인성, 내마모성, 내부식성 등 여러 가지 요구 사항을 동시에 충족하는 것입니다.

2. 제조 방법

- **층별 소결** : 분말 비율을 층별로 조절하여 소결하여 형성합니다.
- **구배 열처리** : 다양한 영역에서 열처리 조건을 사용하여 성능 구배를 형성합니다.
- **레이저 클래딩 또는 적층 제조** : 다양한 구성을 가진 재료를 국부적으로 증착하여 그래디언트를 달성합니다.
- **압연 및 압출 복합재** : 서로 다른 조성이나 구조를 가진 판을 복합화한 다음 기계로 가공하여 경사 구조를 형성합니다.

3. 일반적인 그래디언트 디자인

- 표면에는 고경도 내마모성 층이 있고 내부에는 고인성 베어링 층이 있습니다.
- 열팽창 계수는 점차적으로 전환되어 열응력을 감소시킵니다.
- 기능 영역은 각각 전도성, 내식성 또는 내방사선성을 갖습니다.

3. 나노 강화 및 그래디언트 제조의 성능 향상

성 과 지 표	나노입자 증강 효과	기능적으로 등급화된 디자인의 장점
인 장 강 도	크게 개선됨	전반적인 강도와 인성을 향상시키기 위한 지역 최적화
경도	상당히 향상됨	표면 강화, 우수한 내마모성
강인함	중간 정도의 개선	경사 구조로 응력 집중 완화
열 안 정 성	향상된 고온 성능	열 균열을 줄이기 위한 열 팽창 매칭
내식성	나노입자와 계면 강화	표면 기능층으로 내식성 향상

IV. 응용 전망 및 개발 동향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 나노입자 강화 텅스텐 합금판은 항공우주, 원자력 산업 및 첨단 전자 분야에 적합하며, 특히 고강도 및 내마모성이 요구되는 부품에 매우 중요합니다.
- 기능적으로 등급이 매겨진 판은 열 보호, 방사선 차폐 및 기계적 특성 최적화와 같은 극한 환경에서 텅스텐 합금을 적용하기 위한 새로운 아이디어를 제공합니다.
- 첨단 적층 제조 기술과 결합하여 복잡한 경사 구조의 정밀한 제어와 효율적인 생산이 가능합니다.

V. 요약

나노입자 강화 및 기능적 경사 제조 기술은 텅스텐 합금판의 성능 향상을 강력하게 지원합니다. 재료 설계와 첨단 기술의 결합을 통해 텅스텐 합금판은 강도, 인성, 내마모성, 내부식성 및 기타 특성의 시너지 효과를 향상시켜 텅스텐 합금판이 고급 및 복잡한 응용 분야로 발전하도록 촉진합니다.

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

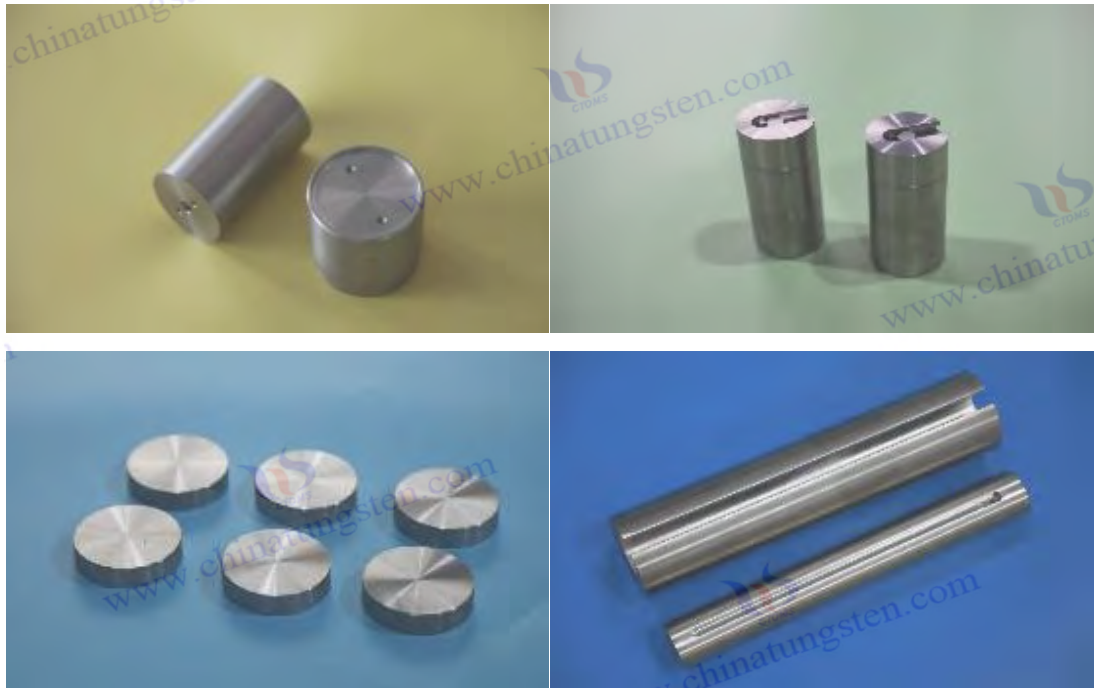
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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 합금판의 품질 검사 및 성능 평가

4.1 기하학적 치수 및 표면 평탄도 검사

텅스텐 합금판의 기하학적 치수와 표면 평탄도는 조립 정확도와 성능을 보장하는 중요한 지표입니다. 정확한 치수와 우수한 표면 상태는 판의 기계적 강도, 접촉 성능 및 후속 가공 품질에 직접적인 영향을 미칩니다. 이 섹션에서는 텅스텐 합금판이 설계 요건 및 적용 표준을 충족하는지 확인하기 위해 일반적으로 사용되는 시험 방법, 계측기 및 장비, 그리고 시험 공정에 대해 중점적으로 설명합니다.

1. 기하학적 차원 감지

1. 주요 테스트 매개변수

- 길이, 너비, 두께: 고정밀 측정 도구를 사용하여 판의 기본 치수를 측정합니다.
- 직진도: 길이 방향을 따라 판의 굽힘 변형 정도를 측정합니다.
- 평탄도: 보드 표면의 전반적인 평탄도를 평가합니다.

2. 일반적으로 사용되는 테스트 장비

- 버니어 캘리퍼스 및 마이크로미터 : 길이와 두께의 대략적인 측정에 적합하며 일반적으로 0.01mm의 정확도를 가집니다.
- 좌표 측정기(CMM) : 고정밀, 다중 매개변수 측정, 복잡한 형상과 고정밀 요구 사항에 적합함;
- 레이저 스캐너 : 비접촉 측정, 표면 포인트 클라우드 데이터의 빠른 수집 및 평탄도 분석

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **플레이트 및 필터 게이지** : 전통적인 직진도 및 평탄도 테스트 도구로 간단하고 경제적입니다.

3. 테스트 프로세스

- 테스트 테이블에 접시를 올려놓고 단단히 고정되었는지 확인하세요.
- 설계 요구 사항에 따라 측정 지점과 방향을 선택합니다.
- 치수 데이터와 평탄도 곡선을 얻기 위한 다점 측정;
- 허용 범위 준수 여부는 통계 분석을 통해 결정됩니다.

2. 표면 평탄도 검출

1. 평탄도 정의

- 표면 평탄도는 텅스텐 합금판 표면이 이상적인 평면에서 벗어난 정도를 말하며, 밀봉, 접촉 성능 및 외관에 영향을 미칩니다.

2. 검출 방법

- **자와 측정법** : 표면에 자를 놓고 측정기를 사용하여 틈새를 측정하여 평탄도를 빠르게 확인합니다.
- **광학 간섭계** : 간섭 무늬를 사용하여 마이크론 수준의 표면 변동을 정확하게 측정합니다.
- **레이저 프로파일러** : 표면 프로파일을 스캔하고 3D 표면 모델을 구성합니다.
- **스타일러스 프로파일로미터** : 기계식 스타일러스가 표면을 스캔하여 높이 변화 데이터를 얻습니다.

3. 평가 기준

- 국가 및 산업 표준(GB, ISO 등)에 따라 평탄도 허용 오차를 설정합니다.
- 표면 등급은 적용 분야에 따라 차별화되며, 고정밀 적용 분야에서는 더욱 엄격한 요구 사항이 요구됩니다.

3. 영향 요인 및 통제

- 준비 과정에서 균일한 압축과 소결 변형을 보장합니다.
- 후속 가공의 안정성과 장비의 정확성;
- 주변 온도와 습도는 감지 정확도에 영향을 미치므로, 일정한 온도와 습도 조건에서 테스트를 수행해야 합니다.

IV. 요약

기하학적 크기 및 표면 평탄도 시험은 텅스텐 합금 판재 품질 관리에 중요한 측면입니다. 첨단 측정 장비와 과학적 시험 방법을 결합하면 판재가 설계 및 적용 요건을 충족하는지 확인할 수 있으며, 이는 후속 성능 평가 및 적용을 위한 견고한 기반을 제공합니다.

4.2 미세구조 및 밀도 특성 분석(SEM, XRD)

텅스텐 합금 판재는 기계적 특성, 내마모성 및 안정성에 영향을 미치는 핵심 지표입니다. 미세 구조를 분석함으로써 재료의 결정립 형태, 상 조성, 기공 분포 및 계면 결합 상태를 심층적으로 파악하여 공정 매개변수를 최적화하고 재료 품질을 향상시킬

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

수 있습니다. 이 섹션에서는 일반적으로 사용되는 미세 구조 분석 기법과 밀도 특성 분석 방법에 중점을 둡니다.

1. 주사전자현미경(SEM) 분석

1. 기술 원리

- SEM은 전자빔을 사용하여 샘플 표면을 스캔하고 2차 전자와 후방 산란 전자를 감지하여 고해상도 표면 형태 및 미세 구조 이미지를 얻습니다.
- 다양한 상, 입자 분포, 기공, 균열 및 기타 미세 결함을 관찰하고 분석할 수 있습니다.

2. 신청 내용

- 입자 크기 및 형태 분석: SEM 이미지를 통해 입자 크기와 균일성을 확인합니다.
- 입자 분포 및 계면 결합: 텅스텐 기지와 강화상(예: Ni, Fe, Cu 등) 간의 결합 상태를 관찰합니다.
- 기공 및 결합 감지: 재료의 기공, 균열 및 내포물을 식별합니다.
- 표면 부식 형태: 부식 메커니즘 분석 및 부식 생성물 분포.

3. 샘플 준비

- 텅스텐 합금판 샘플은 미세 구조를 노출시키기 위해 연마, 부식 에칭 등의 전처리 과정을 거쳐야 합니다.
- 샘플의 크기와 모양은 SEM 장비의 요구 사항을 충족해야 합니다.

2. X선 회절(XRD) 분석

1. 기술 원리

- XRD는 입사 X선에 대한 물질 샘플의 회절 패턴을 검출하여 결정 구조와 상 구성을 식별합니다.
- 회절 피크의 위치, 강도, 너비는 재료의 결정상 유형, 결정성, 입자 크기를 반영합니다.

2. 신청 내용

- 상 조성 식별: 텅스텐 합금에서 텅스텐상과 다른 합금 원소에 의해 형성된 금속상 또는 화합물상을 확인합니다.
- 결정 구조 분석: 각 상의 격자 매개변수와 결정 유형을 결정합니다.
- 입자 크기 및 응력 측정: 피크 폭 분석을 통해 입자 크기와 내부 응력 상태를 계산합니다.
- 품질 관리: 재료 가공이 결정 구조에 미치는 영향을 모니터링합니다.

3. 샘플 준비

- 회절 결과에 표면 거칠기가 영향을 미치지 않도록 샘플 표면은 평평해야 합니다.
- 대량 또는 분말 시료를 분석에 사용할 수 있습니다.

3. 밀도 시험 방법

1. 이론 밀도와 실제 밀도

- 이론 밀도는 텅스텐과 합금 원소의 화학적 조성 및 결정 구조를 기반으로 계산됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 실제 밀도는 실험적 측정을 통해 얻어지며 재료의 밀도를 평가하는 중요한 지표입니다.
2. 일반적인 측정 방법
- **아르키메데스 방법** : 액체 속 시료의 질량 차이를 측정하여 밀도를 계산합니다. 규칙적인 모양을 가진 시료에 적합합니다.
 - **기하학적 방법** : 샘플의 크기와 질량을 측정하여 밀도를 계산합니다. 이 방법은 규칙적인 모양과 기공이 없는 샘플에 적합합니다.
 - **가스 투과성 방법** : 다공성을 평가하고 밀도를 간접적으로 반영합니다.
3. 밀도와 성능의 관계
- 밀도가 높을수록 재료의 기계적 성질과 내식성이 우수합니다.
 - 다공성이 높으면 재료의 강도와 수명이 감소합니다.
4. 종합적인 분석 및 적용
- SEM과 XRD 분석을 결합하면 텅스텐 합금판의 미세조직적 특성과 상조성을 체계적으로 이해할 수 있습니다.
 - 밀도 테스트는 재료의 밀도화 정도와 공정 최적화 효과를 평가하는 데 도움이 됩니다.
 - 공정 조정 및 재료 개선을 위한 과학적 근거를 제공하고, 텅스텐 합금판의 성능을 향상시킵니다.

V. 요약

미세구조 및 밀도 특성 분석은 텅스텐 합금판 성능 연구 및 품질 관리의 핵심입니다. SEM과 XRD 기술을 적용하여 재료의 미세구조와 결정 상태를 심층적으로 파악할 수 있으며, 밀도 시험은 재료의 치밀화 정도를 정량적으로 측정하는 지표를 제공합니다. 체계적인 특성 분석 방법은 텅스텐 합금판의 고성능 제조 및 적용을 위한 확실한 보장을 제공합니다.

4.3 기계적 성질 시험 표준 (ASTM, GB, ISO)

중요한 고성능 소재인 텅스텐 합금판의 기계적 성질을 정확하게 시험하고 평가하는 것은 제품 품질을 보장하고 적용 요건을 충족하는 데 필수적입니다. 시험 방법을 표준화하고 데이터의 정확성과 비교성을 보장하기 위해 국내외적으로 일련의 기계적 성질 시험 표준이 제정되었습니다. 이 섹션에서는 미국재료시험학회 (ASTM), 중국 국가 표준 (GB), 국제표준화기구 (ISO)의 관련 규격을 포함하여 텅스텐 합금판에 일반적으로 사용되는 주요 기계적 성질 시험 표준에 대해 중점적으로 설명합니다.

1. 주요 기계적 성질

- **인장 강도** : 인장 시험에서 재료가 견딜 수 있는 최대 응력
- **항복 강도** : 재료가 영구 변형을 겪는 응력.
- **신장률** : 재료가 파손되기 전 신장률로, 가소성을 반영합니다.
- **경도** : 재료가 국부적인 소성 변형을 저항하는 능력.
- **충격 인성** : 재료가 충격 손상에 저항하는 능력.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. ASTM 표준 시스템

1. ASTM E8 / E8M - 인장 시험 방법

- 금속 재료의 인장 강도, 항복 강도 및 신장을 측정하는 데 적합합니다.
- 여기에는 시편 크기, 시험 속도, 데이터 수집 및 계산 방법이 명시되어 있습니다.
- 텅스텐 합금판은 일반적으로 평평한 인장 시편을 사용하여 시험합니다.

2. ASTM E23 - 충격 시험 방법(샤르피 충격)

- 재료의 충격 인성을 측정하고 파괴 특성을 평가하는 데 사용됩니다.
- 표준 노치 시편을 사용하고, 시험 온도와 에너지 흡수량 결정을 지정합니다.
- 동적 하중 하에서 텅스텐 합금판의 인성 성능을 평가하는 데 적합합니다.

3. ASTM E92 - 비커스 경도 시험

- 시멘트 카바이드 및 고경도 금속 재료의 경도 측정에 적합합니다.
- 정확한 데이터를 보장하기 위해 하중 범위와 압입 측정 방법을 지정하세요.

3. 중국 국가 표준 (GB)

1. GB/T 228 - 금속재료의 실온인장시험방법

- ASTM E8 과 유사하게 다양한 금속 재료의 인장 특성 시험에 적합합니다.
- 시편 준비, 시험 장비 및 데이터 처리에 대한 자세한 사양입니다.

2. GB/T 229 — 금속재료의 충격시험 방법(샤르피 시험)

- 충격 시험에 대한 표준 방법 및 조건을 지정합니다.
- 텅스텐 합금판의 파괴 저항성을 평가하는 데 적합합니다.

3. GB/T 4340 - 금속 재료의 경도 시험

- 브리넬 경도, 비커스 경도, 로크웰 경도를 결정하는 방법을 포함합니다.
- 텅스텐 합금판의 구체적인 용도에 따라 적절한 경도 시험 방법을 선택할 수 있습니다.

4. ISO 국제 표준

1. ISO 6892 - 금속 재료의 인장 시험

- 국제 표준의 일반적인 인장 특성 시험 사양
- 테스트 프로세스의 표준화와 테스트 데이터의 신뢰성에 중점을 둡니다.

2. ISO 148 - 샤르피 충격 시험

- 충격 시편 및 시험 조건의 준비를 표준화합니다.
- 국가 간 데이터의 일관성과 비교성을 증진합니다.

3. ISO 6507 - 비커스 경도 시험

- 경도 시험에 대한 기술적 요구 사항을 자세히 명시합니다.
- 텅스텐 합금과 같은 단단한 재료의 경도 평가에 널리 사용됩니다.

5. 시험 장비 및 환경 제어

- 시험 장비는 로딩 정확도와 데이터 수집 정확도를 보장하기 위해 관련 표준의 기술 요구 사항을 충족해야 합니다.
- 환경 조건(온도, 습도)은 테스트 결과에 상당한 영향을 미치므로 안정적으로 유지해야 합니다.
- 텅스텐 합금판에는 특수한 고정구와 측정 장치를 사용해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. 표준 적용에 대한 참고 사항

- 응력 집중과 결함이 결과에 영향을 미치는 것을 방지하기 위해 시편 준비는 표준 크기와 모양에 따라 엄격하게 수행되어야 합니다.
- 다양한 목적에 맞는 텅스텐 합금판은 실제 성능 요구 사항에 따라 적절한 시험 표준과 매개변수를 선택할 수 있습니다.
- 다양한 기계적 특성 테스트와 결합하여 재료 특성을 종합적으로 평가하여 공정 최적화 및 응용 프로그램 설계에 도움을 줍니다.

VII. 요약

완벽한 기계적 특성 시험 표준 체계는 텅스텐 합금판의 연구 개발, 생산 및 품질 관리를 위한 과학적 근거를 제공합니다. ASTM, GB, ISO 표준은 각기 고유한 특성을 가지고 있으며 서로 보완하여 텅스텐 합금판 시험 방법의 국제화 및 표준화를 촉진합니다. 기업과 연구 기관은 시험 결과의 정확성과 신뢰성을 보장하기 위해 실제 필요에 따라 시험 표준을 합리적으로 선택해야 합니다.

4.4 원소 조성 및 불순물 함량 분석(ICP, XRF, ONH)

텅스텐 합금판의 성능은 화학 조성의 정확한 관리와 엄격한 불순물 함량 제한에 크게 좌우됩니다. 원소 조성의 정확한 검출은 재료의 설계 성능을 보장하는 데 도움이 될 뿐만 아니라 생산 공정의 모니터링 및 품질 관리에도 중요한 역할을 합니다. 이 섹션에서는 유도 결합 플라즈마 방출 분광법(ICP), X 선 형광 분광법(XRF), 산소, 질소, 수소 분석기(ONH)를 포함하여 일반적으로 사용되는 원소 조성 및 불순물 함량 분석 기법에 중점을 두고, 텅스텐 합금판 시험에서의 이러한 기법의 적용에 대해 논의합니다.

1. 유도 결합 플라즈마 광 방출 분광법(ICP)

1. 기술 원리

- ICP는 고온 플라즈마를 사용하여 샘플 내의 원자와 이온을 여기시켜 특성 스펙트럼을 생성합니다.
- 방출 스펙트럼의 강도와 파장에 따라 시료에 포함된 다양한 원소의 함량을 정량적으로 분석할 수 있습니다.

2. 적용범위

- 텅스텐 합금판의 주요 원소(텅스텐, 니켈, 철, 구리 등)와 미량 합금 원소의 함량을 정확하게 결정합니다.
- 재료의 순도를 보장하기 위해 납, 유황, 인 등의 미량 불순물 원소를 검출합니다.
- 높은 감도와 다중 원소 동시 분석 기능으로 복잡한 합금 시스템에 적합합니다.

3. 샘플 준비

- 일반적으로 고체 시료는 용액에 녹여야 하며, 이때 주로 산 용해법(왕수 등)을 사용합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 오염과 원소 손실을 방지하기 위해 샘플 전처리는 엄격하게 규제되어야 합니다.

2. X 선 형광 분광법(XRF)

1. 기술 원리

- XRF 는 시료가 X 선에 의해 여기된 후 특성 형광 X 선이 방출되는 것을 기반으로 하며, 에너지와 세기를 분석하여 원소를 식별하고 정량화합니다.
- 샘플을 용해할 필요가 없어 고체, 분말, 플레이크 샘플을 직접 검출하는 데 적합합니다.

2. 적용범위

- 텅스텐 합금판의 주요 원소 함량을 빠르게 결정합니다.
- 생산 현장에서의 신속한 원소 구성 검사 및 품질 관리에 사용됩니다.
- 탐지 깊이는 제한되어 있으며 주로 샘플의 표면이나 표면 근처 구성 요소를 특성화합니다.

3. 장점과 단점

- 검출속도는 빠르고 조작은 간단하지만 ICP 에 비해 민감도가 낮습니다.
- 가벼운 원소(산소, 질소, 수소 등)의 감지 능력은 제한적입니다.

3. 산소, 질소 및 수소 분석기(OXH)

1. 기술 원리

- ONH 분석기는 샘플을 연소하거나 열분해하여 방출되는 산소, 질소, 수소 가스 함량을 측정합니다.
- 정량 분석은 열전도도 검출기나 적외선 흡수 기술을 사용하여 수행됩니다.

2. 적용범위

- 텅스텐 합금판 내의 산소, 질소, 수소 등 비금속 불순물의 함량을 정확하게 측정합니다.
- 비금속 불순물은 텅스텐 합금판의 기계적 성질과 내식성에 상당한 영향을 미칩니다.
- 중요한 품질 관리 지표.

3. 샘플 요구 사항

- 시험 반복성을 보장하기 위해 샘플의 모양과 무게를 엄격하게 제어해야 합니다.
- 샘플 표면은 깨끗해야 하며 기름이나 오염 물질이 없어야 합니다.

4. 포괄적인 적용 및 품질 관리

- 세 가지 기술은 서로 보완되어 텅스텐 합금판의 화학적 구성을 검출하는 완벽한 시스템을 형성합니다.
- ICP 는 복잡한 원소계의 정확한 정량화에 적합하고, XRF 는 신속한 현장 검출에 적합하며, ONH 는 비금속 불순물에 적합합니다.
- 정기적인 테스트는 생산 공정을 모니터링하고, 공정 매개변수를 최적화하고, 안정적인 제품 품질을 보장하는 데 도움이 됩니다.

V. 요약

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

원소 조성 및 불순물 함량의 정확한 분석은 텅스텐 합금판의 고성능을 보장하는 기반입니다. ICP, XRF, ONH 기술은 각각 고유한 장점을 가지고 있습니다. 이러한 기술을 결합하여 활용하면 텅스텐 합금판의 다양한 수준의 시험 요구를 충족하고 생산 관리 및 R&D 혁신을 위한 과학적 기반을 제공할 수 있습니다.

4.5 표면 결함 검출(초음파, CT, 와전류, 자분탐상)

핵심 고성능 소재인 텅스텐 합금판의 표면 품질은 제품의 수명과 성능 안정성에 직접적인 영향을 미칩니다. 텅스텐 합금판의 전반적인 품질과 안전을 보장하기 위해서는 표면 및 표면 근처 결함을 적시에 정확하게 감지하는 것이 매우 중요합니다. 일반적으로 사용되는 표면 및 표면 근처 결함 감지 기술로는 초음파 검사(UT), 컴퓨터 단층촬영(CT), 와전류 검사(ET), 자분탐상검사(MT) 등이 있습니다. 이 섹션에서는 이러한 기술의 원리, 적용 범위 및 장점을 자세히 소개합니다.

1. 초음파 검사(UT)

1. 기술 원리

- 고주파 초음파가 재료 내부를 전파하면서 결함을 만나면 반사파가 발생하고, 반사된 신호를 검출하여 결함의 위치와 크기를 파악합니다.
- 탐침은 초음파를 송수신하여 내부 및 표면 결함에 대한 비파괴 검사를 수행합니다.

2. 적용범위

- 텅스텐 합금판의 내부 균열, 내포물, 기공 및 층간 박리와 같은 결함을 감지하는 데 적합합니다.
- 두꺼운 판재의 내부 결함에 대한 검출 감도가 우수합니다.
- 온라인 및 오프라인 감지에 사용할 수 있습니다.

3. 장점

- 비파괴, 비오염, 큰 탐지 깊이, 높은 분해능;
- 결함의 크기와 모양을 정량적으로 분석할 수 있습니다.

2. 컴퓨터 단층촬영(CT)

1. 기술 원리

- 텅스텐 합금판을 여러 각도에서 X 선으로 조사하고 컴퓨터를 이용하여 3 차원 영상을 재구성합니다.
- 내부 결함의 3 차원 공간 분포와 형태를 정확하게 표시합니다.

2. 적용범위

- 복잡한 내부 구조에 대한 고해상도 검사를 통해 미세한 균열, 기공 및 내포물을 식별합니다.
- R&D 및 고급 품질 관리에 적합합니다.
- 두꺼운 텅스텐 합금판에는 특정 제한이 있으며, 장비의 전력에 따라 매개변수를 조정해야 합니다.

3. 장점

- 직관적인 3D 이미지를 제공하여 결함 위치와 형태 분석을 용이하게 합니다.
- 세부적인 구조적 건전성 평가가 가능합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. 와전류 테스트 (ET)

1. 기술 원리

- 교류 자기장은 전도성 물질 표면에 와전류를 유도하는 데 사용됩니다. 결함 부위의 와전류 분포가 변하고, 와전류 신호를 검출하여 결함 특성을 파악합니다.
- 주로 표면 및 표면 근처 결함 감지에 사용됩니다.

2. 적용범위

- 텅스텐 합금판의 표면 균열, 부식 및 국부적 손상을 감지하는 데 적합합니다.
- 넓은 표면을 빠르게 스캔할 수 있습니다.
- 비접촉 감지로 복잡한 모양의 작업물에 적합합니다.

3. 장점

- 빠른 응답 속도와 높은 감도;
- 테스트 과정은 비파괴적이며 특별한 준비가 필요하지 않습니다.

4. 자기입자 검사 (MT)

1. 기술 원리

- 외부 자기장을 인가하여 자성체를 자화시키고, 표면 및 표면 근처 결함에 누설 자기장을 발생시키며, 자성 분말의 흡착에 의해 결함 위치가 드러난다.
- 표면 및 표면 근처 균열을 감지하는 데 적합합니다.

2. 적용범위

- 텅스텐 합금은 철 합금 원소를 포함하고 있으며 특정 자성을 가지고 있어 자분탐상검사에 적합합니다.
- 표면 균열, 기공 및 피로 균열을 감지하는 데 적합합니다.
- 주로 생산라인을 빠르게 감지하는 데 사용됩니다.

3. 장점

- 사용이 간편하고 비용이 저렴합니다.
- 신속한 현장 테스트에 적합합니다.

V. 포괄적 탐지 전략

- 검사 대상 및 결함 유형에 따라 적절한 검사 방법을 선택합니다.
- 복잡한 결함과 핵심 구성 요소의 경우 감지 정확도를 높이기 위해 여러 감지 기술을 결합해서 사용하는 것이 좋습니다.
- 테스트 결과의 신뢰성과 반복성을 보장하기 위해 표준화된 테스트 프로세스를 수립합니다.

VI. 요약

초음파, CT, 와전류 및 자분탐상 검사 기술은 텅스텐 합금판의 표면 및 표면 근처 결함 검출을 위한 다양한 도구입니다. 이러한 비파괴 검사 기술을 합리적으로 적용하면 재료 내부 및 표면의 결함 분포를 완전히 파악하고, 텅스텐 합금판의 품질과 안전성을 보장하며, 텅스텐 합금판의 연구 개발 및 산업 적용에 대한 확실한 보장을 제공할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.6 표면 거칠기 및 코팅 접착력 평가

텅스텐 합금판은 외관뿐만 아니라 기계적 특성, 내식성, 그리고 후속 가공 기술의 효과에도 직접적인 영향을 미칩니다. 표면 거칠기는 재료 표면의 평탄도와 조도를 평가하는 핵심 지표이며, 코팅 접착력은 사용 중 보호층 또는 기능층의 안정성과 내구성을 결정합니다. 본 절에서는 텅스텐 합금판 표면 거칠기 측정 방법과 코팅 접착력 평가 기술에 대해 중점적으로 다룹니다.

1. 표면 거칠기 측정

1. 중요성

- 표면 거칠기는 텅스텐 합금판 및 기타 구성품의 매칭 정확도와 마찰 성능에 직접적인 영향을 미칩니다.
- 거칠기가 너무 높으면 응력 집중이 발생하고 피로 수명이 감소할 수 있습니다.
- 표면 거칠기가 좋으면 코팅의 접착력이 균일해집니다.

2. 일반적인 측정 방법

- **접촉식 프로파일로미터** : 스타일러스를 통해 표면 프로파일을 스캔하여 거칠기 매개변수(예: R_a , R_z 등)를 얻습니다.
- **광학 프로파일로미터** : 레이저나 백색광 간섭을 이용한 비접촉 측정으로 마이크로 및 나노미터 거칠기 분석에 적합합니다.
- **원자간력현미경 (AFM)** : 초고정밀 표면 형태 측정에 적합하며, 주로 과학 연구 및 하이엔드 응용 분야에 사용됩니다.

3. 주요 매개변수

- **R_a (산술 평균 거칠기)** : 표면의 기복의 평균값을 반영하며 가장 흔히 사용되는 지표입니다.
- **R_z (10 점 높이 거칠기)** : 봉우리와 골짜기의 차이를 반영하고 표면 기복의 최대 정도를 평가합니다.
- **R_q (제곱 평균 거칠기)** : 통계적 제곱 평균으로, 복잡한 표면을 평가하는 데 적합합니다.

2. 코팅 접착력 평가

1. 접착력의 중요성

- 코팅은 텅스텐 합금판을 부식, 마모, 고온과 같은 환경적 영향으로부터 보호합니다.
- 우수한 접착력은 사용 중 코팅의 장기적 안정성을 보장합니다.
- 접착력이 좋지 않으면 코팅이 벗겨지고, 재료의 수명과 성능이 저하됩니다.

2. 평가 방법론

- **풀오프 테스트** : 특수 장비를 사용하여 코팅이 기질에서 벗겨지는 데 필요한 최대 풀링 힘을 측정하고 접착력을 정량적으로 평가합니다.
- **스크래치 테스트** : 점차 힘을 가해 긁어내어 코팅이 벗겨지는 현상을 관찰하고 접착 강도를 판단합니다.
- **충격 시험** : 충격 하중을 통해 코팅의 벗겨짐 방지 성능을 평가합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **테이프 스트리핑 방법** : 테이프를 붙인 후 신속하게 테이프를 떼어내고, 코팅 벗겨짐 상황을 관찰하여 신속하게 정성적 테스트를 실시합니다.

3. 실험 조건

- 결과에 영향을 미치지 않도록 테스트 환경의 온도와 습도는 안정적으로 유지되어야 합니다.
- 코팅 접착력의 일관성을 보장하기 위해 샘플 표면을 사전 처리하고 청소해야 합니다.
- 결과의 비교를 보장하기 위해 적절한 테스트 표준과 방법을 선택합니다.

3. 표면 거칠기와 접착력의 관계

- 적당히 거친 표면은 코팅의 기계적 접착력을 강화하고 접착력을 개선할 수 있습니다.
- 표면이 너무 거칠거나 너무 매끈하면 코팅 성능에 영향을 미칩니다.
- 코팅 종류와 사용 환경에 따라 표면 거칠기를 최적화해야 합니다.

4. 품질 관리 및 프로세스 최적화

- 거칠기와 접착력을 정기적으로 측정하여 제조 공정 중 중요한 매개변수를 모니터링합니다.
- 표면 품질을 개선하기 위해 연삭, 연마 및 표면 전처리 공정을 최적화합니다.
- 코팅소재의 특성에 따라 과학적이고 합리적인 표면처리 기준을 수립합니다.

V. 요약

표면 거칠기와 코팅 접착력은 텅스텐 합금판의 기능과 수명에 영향을 미치는 중요한 지표입니다. 첨단 측정 및 평가 방법을 사용하면 제품 품질을 효과적으로 제어하고, 텅스텐 합금판의 종합적인 성능을 향상시키며, 광범위한 적용 분야에 대한 확실한 보증을 제공할 수 있습니다.

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

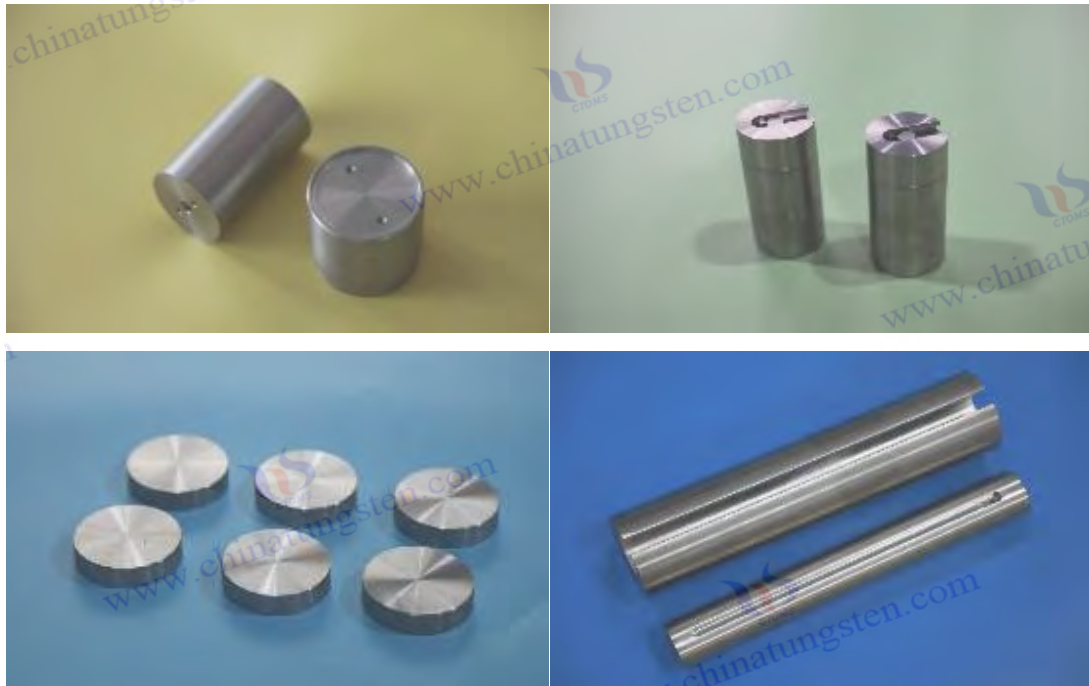
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

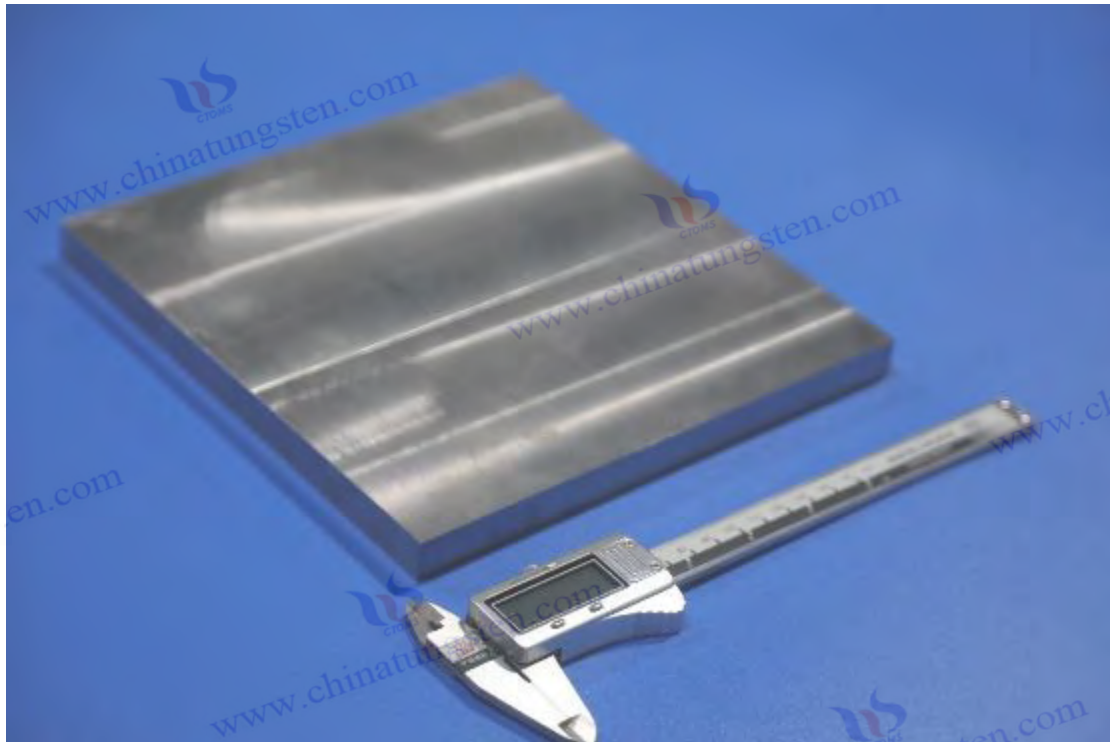
Official website: www.tungsten-alloy.com



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 5 장 텅스텐 합금판의 일반적인 적용 분야

5.1 원자력 산업 차폐판 및 열 제어 장치

텅스텐 합금판은 높은 밀도, 높은 용융점, 그리고 뛰어난 내방사선성을 갖추고 있어 원자력 산업의 차폐 및 열 제어 분야에서 핵심적인 역할을 하며 널리 사용되고 있습니다. 원자력 기술의 발전으로 재료의 내방사선성, 기계적 강도, 그리고 열 안정성에 대한 요구가 더욱 높아지고 있습니다. 텅스텐 합금판은 그 고유한 특성으로 인해 이상적인 선택이 되었습니다.

1. 원자력 산업 차폐판의 역할과 수요

1. 방사선 차폐

- 원자로, 핵폐기물 처리 시설, 핵의학 장비 및 기타 장소는 운영자의 안전을 보장하기 위해 방사선을 효과적으로 차폐해야 합니다.
- 텅스텐 합금판은 원자번호가 높고($Z=74$) 밀도가 높아(약 $17.0 \sim 18.5 \text{ g/cm}^3$) 감마선과 X선에 대한 흡수능력이 우수합니다.
- 이 제품은 기존의 납 차폐를 대체하여 납 독성과 환경 오염을 피할 수 있습니다.

2. 중성자 흡수

- 원자로에서는 일부 텅스텐 합금에 특정 원소(니켈, 철 등)를 첨가하여 중성자를 흡수하도록 강화합니다.
- 차폐판은 장기적인 사용을 보장하기 위해 구조적 안정성과 방사선 손상에 대한 저항성이 우수해야 합니다.

3. 기계적 및 열적 성능 요구 사항

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 고온, 고압 및 방사선 환경을 견뎌야 하므로 텅스텐 합금판은 높은 강도와 우수한 열 안정성을 가져야 합니다.
- 열팽창 계수는 열 응력으로 인한 균열 및 변형을 방지하기 위해 다른 구조재의 계수와 일치해야 합니다.

2. 열 제어 장치의 응용 특성

1. 열 관리

- 원자로 및 원자력 시설은 많은 양의 열에너지를 발생시키므로 효과적인 방열을 위해 열전도도가 높은 재료를 사용해야 합니다.
- 텅스텐 합금판은 다른 중금속 재료보다 뛰어나 시스템의 온도를 안정적으로 유지하는 데 도움이 됩니다.

2. 고온 저항성

- 텅스텐 합금판은 고온 환경에서 구조적 무결성과 안정적인 성능을 유지할 수 있으며, 열 제어 구성 요소 제조에 적합합니다.
- 특수 합금 설계로 고온에서 기계적 강도와 산화 저항성이 향상되었습니다.

3. 구조적 지지

- 열 제어 장치에서 텅스텐 합금판은 하중을 지지하고 지지하는 구성 요소 역할을 하여 시스템의 안전한 작동을 보장합니다.
- 가공 성능이 우수하여 복잡한 형상의 맞춤형 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

3. 원자력 산업에서 텅스텐 합금판의 장점

- **고밀도 장점** : 효과적인 방사선 차단 기능을 제공하고 차폐 두께와 무게를 줄입니다.
- **강력한 방사선 저항성** : 방사선으로 인한 재료 저하를 방지하고 서비스 수명을 연장합니다.
- **뛰어난 열 안정성** : 핵 산업의 복잡한 작업 조건에서 온도 변화에 적응합니다.
- **환경 친화적이고 무독성** 입니다. 독성 납 재료를 대체하고 현대적인 환경 보호 요구 사항을 충족합니다.

4. 일반적인 적용 사례

- 원자력 발전소의 반사 차폐 패널
- 핵폐기물 저장 및 운송 컨테이너 라이너
- 의료용 방사선 치료 장비의 방사선 차폐 패널
- 핵연료주기 시스템의 열제어 지지구조.

V. 개발 동향 및 과제

- 원자력 산업에서 사용되는 텅스텐 합금판은 고성능, 다기능 복합재료로 발전하는 경향이 있습니다.
- 고온 저항성, 산화 저항성 및 방사선 손상 저항성을 개선하는 것이 연구 개발의 초점입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 대형, 고밀도 텅스텐 합금판을 대량 생산하고 비용을 절감하는 것은 업계의 과제입니다.

VI. 요약

텅스텐 합금판은 차폐 및 열 제어 장치에서 대체 불가능한 역할을 합니다. 지속적인 기술 혁신과 공정 최적화를 통해 텅스텐 합금판의 성능은 원자력 산업의 안전, 환경 보호 및 효율적인 운영 요구를 충족하도록 지속적으로 향상될 것입니다.

5.2 항공우주 보호구조 및 균형추판

텅스텐 합금판은 고밀도, 고강도, 그리고 뛰어난 내방사선성 및 내열성을 갖추고 있어 항공우주 분야의 보호 구조물 및 균형추 시스템에서 중요한 역할을 합니다. 항공우주 기술의 지속적인 발전에 따라 소재의 성능 요건은 점점 더 엄격해지고 있습니다. 텅스텐 합금판은 고유한 장점으로 인해 항공기의 안전성과 성능을 향상시키는 핵심 소재로 자리 잡았습니다.

1. 보호 구조물에 적용

1. 보호 방사선 차폐

- 항공우주선은 고고도 또는 우주 환경에서 우주선과 태양 복사선에 노출됩니다. 텅스텐 합금판은 고에너지 입자와 복사선을 효과적으로 흡수하여 우주선의 전자 장비와 탑승 인원의 안전을 보호할 수 있습니다.
- 텅스텐 합금은 기존 소재에 비해 방사선 차폐 효율이 높고, 차폐 두께와 무게가 줄어들며, 항공기의 하중 지지력이 향상됩니다.

2. 방탄 및 충격 방지 구조

- 군용기와 우주선의 핵심 부품에는 텅스텐 합금판을 사용하여 방탄 장갑과 충격 방지층을 만들어 고속 발사체와 미소 유성의 충격을 효과적으로 견뎌냅니다.
- 텅스텐 합금은 장비와 인력의 안전을 보장하는 이상적인 보호재입니다.

3. 열 보호 시스템

- 비행 중 우주선의 표면 온도는 급격히 변합니다. 텅스텐 합금판은 뛰어난 고온 저항성과 열팽창 성능을 가지고 있어 단열층과 열 차폐막으로 사용될 수 있습니다.
- 고온 침식 및 열 피로 손상으로부터 구조물을 보호하는 데 도움이 됩니다.

2. 카운터웨이트 플레이트의 핵심 역할

1. 중심 균형 및 비행 안정성

- 텅스텐 합금판은 항공우주 차량의 균형추 시스템에서 항공기의 중심을 조정하고 비행 중 자세 제어와 안정성을 보장하는 데 사용됩니다.
- 높은 밀도로 인해 균형추의 크기가 작아져 공간을 절약하고 컴팩트한 디자인의 요구를 충족합니다.

2. 진동 감소

- 텅스텐 합금 균형추는 항공기 진동을 효과적으로 줄이고, 기계적 피로를 줄이며, 장비 수명을 연장할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 비행 편의성과 시스템 안정성을 개선하는 데 도움이 됩니다.

3. 컴팩트한 디자인

- 텅스텐 합금판을 사용하면 더 얇고 가벼운 상대추 구조를 설계할 수 있어 전체 무게를 줄이는 데 도움이 됩니다.
- 다양한 항공기의 설계 요구 사항을 충족하기 위해 복잡한 형상의 맞춤형 가공을 지원합니다.

3. 텅스텐 합금판의 장점

- 높은 비중 : 균형추 효율을 크게 개선하고 부피와 무게를 줄입니다.
- 우수한 기계적 특성 : 보호 구조의 강도와 인성을 보장합니다.
- 고온 내구성 : 고온 및 극한 환경에 적응합니다.
- 뛰어난 방사선 저항성 : 우주선 전자 시스템의 안전을 보장합니다.

4. 일반적인 적용 사례

- 위성 플랫폼의 방사선 차폐 및 균형추 시스템
- 전투기와 군용 드론을 위한 방탄 장갑 및 중심 조정 균형추;
- 항공우주 차량용 단열 패널 및 구조적 균형추.

V. 개발 동향 및 과제

- 경량화와 고성능에 대한 수요가 증가함에 따라 텅스텐 합금판의 미세구조 최적화와 복합재료 통합이 연구의 주요 분야가 되었습니다.
- 텅스텐 합금판의 열 피로 저항성과 충격 인성을 개선하는 것은 핵심적인 기술적 어려움입니다.
- 저비용, 고효율의 대량 생산 기술은 시급히 획기적인 발전이 필요합니다.

VI. 요약

텅스텐 합금판은 항공우주 보호 구조물 및 균형추 시스템에서 중요한 역할을 합니다. 텅스텐 합금판의 고유한 물리적 및 기계적 특성은 고강도 보호 및 정밀 균형추의 요구를 충족할 뿐만 아니라 항공기의 안전하고 안정적이며 효율적인 운항을 지원합니다. 앞으로 소재 혁신과 공정 개선을 통해 텅스텐 합금판은 항공우주 분야에서 더욱 폭넓은 응용 가능성을 보여줄 것입니다.

5.3 의료용 방사선 치료 장치의 고밀도 보호판

텅스텐 합금판은 높은 밀도와 우수한 방사선 차폐 성능으로 의료용 방사선 치료 장비에 널리 사용됩니다. 텅스텐 합금판은 주로 효율적인 방사선 방호판을 제작하는 데 사용됩니다. 방사선 치료 장비의 안전한 작동은 환자와 의료진의 방사선 방호에 대한 엄격한 요건을 요구합니다. 텅스텐 합금판은 뛰어난 물리적 및 기계적 특성으로 인해 방사선 치료의 안전성을 보장하는 중요한 소재로 자리 잡았습니다.

1. 방사선 치료 장비의 방사선 방호 필요성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 방사선 치료 중 생성되는 X 선과 감마선은 매우 강한 투과력과 높은 에너지를 가지고 있습니다. 효과적인 보호 장비가 없으면 주변 사람과 장비에 방사선 손상을 일으킬 수 있습니다.
- 보호판은 방사선을 효과적으로 흡수하고 차단해야 하며, 방사선 누출을 방지하고 치료 환경의 안전을 보장해야 합니다.

2. 텅스텐 합금판 보호 성능의 장점

1. 고밀도로 인한 뛰어난 차폐효과

- 텅스텐 합금판은 일반적으로 $17\sim 19\text{ g/cm}^3$ 로, 납과 같은 기존 소재보다 훨씬 높습니다. 더 얇은 두께에서도 동일하거나 더 나은 차폐 효과를 얻을 수 있습니다.
- 방사선 치료 장비의 전반적인 구조를 더욱 컴팩트하게 만들고 설계 및 설치를 용이하게 합니다.

2. 우수한 기계적 강도 및 내구성

- 텅스텐 합금판은 우수한 기계적 강도와 인성을 갖추고 있어 의료 장비의 장기 사용 요구 사항을 충족할 수 있습니다.
- 부식 및 마모에 대한 저항성이 뛰어나 보호판의 수명을 연장하고 유지 관리 비용을 절감합니다.

3. 환경 안전

- 납과 같은 독성 물질과 비교했을 때 텅스텐 합금판은 환경 친화적이며 납의 독성 위험을 피할 수 있고 현대 의료 안전 기준에도 더 부합합니다.

3. 신청서 및 일반적인 구성

- **보호 커버 및 차폐 도어** : 텅스텐 합금판을 사용하여 보호 커버와 도어를 제작하여 방사선 누출을 방지합니다.
- **방사선 빔 제한기 및 필터** : 텅스텐 합금판을 통해 방사선의 방향과 강도를 정밀하게 제어합니다.
- **장비 브라켓 및 라이닝** : 방사선 치료 장비의 구조적 강도를 높이고 방사선 안전을 보장합니다.

4. 제조 및 가공 요건

- 텅스텐 합금판의 밀도와 균일성은 차폐 효과에 영향을 미치는 미세 기공과 결함을 방지하기 위해 보장되어야 합니다.
- 매끄러움과 부식 방지 성능을 보장하기 위한 엄격한 표면 처리 요구 사항
- 방사선 치료 장비의 특수한 구조적, 치수적 요구 사항을 충족하기 위한 정밀 가공.

V. 개발 동향 및 과제

- 텅스텐 합금판과 복합재료의 조합을 촉진하여 차폐 효율과 경량 수준을 더욱 향상시킵니다.
- 새로운 방사선 치료 장비용 텅스텐 합금 보호 재료
- 대형 고성능 텅스텐 합금판 제조 문제를 해결하고 비용을 절감합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. 요약

의료용 방사선 치료기의 고밀도 보호재인 텅스텐 합금판은 뛰어난 차폐 성능과 기계적 특성으로 방사선 치료의 안전성과 효과를 보장합니다. 의료 기술의 발전과 함께 텅스텐 합금판은 방사선 치료 장비 보호 분야에서 더욱 중요한 역할을 수행하며 의료 안전 수준의 지속적인 향상을 촉진할 것입니다.

5.4 고온로벽 및 열환경용 텅스텐 합금판

텅스텐 합금판은 뛰어난 고온 성능, 열 안정성, 내식성으로 인해 고온 노벽 및 다양한 열 환경에 널리 사용되며, 고온 장비의 핵심 구조 및 보호재로 자리 잡았습니다. 고온 공정 기술의 발전으로 재료의 내열성과 기계적 강도에 대한 요구가 더욱 높아지고 있습니다. 텅스텐 합금판은 고유한 장점을 바탕으로 극한의 작업 조건에서도 탁월한 성능을 발휘합니다.

1. 고온로 벽재의 성능요구사항

1. 고온 저항성

- 용광로 벽재는 장기적으로 안정적인 작동을 보장하기 위해 수백도에서 수천도에 이르는 고온 환경을 견뎌야 합니다.
- 텅스텐 합금판은 최대 3422℃의 고온을 견딜 수 있습니다. 고온 내성이 뛰어나 열 부식 및 산화에 효과적으로 저항할 수 있습니다.

2. 열팽창 매칭

- 텅스텐 합금판은 열팽창 계수가 낮아 다른 용광로 재료와 잘 어울리므로 열응력 집중을 줄이고 균열 및 변형을 방지할 수 있습니다.

3. 기계적 강도 및 인성

- 열 충격과 기계적 부하를 견딜 수 있도록 고온 환경에서 충분한 강도와 인성을 유지해야 합니다.
- 텅스텐 합금은 합금 원소 조절과 열처리 공정을 통해 고온에서 종합적인 기계적 성질을 개선합니다.

2. 열환경에서의 텅스텐 합금판의 적용 특성

1. 열적으로 안정된 구조 부품

- 고온로 벽, 열교환기 및 열 차폐 장치의 구조재로 사용되어 장비의 구조적 무결성을 보장합니다.
- 텅스텐 합금판은 고온 환경에서 산화 및 부식으로 인한 손상을 효과적으로 방지할 수 있습니다.

2. 열 복사 보호

- 열 환경에서 텅스텐 합금 판은 높은 밀도와 높은 녹는점으로 인해 열 복사를 효과적으로 반사하고 흡수하여 장비의 민감한 부품을 보호할 수 있습니다.
- 이는 안정적인 열장 분포를 유지하고 열 효율을 개선하는 데 도움이 됩니다.

3. 열 피로 저항성

- 텅스텐 합금판은 특수한 조직 설계를 통해 재료의 열 피로 저항성과 열 사이클 안정성을 향상시켜 사용 수명을 연장합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. 일반적인 적용 사례

- 고온로 라이닝 및 보호판은 야금, 세라믹 소결 및 반도체 제조로에 사용됩니다.
- 열처리로 및 진공로의 구조적 구성 요소
- 고온 반응기 및 열교환기용 내열 단열 패널입니다.

4. 소재 가공 및 핵심 기술

- 텅스텐 합금판은 고온 저항성과 산화 저항성을 향상시키기 위해 정밀 열처리 및 표면 강화 처리를 거쳐야 합니다.
- 판의 미세구조를 최적화하고, 밀도와 균일성을 개선하며, 고온 기계적 성질을 향상시킵니다.
- 첨단 성형 기술을 사용하여 플레이트의 크기와 모양이 장비 설치 요구 사항을 충족하도록 보장합니다.

V. 개발 동향 및 기술적 과제

- 산화 저항성 및 열 안정성을 포함하여 극한의 열 환경에서 텅스텐 합금 판의 종합적 성능을 개선합니다.
- 고온 저항성, 내식성 및 열 관리의 통합을 달성하기 위해 다기능 복합 텅스텐 합금 소재를 연구 및 개발합니다.
- 고온텅스텐합금판의 생산비용을 낮추고 대규모 적용을 실현합니다.

VI. 요약

텅스텐 합금판은 뛰어난 고온 내성과 구조적 안정성을 통해 고온 산업 장비의 안전하고 신뢰할 수 있는 작동을 보장합니다. 앞으로 재료 과학 및 가공 기술의 지속적인 발전으로 텅스텐 합금판은 고온 분야에서 더욱 광범위하고 중요한 역할을 할 것입니다.

5.5 다이스강 복합판 및 기계부품 라이닝

텅스텐 합금판은 고밀도, 고강도, 우수한 내마모성 및 내열성을 갖추고 있어 금형강 복합판 및 기계 부품 라이닝재로 널리 사용되며, 전체 구조물의 성능과 수명을 향상시킵니다. 텅스텐 합금판은 금형강 및 기타 재료와 혼합하여 부품의 내마모성과 내충격성을 향상시킬 뿐만 아니라 고온 및 부식성 환경에도 효과적으로 견디어 기계 구조물의 효율적이고 안정적인 작동을 보장합니다.

1. 금형강 복합판의 적용 배경 및 장점

1. 지원 자격

- 금형은 작동 중 고압, 고온, 고속 마찰을 받으므로 금형 재료는 높은 경도, 높은 내마모성 및 열 안정성을 가져야 합니다.
- 복합 텅스텐 합금판과 다이스강은 표면 경도와 내부 인성의 최적의 조합을 달성할 수 있습니다.

2. 텅스텐 합금판의 장점

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 텅스텐 합금판은 경도가 높고 내마모성이 우수하여 금형의 수명을 효과적으로 연장합니다.
- 높은 밀도는 금형의 전반적인 강성과 변형 저항성을 개선하는 데 도움이 됩니다.
- 열전도도가 좋으면 열이 고르게 분포되고 열응력 집중이 줄어듭니다.

2. 기계부품 라이닝의 기능 및 요구사항

1. 내마모성 및 내식성

- 기계 부품용 라이닝은 베어링 시트, 밸브 본체 내부 벽 등 마모와 부식이 잦은 환경에서 자주 사용됩니다.
- 텅스텐 합금판 라이닝은 부품의 표면 경도와 내식성을 향상시키고 유지관리 빈도를 줄여줍니다.

2. 지지력 및 안정성

- 텅스텐 합금판은 라이닝 구조의 하중 지지 능력과 충격 저항성을 향상시킵니다.
- 기계 부품의 전반적인 안정성과 수명을 향상시킵니다.

3. 복합기술 및 공정

1. 분말야금 복합재

- 텅스텐 합금과 다이스 강철은 분말 야금 공정을 통해 제작되어 밀도가 높고 균열 없는 계면을 보장합니다.
- 이는 조성 기울기 전이를 달성하고 열팽창 차이로 인한 응력을 줄일 수 있습니다.

2. 기계적 접합 및 용접

- 텅스텐 합금판과 강철의 결합을 달성하기 위해 기계적 고정 또는 레이저 용접 기술이 사용되며, 공정이 유연합니다.
- 용접 품질은 복합재 성능에 상당한 영향을 미치므로, 공정 매개변수를 엄격하게 제어해야 합니다.

3. 표면처리

- 텅스텐 합금 복합 표면은 연마, 광택 처리 및 코팅되어 표면 품질과 내식성이 향상됩니다.
- 세라믹 코팅과 같은 코팅은 내마모성과 고온 내구성을 더욱 향상시킵니다.

4. 일반적인 적용 사례

- 플라스틱 성형 및 금속 스탬핑 금형용 고내마모성 금형 복합판;
- 기계 장비 베어링 시트와 밸브 라이닝은 내마모성과 내부식성을 향상시킵니다.
- 고부하 기계 구조 부품의 라이닝 재료로 장비의 수명을 연장합니다.

V. 개발 동향 및 과제

- 복잡한 작업 조건의 요구를 충족시키기 위해 고강도, 고강도 텅스텐 합금 복합재료를 연구 개발합니다.
- 복합재 인터페이스 구조를 최적화하여 접합 강도와 열 안정성을 개선합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 복합재 제조 비용을 절감하고 텅스텐 합금 복합판의 산업적 활용을 촉진합니다.

VI. 요약

금형 강판 및 기계 부품 라이닝에 사용되는 텅스텐 합금판은 기계 부품의 내마모성, 내부식성 및 열 안정성을 효과적으로 향상시켜 장비의 효율적이고 긴 수명 달성에 기여합니다. 첨단 복합 기술과 표면 처리를 통해 텅스텐 합금 복합재는 기계 제조 분야에서 더욱 폭넓은 응용 가능성을 제공할 것입니다.

5.6 정밀기기 및 전자제품의 방열/방사선 차단 구조

전자 기술과 정밀 기기의 발전에 따라 재료의 방열 효율, 치수 안정성, 그리고 내방사선성에 대한 요구가 점점 더 높아지고 있습니다. 텅스텐 합금판은 고밀도, 높은 열전도도, 그리고 뛰어난 내방사선성을 갖춰 정밀 기기 및 전자 제품의 핵심 방열 및 보호 구조재로 자리 잡았으며, 고급 전자 장비, 통신 기지국, 레이저 소자, 우주 전자 시스템 등에 널리 사용되고 있습니다.

1. 방열구조의 핵심 역할

1. 높은 열전도도

- 텅스텐 합금판은 열전도성이 좋으므로 전자 부품에서 발생하는 열을 효과적이고 빠르게 전달하여 과열을 방지할 수 있습니다.
- 뛰어난 열전도도는 고전력 작동 시에도 장치의 온도를 안정적으로 유지하여 신뢰성과 수명을 향상시킵니다.

2. 치수 안정성

- 텅스텐 합금판은 열팽창 계수가 낮아 온도 변화에 따른 구조물 크기의 안정성을 보장하며, 열 변형으로 인한 성능 저하를 방지합니다.
- 이 제품은 매우 높은 치수 정확도가 요구되는 마이크로 전자 장치의 방열 브래킷에 특히 적합합니다.

2. 방사선 저항 구조의 적용 요건

1. 전자파 차단

- 항공우주, 군사 및 의료용 전자 장비에서 텅스텐 합금판은 전자파 간섭(EMI)을 효과적으로 차단하는 차폐재로 사용됩니다.
- 전자 신호의 안정적인 전송과 장비의 정상적인 작동을 보장합니다.

2. 반핵방사선

- 핵의학 장비 및 방사능 검출 장비에 사용되는 텅스텐 합금판은 고에너지 입자와 민감한 부품을 보호할 수 있습니다.
- 장비의 장기적 안정적인 작동을 보장하고 안전성을 향상시킵니다.

3. 일반적인 응용 프로그램 시나리오

- 통신장비의 안정적인 동작을 보장하기 위한 고주파 통신 기지국용 방열기판;
- 레이저 및 광학 기기의 방열 브래킷 및 차폐 커버
- 항공우주 전자제품을 위한 방사선 차폐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 의료 전자 장비의 방사선 방호 및 방열 부품.

4. 설계 및 처리 요구 사항

- 텅스텐 합금판은 열전도도와 기계적 특성을 보장하기 위해 높은 순도와 균일한 미세구조를 가져야 합니다.
- 다른 구성 요소와의 열 접촉 효율성
- 필요에 따라 표면 코팅을 적용하여 내식성과 전자파 차폐 성능을 향상시킬 수 있습니다.

V. 개발 동향 및 기술적 과제

- 통합적이고 가벼운 방열 구조 설계로 텅스텐 합금 및 기타 기능성 소재와 결합하여 다기능 복합소재를 구현했습니다.
- 텅스텐 합금판의 미세구조 제어를 개선하여 열전도도와 방사선 저항성을 더욱 향상시킵니다.
- 제조 비용을 절감하고 민간 전자제품 분야의 대중화와 응용을 촉진합니다.

VI. 요약

텅스텐 합금판은 뛰어난 열전도도와 방사선 차폐 성능으로 정밀 기기 및 전자 제품의 방열 및 방사선 저항 구조에서 장비 성능과 수명을 보장하는 중요한 소재로 자리 잡았습니다. 전자 기술의 지속적인 발전과 함께 텅스텐 합금판은 더욱 첨단화된 전자 분야에서 대체 불가능한 가치를 발휘할 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

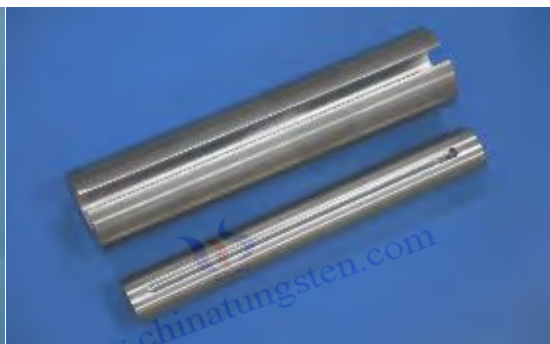
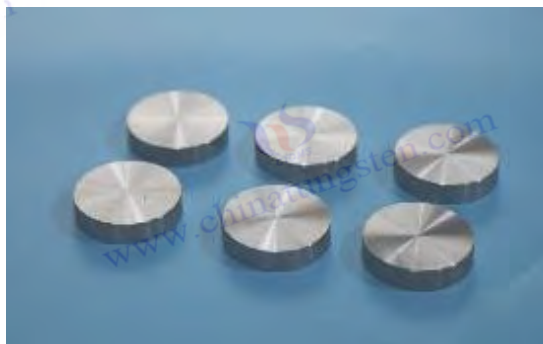
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

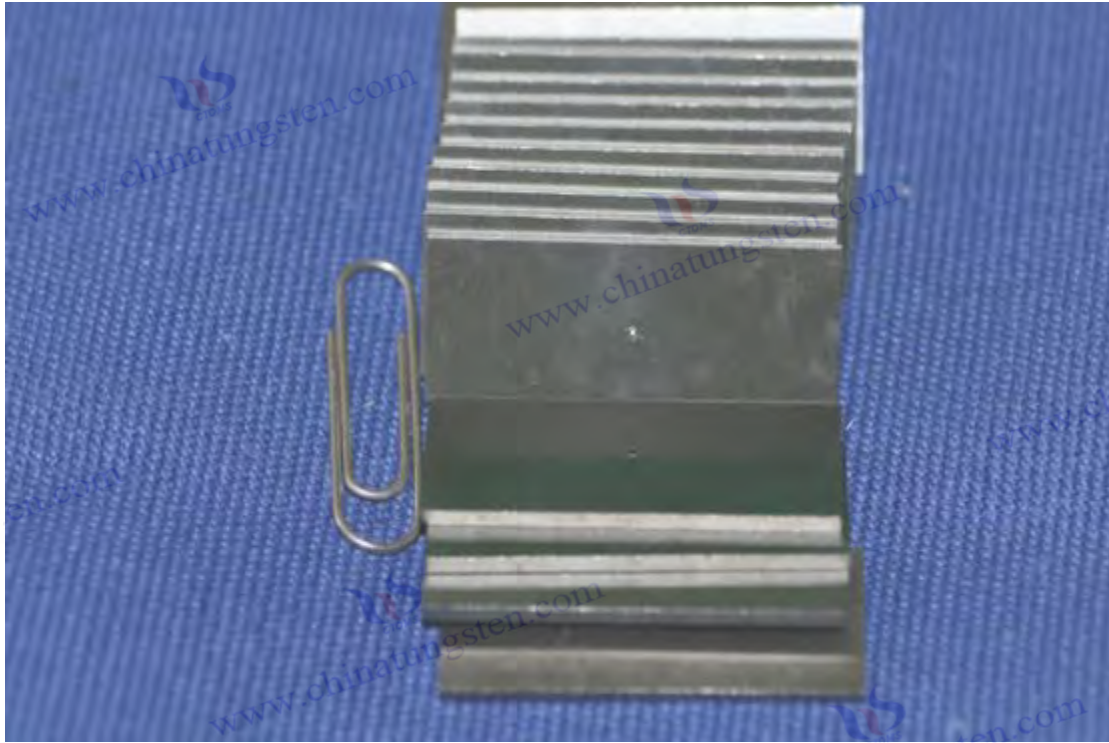
Official website: www.tungsten-alloy.com



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 6 장 특수텅스텐합금판의 연구개발 및 혁신

나노구조 텅스텐 합금판의 제조 및 특성

재료 과학의 발전과 함께 나노기술은 텅스텐 합금판 제조에 점진적으로 적용되어 기존 텅스텐 합금판의 기계적 특성, 열 안정성 및 기능적 특성을 크게 향상시켰습니다. 나노구조 텅스텐 합금판은 미세구조 조절을 통해 결정립 미세화, 계면 강화 및 상 최적화를 달성하여 재료의 종합적인 성능을 크게 향상시키고 고급 응용 분야에 새로운 선택지를 제공합니다.

1. 나노구조 텅스텐 합금판의 제조 기술

1. 나노파우더 제조

- 나노스케일 텅스텐 분말 및 합금 분말은 고에너지 볼 밀링, 증기 증착, 화학적 환원과 같은 첨단 기술을 사용하여 제조됩니다.
- 분말 입자 크기가 수십 나노미터 범위로 미세화되어 재료 밀도가 향상되고 계면 접합 성능이 향상됩니다.

2. 고에너지 볼 밀링 및 균일 혼합

- 고에너지 볼 밀링을 통해 분말의 균일한 혼합과 향상된 기계적 합금화가 달성됩니다.
- 입자를 효과적으로 미세화하고 강화 단계를 고르게 분배하여 기계적 강도와 인성을 향상시킵니다.

3. 급속소결기술

- SPS (Spark Plasma Sintering) 및 마이크로파 소결과 같은 빠른 소결 공정을 사용하여 소결 시간을 단축하고 입자 성장을 억제합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 나노 입자 구조를 유지하여 높은 밀도와 우수한 성능을 보장합니다.

4. 열처리 최적화

- 저온 열처리 공정을 사용하여 나노결정 구조를 안정화하고 내부 응력을 줄입니다.
- 최적의 성능 균형을 달성하기 위해 조직 상태를 조정합니다.

2. 나노구조 텅스텐 합금판의 성능 이점

1. 향상된 기계적 성질

- 입자 미세화로 인장 강도와 항복 강도가 크게 향상되어 높은 강도와 인성의 조합이 달성됩니다.
- 나노 계면 강화 메커니즘은 파괴인성을 높이고 충격 저항성을 향상시킵니다.

2. 열 안정성 및 내마모성

- 나노구조 텅스텐 합금판은 뛰어난 열 안정성을 나타내며 고온에서 입자 성장과 성능 저하를 견딜 수 있습니다.
- 표면 경도와 내마모성이 크게 향상되어 혹독한 작업 조건에도 적응할 수 있습니다.

3. 우수한 열전도도 및 전기적 특성

- 나노입자 구조는 열전도 경로를 최적화하고 열전도 효율을 향상시킵니다.
- 전기 전도성이 우수하여 전자소자 및 고주파 장비의 방열 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

3. 일반적인 적용 분야

- 항공우주용 고강도, 경량 구조 부품
- 원자력 산업용 방사선 차단 패널
- 고성능 전자 방열 기판;
- 정밀 금형 및 내마모성이 뛰어난 기계 부품.

IV. 과제와 미래 방향

- 나노분말 제조 비용이 높고 생산 공정이 복잡하여 대규모 적용이 제한됩니다.
- 나노결정은 고온 환경에서 성장하는 경향이 있어 장기적인 성능 안정성에 영향을 미칩니다.
- 성능과 비용 간의 균형을 이루기 위해 소결 및 열처리 공정을 더욱 최적화해야 합니다.

V. 요약

나노구조 텅스텐 합금판은 미세구조의 미세 조절을 통해 재료의 기계적 강도, 인성 및 기능적 특성을 크게 향상시켜, 첨단 분야에서 텅스텐 합금판의 응용 및 업그레이드를 촉진합니다. 앞으로 제조 기술의 지속적인 발전과 비용 절감을 통해 나노구조 텅스텐 합금판은 텅스텐 합금 소재 기술 발전의 중요한 방향이 될 것입니다.

6.2 미세합금 및 다성분 합금 설계 전략

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금 소재 성능 요구가 다양화됨에 따라, 미세 합금화 및 다성분 합금 설계는 텅스텐 합금판의 종합적인 성능을 향상시키는 핵심 기술로 자리 잡았습니다. 미량 합금 원소와 다성분 합금 시스템을 도입함으로써 텅스텐 합금의 기계적 특성, 열 안정성 및 기능적 특성을 크게 향상시킬 수 있으며, 항공우주, 원자력 산업 및 첨단 제조 분야의 엄격한 요구 사항을 충족하도록 소재 성능을 정밀하게 제어할 수 있습니다.

1. 미세합금 기술 개요

1. 정의 및 작용 기전

- 미세합금화는 텅스텐 기반 합금에 매우 낮은 농도(일반적으로 1% 미만)의 합금 원소를 첨가하는 것을 말합니다.
- 이러한 미량 원소는 고용 강화, 침전 강화 및 결정립계 강화와 같은 메커니즘을 통해 합금의 강도와 인성을 향상시킵니다.
- 미세합금 원소는 또한 결정립을 미세화하고, 미세구조를 최적화하며 재료의 전반적인 성능을 개선할 수 있습니다.

2. 일반적으로 사용되는 미세 합금 원소

- 티타늄(Ti), 니오븀(Nb), 바나듐(V), 지르코늄(Zr), 알루미늄(Al), 몰리브덴(Mo) 등.
- 원소에 따라 텅스텐 합금의 경도, 인성, 그리고 열 안정성에 미치는 영향이 다릅니다. 따라서 적절한 원소 조합을 선택하는 것이 설계의 핵심입니다.

2. 다원소 합금 설계 전략

1. 다성분 합금 시스템의 구축

- 합금 원소의 시너지 효과를 달성하기 위해 다중 원소 비율 설계를 채택합니다.
- 매트릭스와 강화 요소를 적절히 매칭하여 미세구조와 성능 구배를 최적화합니다.
- 예를 들어 W-Ni-Fe-Ti, W-Ni-Cu-Mo 및 기타 시스템이 있습니다.

2. 고엔트로피 합금 개념의 적용

- 여러 원소의 등몰 혼합을 사용하여 재료의 안정성과 열 피로에 대한 저항성을 개선하는 고엔트로피 합금의 설계 개념을 소개합니다.
- 이를 통해 텅스텐 합금판은 극한 환경에서도 뛰어난 내구성을 발휘합니다.

3. 다성분 합금의 미세합금화 및 성능 향상

1. 기계적 성질

- 미세합금 원소는 미세결정립 강화를 촉진하고 항복 강도와 인장 강도를 증가시킵니다.
- 침전 단계를 제어함으로써 재료의 파괴인성과 충격 저항성을 향상시킬 수 있습니다.

2. 열 안정성

- 미세합금 원소는 입자 성장과 상변태를 억제하고 고온 성능을 향상시킵니다.
- 열팽창 매칭을 개선하고, 열응력을 줄이며, 열피로 수명을 늘립니다.

3. 특징

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 전자 및 자기 응용 분야의 요구 사항을 충족하기 위해 전기 전도도와 자기적 특성을 최적화합니다.
- 방사선 저항성을 개선하고 핵 산업에 사용되는 재료의 신뢰성을 향상시킵니다.

4. 준비 과정 및 기술적 과제

- 미량 합금 원소의 균일한 분포는 어렵고 분말 혼합 및 소결 공정의 정밀한 제어가 필요합니다.
- 합금 구성의 설계는 복잡하며 계산 시뮬레이션과 실험적 검증의 결합이 필요합니다.
- 고엔트로피 다성분 합금의 제조 공정은 아직 연구 단계이며, 산업적 적용을 위해서는 기술적 병목 현상을 극복해야 합니다.

V. 향후 발전 방향

- 첨단 계산재료과학과 결합하여 고성능 미세합금 텅스텐 합금이 설계되었습니다.
- 다성분 합금의 대량 생산을 달성하기 위해 저비용, 고효율 제조 공정을 개발합니다.
- 극한 작업 조건에서의 미세합금 텅스텐 합금의 성능과 적용 가능성.

VI. 요약

미세 합금화 및 다성분 합금 설계는 텅스텐 합금판의 성능을 향상시키는 중요한 방법을 제공합니다. 원소의 미세 제어와 여러 성분의 시너지 효과를 통해 소재의 기계적 특성과 기능적 특성이 완벽하게 최적화됩니다. 앞으로 이론과 기술의 지속적인 발전을 통해 미세 합금화 텅스텐 합금판은 고급 제조 분야에서 더욱 중요한 역할을 할 것입니다.

6.3 고온 내성

텅스텐 합금판의 조직 최적화 및 열처리 고온 환경에서 텅스텐 합금판의 안정성과 성능은 항공우주, 원자력 산업 및 고온 제조 분야에서의 적용에 직접적인 영향을 미칩니다. 합리적인 조직 최적화 및 열처리 공정 설계를 통해 열 안정성, 내산화성, 기계적 강도를 포함한 텅스텐 합금판의 고온 저항성을 크게 향상시켜 극한 사용 조건의 요구를 충족할 수 있습니다.

1. 텅스텐 합금판의 고온 저항에 영향을 미치는 주요 요인

1. 미세구조

- 입자 크기, 입자 경계 특성, 두 번째 상의 분포는 모두 재료의 열 안정성에 직접적인 영향을 미칩니다.
- 정제된 입자와 균일하게 분포된 강화상은 입자 성장을 억제하고 고온 강도를 향상시키는 데 도움이 됩니다.

2. 재료 구성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 티타늄(Ti), 몰리브덴(Mo), 니오븀(Nb) 등의 합금 원소는 안정한 상을 형성하여 고온 산화 저항성과 크립 저항성을 향상시킨다.
- 적절한 비율은 열팽창 특성을 최적화하고 열응력을 감소시킬 수 있습니다.

2. 조직 최적화 전략

1. 곡물 미세화 및 균질화

- 고에너지 볼 밀링, 급속 소결 등의 기술을 채택하여 미세하고 균일한 입자 구조를 얻습니다.
- 결정립계 강화 메커니즘은 고온에서 결정립 성장을 효과적으로 방지합니다.

2. 2 단계 강화

- 결정립 경계를 강화하고 크립 저항성을 개선하기 위해 작고 안정적인 2 차상 입자를 도입합니다.
- 두 번째 단계의 입자는 응력 집중 영역이 형성되는 것을 방지하기 위해 균일하게 분포됩니다.

3. 열처리 공정 설계

1. 예비소결 열처리

- 소결 중 결함을 방지하기 위해 분말 입자 크기와 구성 균일성을 조절합니다.
- 밀도를 높이기 위해 적절한 온도와 분위기 조건을 채택합니다.

2. 고온 용액 처리

- 고온 용액 열처리를 통해 상이 용해 및 분리되고 합금 원소가 균일하게 분포되며 재료의 균질성이 향상됩니다.
- 거친 단계의 침전을 방지하고 조직의 안정성을 유지합니다.

3. 적시 처리

- 침전상의 크기와 분포를 제어하여 고온 강도를 향상시킵니다.
- 최적의 기계적 특성을 달성하기 위해 노화 온도와 시간을 최적화합니다.

4. 대기 제어

- 열처리는 산화를 줄이기 위해 보호 분위기(아르곤, 질소 등)에서 수행됩니다.
- 일부 공정에서는 진공 열처리를 사용하여 표면 품질과 내부 순도를 보장합니다.

4. 성능 향상 효과

- 열처리 후, 텅스텐 합금판은 미세한 입자, 균일한 조직을 가지며, 크립 저항성이 현저히 향상됩니다.
- 고온 강도와 파괴 인성이 크게 향상되어 고온 하중과 열 충격에 적응할 수 있습니다.
- 향상된 열 안정성으로 인해 고온 환경에서 재료의 수명이 연장됩니다.

5. 응용 사례 및 개발 동향

- 항공기 엔진 터빈 블레이드 및 구조 부품용 고온 보호 소재
- 원자로의 고온 부품을 위한 내열 구조 재료;
- 고온 산업용 용광로 및 열처리 장비의 주요 고온 내성 부품입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

앞으로는 첨단 미세조직 특성화 기술과 수치 시뮬레이션을 결합하여 고온 내성 텅스텐 합금판의 조직 설계 및 열처리 공정을 더욱 최적화하여 재료 성능의 지속적인 혁신을 달성할 것입니다.

VI. 요약

조직 최적화와 정밀 열처리는 고온 내성 텅스텐 합금판의 성능을 향상시키는 핵심 수단입니다. 결정립 크기 제어, 상 분포 강화 및 열처리 공정 매개변수를 통해 소재의 열 안정성과 고온 기계적 특성을 크게 향상시켜 극한 환경에서 텅스텐 합금판의 신뢰성 있는 적용을 보장합니다.

6.4 텅스텐-구리/텅스텐-니켈 복합판의 계면 접합 메커니즘

텅스텐-구리(W-Cu) 및 텅스텐-니켈(W-Ni) 복합 시트는 텅스텐의 고밀도, 고용점, 기계적 강도와 구리 및 니켈의 우수한 전기 전도성, 열 전도성, 인성을 결합하여 전자 방열, 열 관리 및 고온 구조 재료 분야에서 널리 사용됩니다. 복합 시트의 성능은 계면 접합 품질과 접합 메커니즘에 크게 좌우됩니다. 재료 특성 및 제조 공정을 최적화하려면 계면 접합 공정에 대한 심층적인 이해가 필수적입니다.

1. 텅스텐 구리/텅스텐 니켈 복합판의 계면 구조 특성

- 텅스텐과 구리, 니켈은 녹는점, 열팽창 계수, 격자 구조 등 물리적, 화학적 특성에 상당한 차이가 있습니다.
- 일반적으로 계면 영역에는 전이층이나 확산층이 존재하며, 이는 계면의 기계적 접합 강도와 열전도도에 영향을 미칩니다.
- 우수한 계면 접합은 금속 간의 양호한 젖음성과 금속학적 접합, 그리고 계면 균열과 기공의 감소를 필요로 합니다.

2. 인터페이스 바인딩 메커니즘 분석

1. 기계적 접합

- 물리적인 압착과 소성변형을 통해 텅스텐과 구리, 니켈 분말 또는 판이 밀착되어 예비결합을 형성합니다.
- 기계적 접합은 인터페이스의 기본적인 구조적 지지를 제공하지만 접합 강도는 제한적입니다.

2. 금속 접합

- 고온 소결 또는 열 확산 동안 텅스텐은 구리 및 니켈 원자와 함께 확산되고 용해됩니다.
- 계면 결합과 열전도도를 향상시키기 위해 전이 확산층을 형성합니다.
- 텅스텐과 니켈은 특정한 고용체 또는 간극상을 형성하여 계면 인성을 향상시킵니다.

3. 확산 및 계면 반응

- 원소는 계면에서 확산되어 미세한 합금상이나 전이상을 형성하는데, 이는 응력 전달을 용이하게 합니다.
- 확산 과정을 제어하면 취성상의 형성을 방지하고 계면 안정성을 향상시킬 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. 인터페이스 본딩 성능에 영향을 미치는 주요 요인

1. 분말 입자 크기 및 분포

- 미세하고 균일한 분말은 밀도가 높은 계면을 형성하는 데 도움이 됩니다.
- 입자 크기의 차이가 크면 계면 결함이 생길 수 있습니다.

2. 소결 온도 및 분위기

- 소결 온도는 확산과 금속 결합을 촉진할 만큼 충분히 높아야 하지만 과도한 입자 성장은 피해야 합니다.
- 보호 분위기는 계면 산화를 방지하고 계면을 깨끗하게 유지합니다.

3. 압력과 시간을 억제합니다

- 충분한 압력은 계면 기공을 제거하고 기계적 결합을 개선하는 데 도움이 됩니다.
- 소결 시간은 확산 깊이와 계면 구조 균일성에 영향을 미칩니다.

4. 인터페이스 본딩이 성능에 미치는 영향

- 좋은 인터페이스 접합은 복합 보드의 열전도도와 전기전도도를 개선하여 효율적인 방열 요구 사항을 충족합니다.
- 계면 접합 강도는 재료의 기계적 강도와 열 피로 저항성을 직접 결정합니다.
- 계면 결합이 불량하면 균열이 생기고 재료의 전반적인 신뢰성이 떨어질 수 있습니다.

5. 인터페이스 엔지니어링 및 최적화 기술

- 플라즈마 세척과 같은 표면 활성화 처리로 젖음성과 접합 품질이 향상됩니다.
- 확산 결합과 계면 안정화를 촉진하기 위해 계면 활성화제 또는 계면층 재료를 추가합니다.
- 열팽창 차이를 완화하고 열응력을 줄이기 위해 그라디언트 합금 인터페이스 디자인을 채택했습니다.

6. 응용 사례

- 텅스텐 구리 복합판은 전자 장치 방열 기판 및 고전력 스위칭 장치에 널리 사용됩니다.
- 텅스텐-니켈 복합판은 내마모성, 고강도 구조 부품 및 핵 산업 차폐재로 사용됩니다.
- 인터페이스 접합을 최적화하면 극한 환경에서도 복합 패널의 사용 수명과 성능 안정성이 향상됩니다.

VII. 요약

텅스텐-구리-텅스텐-니켈 복합판은 재료 성능을 결정하는 핵심 요소입니다. 기계적 결합, 야금학적 확산, 계면 공학의 최적화를 통해 고강도, 고열전도도, 고인성을 갖춘 복합 재료를 개발하여 전자 방열 및 고온 구조 재료의 엄격한 요건을 충족할 수 있습니다. 향후 계면 설계 및 제어 기술의 발전을 통해 텅스텐 합금 복합판의 성능 향상 및 적용 분야 확장을 더욱 추진할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.5 표면 코팅 및 내마모성, 내식성 시트 연구 개발

텅스텐 합금판은 여러 산업 분야에서 기계적 마모, 부식, 고온 산화와 같은 복잡한 문제에 직면하는 경우가 많습니다. 텅스텐 합금판의 내마모성과 내부식성을 향상시키기 위해 표면 코팅 기술이 핵심 연구 개발 방향이 되었습니다. 다양한 코팅 재료와 첨단 코팅 공정을 통해 텅스텐 합금판의 표면 특성이 크게 향상되었을 뿐만 아니라 그 응용 분야도 확대되었습니다.

1. 텅스텐 합금판 표면 마모 및 부식 개요

- 텅스텐 합금판은 높은 하중과 잦은 마찰 환경에서 표면 마모가 발생하기 쉽고, 이는 사용 수명에 영향을 미칩니다.
- 고온 산화 및 화학적 부식은 표면 저하를 초래하고 기계적 강도와 전반적인 성능을 약화시킵니다.
- 표면 결함과 미세균열은 쉽게 부식의 원인이 되어 대규모 재료 손상으로 이어질 수 있습니다.

2. 표면코팅기술의 종류 및 특성

1. 세라믹 코팅

- 일반적으로 사용되는 재료로는 산화 알루미늄(Al_2O_3), 산화 티타늄(TiO_2), 질화 규소(Si_3N_4) 등이 있습니다.
- 경도가 높고, 내마모성이 우수하며, 고온 내구성이 뛰어납니다.
- 극한의 마모와 고온 조건에서 사용하기에 적합합니다.

2. 금속 코팅

- 구리, 니켈, 크롬과 같은 금속 코팅은 전기 도금, 분무 및 기타 방법을 통해 달성됩니다.
- 표면 전도성과 내식성을 향상시킵니다.
- 전자 냉각 및 보호 분야에 적합합니다.

3. 복합코팅

- 세라믹-금속 복합 코팅은 경도와 인성을 모두 갖춘 두 가지 장점을 결합한 것입니다.
- 이는 물리적 기상 증착(PVD) 및 화학적 기상 증착(CVD)과 같은 첨단 공정을 사용하여 제조됩니다.

4. 나노코팅 기술

- 나노소재를 사용하여 초미세 구조 코팅을 제조하여 접착력과 내마모성을 향상시킵니다.
- 우수한 자체 복구 및 부식 방지 특성을 가지고 있습니다.

3. 코팅 준비 공정

1. 물리 기상 증착(PVD)

- 박막은 증발 또는 스퍼터링 기술로 증착되며 코팅은 밀도가 높고 균일합니다.
- 일반적으로 단단한 세라믹과 금속 복합 코팅을 준비하는 데 사용됩니다.

2. 화학 기상 증착(CVD)

- 대면적 균일 코팅에 적합하며 코팅 접착력이 강함;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 코팅 구성과 두께는 특정 성능 요구 사항을 충족하도록 제어할 수 있습니다.

3. 전기 도금 및 분무

- 전기도금 공정은 간단하고 효율적이며 금속 코팅 응용 분야에 적합합니다.
- 분무 기술은 유연하며 두꺼운 코팅과 복잡한 모양의 작업물에 적합합니다.

4. 성능 향상에 있어서 표면 코팅의 역할

- 텅스텐 합금판의 표면 경도와 내마모성을 크게 향상시키고 사용 수명을 연장합니다.
- 산화 및 화학적 부식을 효과적으로 방지하고 재료 구조를 보호합니다.
- 첨단 전자제품 및 정밀 기기의 요구 사항을 충족하기 위해 열전도도와 표면 전기적 특성을 개선합니다.

V. R&D 진행 상황 및 과제

- 초경 세라믹과 나노복합소재 등 새로운 기능성 코팅 소재가 계속해서 등장하고 있습니다.
- 코팅과 텅스텐 합금판 기질 사이의 접합 강도와 열 팽창 일치는 기술적인 어려움입니다.
- 기판의 열응력과 성능 저하를 줄이기 위해 저온 코팅 공정을 개발하는 것이 필요합니다.
- 코팅의 환경 친화성과 비용 효율성을 고려하고 산업적 활용을 장려합니다.

VI. 향후 발전 방향

- 통합된 내마모성, 내부식성, 열전도도 및 방사선 저항성을 달성하기 위한 다기능 복합 코팅의 연구 및 개발
- 자체 회복 및 환경 반응형 코팅 소재와 같은 스마트 코팅 기술
- 표면 나노구조 설계와 결합하여 접착력과 성능이 더욱 향상되었습니다.
- 효율적이고 에너지 절약적인 코팅 준비를 달성하기 위해 프로세스 흐름을 최적화합니다.

VII. 요약

표면 코팅 기술은 텅스텐 합금판의 내마모성과 내부식성을 향상시키는 핵심 기술입니다. 소재 혁신과 공정 최적화를 통해 혹독한 작업 조건에서도 텅스텐 합금판의 수명과 신뢰성이 크게 향상되었으며, 항공우주, 원자력 산업, 전자 기기 및 기타 분야에서 적용에 대한 강력한 보증을 제공합니다.

6.6 열 및 전기 전도성/반자성 기능성 텅스텐 합금판의 설계

텅스텐 합금판은 우수한 고밀도, 고강도, 그리고 높은 용점을 가지고 있어 전자, 항공우주, 원자력 등 첨단 분야에서 널리 사용되고 있습니다. 기술 발전에 따라 텅스텐 합금판의 기능 설계는 점차 열전도도, 전기 전도성, 그리고 항자성으로 확장되어 복잡한 작업 조건에서 다양한 요구를 충족하고 있습니다. 조성 제어, 미세 구조 설계, 그리고 복합 기술을 통해 텅스텐 합금판의 열전도도, 전기 전도성, 그리고 자기적 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. 열전도성 및 전기전도성 텅스텐 합금판의 설계 원리

1. 합금 조성 제어

- 구리 (Cu), 은 (Ag), 알루미늄 (Al) 등 열전도도가 높은 금속 원소를 도입하면 재료의 열전도도와 전기전도도가 크게 향상됩니다.
- 강도와 전도도를 모두 고려하여 매트릭스와 전도상의 적절한 분포를 얻기 위해 텅스텐과 다른 원소의 비율을 조정합니다.

2. 미세구조 최적화

- 텅스텐 매트릭스의 입자 크기와 형태를 최적화하고, 입자 경계 열 저항을 낮추고, 열전도 효율을 향상시킵니다.
- 분말 야금과 급속 소결 공정을 통해 상 계면을 제어하여 계면 저항과 열 저항을 줄입니다.

3. 복합재료 설계

- 텅스텐-구리, 텅스텐-은 등의 복합 시스템을 채택하여 연속적인 전도성 네트워크를 형성하여 높은 열 및 전기 전도성을 보장합니다.
- 표면과 내부 성능을 구역별로 최적화하기 위해 기능적으로 등급이 매겨진 재료를 개발합니다.

항자성 텅스텐 합금판의 설계 전략

1. 자기소자 제어

- 재료의 자기 반응을 줄이기 위해 강력한 자기 요소 (철 Fe, 코발트 Co, 니켈 Ni 등)의 사용을 줄이거나 피하십시오.
- 비자성 또는 약한 자성 금속을 합금 원소로 사용하여 전반적으로 낮은 투자율을 보장합니다.

2. 결정구조 및 결함 제어

- 입자를 미세화하고 자기 도메인 구조를 감소시키면 자기 이방성이 증가하고 거시적인 자기 성능이 감소합니다.
- 침전상의 형태와 분포를 제어하고, 자기상의 응집을 감소시킵니다.

기능성 텅스텐 합금판의 성능 특성

1. 높은 열전도도 및 전기전도도

- 열전도도는 기존 텅스텐 합금의 몇 배에 달할 수 있어 전자기기의 방열 및 고주파 통신에 대한 요구를 충족합니다.
- 저항률이 낮아져 전기적 특성이 우수하며, 접착 재료 및 전극 구조에 적합합니다.

2. 낮은 자기 응답 특성

- 낮은 투자율과 우수한 자기 방지 특성으로 정밀 자기장 제어 및 의료용 자기 공명 장비에 적합합니다.
- 자기장 간섭을 줄이고 시스템 안정성과 측정 정확도를 향상시킵니다.

4. 적용 분야

- 고성능 전자소자 방열기관 및 전도성 구조부품;
- 자기 간섭에 민감한 항공우주 분야의 계측기 및 장비 구조

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 핵 산업에는 방열과 자기 방지 특성을 모두 고려한 보호 재료가 필요합니다.
- 의료용 자기공명영상(MRI) 장비의 핵심 구조적 재료.

5. 설계 및 제조 과제

- 열전도도와 전기전도도, 기계적 강도의 균형은 여러 측면에서 종합적인 최적화를 요구합니다.
- 복합재 계면의 열 저항 및 전기 저항 제어는 어렵고 제조 공정에 높은 요구사항이 필요합니다.
- 항자성 특성을 개선하려면 합금 원소 선택과 미세 구조 제어에 대한 요구가 더 커집니다.

6. 향후 개발 동향

- 계산재료과학을 활용해 구성품 설계를 안내하고 열전도도, 전기전도도 및 반자성 특성을 정밀하게 제어합니다.
- 인터페이스 성능과 전반적인 안정성을 개선하기 위해 나노구조와 기능적 기울기 소재를 개발합니다.
- 복잡한 구조의 통합 제조를 달성하기 위해 기능성 텅스텐 합금판에 적층 제조 기술을 적용하는 것을 촉진합니다.
- 텅스텐 합금판의 성능에 대한 동적 반응과 조정을 달성하기 위해 스마트 소재 기술을 탐색합니다.

VII. 요약

과학적 조성 설계 및 미세 구조 제어를 통해, 열전도성, 전기 전도성 및 내자성 기능을 갖춘 기능성 텅스텐 합금판은 첨단 응용 분야에서 열 관리, 전기적 특성 및 자기적 특성의 다양한 요건을 충족합니다. 소재 기술과 제조 공정의 발전으로 이러한 기능성 텅스텐 합금판은 항공우주, 전자 통신, 원자력 산업 및 의료 장비 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

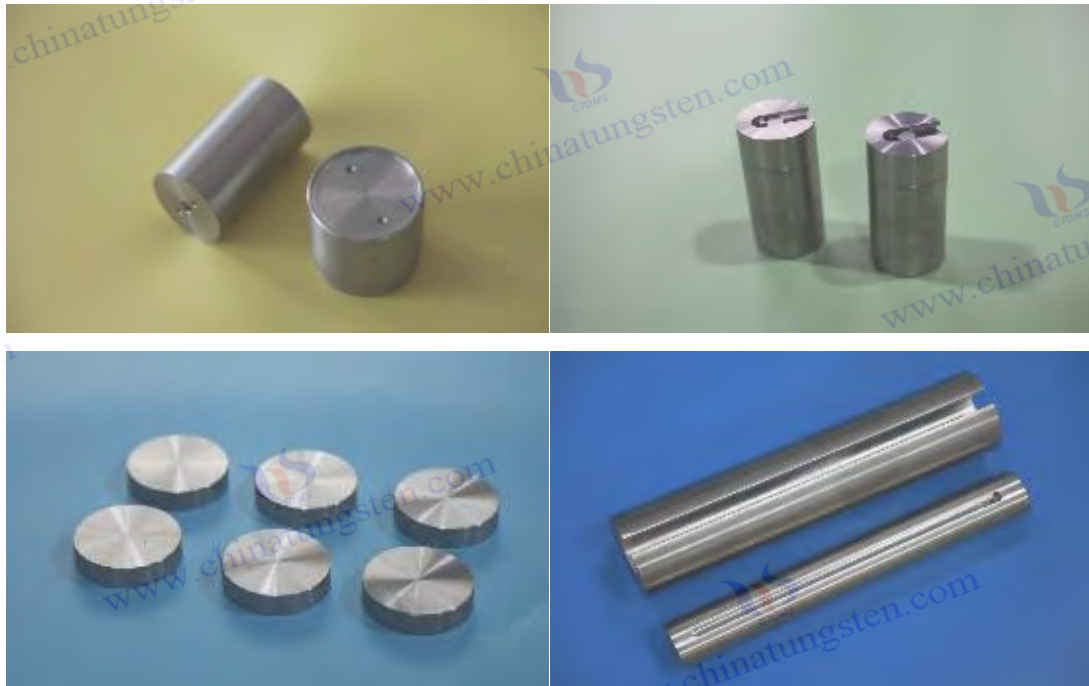
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

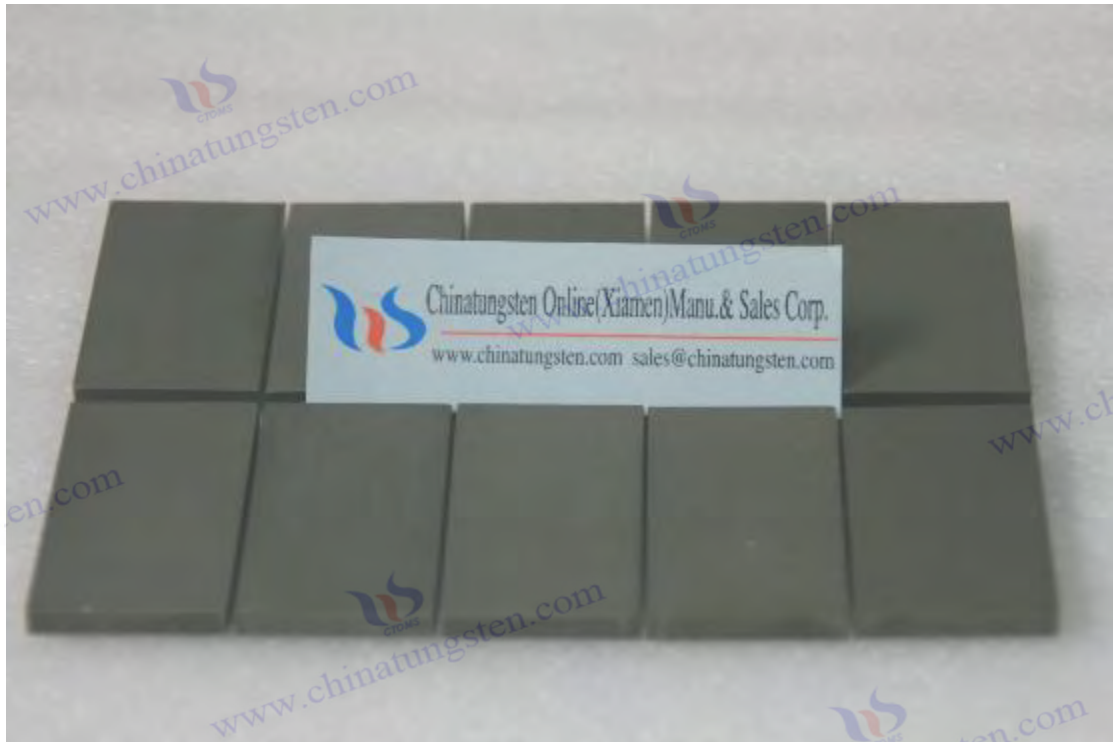
Official website: www.tungsten-alloy.com



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 합금판의 국제 표준 및 품질 시스템

7.1 중국 텅스텐 합금판 관련 표준 (GB/T, YS/T)

세계 주요 텅스텐 자원 공급국이자 텅스텐 소재 제조업체 중 하나인 중국은 텅스텐 및 텅스텐 합금 제품에 대한 비교적 완전한 표준 시스템을 구축하여 텅스텐 합금판의 기술 조건, 시험 방법, 치수 공차, 표면 품질, 성능 지표 및 시험 규격을 포괄하고 있습니다. 국가 표준 (GB/T) 과 비철금속 산업 표준 (YS/T) 은 중국 시장에서 텅스텐 합금판의 품질 기준 및 산업 규격을 구성합니다.

1. 표준 시스템 개요

1. 국가표준 (GB/T)

- GB/T 표준은 높은 권위와 보편성을 지닌 권장 국가 표준입니다.
- 주로 텅스텐 합금판의 크기, 허용 오차, 기술적 조건 및 시험 방법을 안내하는 데 사용됩니다.
- 다양한 일반산업 분야의 품질평가 벤치마크, 수출제품, 국내조달계약 등에 적용 가능합니다.

2. 산업 표준 (YS/T)

- YS/T 표준은 중국 비철금속 산업 협회에서 제정한 표준으로 업계의 최신 기술 수준을 반영합니다.
- 보다 구체적이고 세부적이며, 특수 텅스텐 합금판의 기술 색인 요구 사항에 자주 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 새로운 소재와 공정을 적용한 텅스텐 합금 제품에 대한 선견지명과 적용성이 더욱 뛰어납니다.

2. 일반적으로 사용되는 국가 표준(GB/T)의 예

표준 번호	표준 이름	내용물
GB/T 4187	텅스텐 플레이트	텅스텐 판의 분류, 크기, 외관, 기계적 성질 및 시험 방법을 지정합니다.
GB/T 3462	희귀 금속 시트의 치수 공차	텅스텐, 몰리브덴 및 기타 판의 두께 및 너비 허용 오차 표준을 다룹니다.
GB/T 2040	텅스텐 제품의 화학 분석 방법	텅스텐 합금판의 W, Fe, Ni, Cu 및 기타 원소 분석에 적용 가능
GB/T 8170	숫자 반올림 규칙	텅스텐 판의 크기 제어 및 검사

참고: 실제 조달 및 승인에서는 GB/T 4187 이 기본 표준으로 널리 사용됩니다.

3. 일반적으로 사용되는 비철금속 산업 표준(YS/T)의 예

표준 번호	표준 이름	적용 범위
YS/T 519	중텅스텐 합금 제품	텅스텐 니켈 철, 텅스텐 니켈 구리판 및 기타 제품에 적용 가능
YS/T 795	텅스텐 합금판	두꺼운 판, 중간 판, 얇은 판의 성능 및 외관에 대한 명확한 지표 제공
YS/T 670	분말야금 텅스텐 재료의 시험 방법	밀도 및 다공성과 같은 미세한 특성에 대한 테스트 사양
YS/T 629	텅스텐계 합금의 화학성분 분석 방법	여러 원소를 동시에 검출하는 고정밀 분석 방법

IV. 표준 콘텐츠의 주요 지표

1. 치수 및 공차 관리

- 두께 편차, 폭 편차, 보드 표면 평탄도;
- 모서리 균일성, 휘어짐 제어 등

2. 기계적 성질

- 인장강도, 항복강도, 신율;
- 경도지수 (HV, HB), 충격인성 등

3. 표면 품질

- 균열, 벗겨짐, 산화 스케일 또는 내포물이 허용되지 않습니다.
- 표면 거칠기 $Ra \leq$ 지정된 값, 약간의 긁힘은 허용됩니다.

4. 내부 결함과 조직 통제

- 초음파, CT 및 기타 비파괴 검사와 같은 테스트 방법을 지정합니다.
- 미세구조는 균일하며, 눈에 띄는 불순물이나 구멍이 없습니다.

5. 화학성분 범위

- W, Ni, Fe, Cu, Mo 등의 주원소 및 불순물 원소의 함량
- 특정 등급 분류(예: 1 등급, 2 등급, 특수등급)에 부합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. 표준 구현 및 품질 인증 관행

1. 적용 대상

- 생산기업, 구매부문, 과학연구기관 및 품질검사부서를 대상으로 합니다.
- 무역, 수출 및 프로젝트 입찰에 대한 통합된 기술 지원을 제공합니다.

2. 국제 표준에 맞춰

- 최근 몇 년 동안 중국의 표준은 ISO와 ASTM에 더욱 가까워지고 있습니다.
- 등가 변환, 보충 설명 등의 방법을 채택하여 표준의 국제적 호환성을 높입니다.

3. 기업 내부통제 기준

- 일부 선도 기업은 GB/T, YS/T의 구현을 기반으로 더욱 엄격한 기업 기술 규격을 제정했습니다.
- 예를 들어, 더 높은 치수 정확도, 더 낮은 불순물 한계, 더 미세한 표면 품질 등이 있습니다.

VI. 요약

중국의 텅스텐 합금판 표준 시스템은 제품의 설계, 생산, 시험 및 유통에 대한 기본 기반과 기술 지원을 제공합니다. GB/T 표준은 국가 통일 기술 관리 규격을 반영하며, YS/T 표준은 업계의 기술 발전 수준을 반영합니다. 텅스텐 합금판이 고급 응용 분야에서 확대됨에 따라, 이러한 표준 또한 지속적으로 개정 및 개선되어 제품 품질 보장 및 기술 향상 촉진에 중요한 역할을 하고 있습니다.

7.2 미국 표준 (ASTM, MIL) 해석

미국은 세계 고급 소재 산업의 주요 선도 국가로서 텅스텐 및 텅스텐 합금 소재에 대해 비교적 완전하고 널리 사용되는 표준 시스템을 구축했습니다. 이 시스템은 주로 ASTM(미국재료시험학회) 규격과 MIL(미국군사규격)로 구성되어 있습니다. 미국 군사, 항공우주, 전자 및 기타 분야의 기술 규격을 제공할 뿐만 아니라, 국제 무역, 품질 관리 및 국제 인증 분야에서도 중요한 역할을 수행합니다.

1. ASTM 표준 시스템 개요

1. 표준의 특성

ASTM(미국재료시험학회) 표준은 재료의 특성, 시험 방법 및 일반 사양을 강조하는 국제적으로 인정된 기술 표준 시스템으로, 산업 생산, 품질 관리, 무역 규정 준수 및 기타 분야에서 널리 사용됩니다.

텅스텐 합금판과 관련된 일반적인 ASTM 표준

표준 번호	표준 이름	적용 범위
ASTM B702	중텅스텐 합금 분말 야금 제품에 대한 사양	판, 막대, 원형 케이크 및 단조품 등 다양한 제품에 대한 기술적 요구 사항 포함
ASTM B777	고밀도 텅스텐 합금 제품 표준	재료의 기계적 성질, 화학적 조성 및 치수 허용 오차를 명확히 합니다.
ASTM	텅스텐 및 몰리브덴 판, 시트 및 스프링	두꺼운 판과 얇은 판의 제조 및 품질 검사에 적합

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

B760	트립에 대한 기술 사양	
ASTM E1477	희귀 금속 검출을 위한 참조 방법	텅스텐, 몰리브덴 등의 재료에 대한 분광, 열 분석 및 구조 검출

3. 표준의 주요 사항

- **구성 요구 사항** : 텅스텐 함량, 합금 원소 비율 및 불순물 한계를 지정합니다.
- **치수 및 허용 오차** : 두께, 너비, 평탄도 및 모서리 모양 포함
- **기계적 성질** : 인장강도, 항복강도, 연성;
- **시험방법** : 인장시험, 경도시험, 초음파시험 등을 포함함.
- **표면 품질** : 산화, 벗겨짐, 포함물 등이 명확하게 정의되어 있습니다.

2. MIL 군사 표준 시스템 개요

1. 표준의 특성

MIL-STD(Military Standard)는 미국 국방부에서 개발한 군용 제품 규격 시스템으로, 군용 무기, 항공우주, 정밀 공학 등 첨단 기술 분야에서 널리 사용됩니다. 이 시스템은 극한 환경에서의 신뢰성, 안전성, 그리고 일관성을 강조합니다.

텅스텐 합금판 관련 대표 규격

표준 번호	표준 이름	특징
MIL-T-21014	텅스텐 합금 고밀도 재료 표준	판, 막대 및 링의 크기, 성능 및 공정 요구 사항 포함
밀-C-14550	금속 표면에 대한 니켈 도금 공정 표준	텅스텐 기반 재료의 전기 도금 요구 사항 및 환경 적응성
MIL-STD-45662	측정 및 시험 장비 제어 표준	재료 검사 및 품질 추적 관리를 위해
밀리터리 스탠다드-883	전자 부품 테스트 표준	칩 지지판이나 방열재에 사용되는 텅스텐 합금에 적합

3. 군사 표준 기능

- **환경 적응성에 대한 높은 요구 사항** : 고온, 방사선 및 충격 환경에서 안정적인 성능에 중점을 둡니다.
- **엄격한 기계적 신뢰성** : 강도, 파괴인성, 피로 성능에 대한 명확한 하한값
- **엄격한 배치 일관성 제어** : 우수한 추적성과 일관성 검증이 필요합니다.
- **안전과 환경 인증에 대한 동등한 강조** : 유해 요소에 대한 제한, 재료 노화 시험 등을 포함합니다.

3. ASTM 과 MIL 표준 간의 상호 보완 관계

비교 차원	ASTM 표준	MIL 표준
적용 가능 지역	일반 산업, 민간 이용, 과학 연구	항공우주, 방위 및 군수 산업
표준형	제품 사양 + 테스트 방법	응용 프로그램 성능 + 환경 적응성
검사 초점	재료 특성	시스템 신뢰성 및 작동 조건 일치

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

표준 개방성	공공 자원, 널리 채택됨	군사적 배경, 일부 비밀
--------	---------------	---------------

참고: 실제로 고급 텅스텐 합금판을 설계하고 생산할 때 회사는 종종 ASTM과 MIL 요구 사항을 모두 충족해야 합니다.

4. 텅스텐 합금판 생산 및 수출에 적용

- **기술 계약 기준** : ASTM B702, B777 등은 종종 국제 조달 및 기술 계약의 기본 표준으로 사용됩니다.
- **품질 관리 시스템 인터페이스** : MIL 표준은 ISO 9001, AS9100 및 기타 시스템과의 호환성을 요구합니다.
- **국제 인증** : ASTM/MIL 표준을 준수하면 북미, 유럽연합 등 고급 시장 진출에 도움이 됩니다.
- **시험 방법에 대한 지침** : 표준에 명시된 물리적, 화학적 시험 방법은 시험의 기초로 널리 채택됩니다.

V. 요약

ASTM과 MIL 표준 시스템은 미국 텅스텐 합금 소재 품질 관리의 중요한 축을 이룹니다. 엄격함, 체계성, 그리고 권위는 전 세계적으로 인정받고 있습니다. ASTM은 일반적인 재료 성능 평가 기준을 제공하는 반면, MIL 표준은 극한 조건에서의 서비스 신뢰성에 중점을 둡니다. 국제 시장 경쟁에서 중국 기업들은 ASTM/MIL 표준을 적극적으로 벤치마킹하여 자사 제품의 국제적 적응성과 고급 시장 경쟁력을 향상시켜야 합니다.

7.3 유럽 및 ISO 텅스텐 합금판 표준의 편집

전 세계적으로 텅스텐 합금 소재 기술의 발전 및 적용 확대에 따라, 유럽과 국제표준화기구(ISO)는 광범위한 적용 가능성과 높은 권위를 가진 텅스텐 합금판 관련 표준 체계를 수립했습니다. 이러한 표준은 유럽의 산업 제조, 무역 감독 및 환경 규정 준수에 기여할 뿐만 아니라 국제적으로 인정받는 기준이 되어 원자력, 항공, 전자, 의료 등 첨단 분야에서 텅스텐 합금판 제품의 광범위한 적용을 크게 촉진하고 있습니다.

1. ISO 국제표준화 시스템 소개

1. ISO 표준의 특성

- ISO(국제표준화기구)는 세계에서 가장 권위 있고 영향력 있는 표준 설정 기관입니다.
- 텅스텐 소재 표준은 주로 ISO/TC 119(분말야금 기술위원회) 및 ISO/TC 261(적층 제조)과 같은 기술위원회에서 처리됩니다.
- ISO 표준은 보편성, 조정, 상호 인정에 초점을 맞추고 있으며, 국제 무역, 인증, 규정 준수 검사에 널리 사용됩니다.

2. 일반적인 ISO 텅스텐 합금 관련 표준의 예

표준 번호	표준 이름	관련 콘텐츠
-------	-------	--------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 4499	금속분말 및 그 제품의 미세조직 분석 방법	텅스텐 분말 및 소결 텅스텐 합금판
ISO 5755	텅스텐 재료 밀도 측정 방법	아르키메데스와 기하학적 방법을 이용한 밀도 결정
ISO 6892-1	금속재료의 인장시험 1 부: 실온에서의 시험방법	텅스텐 합금판의 인장 특성 시험에 적용
ISO 3928	금속재료 굽힘 시험	텅스텐 합금판의 연성 및 파괴 거동 테스트

ISO 표준은 대부분 ASTM 을 보완하여 일반적인 시험 방법을 사용하고 있으며, 일부는 EU 표준과 통합되었습니다.

2. 유럽 EN 표준 시스템 개요

1. 표준 소스

- EN(European Norm) 표준은 유럽 표준화 위원회(CEN)에서 통일적으로 제정한 표준입니다.
- 텅스텐 합금판과 관련된 것은 주로 독일 DIN, 프랑스 NF, 영국 BS, 스페인 UNE 와 같은 회원국 표준에서 파생되었습니다.
- 이는 EU 내에서 법적 효력을 가지며, 유럽 시장에 진출하는 제품의 준수 기준입니다.

2. 일반적인 EN 표준의 예

표준 번호	표준 이름	원래 국가 표준
EN 2516	고밀도 텅스텐 합금 소재 사양	프랑스 항공 산업 표준(NF L)에서 파생됨
EN 10204	재료 품질 인증 문서 표준	텅스텐 합금판 품질 추적 시스템에 널리 사용됨
EN ISO 6507	금속 마이크로 비커스 경도 시험 방법	경도 시험에 대한 ISO 6507 과 동일
EN ISO 9001	품질 경영 시스템 요구 사항	텅스텐 합금판 제조업체용

3. 유럽표준의 구현 및 특징

1. 기술 지표의 정교화

- 판 두께 제어, 허용 오차 등급, 모서리 성형 등에 대한 등급이 더욱 세부적으로 지정됩니다.
- 표면 품질, 미세구조, 비금속 개재물 등의 제어에 대한 요구 사항이 높습니다.

높은 환경 보호 및 규정 준수 요구 사항

- RoHS(유해물질 제한) 및 REACH(화학물질 등록 및 평가) 준수에 중점을 둡니다.
- 납, 카드뮴, 수은 등 유해한 불순물에 대한 엄격한 제한 설정
- 안전 데이터 시트(SDS/MSDS)와 전체 수명 주기 물질 정보가 필요합니다.

3. 인증제도가 고도로 표준화되어 있습니다.

- 제품은 CE 마크 인증, RoHS 적합성 선언 및 제 3 자 테스트를 통과해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 회사는 ISO 9001, ISO 14001(환경) 및 기타 관리 시스템 인증을 통과해야 합니다.
- 군사, 핵 에너지, 항공 공급망은 EN 9100 및 ISO/TS 16949 와 같은 고급 시스템을 추가적으로 충족해야 합니다.

4. ISO 및 EN 표준의 국제적 중요성

- **전 세계적으로 수용됨** : ISO 표준은 국제 무역을 위한 기술 문서와 수용 프로토콜에서 널리 사용됩니다.
- **기술적 조정** : EN ISO 표준은 유럽 및 국제 품질 표준의 상호 인정을 가속화합니다.
- **수출 촉진** : 중국 텅스텐 합금판 제조업체가 ISO/EN 규격 인증을 통과하면 유럽과 미국의 고급 시장 진출이 용이해질 것입니다.
- **기술 통합** : 대부분의 유럽 수입업체와 최종 사용자는 ISO/EN 이중 인증 제품을 사용하는 것을 선호합니다.

5. 중국 제조 기업에 대한 의미

방향	제안
기술 업그레이드	제품 구조 및 성능 개선을 위한 EN 2516, ISO 4499 및 기타 표준 벤치마킹
품질 시스템	ISO/EN 요구 사항을 준수하는 전체 프로세스 품질 관리 시스템 구축
환경 규정 준수	RoHS, REACH 등 환경 규제 연구 및 이행 강화
국제 인증	브랜드의 국제적 영향력을 강화하기 위해 CE, ISO, EN 인증을 적극적으로 획득

VI. 요약

유럽 및 ISO 텅스텐 합금 판재 표준 시스템은 고도로 표준화되고 환경 친화적이며 기술적으로 진보되어 있으며, 중국 및 글로벌 제조업체가 고급 시장으로 진출할 수 있는 유일한 길입니다. 표준 내용은 재료 성능 및 검사 방법에 중점을 둘 뿐만 아니라 환경 안전, 수명 주기 관리, 시스템 인증과 같은 보다 체계적인 요건을 포함합니다. 텅스텐 합금 판재 산업 체인의 상류 및 하류 부문 모두에서 이러한 표준을 적극적으로 벤치마킹하고 적용하는 것은 국제 경쟁력을 강화하고 지속 가능한 발전을 구축하는 데 중요한 단계입니다.

7.4 RoHS, REACH 및 MSDS 환경 규정 준수 요구 사항

환경 보호와 인체 건강에 대한 전 세계의 관심이 높아짐에 따라, 텅스텐 합금판의 생산, 사용 및 유통 또한 일련의 국제 환경 규정과 물질 안전 기준을 충족해야 합니다. 특히 EU RoHS 지침, REACH 규정, 그리고 ****물질안전보건자료(MSDS)**** 로 대표되는 **준수 시스템**은 국제 시장 진출의 필수 요건이 되었습니다. 텅스텐 합금판 제조업체는 재료 구성, 화학 물질 관리 및 정보 공개의 무결성과 정확성을 매우 중요하게 여겨야 합니다.

1. RoHS 지침(특정 유해물질 사용 제한)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. RoHS 소개

RoHS (유해물질 제한 지침)는 유럽 연합에서 제정한 의무 환경 지침으로, 전자 및 전기 제품에 특정 유해 물질의 사용을 제한합니다. RoHS의 목적은 인간의 건강과 환경을 보호하고 전자 제품에서 유해 물질의 점진적인 대체를 촉진하는 것입니다.

2. 텅스텐 합금판의 적용성

텅스텐 합금판은 일반적인 전자 및 전기 완제품은 아니지만 **전자 장비 구조 부품, 방열판, 열전도성 기판 또는 포장 구성품에 사용할 경우** RoHS 요구 사항을 충족해야 하며, 특히 유럽으로 수출하거나 전자 단말 제품과 관련된 경우 더욱 그렇습니다.

3. 제한 물질 및 한계값

제한 물질	최대 허용 농도(균질 재료 내)
납 (Pb)	0.1% (1000ppm)
카드뮴 (Cd)	0.01% (100ppm)
수은 (Hg)	0.1% (1000ppm)
6가 크롬 (Cr ⁶⁺)	0.1%
폴리브롬화 비페닐 (PBB)	0.1%
폴리브롬화 디페닐 에테르 (PBDE)	0.1%
프탈레이트 (DEHP, BBP, DBP, DIBP)	각각 0.1%

4. 준수 조치

- 합금 원료 및 불순물 원소의 출처를 엄격히 통제합니다.
- RoHS 테스트 시스템(예: XRF 테스트)을 구축합니다.
- 제 3자 RoHS 준수 선언 또는 테스트 보고서를 받으세요.
- RoHS 기호는 제품 포장과 라벨에 표시되어야 합니다.

2. REACH 규정(화학물질의 등록, 평가, 허가 및 제한)

1. REACH 소개

REACH(화학물질의 등록, 평가, 허가 및 제한)는 EU에서 가장 엄격한 화학 규제입니다. 이 규정은 EU에서 제조되거나 시장에 출시되는 모든 화학 물질 및 화학 물질을 함유한 제품에 적용되며, 이러한 물질이 인체 건강과 환경에 미치는 영향을 평가하는 것을 목표로 합니다.

2. 텅스텐 합금판 관련 요구사항

- 텅스텐 자체는 제한되지 않지만, 텅스텐 합금판에 특정 중금속 불순물, 접착제, 표면 코팅재 등 **매우 우려되는 물질(SVHC)**이 포함되어 있는 경우 신고해야 합니다.
- 연간 생산량 또는 수입량이 1톤을 초과하는 합금판은 등록을 해야 합니다.
- SVHC가 0.1% 이상 함유된 제품은 고객에게 사전에 알려야 하며, ECHA(유럽 화학물질청)에 신고를 위해 제출해야 합니다.

3. 규정 준수 전략

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- ECHA 에서 발행한 SVHC 목록을 항상 업데이트하세요.
- 텅스텐 합금판에 사용되는 화학물질의 규정 준수 분류
- REACH 선언을 완료하기 위해 하류 고객과 협력합니다.
- 공급망의 투명성을 보장하기 위해 추적 시스템을 구축합니다.

3. MSDS(물질안전보건자료)

1. MSDS 의 역할과 현황

MSDS (Material Safety Data Sheet)는 물질의 구성 정보, 물리적 및 화학적 특성, 위험성, 응급 처치, 운송 및 폐기 등을 나열한 국제적으로 인정된 화학 안전 정보 문서입니다. 이는 수출 무역, 안전 관리, 고객 사용 및 규정 준수 신고를 위한 기본 정보입니다.

2. 텅스텐 합금판에 대한 MSDS 요구사항

- **고체 제품** 으로 간주되지만 , 특히 먼지나 절삭유와 접촉하는 경우 고객 참조를 위해 여전히 MSDS 가 필요합니다.
- MSDS 에는 모든 합금 원소, 불순물 및 가공 위험 정보가 포함되어야 합니다.
- GHS(화학물질 분류 및 표시에 관한 세계조화시스템) 형식을 준수해야 합니다.

3. MSDS 샘플 내용 요소(총 16 개 항목)

1. 제품 및 회사 정보
2. 재료
3. 위험 식별
4. 응급처치 방법
5. 소방 대책
6. 누수 응급 처치
7. 취급 및 보관 요구 사항
8. 노출 관리 및 개인 보호
9. 물리적 및 화학적 특성
10. 안정성 및 반응성
11. 독성학 정보
12. 생태 정보
13. 폐기 방법
14. 배송 정보
15. 규제 정보
16. 기타 정보

참고사항: MSDS 는 영어로 작성해야 하며, 필요한 경우 다국어 버전(예: 중국어, 독일어, 일본어 등)을 제공해야 합니다.

4. 텅스텐 합금판 기업을 위한 규정 준수 관행 및 제안

규정 준수 방향	기업 대응 전략
재료 선택	제한적 또는 고위험성 원소 사용을 지양하고 원자재 검토 체계 구축

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

테스트 시스템	조달 단계 동안 RoHS/REACH/XRF 신속 스크리닝 및 ICP 테스트
파일 관리	MSDS, RoHS, REACH 및 기타 규정 준수 파일을 작성하고 정기적으로 업데이트합니다.
고객 협업	사전에 규정 준수 설명서, 테스트 보고서 및 기술 지원 문서를 제공합니다.
제 3 자 인증	SGS, TÜV, Intertek 등 권위 있는 기관의 인증을 통해 신뢰도를 높이세요.

V. 요약

RoHS, REACH, MSDS 는 텅스텐 합금 판재 제품이 국제 시장, 특히 EU 시장에 진출하기 위한 3 대 핵심 환경 규정 준수 시스템입니다. 이러한 규정은 텅스텐 합금 판재의 유해 물질 사용 및 배출을 제한할 뿐만 아니라, 기업이 재료 구성, 안전 특성 및 환경 영향에 대해 더 큰 책임을 지도록 요구합니다. 점점 더 엄격해지는 글로벌 친환경 규제에 직면하여, 텅스텐 합금 판재 제조업체는 체계적인 환경 규정 준수 관리 메커니즘을 구축하고, 친환경 설계 개념을 강화하며, 제품의 지속 가능한 경쟁력을 종합적으로 강화해야 합니다.

7.5 항공, 원자력, 의료 분야의 품질경영시스템(AS9100, ISO 13485 등)

텅스텐 합금판은 고밀도, 고강도, 고온 저항성, 내방사선성 덕분에 항공우주, 원자력 엔지니어링, 의료 장비 등 주요 산업에서 널리 사용됩니다. 그러나 이러한 산업은 재료의 신뢰성, 안전성, 추적성 및 일관성에 대한 매우 엄격한 요건을 요구합니다. 따라서 텅스텐 합금판으로 이러한 고급 시장에 진출하려는 기업은 AS9100(항공우주), ISO 13485(의료기기), NQA-1(원자력 에너지) 및 기타 표준 시스템과 같은 특정 산업 품질 관리 시스템을 완벽하게 구축하고 준수해야 합니다.

1. AS9100: 항공우주 품질 경영 시스템

1. 표준 소개

AS9100 은 국제항공우주품질그룹 (IAQG) 에서 개발한 항공우주 전문 품질경영시스템 표준입니다. ISO 9001 을 기반으로 항공, 항공우주 및 방위 산업의 고유한 요구 사항을 확장하여 적용합니다. 보잉, 에어버스, NASA, 록히드와 같은 기업들의 공통 글로벌 공급망 표준입니다.

2. 주요 요구 사항

- **제품 추적성** : 텅스텐 합금판의 각 배치에 대한 생산 공정, 원자재 출처, 공정 매개변수 및 테스트 기록은 추적 가능해야 합니다.
- **위험 관리** : 원자재 결함, 공정 편차, 납품 지연 등의 위험을 식별하고 통제합니다.
- **변경 관리** : 제품 설계, 공정 또는 재료에 대한 모든 변경 사항은 엄격하게 승인되어야 합니다.
- **위조 방지 및 간섭 방지 기능** : 위조 및 품질이 낮은 재료가 항공 시스템에 유입되는 것을 방지합니다.
- **지속적인 개선과 고객 만족** : 공급업체와 고객 간의 프로세스 협업과 지속적인 최적화를 강조합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. 텅스텐 합금판 적용의 의의

항공우주 비행 구조물, 위성 균형추, 관성 요소 등의 부품으로 사용되는 경우, 재료 신뢰성, 기계적 특성 및 일관성에 대한 항공 분야의 포괄적인 요구 사항을 충족한다는 것을 입증하기 위해 AS9100 관리를 통과해야 합니다.

2. ISO 13485: 의료기기 품질경영시스템

1. 표준 소개

ISO 13485는 의료기기 제품을 위해 개발된 국제 품질 경영 표준입니다. 의료기기의 설계, 생산, 설치 및 서비스에 참여하는 모든 기업에 적용되며, 특히 **제품 안전, 규정 준수 및 위험 관리**에 중점을 둡니다.

2. 핵심 콘텐츠

- **규제의 일관성** : 전 세계 다양한 시장의 관련 의료 규정(예: EU MDR, US FDA 등)을 준수하도록 제품을 요구합니다.
- **위생 관리 및 오염 방지** : 원자재, 반제품 및 완제품은 생물학적 오염이나 교차 감염을 피해야 합니다.
- **생체적합성 평가** : 텅스텐 합금판이 방사선 치료 장비 보호, 영상 장치 구성 요소 등에 사용되는 경우 인간 환경과의 접촉 안전성을 평가해야 합니다.
- **기록 및 문서 관리** : 세부적인 품질 기록, 추적 정보 및 고객 불만 처리 메커니즘을 수립합니다.
- **위험 관리** : 제품 수명 주기의 설계, 생산, 보관 및 재활용을 포괄합니다.

3. 적용 시나리오

의료용 가속기 보호 부품, X선 차폐 장치, 핵의학 운반 장치 등에 사용되는 합금판은 ISO 13485를 기반으로 한 생산 관리 및 품질 검토 프로세스를 구축해야 합니다.

3. NQA-1 / ASME / RCC-M : 원자력 산업에 대한 품질 요구 사항

1. 원자력 산업 표준 개요

- **NQA-1(Nuclear Quality Assurance)** : ASME(American Society of Mechanical Engineers)에서 개발한 원자력 시설 및 원자력 등급 자재 공급에 대한 품질 보증 기준입니다.
- **ASME Sec III** : 핵에너지 시스템 장비 및 재료의 설계, 제조 및 검사를 위한 기술 표준
- **RCC-M(프랑스 원자력 설비 구조 설계 및 제조 규정)** : 유럽 원자력 프로젝트의 재료 및 구조 평가에 사용됩니다.

2. 텅스텐 합금판의 적용 및 품질 요구 사항

텅스텐 합금판은 일반적으로 핵에너지 분야에서 사용됩니다.

- 원자력발전소 핵심 차폐구조;
- 제어봉 및 중성자 흡수체 구성 요소
- 방사성 물질을 운반하고 저장하는 용기.

3. 주요 품질 관리 요소

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제어 차원	요청 설명
재료 구성	방사성 불순물과 중성자 활성화 물질(붕소, 코발트 등)을 엄격히 제한합니다.
기계적 성질	조사 환경에서 고온 강도 및 크리프 저항성 요구 사항 충족
비파괴 검사	모든 텅스텐 합금판은 UT, RT, 자분탐상검사 등 포괄적인 비파괴검사를 거쳐야 합니다.
파일 무결성	추적 가능한 품질 파일과 제 3 자 평가 보고서는 20 년 이상 보관해야 합니다.

IV. 시스템 통합 및 인증 실무 제안

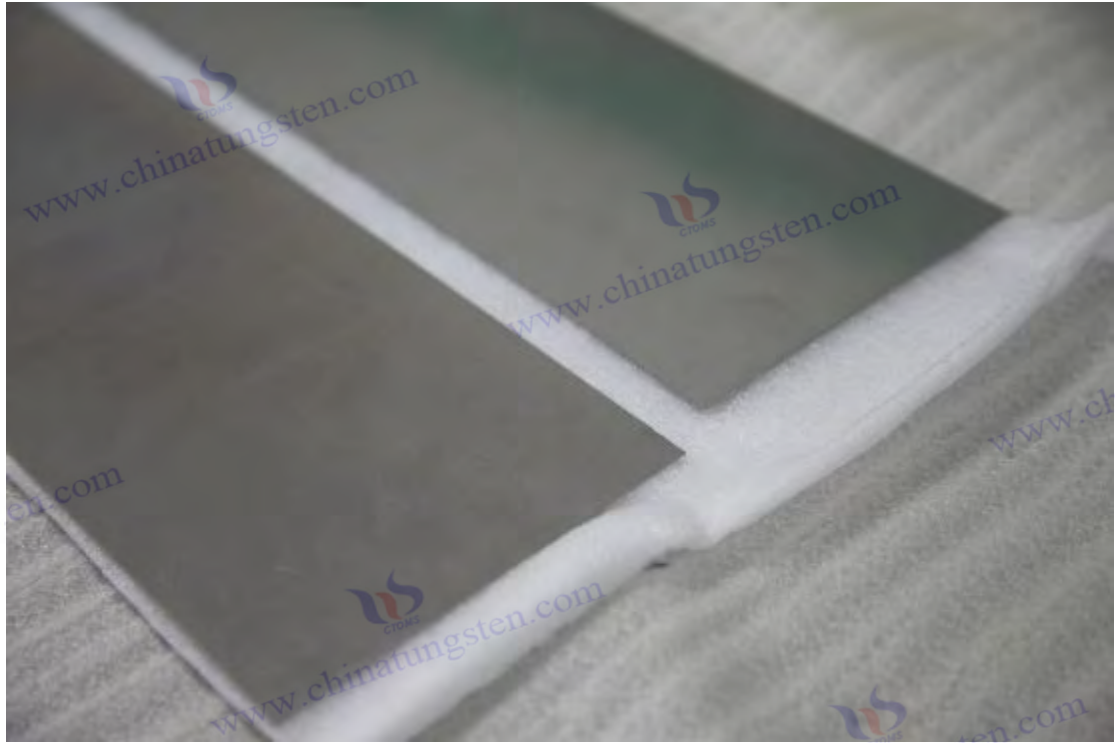
시스템 이름	적용 가능 지역	권장 사례
AS9100	항공우주	전문적인 문서 프로세스 및 엔지니어링 변경 관리 시스템 구축
ISO 13485	의료기기	세척 제어, 공급망 검증 및 생물 안전 평가 최적화
NQA-1 / ASME	원자력 공학	품질기록체계 강화 및 제 3 자 승인 • 인증 • 감독 수용

기업은 ISO 9001 을 일반적인 프레임워크로 활용하고 AS9100 또는 ISO 13485 모듈을 추가하여 관리 효율성을 개선하는 등 **통합 관리 시스템(IMS)**을 통해 표준 통합 및 비용 최적화를 달성할 수 있습니다.

V. 요약

항공, 원자력, 의료 분야의 텅스텐 합금판은 설계, 재료, 제조, 애프터서비스를 아우르는 엄격한 품질 관리 시스템을 갖추고 있습니다. AS9100, ISO 13485, NQA-1 과 같은 표준은 제품 품질의 상징일 뿐만 아니라 국제 시장 진출의 중요한 관문이기도 합니다. 중국 텅스텐 합금 산업이 고급화와 국제화를 달성하려면 시스템 구축부터 시작하여 글로벌 기술 표준에 부합하는 전 공정 품질 보증 체계를 구축해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 8 장 텅스텐 합금판의 포장, 보관 및 운송

8.1 포장재 및 형태(진공포장, 건조제, 트레이포장)

텅스텐 합금 판재는 고밀도, 고부가가치, 그리고 매우 높은 표면 품질 및 정밀성 요건을 갖추고 있습니다. 생산 및 시험 후 포장 과정은 물류 과정의 단순한 단계일 뿐만 아니라 운송, 보관 및 배송 과정에서 제품의 품질 안정성과 외관 무결성을 보장하는 중요한 수단입니다. 텅스텐 합금 판재가 운송 중 산화, 부식, 기계적 손상, 변형 및 기타 문제를 겪지 않도록 하려면 합리적인 포장재 선택, 과학적 포장 형태, 그리고 환경 요인의 효과적인 차단이 필수적입니다.

1. 포장의 기본 원칙 및 목적

텅스텐 합금판의 포장은 다음과 같은 기본 원칙을 따라야 합니다.

- 항산화, 방습, 방진 및 기계적 충격 방지 ;
- 휴대, 쌓기, 운반이 간편합니다 .
- 국제 무역 및 관세 규제 요건을 준수합니다 .
- 명확한 식별 및 강력한 추적 성
- 녹색, 환경 친화적이며 재활용 가능한 재료가 선호됩니다 .

포장은 물류적 필요성을 충족할 뿐만 아니라, 제품 배송 품질 관리 시스템의 일부로 전체 생산 공정 관리에 포함되어야 합니다.

2. 일반적으로 사용되는 포장재 및 그 기능

재료 유형	주요 기능	응용 프로그램 노트
폴리에틸렌 (PE) 필름	방습 및 방진	텅스텐판 표면의 산화 및 입자 부착을 방지하기

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		위해 코팅하는 데 사용됩니다.
진공 알루미늄-플라스틱 복합 필름	방습 및 항산화	장기 보관 또는 수출을 위한 텅스텐 합금판 진공 포장
폼 개스킷/EPE 펄 코튼	쿠셔닝 및 방충 기능	마찰이나 파손을 방지하기 위해 판 사이의 틈새에 놓으세요.
건조제(실리카겔/분자체)	습기 흡수 및 제습	건조한 환경을 유지하려면 밀폐된 포장에 넣어 보관하세요.
목재 팔레트(훈증 또는 무훈증)	지원 및 취급	텅스텐 합금판 완제품 운반, 포크리프트 적재 및 하역, 컨테이너 운송에 편리
밀봉 테이프/스트레치 필름	고정된 외부 포장 구조	시트 미끄러짐 및 포장 균열 방지

3. 텅스텐 합금판의 일반적인 포장 형태

1. 진공 포장

장기 보관, 수출 운송 또는 고객이 표면 품질에 대해 매우 높은 요구 사항을 갖고 있을 때 적합합니다.

- 알루미늄-플라스틱 복합 필름을 사용하여 단일 또는 여러 개의 텅스텐 판을 봉지 안에 밀봉합니다.
- 밀봉하기 전에 건조제(보통 실리카겔, 분자체 또는 활성탄)를 넣으세요.
- -0.08MPa 이상으로 진공하고 열 밀봉합니다.
- 부식 저항성을 향상시키기 위해 가스 대체(질소 등)와 함께 사용할 수 있습니다.
- 외부는 단단한 상자나 나무 상자 보호되어 전체적인 충격을 방지합니다.

장점: 공기와 습기를 효과적으로 차단하고, 텅스텐 판의 밝은 표면의 저장 수명을 연장합니다.

2. 적층 포장(보드간 완충 + 플라스틱 밀봉)

- 각 텅스텐 합금판 사이에 두께 1~2mm의 폼이나 진주면을 놓습니다.
- 전체 스택은 PE 스트레치 필름이나 합성 플라스틱 필름으로 포장됩니다.
- 조건이 허락한다면, 판지를 추가하여 보드 표면의 보호를 강화하세요.
- 수동화된 보드나 단기 운송에 적합합니다.

장점: 완충력이 강하고 조작이 편리하며 비용이 저렴하고 국내 유통에 적합합니다.

3. 팔레트 포장 및 나무 상자 포장

대량 운송에 사용되며, 특히 수출 및 해상 운송 조건에 적합합니다.

- 보드 전체를 나무 팔레트 위에 올려놓습니다(스트랩 테이프로 고정해야 합니다).
- 추가적인 나무 상자 또는 강철 측면 상자 보호;
- 무게에 따라 높은 하중을 지탱할 수 있는 팔레트나 강화된 구조물을 선택해야 합니다.
- 팔레트 바닥에는 지게차가 들어갈 수 있는 구멍이 있어야 적재 및 하역이 용이합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISPM 15 국제 식물위생 기준을 준수해야 하며 열처리 또는 훈증이 없는 재료를 사용해야 합니다.

4. 포장 식별 및 라벨 관리

과학적 포장 라벨 관리는 품질 관리의 한 요소일 뿐만 아니라, 물류 오류와 고객 식별 혼란을 방지하는 중요한 수단입니다. 다음과 같은 기본 정보를 포함해야 합니다.

- 제품명, 사양, 모델, 수량, 배치번호 ;
- 순중량, 총중량, 치수, 포장일자 ;
- 제조업체 이름 및 연락처 정보
- 규정 준수 표시 : RoHS, REACH, MSDS 번호 등
- 교통 표지판 : 방습, 방압, 상향, 중심 등의 아이콘
- 고객 맞춤형 정보 (프로젝트 번호, 주문 번호 등)

바코드나 QR 코드 시스템을 사용하면 지능형 추적 관리를 지원할 수 있습니다.

5. 특수 포장 요구 사항 및 맞춤형 서비스

고급 맞춤형 주문의 경우 일부 고객(원자력 기관, 항공우주 회사, 과학 연구 기관 등)은 다음과 같은 특수 포장 요구 사항을 제시합니다.

- 깨끗한 포장 : 진공 포장은 Class 1000 클린룸에서 완료됩니다.
- 다층 금속 백 진공 보호 : 방사성 보호 물질이 침투하거나 습기를 흡수하는 것을 방지합니다.
- 정전 방지 포장 : 전자 장비용 텅스텐 합금판에 사용됨
- 복합 포장 솔루션 : 다양한 크기의 분류 포장, 슬리브 튜브 고정 구조.

고객 요구 사항에 따른 표준 포장 솔루션 데이터베이스와 맞춤형 포장 대응 메커니즘을 제공합니다 .

VI. 요약

텅스텐 합금판은 제품의 외관 및 안전성뿐만 아니라, 운송 중 재료 품질의 안정성과 고객 만족도에도 영향을 미칩니다. 적절한 포장재, 구조적 형태 및 라벨 관리 시스템을 선택하고, 차별화된 디자인을 고객 산업 특성과 결합함으로써 운송 위험을 효과적으로 줄이고 기업 브랜드 이미지와 수출 역량을 강화할 수 있습니다. 국제 시장 진출의 문턱이 높아짐에 따라 친환경 포장, 지능형 식별 시스템, 표준화된 팔레트 시스템은 텅스텐 합금판 포장 개발의 중요한 방향이 될 것입니다.

8.2 보관환경 요구사항 및 항산화 및 방습 대책

고밀도, 고정밀, 고부가가치 소재인 텅스텐 합금판은 생산 후 보관 과정에서 적절한 관리가 이루어지지 않을 경우 , 환경 습도, 산소 노출, 먼지 오염 또는 온도 변화로 인해 표면 산화, 부식, 치수 팽창 또는 포장 불량 발생하기 쉽습니다. 이는 텅스텐 합금판의 가용성과 고객 만족도에 심각한 영향을 미칩니다. 따라서 단기 및 장기 보관 시 텅스텐 합금판의 품질과 안전성을 보장하기 위해 과학적이고 표준화된 보관 환경 기준과 실용적인 방습 및 산화 방지 대책을 수립하는 것이 매우 중요합니다.

1. 보관환경에 대한 기본 요구사항

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금판은 다음과 같은 관리 지표를 충족해야 합니다.

통제 요인	추천 범위	설명하다
온도	5℃~30℃	급격한 온도 변화, 응축 또는 열 팽창을 방지하세요
상대 습도	≤ 50% 상대습도	상대 습도가 너무 높으면 텅스텐 표면 산화 및 수소 부식이 가속화됩니다.
공기 청정	무진 또는 저먼지 환경 (ISO Class 8 이상)	먼지 입자가 붙는 것을 방지하고 기계적 긁힘 및 전도성 오염을 방지합니다.
직사광선	피하다	UV 노출로 인해 표면 변색이나 재료 노화가 발생할 수 있습니다.
부식성 가스	금지됨 (예: NH ₃ , Cl ₂ , H ₂ S 등)	유황 및 염소 함유 가스는 텅스텐과 천천히 반응합니다.
공기 흐름	통풍은 좋지만 통풍구가 강하지 않음	공기를 건조하게 유지하고 습기가 쌓이는 것을 방지하세요

기업에 조건이 갖추어지면 항온항습 창고 또는 청정 창고를 설치하여 고급 텅스텐 합금판에 대한 장기적이고 정확한 보관 관리를 실현할 수 있습니다.

2. 일반적인 항산화 기술 및 대책

텅스텐 자체는 화학적 안정성이 우수하지만, 텅스텐 합금판(특히 Ni 및 Cu와 같은 결합 금속을 함유한 합금)은 습하거나 산소가 풍부한 환경에서 약간의 산화 또는 전기화학적 부식이 발생할 수 있습니다. 따라서 산화 저항성을 향상시키기 위해 다음과 같은 조치를 취해야 합니다.

1. 표면 패시베이션 처리

- 텅스텐 합금판을 산세척, 알칼리세척 또는 중성세척한 후, 부동태화제를 사용하여 처리한다.
- 표면에 두꺼운 보호막을 형성하여 산소와 물의 반응을 억제할 수 있습니다.
- 일반적인 수동화제로는 구연산, 크롬산염, 인산염 등이 있습니다.
- 특히, 저장 안정성을 향상시키기 위해 공장을 떠나기 전에 완제품을 가공하는데 적합합니다.

2. 진공 또는 질소 밀봉

- 완성된 텅스텐 합금판을 진공 밀봉하거나 질소로 채워 산소와 수증기가 침투하는 것을 방지합니다.
- 매우 높은 평활도와 표면 상태에 대한 요구 사항이 있는 판에 적합합니다.
- 일반적으로 알루미늄-플라스틱 복합백 및 고차단성 필름과 함께 사용됩니다.

3. 마이크로 오일 코팅 방식(실드 오일)

- 보드 표면에 중성 실링 오일을 가볍게 발라 물리적인 절연층을 형성합니다.
- 공기 중의 산소, 수증기, 황화물과의 직접 접촉을 효과적으로 차단할 수 있습니다.
- 사용 전 알코올이나 알칼리성 물로 세척할 수 있습니다.
- 일반적으로 산업용 텅스텐판의 중장기 보관에 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. 습기 조절 대책 및 습도 관리

텅스텐 합금판을 습한 환경에 보관하면 "수증기 흡착-느린 산화"로 인해 표면이 어두워지거나 심지어 입계 부식이 발생하기 쉽습니다. 따라서 포장, 보관 장비, 환경 관리의 세 가지 측면에서 방습 조치를 동시에 시행해야 합니다.

1. 포장 공정에서 건조제를 첨가합니다.

- 실리카겔 팩이나 활성 미네랄 흡착제와 같은 건조 재료를 사용하세요.
- 건조제는 진공백이나 밀폐된 상자에 넣어야 합니다.
- 건조제가 포화 상태인지 정기적으로 확인하고 필요한 경우 교체하세요.

2. 창고 내 습도 조절을 위해 제습기/항습 에어컨을 활용하세요.

- 텅스텐 합금판을 보관하는 공간
- 특히 우기나 비가 많이 오는 기후에서는 24 시간 작동이 필수적이다.
- 특히 밝은 표면의 텅스텐 합금판의 경우 $RH \leq 50\%$ 를 유지하는 것이 중요합니다.

3. 높은 수납공간/방습패드

- 텅스텐 합금판은 **지면** 이나 벽에 직접 닿지 않도록 해야 합니다.
- 팔레트, 선반, 나무 프레임 구조 등을 지지대로 사용하고, 바닥에는 방습 칸막이를 설치합니다.
- 습기와 응축수가 텅스텐 판에 영향을 미치지 않도록 방지하세요.

4. 계층형 스토리지 전략 및 사이클 제어

텅스텐 합금판의 다양한 용도와 보관 기간에 따라 계층적 관리 전략을 수립해야 합니다.

분류	일반적인 용도	권장 보관 방법	권장 보관 기간
고순도 보드	의료, 핵에너지, 전자기기	진공 밀봉 + 건조제 + 항습 챔버	12-18 개월
표준 산업용 보드	금형 및 기계구조물	PE 코팅 + 건조오븐	6-12 개월
임시 이직위원회	내부 처리를 위해	일반 포장, 단기 보관	≤ 3 개월

긴 주기를 가진 플레이트는 사용하기 전에 성능 요구 사항을 여전히 충족하는지 확인하기 위해 표면 상태와 치수 안정성을 정기적으로 검사해야 합니다.

V. 요약

텅스텐 합금판은 체계적인 관리 과제입니다. 재료의 물리적 특성과 합금 조성의 환경 민감성에 주의를 기울이는 것뿐만 아니라, 저장 시설, 기후 조건 및 사용 주기와 결합하여 뛰어난 적응성과 높은 운영성을 갖춘 방습 및 산화 방지 전략을 수립해야 합니다. 고성능 소재의 저장 및 운송에 대한 국제 표준이 지속적으로 향상됨에 따라, 기업들은 공급망 전반에 걸쳐 텅스텐 합금판의 안정성, 신뢰성 및 일관성을 보장하기 위한 완벽한 **저장 위험 평가 메커니즘** 과 **재고 품질 모니터링 시스템** 구축이 시급히 필요합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.3 국내 및 국제 운송 예방 조치 및 규정

비중이 높고 내식성이 뛰어나며 부가가치가 높은 금속 소재인 텅스텐 합금판 운송은 물리적 안전 및 경제적 손실뿐만 아니라 고객 배송 주기, 국제 규정 준수 관리, 브랜드 평판에도 영향을 미칩니다. 특히 국경 간 무역, 항공 운송, 해상 컨테이너 운송과 같은 복잡한 상황에서 운송 방식이나 신고 절차가 표준화되지 않으면 판 손상, 녹, 오신고, 심지어 반품 등의 문제가 발생하기 쉽습니다. 따라서 자재 공급업체, 무역 담당자, 창고 및 물류 관리자는 국내외 텅스텐 합금판 운송 시 주요 예방 조치 및 규제 요건을 숙지하는 것이 매우 중요합니다.

1. 텅스텐 합금판 운송의 기본적인 과제 및 위험

텅스텐 합금판은 운송 중에 주로 다음과 같은 문제에 직면합니다.

- **고밀도 하중 하에서의 변형 및 손상** : 텅스텐 합금판의 밀도는 최대 17~19 g/cm³에 달할 수 있습니다. 장기 운송 중 지지대가 불안정하면 모서리 부분이 눌리거나 휘어지거나 손상되기가 매우 쉽습니다.
- **진동 및 충격으로 인한 표면 긁힘 및 마모** : 트럭 및 선박 선실의 부적절한 묶음으로 인해 판이 서로 마찰되거나 팔레트의 금속에 마찰될 수 있습니다.
- **온도와 습도의 변화로 인해 발생하는 산화, 응축 또는 흡습성 팽창** : 특히 건조 보호 없이 기후대를 통과하여 운송할 경우
- **불완전한 수출 신고서류로 인해 통관 지연이나 반송이 발생합니다** . 세관은 희귀 금속 제품에 대한 관리를 엄격히 하고 있으며, 불규칙한 신고는 억류될 가능성이 높습니다.
- **적용되는 운송 안전 및 환경 규정의 차이** : 예를 들어, 일부 유럽 및 미국 국가에서는 일부 텅스텐 합금을 전략적 또는 군사적 민감 물질로 분류하여 특별 허가가 필요합니다.

2. 국내 운송 시 주의사항

중국 내에서 육로 또는 항공으로 텅스텐 합금판을 운송할 경우 다음 사항에 유의해야 합니다.

1. 포장 안정성 및 적재 제어

- 팔레트는 높은 하중 지지 용량과 균일한 바닥판을 갖춘 견고한 목재 또는 플라스틱으로 만들어야 합니다.
- 텅스텐 합금판을 사용하고 네 모서리에 보호용 코너 랍을 사용합니다.
- 나일론 스트랩, 수축 필름 또는 강철 스트랩을 사용하여 전체 패키지가 미끄러지는 것을 방지하세요.
- 텅스텐 판 위에 다른 무거운 물체를 올려놓아 압착과 변형을 방지합니다.

2. 운송수단 선택 및 경로 평가

- 고가 또는 정밀 텅스텐판의 경우 **특수 차량 배송, 항공 특급 또는 저진동 물류 채널을 우선적으로 이용하는 것이 좋습니다** .
- 장거리 운송 시에는 고온 다습한 계절, 긴 휴가가 집중된 계절, 산악 지역의 울퉁불퉁한 도로 등 위험 지역을 피하십시오.
- SF Express Large Cargo, Deppon Heavy Cargo, Sinotrans Logistics 등 경험이 풍부한 제 3 자 전문 금속 물류 회사와 협력할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. 명확한 라벨링 및 취급 지침

- 포장 겉면에는 "무거운 물건을 들어올리세요", "방습", "거꾸로 뒤집지 마세요"와 같은 아이콘이 인쇄되어 있어야 합니다.
- 팔레트의 총 중량이 500kg 을 초과하는 경우, 지게차나 크레인으로 운반해야 합니다. 수동 강제 하역은 엄격히 금지됩니다.

III. 국제 운송 표준 및 규정 준수 관리

1. 일반적인 수출 운송 방법

운송 수단	적용 가능한 시나리오	특징
해상 운송 (FCL/LCL)	대규모 수출	운송주기가 길고 방습처리가 필요합니다
항공화물 (DHL, FedEx, SF Express)	긴급 주문, 라이트 플레이트	비용이 많이 들고 항공 인증이 필요합니다.
철도/중국-유럽 고속철도	유럽 수출에 경제적이고 실용적입니다.	속도는 중간이며 통관이 필요합니다.
국제 특급 (UPS 등)	소량 샘플	편리한 세관 신고, 제한된 크기 및 무게

2. 세관신고기준 및 코딩분류

팅스텐 합금판은 일반적으로 다음과 같이 중국 세관 코드(HS 코드)에 따라 분류됩니다.

- 8101.99.10 : 텅스텐 합금 판 및 시트(미가공 또는 전가공)
- 8101.99.90 : 기타 텅스텐 제품(합금 함량 및 용도 지정)

수출에 필요한 서류는 다음과 같습니다.

- 제품 송장 및 포장 목록;
- 원산지 증명서(예: EU 또는 RCEP 회원국으로 수출되는 중국 제품)
- 세관 코드 확인 및 상품명에 대한 표준화된 설명
- 군사, 핵 또는 첨단기술 용도가 관련된 경우 수출 허가증 이나 최종 사용 설명서가 필요할 수 있습니다 .

3. 운송 컨테이너에 대한 참고 사항

- 팅스텐 합금판을 적재할 때는 20 피트(20GP) 무게의 캐비닛을 사용하고, 일반 나무 상자에 쌓아 놓거나 쉰 것은 피하세요.
- 장거리 운송 중 충격을 방지하기 위해 각 플레이트 팔레트 사이에 완충 공간을 확보해야 합니다.
- 건조제 팩과 방습 매트를 설치하여 용기 내부의 RH 가 60% 이하가 되도록 하세요.
- "고밀도 중금속 제품" 및 "리프팅 지점 위치"와 같은 라벨을 캐비닛 도어 외부에 부착해야 합니다.

4. 국제 인증 및 운송 안전 규정 준수

제품을 유럽, 미국, 일본, 한국 등 요구사항이 높은 지역으로 수출하는 경우, 다음과 같은 운송 규정 준수 조건에 주의를 기울여야 합니다.

- MSDS 물질안전보건자료 : 텅스텐 합금의 물리적, 화학적 특성과 운송 및 보관 권장 사항을 명시해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- RoHS / REACH 설명 : 제품에 유해한 중금속이나 유기 오염 물질이 포함되어 있지 않음을 인증합니다.
- 운송에 적용되는 규정(비위험물)에 대한 선언 : 대부분의 텅스텐 합금판은 위험물로 분류되지 않지만, 통관을 용이하게 하기 위해 재료 안정성 진술서가 필요합니다.
- UN 포장 마크 또는 비 UN 품목 설명 : 운송되는 품목에 UN 위험물 목록에 있는 품목이 포함되지 않음을 나타내는 데 필요합니다.

IV. 교통 사고 예방 및 보험 제도

텅스텐 합금판은 운송 중 손상, 분실 또는 오배송될 경우 상당한 경제적 손실을 초래하는 경우가 많습니다. 따라서 다음과 같은 위험 대응 체계를 구축하는 것이 좋습니다.

- 공장을 떠나기 전에 사진을 찍고 보관하세요 . 물류 청구의 기초로 완제품의 상태를 기록하세요.
- 전액 운송 보험 : 분실, 손상, 배송 지연 등을 보장하는 "전액 운송 보험"을 선택할 수 있습니다.
- 물류 협력 계약 : 운송 회사와 계약을 체결하여 책임의 경계를 명확히 정의하고 책임의 모호성을 피합니다.
- GPS 물류 추적 시스템을 활용하세요 : 주요 주문에 대한 운송 경로를 실시간으로 모니터링하세요.

V. 요약

텅스텐 합금판은 전체 공급망에서 환경 및 경영적 영향에 가장 취약한 부분 중 하나입니다. 국내에서 국제까지, 포장 방식부터 신고 절차까지, 물리적, 규정 및 고객 경험 측면에서 "안전하고, 규정을 준수하며, 효율적"이라는 점을 보장하기 위해서는 다차원적인 조율이 필수적입니다. 수출 지향 기업의 경우, 성숙한 운송 표준 시스템, 세관 신고서 템플릿 라이브러리, 그리고 물류 위험 대응 메커니즘을 구축함으로써 고객 신뢰와 시장 납품 역량을 크게 향상시킬 수 있습니다.

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

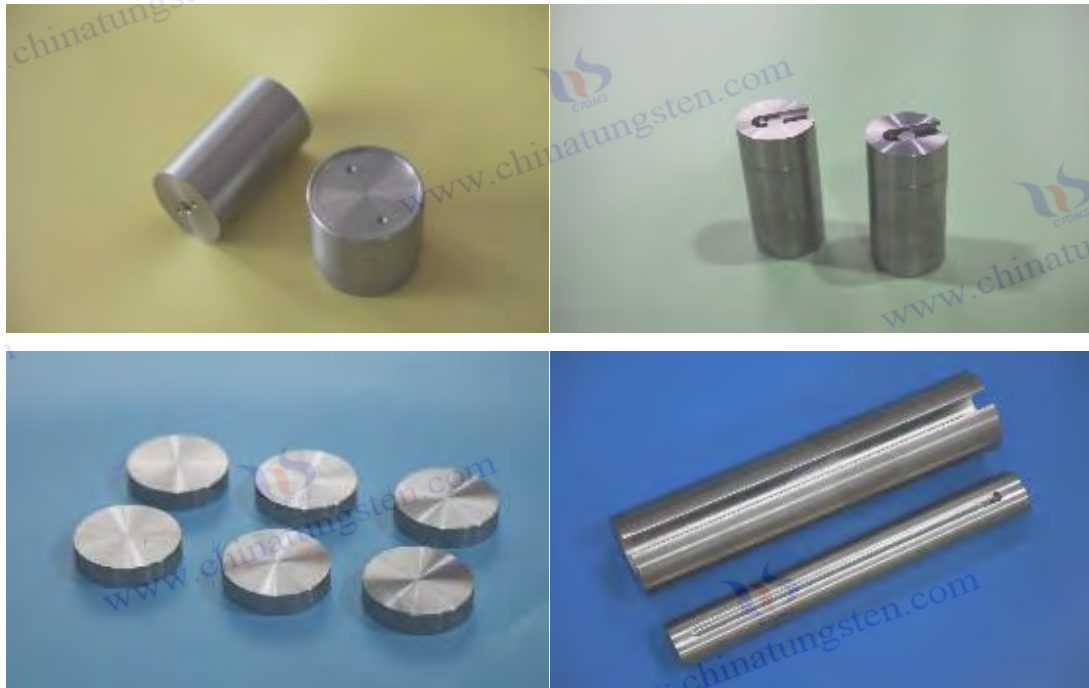
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

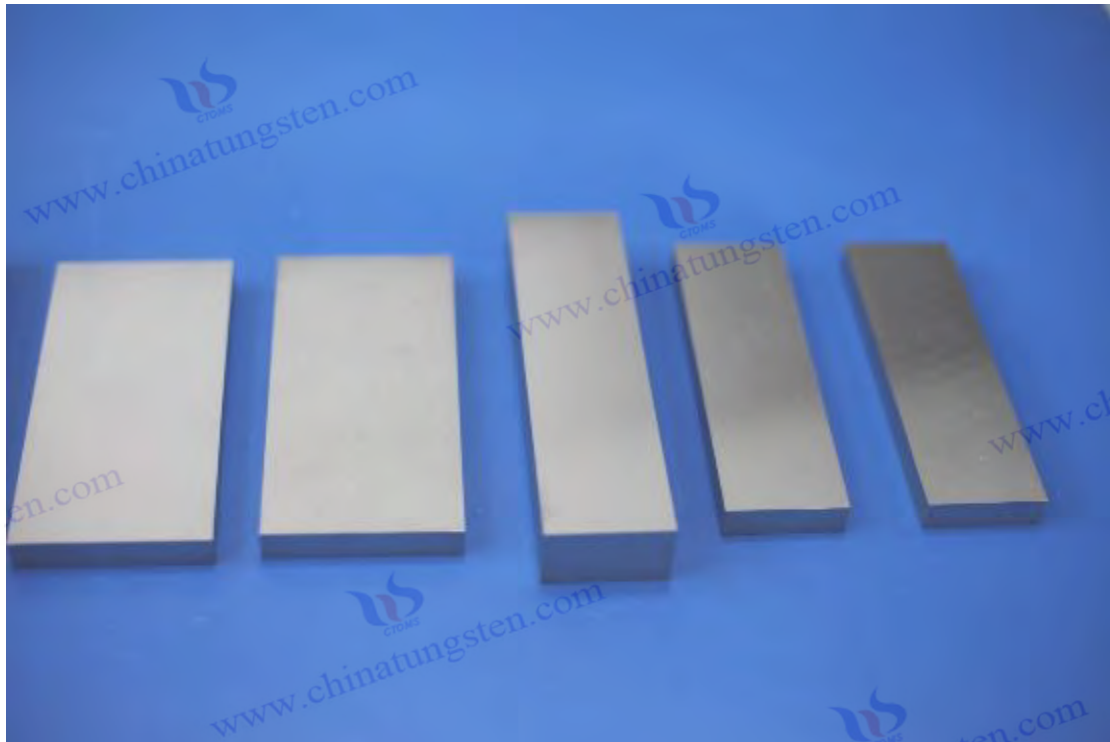
Official website: www.tungsten-alloy.com



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 9 장 텅스텐 합금판 산업구조 및 시장동향

9.1 세계 텅스텐 자원 현황 및 판 가공 체인

텅스텐은 전략적 희소 금속입니다. 높은 녹는점, 밀도, 경도, 그리고 우수한 열적, 전기적, 기계적 특성으로 인해 국방, 항공우주, 원자력, 전자, 의료 등 핵심 분야에서 널리 사용됩니다. 텅스텐 합금판은 텅스텐 심가공 제품의 중요한 구성 요소이며, 텅스텐 소재의 고성능, 구조적, 기능적 응용을 위한 핵심 중간체입니다. 텅스텐 산업 사슬의 발전은 텅스텐 자원의 세계적 분포와 밀접한 관련이 있습니다.

1. 세계 텅스텐 자원 분포 및 매장량 패턴

미국 지질조사국 (USGS) 의 2024 년 통계에 따르면, 전 세계의 확인된 텅스텐 매장량은 약 350 만 톤으로, 매장량은 **지역별 집중도와 국가별** 특징을 보이고 있습니다.

국가/지역	텅스텐 광석 매장량 (10,000 톤)	글로벌 점유율	주요 광산 지역
중국	190	약 54%	다유, 장시, 스주위안, 후난, 루안촨, 허난
러시아 제국	120	약 34%	극동 트랜스바이칼 지역
베트남	9	< 3%	페레이 광산
볼리비아	5	< 2%	오루로 주
다른 국가 (포르투갈, 오스트리아, 한국 등)	5% 미만	더 흩어져	—

중국은 세계 최대 텅스텐 자원 보유국이자 주요 생산국입니다. 중국은 광물 자원의 절반 이상을 점유하고 있을 뿐만 아니라, 전 세계 텅스텐 원료 수출 및 1 차 가공 역

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

량의 70% 이상을 장악하고 있으며, 글로벌 텅스텐 산업 사슬에 중요한 영향을 미치고 있습니다.

2. 텅스텐 광석 자원의 채굴 및 1차 제련 공정

텅스텐은 주로 텅스텐산염 광물에서 발견되는데, 여기에는 울프라마이트(WO_3 함량 높음), 회중석, 텅스텐나이트가 포함됩니다. 산업적 추출 공정은 다음과 같습니다.

1. **채광 및 선광** : 지하 채광 및 노천 채광은 중력 분리, 부유 및 전자기 분리를 통해 고품질 텅스텐 정광을 얻는 데 사용됩니다.
2. **화학적 변환** : 텅스텐 농축물은 알칼리 분해, 산 침전 및 결정화를 통해 **파라 텅스텐산 암모늄 (APT) 또는 텅스텐산 나트륨** 으로 변환됩니다 .
3. **환원 제련** : APT 를 수소로 환원하여 고순도 텅스텐 분말을 생산합니다.
4. **심가공을 위한 분말 준비** : 텅스텐 분말은 입자 크기에 따라 분류되며 분말 야금 프레스이나 고온 주조에 사용됩니다.

이 공정은 텅스텐 합금판 제조를 위한 상류 자원 기반을 구성합니다 .

3. 텅스텐 합금판 생산 체인 구조

텅스텐 합금판은 "광물자원 → 야금 정제 → 합금 설계 → 판 성형 → 표면 처리 → 응용 통합"으로 구성되며, 다음과 같은 링크로 나눌 수 있습니다.

1. 원자재

- APT, 금속텅스텐분말, 텅스텐-니켈-철합금분말, 텅스텐-구리합금분말 등을 포함합니다.
- 높은 순도, 조절 가능한 입자 크기, 양호한 분포 균일성이 필요합니다.

2. 합금화 및 압착

- 몰리브덴과 기타 결합 금속의 비율
- 슬래브는 압축 성형이나 등방성 압축으로 형성됩니다.

3. 소결 및 열처리

- 수소 또는 불활성 분위기에서 고온 소결 ($1300\sim 1600^{\circ}\text{C}$)
- 이후의 2차 가공 공정으로는 열간 압연, 열간 등방성 압축, 진공 처리 등이 있습니다.

4. 플레이트 표면 마감 및 성능 최적화

- 연마, 산세척, 전기 도금, 물리 기상 증착(PVD) 등이 포함됩니다.
- 표면 마감, 열전도도, 산화 저항성 및 기타 특성을 개선합니다.

5. 다운스트림 통합 애플리케이션

- 항공우주 구조부품, 방사선 방호장갑, 방사선 치료용 마스크, 고온진공로 구조부품, 전자냉각부품 등 분야입니다.

4. 텅스텐 합금판의 글로벌 산업 사슬 구분의 특징

텅스텐 합금판은 세계적 분업과 지역적 조정 의 명백한 특성을 반영합니다 .

- **중국** : 채굴, 제련, 합금 및 판 성형을 포함한 가장 완벽한 텅스텐 산업 체인을 보유하고 있으며, 전 세계 주요 공급원입니다.
- **유럽 및 미국 국가** : 고부가가치 응용 분야, 군사 기술 및 시험 표준 시스템에 능숙합니다. 일부 특수 텅스텐 합금판은 수입 또는 맞춤 가공에 의존합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **일본 및 한국** : 정밀 텅스텐 합금 가공, 진공 열처리 및 표면 코팅 기술을 전문으로 합니다. 제품은 고급 전자 및 의료 산업에 사용됩니다.
- **개발도상국** (베트남, 볼리비아 등): 자원은 풍부하지만 가공 역량이 약하며, 주로 원자재 수출 목적지 역할을 합니다.

V. 요약

텅스텐 자원은 텅스텐 합금판 산업의 높은 기준과 높은 기술 수준을 결정합니다. 세계 최대 텅스텐 자원국이자 가공 중심지인 중국은 광산에서 판매에 이르기까지 전 과정에서 우위를 점하고 있지만, **기술 표준 고도화, 하류 수요 다변화, 국제 시장 경쟁 심화 등 여러 과제에 직면해 있습니다**. 이러한 맥락에서 친환경적이고 효율적이며 고부가가치의 텅스텐판 가공 시스템을 구축하고 국제 고급 시장을 확대하는 것이 미래 발전의 핵심 방향이 될 것입니다.

9.2 텅스텐 합금판 시장 용량 및 미래 성장 분석

텅스텐 심가공 제품인 텅스텐 합금판은 뛰어난 물리적, 화학적 특성으로 인해 여러 첨단 분야에서 대체 불가능한 위치를 차지하고 있습니다. 최근 몇 년간, 첨단 글로벌 제조 산업, 군수 산업, 에너지 안보 전략 추진과 의료 및 전자 산업 등 신형 시장 수요 증가에 따라 텅스텐 합금판 시장 규모는 꾸준한 성장세를 보이고 있습니다. 본 섹션에서는 글로벌 시장과 중국 시장의 두 측면에서 텅스텐 합금판의 생산 규모, 수요 구조, 시장 성장 동인 및 향후 발전 추세를 분석합니다.

1. 글로벌 텅스텐 합금판 시장 개요

국제텅스텐산업협회(ITIA)와 여러 시장조사기관의 자료에 따르면, 2024년까지 글로벌 텅스텐 합금판 시장 규모는 약 **14억~16억 달러에 이를 것으로 예상되며**, 연평균 복합 성장률은 **6~8% 가 될 것으로 예상되며**, 다음과 같은 특징을 보일 것으로 전망됩니다.

1. 다각화된 시장 구조

텅스텐 합금판은 국방, 항공우주, 에너지, 의료, 기계 제조, 정밀 전자 등 다양한 분야에서 널리 사용됩니다.

산업	비율(2024년 추정)
항공우주 및 군사	30%
핵에너지와 신에너지	20%
의료 방사선 및 차폐	15%
고온 야금 및 장비 제조	10%
반도체 및 전자 패키징	15%
기타(금형, 과학 연구 등)	10%

특히 방사선 방호판, 방열 구조판, 고온 열장 부품 등에서 텅스텐 합금판은 납, 강철, 구리 등 기존 소재로는 대체할 수 없는 장점을 가지고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. 고부가가치 제품 비중이 증가했다.

응용 분야가 더욱 정밀하고 기능적으로 변화함에 따라 고순도, 고강도, 고밀도 텅스텐 합금판에 대한 시장 수요는 지속적으로 증가하고 있습니다. 나노구조판, 기능성 그래디언트 소재, 코팅 복합재판 등의 제품 비중이 매년 증가하고 있습니다.

2. 중국 텅스텐 합금판 시장 발전 추세

세계 최대 텅스텐 자원 및 생산국인 중국의 텅스텐 합금판 산업은 지난 10년간 “자원 수출”에서 “소재 심층 가공” 산업으로 변모했습니다. 현재 중국의 텅스텐 합금판 시장은 30억 위안(약 4억 달러)을 넘어설 것으로 추산되며, 다음 분야에서 지속적으로 성장하고 있습니다.

1. 고급 장비 제조에 대한 강력한 수요

“하이엔드 제조 2025” 및 “군민 통합”과 같은 국가 전략은 다음 분야에서 텅스텐 합금판의 강력한 성장을 촉진했습니다.

- 초음속 차량의 균형추 및 방열 구조
- 원자력 핵심 보호 및 중성자 흡수판;
- 방사선 치료 및 CT 영상 시스템의 정밀 차폐 구성 요소
- 레이저 가공 장비 및 플라즈마 장비의 열 절연 구성 요소.

2. 생산능력의 급속한 확장과 지속적인 기술 반복

China Tungsten High-Tech, AVIC Matt, Xiamen Golden Heron, CTIA GROUP LTD 등의 기업을 대표하는 주요 기업들은 텅스텐 합금판 분야에 대한 투자를 지속적으로 늘리고 있으며, 다음과 같은 계획을 밝혔습니다.

- 고밀도 분말 야금 판 생산 라인;
- 진공 열간 압연판 생산 라인;
- 표면 코팅 복합 공정 라인;
- 의료용 핵 보호판을 위한 고순도 정밀판 생산 시스템.

이러한 일련의 투자는 국내 시장 공급 능력을 향상시켰을 뿐만 아니라, 국제적인 수출 경쟁력도 강화했습니다.

3. 시장 성장의 핵심 동력

텅스텐 합금판 시장은 주로 다음과 같은 측면에 의해 주도됩니다.

1. 새로운 애플리케이션 요구가 계속해서 생겨나고 있습니다.

예를 들어, 3세대 핵에너지, 핵융합 장치, 항공우주 핵전력, 극한 고온 야금, 전자 칩 패키징용 고열전도도 소재 등은 모두 텅스텐 합금판에 대한 더 높은 성능 요구 사항을 제시하고 있으며, 이에 따라 텅스텐 합금판의 소재 수요도 증가하고 있습니다.

2. 글로벌 제조업 리쇼어링 및 국내 대체 전략

미국, 독일, 일본 등 제조 강국은 첨단 산업의 복귀를 추진하고 텅스텐 기반 기능성 소재를 지속적으로 구매하고 있으며, 중국은 ‘병목 소재’의 국내 대체를 추진하고 핵심 분야의 고성능 텅스텐 합금판 혁신을 가속화하고 있습니다.

3. 녹색 환경 보호 정책으로 인한 소재 업그레이드

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

RoHS 및 REACH 와 같은 환경 규정의 제한에도 불구하고, 텅스텐 합금판은 방사선 보호 및 전자 재료 분야에서 납 대체재로서 확실한 이점을 가지고 있으며, 시장 침투율도 계속해서 증가하고 있습니다.

IV. 향후 5 년간(2025-2030 년) 시장 성장 전망

글로벌 정책 지침, 하루 수요 강도, 기술 발전 속도를 고려할 때, 텅스텐 합금판 시장은 향후 5 년 동안 중간에서 높은 성장 추세를 유지할 것으로 예상됩니다 .

연령	글로벌 시장 규모 (10억 달러)	중국 시장 규모 (10억 위안)	노트
2024	15. 5	30	현재 추정치
2025	16. 8	34	핵에너지와 전자제품에 대한 수요가 크게 증가했습니다.
2026	18. 5	39	의료 및 신에너지가 새로운 생산라인 출시를 촉진합니다.
2027	20. 3	44	다원소 합금 및 지능형 제조 통합
2028	22. 0+	50 세 이상	나노시트와 복합기능소재가 점점 더 대중화되고 있습니다.

그 중에서도 의료용 고밀도 보호 패널 , 초전도 전자 냉각 구조 패널 , 레이저 열 보호 코팅 패널 등 이 가장 빠르게 성장하는 시장 부문이 될 것으로 전망된다.

V. 요약

텅스텐 합금판은 글로벌 고급 제조 산업에서 점점 더 두각을 나타내고 있으며, 특히 전략 소재와 기능성 소재의 교차점에서 핵심적인 역할을 하고 있습니다. 적용 분야가 지속적으로 확대되고, 성능 기준이 지속적으로 향상되며, 친환경 요건이 강화됨에 따라 텅스텐 합금판 시장은 고정밀, 고기능성, 고효율을 지향하는 방향으로 발전할 것입니다 . 산업 체인의 고도화와 글로벌 수요 증가라는 기회를 포착하는 것이 향후 5 년간 텅스텐 합금판 기업의 성공 비결이 될 것입니다.

9.3 CTIA 그룹 유한회사 텅스텐 합금판

CTIA GROUP LTD 는 중국 신텅스텐 합금 소재 분야의 중요한 추진자로서 텅스텐 및 그 합금 심가공 소재의 연구 개발, 생산 및 산업 응용에 주력하고 있습니다. 특히 텅스텐 합금판 분야에서 당사는 체계적이고 완벽한 기술 시스템과 제품 매트릭스를 구축했으며, 강력한 기술 통합 역량, 장비 개발 역량 및 업계 영향력을 바탕으로 국내 고급 텅스텐 합금판 시장에서 중요한 입지를 차지하고 있습니다.

1. 회사 개요 및 전략적 위치

CTIA GROUP LTD 는 “고성능 텅스텐 합금 소재 솔루션 제공업체”로 자리매김하고 있습니다. 중국의 텅스텐 자원, 야금 기술, 분말 야금 장비 등 산업적 우위를 바탕으로 고밀도 텅스텐 합금, 고순도 텅스텐 판, 특수 형상 텅스텐 합금 구조 부품 의 체계적인 개발에 주력하고 있습니다 . CTIA GROUP LTD 의 제품은 항공우주, 원자력 공학, 의료 장비, 고온 장비, 정밀 전자 등 첨단 분야에 광범위하게 활용되고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

회사는 차별화된 경쟁 전략에 중점을 두고 있으며, 다음과 같은 전략적 방향에 중점을 두고 있습니다.

- **고급 텅스텐판 대체** : 핵 차폐판, 정밀 열 제어판, 의료용 보호판 등 수입에 의존하던 텅스텐판 품종에서 국내 혁신을 달성합니다.
- **다양한 맞춤형 서비스** : 고객 요구 사항에 따라 다양한 합금 시스템(예: W-Ni-Fe, W-Ni-Cu, W-Mo-Ti 등)과 판의 크기 사양을 개발할 수 있습니다.
- **지능형 공정 업그레이드**: 분말 가공 - 프레스 - 소결 - 압연 - 마무리를 위한 통합 지능형 생산 라인 구축을 촉진합니다.
- **녹색 제조 및 규정을 준수하는 수출**: RoHS, REACH, ISO14001 등 환경 보호 시스템을 엄격히 준수하고 유럽, 미국, 일본, 한국 등 국제 시장을 위한 품질 채널을 구축합니다.

2. 주요 텅스텐 합금판 제품 시스템

중국 텅스텐 인텔리전스는 주로 다음 유형을 다룹니다.

보드 카테고리	합금 시스템	일반적인 밀도 (g/cm ³)	적용 분야
고비중 텅스텐판	W-Ni-Fe, W-Ni-Cu	17.0~18.5	항공우주, 관성 부품, 균형추
의료용 보호판	W-Ni-Cu 비자성 형	17.0~17.8	방사선 치료 장비, CT 방 사선 방호
원자력 공학 차폐 패널	W-Mo, W-Re	18.0~19.0	원자로 보호, 중성자 흡 수 구조
정밀 방열판	고순도 W 또는 W-Cu	17.5~19.0	마이크로전자 방열판, 패키징 기판
초고온 구조 패널	W-Ti-Cr	18.0~18.8	열장 구성 요소, 반응 장치 라이닝
기능적으로 등급이 매겨 진 플레이트	W-FGM 복합 구 조	디자인 가능	다기능 적층 구조

제품 크기 범위는 두께 0.3mm ~ 50mm, 너비 10mm ~ 300mm, 길이 20mm ~ 1500mm이며, 특수 모양의 판, 천공판, 홈이 있는 판, 코팅된 판 및 기타 구조 부품을 도면에 따라 맞춤 제작할 수 있습니다.

3. 핵심기술 장점

CTIA GROUP LTD의 텅스텐 합금판 분야에서의 기술적 우위는 주로 다음과 같은 측면에서 반영됩니다.

1. 분말 제조 및 등급 관리

- 다단계 환원 텅스텐 분말 제조 공정을 독자적으로 개발했습니다.
- 0.5~10 μm 범위 내에서 입자 크기 제어를 달성하고 사용자 정의된 분포 매개 변수를 지원합니다.
- 다양한 합금 시스템 비율에 따라 활성 분산 메커니즘을 최적화합니다.

2. 다중 프로세스 경로 형성 기능

- 압축 성형: 일반 크기와 대량 생산에 적합함
- 등방성 압착: 높은 밀도와 복잡한 형상이 필요할 때 사용됨

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 열간압연 + 진공소둔: 판의 균일성과 가공 성능을 향상시킵니다.
- 표면 연삭/산세척/진공 PVD 복합 처리로 열전도도 및 내식성 등 다양한 성능 요구 사항을 충족합니다.

3. 지능형 생산 시스템

- 전체 생산 공정에 걸쳐 데이터 추적성을 확보하기 위해 MES 관리 시스템을 도입합니다.
- 자동적인 판 결함 이미지 인식 시스템을 구축합니다.
- 보드의 순도를 향상시키기 위해 자체 개발한 저산소 함량 보호 장치입니다.

IV. 산업 협력 및 시장 적용 성과

CTIA GROUP LTD의 텅스텐 합금판은 다음을 포함한 많은 주요 국내 프로젝트와 기업 프로젝트에 널리 사용되었습니다.

- 중국항공과학기술공사와 공동으로 관성 균형추용 초고밀도 플레이트를 개발했습니다.
- CGN 및 CNNC 엔지니어링에 핵 등급 차폐판 제공
- 상하이 유나이티드 이미징, 마인드레이 메디컬 등의 의료 장비 제조업체에 텅스텐 합금 보호판을 공급합니다.
- Huawei, BYD Electronics 등에 열전도성 텅스텐판 및 방열 복합 구조 부품을 공급합니다.

V. 개발 과제 및 전망

CTIA GROUP LTD는 국내 시장에서 탄탄한 입지를 구축했지만 앞으로도 다음과 같은 과제에 직면할 것입니다.

- 고순도 원자재는 수입에 의존하므로 비용 제약이 따릅니다.
- 테스트 시스템과 기술 장벽 측면에서 우리와 국제적 거대 기업 사이에는 여전히 격차가 있습니다.
- 중성자 흡수, 고주파 열방출 등 특수 분야의 기초 연구를 강화해야 합니다.

이를 위해 회사는 다음과 같은 방향에 집중할 것입니다.

- 비용 절감 및 위험 통제를 위해 고순도 분말 생산 라인을 자체적으로 구축합니다.
- 텅스텐 기능성 판의 최첨단 연구 개발을 촉진합니다.
- 최종 고객과의 맞춤형 협업을 강화하고 "텅스텐판 + 가공 + 포장 + 응용"의 통합 솔루션을 개발합니다.

VI. 요약

텅스텐 합금 판재 산업의 선두주자인 CTIA GROUP LTD는 전통적인 소재 제조업체에서 종합 솔루션 제공업체로 성장하고 있습니다. 제품 라인, 공정 역량, 그리고 애플리케이션 개발의 지속적인 최적화를 통해 국내에서 생산되는 고성능 텅스텐 판재의 전반적인 품질을 향상시켰을 뿐만 아니라, "중국 생산 능력 + 중국 스마트 제조" 전략을 통해 글로벌 텅스텐 합금 판재 산업에 새로운 활력을 불어넣었습니다.

9.4 원자재 가격, 에너지 가격 및 플레이트 가격 간의 연관성 분석

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금판은 상류 원자재 가격 변동, 에너지 소비 비용, 제조 공정의 복잡성, 그리고 하류 수요 변동의 영향을 동시에 받습니다. 그중에서도 원자재(텅스텐 분말, 바인더 금속), 에너지(전기, 분위기 가스), 설비 투자, 그리고 인건비는 텅스텐판의 비용 구조에서 핵심적인 위치를 차지합니다. 본 연구에서는 텅스텐 합금판 가격 형성의 내부 메커니즘을 심층 분석하고, 원자재 및 에너지 가격 변동이 텅스텐 합금판 시장 가격에 미치는 영향 경로와 반응 주기를 살펴봅니다.

1. 텅스텐 합금판의 비용 구조 분석

일반적으로 텅스텐 합금판의 제조 비용은 다음과 같은 부분으로 구성됩니다.

비용 구성 요소	백분율 범위(일반적인 추정치)
원자재비(APT, 텅스텐분말, Ni/Cu/Fe)	45% ~ 60%
에너지 소비량(전기, 수소, 불활성가스)	10% ~ 20%
공정 제조 및 장비 감가상각	10% ~ 15%
노동 및 관리 비용	5% ~ 10%
표면처리 및 품질검사	5% ~ 10%

원자재 가격 과 에너지 소비량 이 텅스텐 합금판의 가격 변동을 지배하는 주요 변수 라는 것을 알 수 있습니다 .

2. APT 와 텅스텐 분말 가격의 판 가격으로의 전달 메커니즘

1. 상류 원자재 가격 변동의 영향 경로

텅스텐 합금판은 주로 APT(파라텅스텐산 암모늄)로 구성되며, 이를 수소로 환원시켜 텅스텐 분말을 얻고, 여기에 Ni, Cu 및 기타 결합 금속을 첨가합니다. APT 가격은 텅스텐 정광 가격과 밀접한 관련이 있으며, 일정한 주기성과 급격성을 보입니다. 텅스텐 분말 가격 변동은 다음과 같은 경로를 통해 텅스텐 합금판 최종 가격에 반영됩니다.

텅스텐 정광 가격 ↑ → APT 가격 ↑ → 텅스텐 분말 가격 ↑ → 합금 분말 가격 ↑
→ 판재 단가 상승

약 2~4 주 정도의 지연 기간이 있지만, 장기적인 추세 변화인 경우 제조업체에서는 분기/연간 조달 계약을 체결하고 재고 전략을 조정하여 위험을 줄이는 경우가 많습니다.

2. 금속 가격의 결합 시너지

- 니켈(Ni) 가격은 폭넓게 변동하며 최근 몇 년 동안 신에너지(배터리) 수요에 따라 상당한 영향을 받았습니다.
- 구리(Cu)와 철(Fe)의 가격은 산업용 금속의 순환적 변동에 더 가깝지만, 전체적인 변동은 텅스텐 분말보다 영향이 적습니다.

바인더 금속의 가격 변동은 텅스텐 분말의 가격 변동만큼 극심하지는 않지만, 벌크 합금판(예: W-Ni-Cu 시스템)의 변동은 최종 가격에도 상당한 영향을 미칩니다.

3. 에너지 가격이 시트 생산 비용에 미치는 영향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금판 제조는 에너지 집약도가 매우 높은 공정으로, 주요 에너지 소비는 다음 부분에 집중되어 있습니다.

- 수소 보호 분위기에서의 소결 단계 ;
- 열간압연 및 열처리에는 고온 전기로가 필요합니다 .
- 냉간 가공 및 표면 처리에 압축 공기, 냉각수 및 전해질 유지 관리가 필요합니다 .

텅스텐판 가격의 에너지는 다음과 같습니다.

전기 및 수소 가격 ↑ → 판금 단위 에너지 비용 ↑ → 판금 생산 한계 비용 ↑ → 시장 가격 상승

예를 들어 2022 년부터 2024 년까지 중국 일부 성의 산업용 전기 가격 변화를 살펴보면, 전기 가격이 15%~30% 인상되면 텅스텐 합금판의 단위 에너지 소비 비용이 3%~5% 증가할 수 있습니다. 특히 진공 전기로와 정수압 압착 소결 공정을 사용하는 기업의 경우 더욱 그렇습니다.

4. 텅스텐 합금판 가격 변동 주기 및 시장 연계성

일반적인 특성을 보입니다 .

1. 순환형: 원자재 순환과 산업재고의 중첩효과

- APT 나 텅스텐 분말이 상승 채널에 진입하면 기업들은 사전에 재료를 준비해야 하므로 판재 가격이 상승하게 됩니다.
- 하류 수요가 부족하고 재고가 쌓이면, 플레이트 가격은 지연되어 하락하게 됩니다.

2. 구조형 : 고급형 패널과 일반형 패널의 가격 차별화

- 고순도, 고밀도, 박판, 소형 맞춤형 판은 변동폭이 크고 노동력 및 에너지 소모에 더 큰 영향을 받습니다.
- 표준 패널은 규모의 경제성이 강하고 가격이 비교적 안정적이어서 업계 기준 가격이 되기 쉽습니다.

3. 지역적: 국가마다 가격 전달 메커니즘이 다릅니다.

- 중국은 주로 원가 기반 가격 책정 방식을 사용하며, 가격은 APT 와 에너지 간의 연계성에 따라 크게 영향을 받습니다.
- 유럽과 미국 기업은 장기 공급 계약과 기능적 가격 책정(예: 방사선 차폐 효율성에 따른 가격 책정)을 채택하는 경향이 있어 가격 변동이 더 "둔감"합니다.

5. 요약 및 추세 전망

원자재가 주도적인 역할을 하고, 에너지가 시너지 효과를 발휘하며, 시장이 규제 역할을 하는 삼중 연계 관계를 반영합니다 . 향후 5 년 동안 전 세계 텅스텐 자원 관리 전략 강화와 전기 및 수소 가격의 지속적인 고가 유지로 인해 텅스텐판 가격은 "고수준 변동 및 구조적 차별화" 패턴 내에서 변동을 지속할 것으로 예상됩니다.

텅스텐 합금판 제조업체는 다음을 수행해야 합니다.

- APT 및 텅스텐 분말의 구매, 협상 및 비축 능력을 강화합니다.
- 공정 에너지 효율성과 장비 자동화 비율을 개선합니다.
- 기능적 가격 책정과 차별화된 제품 전략을 통해 가격 위험을 피하세요.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이런 방법을 통해서만 우리는 불안정한 자원 및 에너지 환경에서 안정적인 수익을 달성하고 시장 위험 저항성을 강화할 수 있습니다.

9.5 기술 장벽 및 산업 체인 심층 개발 전략

고급 금속 기능성 소재의 대표적인 텅스텐 합금판은 원자력 방호, 항공우주, 의료 장비, 정밀 전자, 고온 제조 등 성능, 정밀성, 일관성, 신뢰성에 대한 요구가 매우 높은 분야에서 널리 사용됩니다. 따라서 이 분야에는 상당한 기술 장벽과 진입 장벽이 존재합니다. 동시에, 글로벌 산업 체인은 고정밀, 맞춤화, 친환경화를 향해 확장되고 있으며, 이는 상류, 중류, 하류의 통합적인 조정 역량에 더 큰 과제를 제기합니다. 이 섹션에서는 기술적 한계점, 핵심 공정의 어려움, 상류 및 하류 조정 메커니즘, 국내 대체 병목 현상, 심층적 개발 경로의 관점에서 텅스텐 합금판 산업의 주요 장벽과 전략적 대응 계획을 분석합니다.

1. 텅스텐 합금판의 핵심 기술장벽 분석

텅스텐 합금판은 야금, 열공학, 재료과학, 표면공학 등 여러 학문 분야가 융합된 기술입니다. 텅스텐 합금판의 기술적 장벽은 주로 다음과 같은 측면에서 나타납니다.

1. 원료 순도 및 분말 제어 기술

- 고성능 텅스텐 합금판 생산은 고순도 APT를 기반으로 해야 하며 불순물(Mo, Si, P, O, C 등)은 ppm 수준으로 제어되어야 합니다.
- 분말 입도 분포는 $1\sim10\mu\text{m}$ 범위 내에서 정밀하게 제어되어야 합니다. 다양한 입자 크기는 치밀화 속도, 소결 밀도, 그리고 조직 균일성에 상당한 영향을 미칩니다.
- 분말 활동 제어(표면 산소 함량 등)는 시트의 연성 및 소결 수축 제어와 직접 관련이 있습니다.

2. 소결 및 고밀도화 기술

- 고온, 고압 등방성 소결 장비는 비용이 많이 들고 제어하기 복잡합니다.
- 수소 보호 분위기의 제어에는 산소 전위, 유량 및 열장 분포의 정밀한 조정이 필요합니다.
- 특수 형상의 판이나 초대형 판의 경우, 소결 변형 제어가 어렵고 응력 균열의 위험이 있는 등의 문제가 있습니다.

3. 판 압연 및 열처리 공정

- 텅스텐 합금은 매우 좁은 열간 압연 창을 초래하여 가장자리 균열, 뒤틀림, 거친 입자와 같은 결함이 발생하기 쉽습니다.
- 냉간 압연은 응력 집중으로 인한 균열을 방지하기 위해 중간 어닐링과 결합되어야 합니다.
- 의료용 패널과 같은 고부가가치 시장에서는 시트 두께, 평탄도, 허용오차($\pm 0.02\text{mm}$ 이내)를 정밀하게 제어하는 것이 필수적입니다.

4. 표면처리 및 복합기능 제어

- 고온 산화, 표면 거칠기 제어, 전기 도금/코팅 접착력에 대한 높은 요구 사항;
- 기능적 등급 패널과 다층 복합 패널 기술은 아직 시범 단계에 있으며 대규모로 상용화되지 않았습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 표면 활성 조절(친수성/소수성, 방사선 저항성)은 여전히 수입 고성능 멤브레인 소재에 의존하고 있습니다.

2. 텅스텐 합금판 산업 사슬 심화의 주요 병목 현상

1. 원자재 링크의 병목 현상

- 고순도 APT와 고효율 텅스텐 분말의 생산은 여전히 몇몇 선도 기업에 집중되어 있으며, 원료의 순도와 안정성은 하류 제품의 수율에 큰 영향을 미칩니다.
- 바인더 금속(Ni, Re, Mo 등)은 대부분 수입되거나 소량 제련에 의존하며, 가격에 민감하고 공급망이 취약합니다.

2. 첨단 장비는 수입에 의존

- 고온진공소결로, 정밀압연기, 플라즈마 PVD 시스템, CT 비파괴검사장비 등 핵심공정장비 대부분은 유럽, 미국, 일본, 한국 등에서 수입에 의존하고 있으며, 이로 인해 장비 유지보수 주기가 길고, 기술적 비밀 유지가 어렵고, 업그레이드 비용이 높은 등의 문제점이 있습니다.

3. 불완전한 품질 관리 시스템

- 고급 고객(원자력, 군수 산업, 의료)은 일관성과 배치 간 안정성에 대한 요구 사항이 매우 높지만 일부 국내 기업의 품질 시스템은 이에 미치지 못합니다.
- 표준화된 비파괴 검사 플랫폼과 고정밀 물리적 시뮬레이션 시스템이 부족합니다.

3. 국제 비교: 기술 격차와 혁신 방향

프로젝트	유럽, 미국, 일본, 한국(대표 기업)	중국 현황(대표 기업)	갭 방향
플레이트 순도 및 조직 균일성	플랜시, 토소, 히타치	CTIA GROUP LTD 제조	입자 크기 일관성 및 소결 밀도 제어
복합 구조 패널 및 기능 통합	도시바, 물리웍스	그 중 대부분은 실험적이거나 군사적 프로젝트입니다.	PVD 코팅, FGM 기술
정밀 검사 및 시험 시스템	GE, 브루커, 자이스	일부 수입품에 대한 의존도	고급 CT/NDT 장비
군사/핵 품질 인증 시스템	완벽함 (AS9100, MIL-SPEC, ISO13485)	진행 가속화	대부분은 아직 매칭 및 전환 단계에 있습니다.

4. 텅스텐 합금판 산업사슬의 심층적 발전 전략에 대한 제안

1. 상류 확장: 고순도 텅스텐 분말 및 고급 바인더 금속의 자립화 구축

- 텅스텐 자원 심층 가공 역량의 통합을 촉진하고 APT 정제 및 다단계 환원 역량을 강화합니다.
- 희귀 및 귀금속 미량합금 소재(Re, Ta 등) 국내 생산라인 구축 지원
- 텅스텐 기반 합금 분말의 완전한 생산 시스템을 구축하여 입자 크기/순도/유동성을 통합적으로 제어합니다.

2. 중류 돌파구: 지능화 생산기술과 핵심장비 자체개발

- 소결-압연-냉간가공-열처리의 폐쇄 루프 조절을 실현하기 위한 지능형 제어 시스템 도입

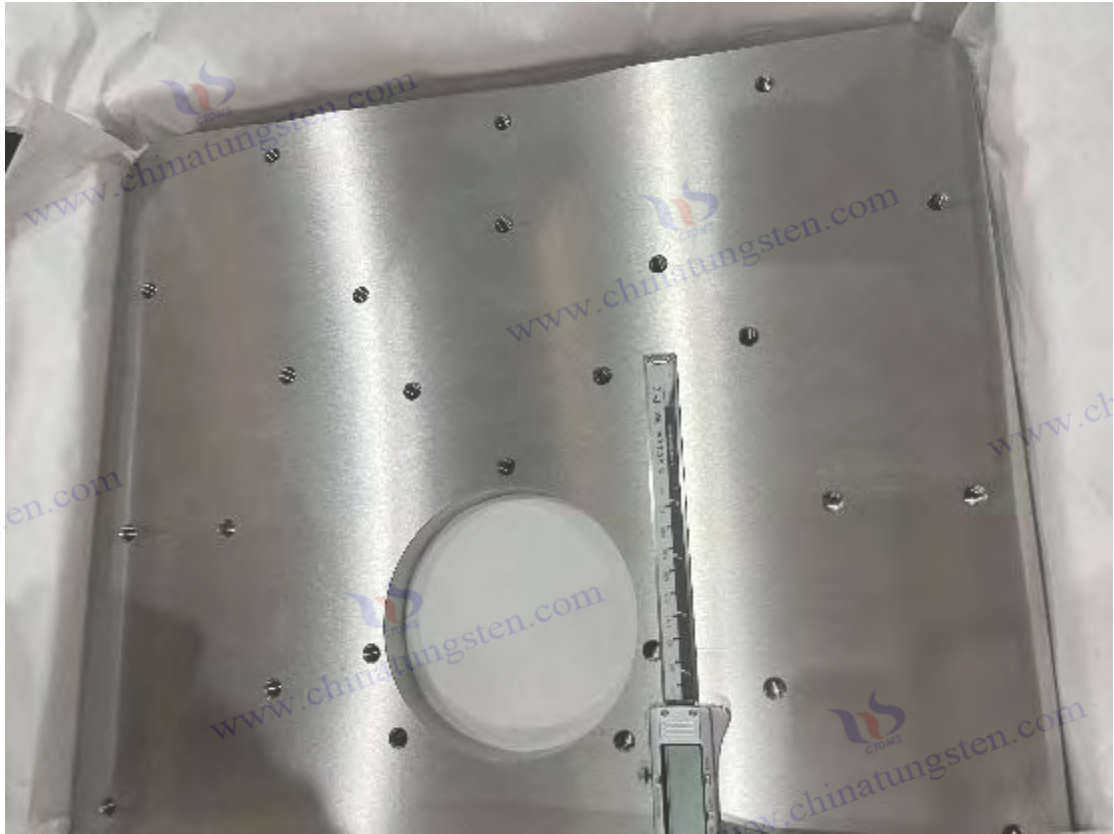
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 등압압축/진공소결로의 국산화 대체 문제를 극복하고 설비의 디지털 통합을 추진합니다.
 - 신소재의 일괄 생산 검증을 가속화하기 위해 “생산라인 수준의 파일럿 + 고객 협업 테스트” 플랫폼을 구축합니다.
3. **다운스트림 협업: 기능 패널 개발 및 최종 사용자와의 공동 혁신**
- 전자, 원자력, 의료장비 기업을 긴밀히 통합하고, “성능 일체화 + 구조적 경량화 + 정밀 매칭”을 중심으로 맞춤형 제품을 개발합니다.
 - 원자재부터 텅스텐 합금판, 반제품 장치 또는 조립 장치까지 통합된 납품 역량을 개발합니다.
 - 디지털 품질 추적 시스템을 홍보하고 재료, 제품 및 응용 프로그램의 전체 수명 주기를 추적할 수 있는 기능을 구축합니다.
4. **표준 시스템 및 인재 프로젝트 구축**
- 분말-시트-복합 구조의 전체 사슬을 포괄하는 기술 표준 및 테스트 사양을 공식화합니다.
 - 텅스텐 재료 과학, 표면 공학, 물리적 시뮬레이션 등을 다루는 복합재 R&D 팀을 구성합니다.
 - 대학, 연구기관, 기업이 공동으로 “텅스텐 합금판 첨단 제조기술 연구센터”를 건설하도록 장려합니다.

V. 요약

텅스텐 합금판 산업은 “자원 기반 우위”에서 “기술 주도”로의 전환을 달성해야 하며, 고순도 원료, 고밀도 소결, 기능성 복합재, 표면 엔지니어링, 정밀 가공 등 일련의 기술 장벽을 돌파하고 산업 사슬 전반에 걸쳐 협력적 혁신을 추진해야 합니다. 산업 사슬의 심층적 통합, 지능형 제조 시스템 도입, 그리고 표준 체계의 개선을 통해서만 치열한 글로벌 시장 경쟁 속에서 “중국산” 텅스텐 합금판의 브랜드 경쟁력과 전략적 주도성을 구축할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 10 장 텅스텐 합금판의 연구 프런티어 및 개발 방향

10.1 초고밀도 텅스텐 합금판의 고밀도화 메커니즘

원자력 에너지 보호, 고에너지 입자 흡수, 관성 평형추, 고정밀 의료 장비 등 분야에서 재료 밀도에 대한 극한의 연구가 진행됨에 따라, 초고밀도 텅스텐 합금판(밀도 $\geq 18.5 \text{ g/cm}^3$)이 텅스텐 소재 연구의 새로운 초점으로 떠오르고 있습니다. 텅스텐 자체는 매우 높은 고유 밀도(19.25 g/cm^3)를 가지고 있지만, 합금화 및 판 성형 과정에서 조직 기공, 불순물 혼입물 또는 불합리한 결합 금속 비율 등의 요인으로 인해 최종 제품 밀도가 이론값보다 낮은 경우가 많습니다. 텅스텐 합금판의 **궁극적인 고밀도화(거의 완전 고밀도화)**를 달성하는 것은 고급 텅스텐판의 산업적 적용에 있어 주요 과제 중 하나입니다.

이 섹션에서는 텅스텐 합금판 고밀도화의 미시적 메커니즘, 영향 요인, 주요 방법 및 최신 연구 진행 상황을 체계적으로 논의합니다.

1. 고밀도화의 기본 원리 및 정의

고밀도화는 분말야금 성형 공정 중 가열과 가압을 통해 입자 사이의 기공을 제거하고 원자 사이의 거리를 줄이는 과정을 말하며, 이를 통해 재료의 부피 밀도와 구조적 무결성을 개선합니다.

****상대 밀도****는 텅스텐 합금판의 품질을 측정하는 중요한 지표입니다. 계산 방법은 다음과 같습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

밀도 (%) = 실제 밀도 / 이론 밀도 × 100%

텅스텐 합금판에서 이론적인 밀도는 텅스텐과 결합 금속(예: Ni, Cu)의 비율에 따라 달라지지만, 실제 밀도는 입자 형태, 소결 수축, 잔류 기공과 같은 요인의 영향을 받습니다.

2. 밀도화 과정의 미시적 메커니즘

1. 분말 입자 재배열 및 접촉 최적화

압착 공정에서는 성형이나 등방압 압착을 통해 입자 사이의 틈을 최소화하고, 입자 사이의 접촉각을 최적화하며, 예비적인 구조적 틀을 형성합니다.

2. 표면 확산 및 넥 형성

가열이 시작되면 입자 표면에서 확산이 일어나 "소결 넥"이 형성되고, 원자는 표면을 따라 저에너지 영역으로 이동하여 기공을 수축시킵니다.

3. 입자간 결합 및 체적 확산

고온 단계에서는 결정립계 확산과 체적 확산이 일어나고, 기공이 수축되고, 입자 사이에 금속간 결합이 형성되고, 점차 치밀한 구조가 확립됩니다.

4. 모공 폐쇄 및 수축

추가 소결 단계에서는 닫힌 기공이 가스를 외부로 확산시키고, 미세기공이 수축하며, 조직이 균질해지고, 이론 밀도에 가까운 미세 구조가 형성됩니다.

3. 고밀도화에 영향을 미치는 주요 요인

1. 분말 특성

- **입자 크기 분포** : 미세한 분말은 고밀도화에 더 도움이 되지만 쉽게 산화됩니다. 거친 분말은 소결 활동을 감소시킵니다.
- **형태 및 구조** : 구형 분말은 유동성이 좋으므로 압착 및 성형에 적합하며 밀도가 균일합니다.
- **산소 함량 및 불순물** : 산소 함량이 높으면 WO_3 잔류물이 형성되어 밀도 증가를 방해하고 조직 안정성에 영향을 미칩니다.

2. 바인더상 비율

- Ni 및 Cu와 같은 금속을 결합 단계로 사용하면 밀도와 가소성을 크게 향상시킬 수 있지만 비율이 너무 높으면 최종 밀도가 감소합니다.
- 최적의 비율을 위해서는 보드의 강도, 연성, 밀도를 균형 있게 설계해야 합니다.

3. 억제압력 및 방법

- 성형압력을 150~300MPa로 조절하면 양호한 초기밀도를 얻을 수 있다.
- 등방성 압축(CIP)은 성형 방향성을 효과적으로 제거하고 밀도의 일관성을 개선할 수 있습니다.

4. 소결 온도 및 분위기

- 텅스텐 합금판은 1350~1550° C이며 고순도 수소 또는 진공 환경에서 수행해야 합니다.
- 소결 시간은 기공 폐쇄와 미세구조 균일성에 영향을 미칩니다.

5. 후처리

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 열간 등방성 압축(HIP)은 소결 후 밀도화 속도를 더욱 향상시킵니다.
- 중간 압연 + 재소둔은 미세기공을 제거하고 결정립 밀도를 개선하는 데 도움이 됩니다.

4. 고밀도화 수준을 향상시키기 위한 주요 기술 경로

기술 경로	장점	핵심 포인트
CIP	균일한 압력과 복잡한 형상에 대한 높은 허용 오차	고강도 금형 + 정밀 분말 포장 기술
액상 소결	확산을 돕기 위해 낮은 녹는점의 결합 금속을 추가합니다.	결합 금속 비율 제어 + 온도 창 최적화
열간 등방압 가압(HIP)	잔류 미세기공을 제거하고 미세 균일성을 향상시킵니다.	고온 고압 환경 제어 + 기밀 캐비티 설계
나노파우더 균질화 + 초미분	확산 속도를 높이고 목 형성 효율을 향상시킵니다.	나노 응집 제어 + 산화 억제를 위한 표면 처리
다중 냉간 압연 + 중간 어닐링	다공성을 줄이고 질감 밀도를 향상시킵니다.	제어된 변형률 + 잔류응력 해소
레이저 재용융/일렉트로슬래그 재용융 및 기타 새로운 공정	표면 밀도화 + 미세 구조 리모델링	열 입력 균일성 + 표면 입자 제어

5. 최신 연구 및 미래 방향

1. 다중 스케일 소결 모델링

유한요소법(FEM), 분자동역학(MD), 위상장 시뮬레이션(Phase-Field) 및 기타 기술을 사용하여 텅스텐 합금판의 소결 과정에서 기공 진화 및 응력 전도 경로를 시뮬레이션하고 밀도화 경로를 최적화합니다.

2. 신속한 통합 기술(예: SPS)

스파크 플라즈마 소결은 열 효과가 높고 압축률이 높으며, 단시간 내에 이론 밀도에 가까운 밀도를 달성할 수 있다는 장점이 있어 텅스텐 판의 신속한 제조 및 실험적 선별에 적합합니다.

3. 고밀도 복합 구조 패널 개발

다양한 특성의 균형을 이루기 위해 구배 밀도 구조를 개발하고, 샌드위치 텅스텐 합금판(중양은 밀도가 높고 표면은 인성이 높음)이나 코팅판을 사용합니다.

4. 고밀도화 + 저변형 공정 경로 연구

중저온 고압 예비소결을 2차 진공 어닐링, 보조 가압 소결 등의 복합 공정과 결합함으로써 초고밀도와 변형 안정성 간의 모순을 해결하여 초대면적 판재 제조에 적합합니다.

VI. 요약

텅스텐 합금 판재는 구조적 강도, 내방사선성, 열 관리 특성을 향상시키는 핵심 경로일 뿐만 아니라, 텅스텐 합금 가공 기술의 핵심 경쟁력을 나타냅니다. 앞으로도 고밀도화 메커니즘에 대한 심층적인 연구를 통해 분말 특성 제어, 소결 물리적 모델, 복합재 프레스 공정 등 핵심 기술 분야에서 기술적 혁신을 촉진하여 극한 환경 및 고성능 장비에서 텅스텐 합금 판재의 폭넓은 적용을 가능하게 할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.2 적층 제조 및 지능형 텅스텐 합금판

제조업이 전통적인 일괄 처리 방식에서 디지털화, 맞춤화, 그리고 지능화로 진화함에 따라, 적층 제조(AM) 기술은 텅스텐 합금을 포함한 고성능 소재 시스템에 점차 적용되고 있습니다. 특히 복잡한 구조, 맞춤형 요구 사항, 그리고 높은 성능을 요구하는 텅스텐 합금판 부품의 경우, AM은 기존 공정의 한계를 극복하는 새로운 길을 제시합니다. 더 나아가, 인더스트리 4.0의 발전과 함께 지능형 센싱, 데이터 기반 개발, 그리고 폐쇄 루프 제어를 통합하는 지능형 제조 시스템은 텅스텐 합금판의 차세대 생산 패러다임을 구축하고 있습니다.

이 섹션에서는 지능형 기술과 적층 제조 기술이 텅스텐 합금판 분야에 가져온 파괴적 변화에 대해 적층 제조 기술 원리, 텅스텐 합금판의 적응성, 지능형 제조 시스템 통합 및 산업 전망 측면에서 체계적으로 논의합니다.

1. 텅스텐 합금판에서의 적층 제조 기술의 응용 가능성

1. 적층 제조 소개

적층 제조는 레이저, 전자빔, 분사, 용융 증착 등을 통해 디지털 모델에 따라 3차원 구조를 적층하여 구축하는 제조 공정입니다. 금속판, 복잡한 셀, 내부 캐비티 구조, 기능적 통합 부품 제조에 적합합니다.

2. 텅스텐 합금에서 AM의 과제와 진행

텅스텐 합금의 높은 녹는점(>3400°C), 높은 열전도도, 낮은 가소성은 기존 AM 기술에서 다음과 같은 과제를 야기합니다.

- 균열이 발생하기 쉽고 뒤틀림과 변형이 심각합니다.
- 레이저/전자빔은 반사율이 높고 에너지 흡수율이 낮습니다.
- 이 분말은 구형화하기 어렵고 유동성이 좋지 않습니다.

그러나 다음 기술의 성숙으로 AM은 텅스텐 합금판 제조에 획기적인 진전을 이루었습니다.

- **전자빔 용해(EBM)**: 진공 상태에서 텅스텐 분말을 용해하여 산화와 균열 형성을 줄입니다.
- **지향성 에너지 증착(DED)**: 대형 텅스텐 합금판의 수리 및 준수성형에 적합함
- **레이저 파우더 베드 융합(LPBF)**: 소형 고밀도 텅스텐 부품 제조 시 뛰어난 밀도(>98%)
- **플라스마 클래딩**: 기능적으로 등급화된 텅스텐 층과 기판의 합성을 실현합니다.

2. 텅스텐 합금판 성능 향상을 위한 적층 제조의 장점

기존 프로세스의 한계	적층 제조는 획기적인 발전을 가져옵니다
판 두께의 일관성을 제어하기 어려움	두께와 질감을 정밀하게 제어하여 여러 겹으로 인쇄 가능
복잡한 구조는 처리하기 어렵습니다	다공성 구조와 기능적 공동을 동시에 구축할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

높은 재료 낭비율	순형에 가깝고, 높은 재료 활용률(최대 90%)
장주기 금형 설계는 다음에 따라 달라집니다.	금형 단계를 제거하고 프로토타입을 빠르게 반복합니다.
재료의 균일성을 조절하기 어렵습니다.	맞춤형 성분 및 그라디언트 조성 구성이 가능합니다.

열전도 채널, 미세 구조층, 냉각 시스템 등의 기능적 구조를 판에 도입하여 텅스텐 합금판의 “구조-기능 통합” 진화를 달성했습니다.

3. 텅스텐 합금판 생산에 있어서 지능형 제조의 통합 추세

1. 데이터 기반 품질 관리 시스템

소결/압연 공정은 센서 모니터링(온도장, 레이저 출력, 용융 풀 형태)과 디지털 트윈 모델 피드백을 통해 제어되며, 이를 통해 텅스텐 판의 제조 일관성이 크게 향상됩니다.

2. 제조 공정을 자율적으로 최적화

과거 데이터와 자체 학습 알고리즘을 기반으로 추가 매개변수(스캐닝 경로, 레이저 출력) 등을 조정하여 적응형 제조를 구현합니다.

3. 생산라인 통합 및 유연한 생산 단위

MES(Manufacturing Execution System), ERP, CAM 시스템을 통합하여 “텅스텐 분말 → 텅스텐 판 → 정밀 부품”의 전체 공정 지능형 제조 생산 라인을 구축하여 소량 생산, 다품종, 고정밀 주문의 요구를 충족합니다.

4. AI 기반 소재 설계 및 결함 식별

- 머신 러닝 알고리즘을 사용하여 합금 조성이 성능에 미치는 영향을 예측하고 재료 설계 주기를 가속화합니다.
- CT 또는 금속 조직 이미지를 분석하기 위해 이미지 인식 모델을 사용하여 미세균열 및 개재물과 같은 결함을 비파괴 방식으로 빠르게 감지합니다.

4. 텅스텐 합금판 적층 제조의 주요 기술적 병목 현상 및 대책

기술적 어려움	원인 분석	응답 경로
분말을 준비하기 어려움	고융점 금속은 분무하기 어렵고 구형도가 좋지 않습니다.	불활성가스 분무 및 플라즈마 구형화 장비 개발
균열이 발생하기 쉽고 열응력이 크다	큰 고온 구배 + 연성 불량	최적화된 스캐닝 전략 + 열처리 + 나노 합금화
판 변형 제어가 어려움	재료 수축률이 크고 성형충이 얇다	지지 구조 적용, 스캔 경로 최적화, 샌드위치 패널로 인쇄
AM 제품 일관성이 불안정합니다.	분말 배치 변화 + 좁은 공정 창	온라인 모니터링 시스템 + 데이터 폐쇄 루프 피드백 소개
표준 및 테스트 방법 부족	AM 텅스텐 합금판 산업은 아직 초기 개발 단계에 있습니다.	ISO/ASTM 관련 표준 제정 및 프로세스 데이터베이스 구축 추진

5. 미래 동향 및 개척 방향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. 하이브리드 제조: 전통적인 압연 + 적층 재구성

AM 은 대형 플레이트 매트릭스를 굴러 기능적 국소 영역을 구축함으로써 구조적 강도와 기능적 요구 사항의 통일성을 달성합니다.

2. 다중소재 협업 제조

텅스텐-구리, 텅스텐-세라믹 과 같은 다기능 복합 텅스텐 판을 제조하는 데 사용되며, 이는 복잡한 하중과 극한의 작업 조건에 적응할 수 있습니다.

3. 디지털 트윈과 재료 유전공학

적층 제조 매개변수 데이터베이스, 조직 성과 빅데이터, 성과 예측 모델을 통합하여 “설계-제조-성과” 개념을 갖춘 텅스텐 합금판의 풀사이클 지능형 제어 폐쇄 루프를 구축합니다.

4. 적층 제조를 위한 텅스텐 분말의 설계

특히 적층 제조를 위해 구형도가 높고 유동성이 높으며 산소 함량이 낮은 텅스텐 합금 분말을 개발하면 제품 일관성과 성형 품질이 크게 향상될 것입니다.

VI. 요약

적층 제조와 지능형 제조는 텅스텐 합금 판 산업의 변혁과 발전을 위한 핵심 동력으로 자리 잡고 있습니다. 이는 판 구조의 복잡성과 성능 통합의 경계를 확장할 뿐만 아니라 생산 효율성, 재료 활용, 그리고 맞춤형 제조 역량의 전면적인 도약을 촉진합니다. 레이저, 제어 시스템, AI 알고리즘, 그리고 분말 야금의 심층적인 통합을 통해, 고성능, 맞춤형, 지능적 제어가 가능한 차세대 텅스텐 합금 판이 미래에 등장하여 원자력, 첨단 장비, 항공우주 및 기타 분야에서 “가볍고, 정밀하며, 강하고, 지능적인” 소재에 대한 다양한 요구를 완벽하게 충족할 것입니다.

10.3 다기능 복합 패널의 통합 및 응용 확장

고급 제조, 극한 환경 장비, 그리고 다중 필드 결합 기능 소자의 발전이라는 맥락에서, 단일 성능의 금속판으로는 더 이상 다양하고 체계적인 엔지니어링 요구를 충족할 수 없습니다. 차세대 엔지니어링 구조재인 **다기능 텅스텐 기반 복합판**은 구조 설계, 인터페이스 엔지니어링, 그리고 기능 통합을 통해 텅스텐 합금판의 “구조적 지지”에서 “구조 + 기능”으로의 진화를 촉진하고 있습니다.

이 섹션에서는 다양한 응용 시나리오에서 다기능 복합 패널의 유형, 인터페이스 연결 메커니즘, 준비 방법 및 확장 가능성을 심층적으로 살펴보고, 현재의 기술적 과제와 미래 개발 동향을 분석합니다.

1. 다기능 복합 패널의 유형 및 설계 개념

텅스텐 합금 매트릭스의 구조 설계 또는 재료 도입을 통해 열, 힘, 전기, 자기, 방사선 보호 등 다양한 기능적 특성을 확보합니다. 텅스텐 합금 매트릭스의 기본 범주는 다음과 같습니다.

유형	구성 구조	주요 특징
텅스텐-구리 복합판 (W-Cu)	텅스텐 매트릭스 + 구리 네트 워크/중간층	높은 열전도도, 낮은 열팽창, 부식 방지, 아크 방지
텅스텐-강 복합판 (W-SS)	텅스텐 매트릭스 + 스테인리스	강력하고 튼튼한 조합, 충격 저항성, 우수함

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	스틸 베이스/표면	가공성
텅스텐-세라믹 복합판 (W-Al ₂ O ₃ 등)	텅스텐 + 세라믹 입자/코팅	내마모성, 내식성, 고온 산화 저항성
텅스텐-폴리머/복합수지 적층판	텅스텐층 + 탄소섬유 강화 폴리머층	가볍고, 전자파 간섭을 차단하고, 충격 흡수 및 에너지 흡수 능력을 향상시킵니다.
기능적 등급 재료 (FGM)	두께 구배에 따른 구성 또는 미세 구조 변화	스트레스 해소, 열 스트레스 균형, 다층 기능 통합

이러한 유형의 복합 구조는 핵융합 장치, 플라스마 열 제어 요소, 항공용 라디에이터, 보호 커버 등에 널리 필요합니다.

2. 텅스텐 합금 복합판의 계면 접합 메커니즘 및 주요 제어 요인

복합재 판재의 성능은 서로 다른 재료 간 계면의 품질에 따라 달라집니다. 텅스텐 합금과 다른 재료(예: 구리, 강철, 세라믹) 간의 열팽창 계수 및 원자 확산 능력 차이로 인해 계면 응력 집중, 박리, 미세균열이 발생하기 쉽습니다. 따라서 계면 공학을 통해 금속 결합을 강화하는 것이 필수적입니다.

1. 인터페이스 본딩 방법

- **기계적 바이트 유형** : 거친 표면을 통해 인터페이스 마찰을 향상시킵니다.
- **금속간 확산 결합** : 가열 조건 하에서 원자 간 확산이 전이층을 형성합니다.
- **반응 확산 접합(Ti, Cr 중간층 등)** : 텅스텐과 다른 금속 사이에 활성 원소를 도입하여 금속간 화합물을 형성하여 접합 강도를 향상시킵니다.
- **표면 야금 클래딩** : 레이저/아크 용융을 통해 국부적으로 전이층을 형성하여 층 간의 야금적 연결을 달성합니다.

2. 주요 영향 요인

- **열적 일치** : 두 재료의 열팽창 계수가 가까워 열 피로가 감소합니다.
- **계면 활동** : 취성 계면보다는 양성 계면 반응층을 형성함
- **전처리 방법** : 산화막 제거, 거칠게 하기 처리, 합금층 도금 등을 포함함.
- **공정 경로** : 압착 순서, 소결 분위기 및 온도 곡선이 조정되어야 합니다.

3. 텅스텐계 복합판의 주요 제조 방법

준비 과정	원리 소개	응용 프로그램 기능
폭발 혼합 방법 (EXW)	폭발 충격파는 금속을 고속으로 충돌시켜 야금학적 결합을 달성합니다.	높은 층간 접합 강도로 텅스텐 강판 및 텅스텐 구리판의 대면적 클래딩에 적합
열간 등방성 압축 (HIP) 복합재 공정	고온, 고압 하에서 분말 압착 및 확산 접합	고밀도, 이종분말 및 그리드 구조의 융합에 적합
열간압연 복합화법	다층 복합재료를 가열하고 압연하여 야금결합을 형성합니다.	다중 금속 그래디언트 층 복합재에 적용 가능하며, 강력한 제어 균일성
레이저 클래딩/방향성 증착	- 텅스텐 판 표면에 기능층 또는 버퍼 중간층의 현장 증착	두께를 정밀하게 제어할 수 있어 고성능 부품의 소량 생산에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

콜드 스프레이	고속 캐리어 가스는 미세 분말을 기판에 밀어 넣어 기계적 결합을 형성합니다.	열에 민감한 복합 시스템(텅스텐 + 폴리머 등)에 적합한 부드러운 공정
접합/클래딩 + 소결 복합재	다양한 소재의 아웃소싱/매립, 진공 소결을 통한 전체 밀도 및 접합 강도 향상	복잡한 모양이나 미세 구조의 복합 패널에 적합한 유연한 공정

4. 다기능 텅스텐 복합판의 일반적인 적용 확장

1. 원자력 산업 보호 및 구조 부품

- 핵융합 장치의 첫 번째 벽 구조
- 핵융합로에서 플라스마를 향하는 열 부품에 사용되며 뛰어난 열전도도와 마모 저항성을 가지고 있습니다.

2. 항공우주

- W-Cu 고열전도도 복합판은 위성 라디에이터와 우주선 추진 시스템에 사용됩니다.
- 기능적으로 등급이 매겨진 텅스텐 판 구조는 미소유성 충돌 방지/충격 방지 장갑에 다층 에너지 흡수 장점을 보여줍니다.

3. 의료기기 분야

- 방사선 치료 장치의 가볍고 조절 가능한 차폐 구조에 사용됩니다.
- 복합 텅스텐 판은 고해상도 SPECT/PET 장비에서 산란 억제 및 영상 향상에 사용됩니다.

4. 고온산업 및 열제어공학

- 텅스텐-세라믹 복합판은 진공로 반사층, 고온 열장 구조 부품, 결정성장용 라이닝 등에 널리 사용됩니다.
- 마이크로채널 복합판은 레이저 및 전자빔 장비에서 빠른 열전달에 사용됩니다.

V. 현재 과제 및 향후 발전 방향

주요 질문	해당 과제	잠재적 해결책
이종 재료의 열적 불일치	계면 분리, 열 피로 균열	그라디언트 전환 레이어를 도입하고 버퍼 구조를 설계합니다.
복합 공정 매개변수는 표준화하기 어렵습니다.	각 복합 시스템은 독립적으로 조정되어야 합니다.	데이터베이스 구축 및 인터페이스 열역학 모델링 발전
복합 인터페이스 품질은 모니터링하기 어렵습니다.	내부 미세균열 및 내포물은 비파괴적으로 감지하기 어렵습니다.	CT, 위상배열 초음파, 인공지능 결함 인식 기술 소개
비용이 많이 들고 준비 과정이 복잡하다	하이엔드 애플리케이션은 제한적입니다.	모듈 생산 + 정밀 제조 + 일괄 장비 성형
긴 애플리케이션 신뢰성 검증 주기	특히 핵에너지 및 항공우주와 같이 높은 신뢰성 요구 사항이 있는 시나리오에서	장기서비스 행동 시뮬레이션 및 환경적응 실험 시스템 구축

VI. 요약

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

다기능 텅스텐 합금 복합판은 구조적 지지에서 다중 자기장 결합 응용 분야로 텅스텐 소재의 확장에 있어 핵심적인 진전입니다. 복합재 설계 및 계면 제어를 통해 텅스텐 합금판은 기계적 강도, 열전도도, 내방사선성, 내식성 등 다양한 특성을 결합하여 복잡한 환경에서의 종합적인 성능 요건을 충족할 수 있습니다. 앞으로 재료 시뮬레이션, 적층 제조, 그리고 고처리량 공정 플랫폼의 발전과 함께 다기능 복합 텅스텐판은 국방, 에너지, 항공우주, 의료, 전자 등 다양한 전략적 산업에 탁월한 성능 조합, 높은 신뢰성, 그리고 더욱 유연한 제조 경로를 제공할 것입니다.

10.4 극한 환경(방사선, 고온, 부식)에서의 서비스 성능 진화 연구

텅스텐 합금판은 높은 용점, 고밀도, 낮은 증기압, 그리고 뛰어난 열 안정성으로 인해 원자력, 항공우주, 열 제어 시스템, 군 방호 등 극한 환경에서 널리 사용되고 있습니다. 그러나 강한 방사선, 고온 교번, 그리고 강한 부식성 분위기(할로겐 가스, 용융염, 플라즈마 등)와 같은 가혹한 작업 조건에서는 조직 변화, 성능 감소, 계면 열화 등 복잡한 성능 변화가 발생할 수 있습니다. 따라서 극한 환경에서 텅스텐 합금판의 사용 거동에 대한 심층 연구는 장기적인 신뢰성 향상과 엔지니어링 적응성을 위해 매우 중요합니다.

이 섹션에서는 극한 조건에서 텅스텐 합금판의 “성능 진화에 대한 파노라마 그림”을 구성하기 위해 방사 효과, 고온 열 부하 응답, 부식 환경에서의 분해 메커니즘을 체계적으로 분석하고, 목표 설계 및 평가 방법을 제시합니다.

1. 강한 조사항경 하에서의 미세구조 변화 및 기계적 효과

1. 방사선원 및 일반적인 에너지 레벨

- 중성자 조사(핵분열/핵융합로): $>10^{18}$ n/cm²
- 이온 이식(He⁺, H⁺, Fe⁺): 변위 손상 및 거품 효과를 시뮬레이션할 수 있습니다.
- 감마선/X선: 방사선의 열 효과와 이온화 효과를 시뮬레이션합니다.

2. 미세구조 진화

- 전위 루프 및 공석 응집: 나노스케일 조사 결합 형성, 연성 감소
- 기포 형성 및 응집: 결정립계 또는 2차상에서 침전되어 취성화 및 박리 현상이 쉽게 발생합니다.
- 방사선 유도 분리: Ni 및 Fe와 같은 합금 원소의 국부적 농축, 결정립계 에너지 변화
- 결정립 미세화 및 재조직화: 장기간의 조사로 인해 나노 재결정 현상이 유도될 수 있습니다.

3. 매크로 성능 저하

- 신장률과 충격 인성을 감소시키고, 취성 파괴 민감도를 증가시킵니다.
- 탄성계수와 열전도도가 감소합니다.
- 열 피로 수명이 단축되고 파괴 모드가 소성 파괴에서 취성 파괴로 바뀝니다.

2. 고온 서비스에서의 성능 저하 및 조직 진화

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금판은 1000° C 이상의 온도에서 사용되므로 결정립 조대화, 계면 열화, 원소 이동과 같은 고온 유도 현상이 발생하여 구조적 안정성과 열전도도에 영향을 미칩니다.

1. 고온 미세 메커니즘

- **입자 성장** : 표면 에너지에 의해 주도되며, 특히 순수한 텅스텐이나 약한 입자 경계 에너지가 있는 합금 시스템에서 주도됩니다.
- **원소 재분배** : 합금 원소(예: Ni 및 Cu)는 고온에서 분리되거나 증발합니다.
- **2차상 용해/침전 변형** : 경도와 크리프 거동에 영향을 미칩니다.
- **공동 및 균열 성장** : 열 응력으로 인해 발생한 미세공극은 미세균열로 발전하여 결국 파손됩니다.

2. 고온에서의 기계적 성질 저하

- 항복 강도가 감소합니다(크립 개시 온도가 감소합니다).
- 크리프 속도가 증가하고 크리프 수명이 짧아집니다.
- 열 피로 사이클은 결정립계 미끄러짐과 층간 박리를 초래합니다.

3. 열 부하 결합 거동

- 고주파 가열-냉각 사이클은 인터페이스 파괴를 가속화합니다.
- 열 구배는 구성 요소의 이동과 내부 응력 축적을 유도합니다.
- 과도 고온 펄스(예: 우주선 귀환 및 핵융합 장치의 펄스 방전)에 대한 열 충격 허용치를 고려해야 합니다.

3. 부식성 환경에서의 고장 경로 및 보호 전략

할로젠 가스, 고온 수증기, 산성 용융염 및 전해질과 같은 환경에서 특정 매체에서 심각한 부식 위험에 직면할 수 있습니다.

1. 부식 유형 및 매체

- **기계상 부식** (Cl_2 , H_2O , O_2) : 산화물 층이 형성되고 벗겨짐
- **용융염 부식** ($NaCl-KCl$, $LiF-BeF_2$) : 결정립계를 관통하여 취성층을 형성함
- **전기화학적 부식** : 특히 의료용 전자 부품, 전극 및 기타 응용 분야에서 텅스텐-Cu 시스템은 더욱 민감합니다.
- **플라스마 부식** : 고온으로 인해 입자가 표면에 충돌하여 소멸과 원자 탈착이 발생합니다.

2. 부식 파괴 메커니즘

- 국소적인 양극 용해 또는 결정립계 산화로 인해 결정립이 떨어져 나갑니다.
- 표면 수동화 필름이 파괴되면 부식이 심화됩니다.
- 교대로 반복되는 산화-환원 과정은 표면 밀도를 약화시킵니다.
- 고온/고온 방사선과 결합되면 부식 속도가 크게 증가합니다.

3. 보호 조치

- **표면 코팅** (CrN , Al_2O_3 , SiC) : 고온 수동화 보호 기능을 제공합니다.
- **합금 원소 최적화** : 고용 산화 저항성을 강화하기 위해 부식 방지 원소(Re, Ta, Mo)를 도입합니다.
- **복합구조 설계** : W-SS/W-Cu 복합판을 사용하여 부식층 팽창을 억제합니다.
- **표면 밀도화 공정** : 레이저 클래딩, PVD 등을 사용하여 표면 다공성을 줄입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. 극한 환경에서의 시험 방법 및 시뮬레이션 연구의 진전

1. 가속수명시험 및 시뮬레이션 시험 플랫폼

- 원자로 외부 조사 및 이온 이식 장비를 사용하여 핵 환경을 시뮬레이션합니다.
- 고주파 사이클 가열 테이블과 과도 열충격 장치는 항공우주 열 부하를 시뮬레이션합니다.
- 고온 염수 분무, 전기화학 부식 챔버, 불산 분무 챔버는 산업용 부식 환경을 시뮬레이션합니다.

2. 다중필드 결합 시뮬레이션 연구

- 열-역학-조사-부식의 다중필드 수치 모델을 수립하여 성능 변화를 예측합니다.
- 결정립계 거동을 시뮬레이션하기 위해 위상장법, 분자동역학, 몬테카를로 등을 사용합니다.
- 파괴역학과 피로 이론을 결합하여 수명 예측 모델을 구축합니다.

3. 온라인 모니터링 및 피해 평가

- 변형률을 측정하는 레이저 간섭계;
- 열 기울기를 평가하기 위한 적외선 열화상
- 내부 손상 진행을 모니터링하기 위한 비파괴 검사(초음파, X 선 CT)
- AI 이미지 인식은 미세균열을 추적하고 부식 진행을 정량화하는 데 사용됩니다.

V. 향후 발전 방향 및 공학적 대응 전략

개발 방향	공학적 중요성
익스트림 서비스 데이터베이스 구축	재료 선택 및 서비스 수명 예측을 위한 데이터 기반 제공
지능형 지각 + 피드백 제어 시스템	서비스 중인 재료의 안전성을 향상시키기 위한 실시간 손상 모니터링 및 성능 자체 조정 시스템을 구축합니다.
다기능 복합구조물 개발	극한 환경에서 서비스 성능을 개선하기 위해 내식성, 방사선 저항성, 열충격 저항성 및 기타 기능을 통합합니다.
핵융합/항공우주를 위한 고신뢰성 수명 설계 방법	ITER, 우주 탐사, 초고온 추진 등 전략적 프로젝트를 위한 텅스텐 판 수명의 엄격한 요구 사항 충족

VI. 요약

고조사량, 높은 온도 구배, 강한 부식과 같은 극한 환경에서 텅스텐 합금판의 성능은 복잡한 미시적 메커니즘에 의해 제어되며, 구조적 안정성과 성능 변화 법칙은 공학적 신뢰성을 직접적으로 결정합니다. 고온에서 조사에 의해 유도되는 미세구조 변화, 입자 진화 및 계면 손상 메커니즘, 그리고 부식성 환경에서의 파손 경로를 깊이 이해함으로써 새로운 재료 시스템 개발 및 새로운 구조 설계의 방향을 제시할 수 있습니다. 앞으로는 학제간 통합, 수치 모델링, 현장 검증 연계를 강화하여 "극한 환경 적응 구조 재료"라는 목표를 향해 텅스텐 합금판을 발전시켜야 합니다.

10.5 텅스텐 판을 위한 고성능 대체 소재 및 미래 지속 가능한 전략

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

세계 산업이 경량화, 고성능, 그리고 친환경적인 환경 보호를 향해 발전함에 따라, 텅스텐 합금판은 매우 높은 밀도, 녹는점, 그리고 방사선 차폐 능력과 같은 고유한 장점을 가지고 있습니다. 하지만 높은 비용, 자원 부족, 가공의 어려움, 그리고 환경적 민감성으로 인해 대규모 적용에는 제약이 따릅니다. 텅스텐 자원에 대한 의존도를 낮추면서 기능적 동등성 또는 부분 대체를 달성하기 위해, 재료 과학계는 다양한 **고성능 대체 소재 시스템을 적극적으로 연구하고 있으며**, 텅스텐판 자체 **의 지속 가능한 발전 방향** 에 대해서도 고심하고 있습니다 .

이 섹션에서는 재료 대체 경로, 친환경 제조 기술, 재활용 시스템 및 산업의 지속 가능한 전략의 네 가지 측면을 논의하고, 텅스텐 합금판이 미래의 고급 제조에서 경쟁력을 유지할 수 있도록 실행 가능한 솔루션을 제안합니다.

1. 고성능 기능성 대체소재 개발 방향

텅스텐 합금판을 완전히 교체하는 것은 많은 경우 어렵지만, 일부 응용 분야에서는 경쟁력 있는 성능과 비용 이점을 제공하는 여러 소재 시스템이 이미 존재합니다. 주요 대체 유형은 다음과 같습니다.

1. 고용점 금속 소재 시스템

- **몰리브덴 합금판(Mo, TZM)** : 밀도가 약간 낮음(10.2 g/cm^3), 열전도도가 양호하고, 텅스텐보다 가공성이 우수하며, 고온 환경용으로 적합함.
- **하프늄 및 니오븀 기반 합금** : 고온 강도는 우수하지만 내식성은 낮음
- **레늄 기반 소재** : 초고온 환경($>2000^\circ \text{C}$)에서 안정성이 뛰어나지만, 가격이 매우 비싸고 특수 항공우주 장치에만 사용됩니다.

2. 고밀도 복합재료

- **텅스텐 폴리머 복합판(W-폴리머)** : 사출 성형이나 접합을 통해 가벼운 보호판으로 제작되며, 의료 및 방사선 방호 시나리오에 적합합니다.
- **W-Cu 기능성 복합 기판** : 높은 밀도와 높은 열전도성을 결합하여 우주선 방열 및 전자소자 열 관리에 적합합니다.
- **희토류 산화물-금속 복합판(예: Gd-W , $\text{La}_2\text{O}_3\text{-W}$)** : 방사선 흡수 능력을 강화하고 열충격 인성을 개선합니다.

3. 세라믹 및 세라믹 매트릭스 복합재

- **탄화규소(SiC) 및 질화붕소(BN) 강화 세라믹 판** : 고온 산화 저항성과 유전 특성이 뛰어나 열 제어 보호에 사용할 수 있습니다.
- **금속간 화합물(TiAl , MoSi_2 등)** : 가볍고 고온 강도가 좋으나 열전도도가 제한적입니다.

4. 새로운 기능 등급 소재(FGM)

두께 방향을 따라 조성이나 구조를 점진적으로 변화시킴으로써 열응력 조절 및 계면 응력 완화를 달성할 수 있으며, 다층 텅스텐 판 구조를 부분적으로 대체하고 보다 나은 엔지니어링 조정성을 갖습니다.

2. 텅스텐 합금판의 지속 가능한 제조 전략

교체 외에도 텅스텐 플레이트 자체도 높은 성능적 장점을 유지하면서 “에너지 절약, 소비 감소, 탄소 감소”를 중심으로 체계적으로 최적화해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. 녹색분말야금기술

- 저온, 고밀도 소결 보조제 개발
- 수율 향상을 위해 플라즈마 구형화, 고에너지 볼 밀링 등의 방법을 활용합니다.
- 분위기소결에 사용되는 불활성가스의 비율을 줄이고 깨끗한 수소환원을 촉진합니다.

2. 적층 제조 기술 (3D 프린팅)

- 복잡한 형상의 텅스텐 구조 부품을 수요에 따라 제조하고, 레이저 지향 에너지 증착 (DED) 과 전자빔 용융 (EBM) 을 사용하여 재료 낭비를 줄입니다.
- 소량 생산/맞춤형 텅스텐 합금판의 제조 효율성을 효과적으로 개선합니다.

3. 에너지 절감형 표면처리 및 복합기술

- 전기 도금을 대체하기 위해 PVD 및 CVD 와 같은 녹색 박막 증착을 사용합니다.
- 레이저 표면 개질, 냉간 분무, 플라즈마 분무 등 비열적 처리 방법을 사용하여 에너지 소비를 줄입니다.
- 재생 가능 기판과 텅스텐 표면층의 복합 구조를 촉진하여 전반적인 성능/비용 비율을 개선합니다.

3. 텅스텐 합금판의 재활용 및 재사용

텅스텐은 국가중점전략금속이며, 자원회수와 재활용은 산업의 지속가능한 발전을 위한 핵심 고리가 되었습니다.

1. 텅스텐판 재활용 방법

- 산업 폐기물은 기계적으로 직접 재활용되거나 재가공됩니다.
- 폐기된 장치에서 텅스텐 금속 분말을 추출하고 새로운 합금판을 준비합니다.
- 표면 코팅을 벗긴 후 압착/소결하여 2 차 시트를 형성합니다.

2. 재제조 및 “제로 웨이스트” 프로세스 체인

- 텅스텐 판 재생 중 성능 저하 문제를 해결하기 위해 미세합금 규제가 도입되었습니다.
- 플라즈마 용해/열처리 기술을 사용하여 텅스텐의 결정 무결성을 회복합니다.
- 원자력 및 군용 퇴역장비에서 텅스텐 합금판을 재활용하는 시범사업을 추진합니다.

3. 국내 및 국제 재활용 표준 수립

- 텅스텐 기반 재료의 재활용을 위한 인증 시스템 (GRS, ISO 14021 등) 을 구축합니다.
- 의료 및 항공 장비와 같은 주요 사용 분야에서 “녹색 재활용” 책임 확대를 촉진합니다.
- 블록체인과 빅데이터 플랫폼을 활용해 텅스텐 소재의 전체 수명 주기를 추적합니다.

4. 저탄소화 및 향후 텅스텐 합금판의 전략적 전망

지속 가능한 개발 경로	주요 목표	잠재적 구현
탄소 발자국과 총	글로벌 탄소 피크/탄소 중립	녹색 전기를 제련에 활용하고, 저탄

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

배출량을 줄이세요	정책 제약 충족	소 기술을 도입하며, 산업 사슬에 탄소 거래 메커니즘을 도입합니다.
산업 사슬의 '녹색 폐쇄 루프'를 열어라	자원 → 제품 → 재활용 → 재생의 완전한 순환 경로 구축	산업 표준을 수립하고, 재활용 플랫폼을 지원하며, 재활용 할당량을 설정합니다.
고급 제조용 고성능 맞춤형 패널 개발	극한 서비스 환경에서 구조적 기능 통합에 대한 새로운 요구 사항 충족	"텅스텐+" 국경 간 복합소재, 모듈형 구조판, 다기능 적층 제조를 촉진합니다.
글로벌 공급망의 다각화, 보안 및 안정성	단일 리소스/원점에 대한 종속성 감소	해외자원 개발 및 국내 정제+지능형 제조 생산라인 구축

V. 요약

텅스텐 합금판은 여전히 고급 제조 분야에서 대체 불가능한 위치를 차지하고 있습니다. 그러나 세계적인 자원 부족, 더욱 엄격해지는 환경 보호 요구, 그리고 기술 발전의 가속화라는 새로운 상황에 직면하여, 대체 소재를 탐색하고, 텅스텐 판 제조 공정을 최적화하며, 재활용 및 친환경 제조를 촉진하는 것이 텅스텐 판의 장기적인 지속 가능한 발전을 달성하는 유일한 방법이 될 것입니다. 텅스텐 합금판의 미래는 더 이상 단일 소재 경쟁이 아니라, "소재 시스템 + 공정 시스템 + 산업 경로"의 포괄적인 경쟁입니다. 친환경, 저탄소, 고성능, 지능형 기술을 향한 끊임없는 노력을 통해서만 텅스텐 판은 미래 제조 시스템에서 중요한 역할을 계속 수행할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

부록

부록 1 : 텅스텐 합금판의 일반적인 물리적/기계적 매개변수

프로젝트 이름	단위	순수 텅스텐 판 (W)	W-Ni-Fe 합금 판	W-Ni-Cu 합금 판	W-Cu 복합 보드
이론 밀도	g/cm ³	19 시 25 분	17.0~18.5	17.0~18.2	14.5~17.0
녹는점	섭씨	3410	3300~3400	3200~3400	~3000 (대략)
비열(상온)	J/(kg • K)	134	140~160	140~160	170~180
열전도도(25℃)	W/(m • K)	170~180	70~110	80~120	180~220
열팽창 계수	10 ⁻⁶ /K	4.5~5.0	5.0~8.0	6.0~8.5	6.5~10.0
저항률(20℃)	μ Ω • cm	5.4~5.7	15~35	20~40	2~4
인장 강도	엠포	700~1000	700~1000	600~900	400~600
항복 강도	엠포	600~850	600~900	550~850	300~500
연장	%	<3	10~30	10~30	5~15
브리넬 경도(HB)	-	>300	200~300	180~280	120~220
쇼어 경도(HRB)	-	>100(대략 HRC)	80~95	75~90	60~85
내식성(상온 분위기에서)	-	훌륭한	좋은	좋은	일반적으로
자기	-	없음	가지다	낮은 자기적 특성 (일부는 있음)	없음
방사선 차폐 성능 (감마선)	d=10mm 차단율	>85%	>80%	>80%	>75%

예시:

- 순수 텅스텐 판재 (W): 밀도, 녹는점, 경도가 가장 높으며, 고온 열 제어 및 방사선 방호와 같은 극한의 작업 조건에서 자주 사용됩니다. 단점은 가공이 어렵고 취성이 있다는 것입니다.
- W-Ni-Fe 합금판: 고밀도 합금의 대표주자로, 기계적 인성이 양호하고 밀도가 균형 잡혀 있어 관성부품, 보호판 등에 널리 사용된다.
- W-Ni-Cu 합금판: 열전도성이 좋고 비자성이며 전자파 차폐 및 고밀도 균형추에 적합합니다.
- W-Cu 복합 보드: 열전도도, 전기전도도, 밀도가 우수하여 전자 열 관리 구조 및 마이크로파 구성 요소 지지대에 자주 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

부록 2: 텅스텐 합금 등급 및 화학 조성 비교표

브랜드/표준 코드	국가/표준	합금 유형	주요 화학 성분 (질량 분율, %)	특징
W1 (ASTM B760)	ASTM	순수 텅스텐	$W \geq 99.95$	고순도 텅스텐 시트는 열장, 진공 장치 등에 사용됩니다.
W-3Ni-7Fe (중텅스텐 합금)	일반적인 산업 용어	W-Ni-Fe 합금	$W \approx 90$, $Ni \approx 3$, $Fe \approx 7$	구조적 강도와 인성을 모두 갖춘 고밀도 텅스텐 합금
W-7Ni-3Cu	일반적인 산업 용어	W-Ni-Cu 합금	$W \approx 90$, $Ni \approx 7$, $Cu \approx 3$	전자 및 보호 분야에 적합한 비자성 텅스텐 합금
WCu75 (또는 WCu25)	일반적인 산업 용어	텅스텐 구리 복합 재료	$W \approx 75$, $Cu \approx 25$	방열 및 접지 구조를 위한 고열전도성 텅스텐 구리판
YW1 (YS/T 798)	중국 비철 산업 표준	텅스텐 니켈 철	$W \geq 90$, $Ni:Fe \approx 7:3$	군용 관성 부품 및 균형추 플레이트용 일반 등급
YW2 (YS/T 798)	중국 비철 산업 표준	텅스텐-니켈-구리 시스템	$W \geq 90$, $Ni:Cu \approx 7:3$	비자성 고비중 시트로 의료용, 기구 등에 사용
G26F (MIL-T-21014)	미국 군사 표준 MIL	W-Ni-Fe 합금	$W \approx 90$, $Ni \approx 6$, $Fe \approx 4$	군용 표준 텅스텐 합금, 장갑 관통 발사체, 미사일 꼬리 부분 등.
W90NiFe (ISO 3767)	ISO 국제 표준	W-Ni-Fe 합금	$W \approx 90$, $Ni + Fe \approx 10$	일반 고밀도 합금의 표준 설명
K20W (DIN EN)	독일 DIN/EN 표준	W-Cu 복합재	$W \approx 80$, $Cu \approx 20$	열 제어 장치에 적합한 유럽 표준 고전도성 텅스텐 구리 합금
WL10 (순수 텅스텐 도핑)	국제적으로 사용됨 (ASTM/ISO)	도핑된 텅스텐	$W \geq 98.5$, $La_2O_3 \approx 1.0 \sim 1.2$	란탄 도핑 텅스텐 소재는 열 안정성과 균열 저항성을 향상 시킵니다.
WD100 (회사 브랜드)	CTIA GROUP LTD (내부 코드)	미세합금 텅스텐 판	$W \geq 92$, Ni, Re, Ta 등 미세합금 원소의 총합 ≤ 5	강도, 방사선 저항성, 열전도도를 고려한 자체 개발 합금
TCW6025	일본 기업 브랜드	W-Cu 합금	$W \approx 60$, Cu	전자레인지 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

			≈ 40	방열판 등에 적합합니다.
WC20(전극용)	ISO 6848	도핑된 텅스텐	$W \geq 98, CeO_2 \approx 2.0$	도핑된 텅스텐은 일반적으로 용접 전극에 사용되지만 일부 판도 사용됩니다.

예시:

- W-Ni-Fe / W-Ni-Cu 시리즈 텅스텐 합금판은 가장 흔히 사용되는 고비중 텅스텐 합금 유형입니다.
- WCu 시리즈는 주로 전자 패키징 및 방열 모듈과 같은 열 및 전기 전도성 구조에 사용됩니다.
- **텅스텐 도핑(예: La_2O_3 , CeO_2)**은 고온 강도를 유지하면서 열충격 인성을 향상시킬 수 있습니다.
- 각 국가의 표준은 약간씩 다르지만, 구성요소 간격과 브랜드 논리를 통해 비교 및 식별이 가능합니다.
- 회사의 자체 브랜드(CTIA GROUP LTDWD 시리즈 등)는 일반적으로 맞춤 제작되어 특수 수요 시나리오를 충족하는 데 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

부록 3: 텅스텐 합금판 표준 문서 및 주요 참고 자료

1. 국내 표준 및 산업 규정

1. GB/T 18928-2017 텅스텐 및 텅스텐 합금판의 기술 조건에 대한 국가 표준은 텅스텐 및 텅스텐 합금판에 대한 기술적 요구 사항, 시험 방법 및 검사 규칙을 지정합니다.
2. YS/T 798-2012 텅스텐 합금 막대에 대한 기술 사양은 텅스텐 합금 소재의 구성, 특성 및 시험 방법을 다루는 비철 금속 산업 표준입니다.
3. 에 대한 기술 사양은 원자력 산업을 위한 텅스텐 합금판의 재료 요구 사항과 적용 표준을 표준화합니다.
4. Q/ZW 001-2020 CTIA GROUP LTD 텅스텐 합금판 기업 표준은 텅스텐 합금판의 설계, 제조 및 품질 관리를 포괄하는 회사의 내부 표준입니다.

II. 국제 표준 및 규범

1. ASTM B760-17 텅스텐 및 텅스텐 합금판에 대한 표준 사양 미국재료시험학회 표준으로, 텅스텐 및 텅스텐 합금판의 특성과 시험 방법을 자세히 규정하고 있습니다.
2. ISO 3767-1:2017 텅스텐 및 텅스텐 합금 - 1 부: 판 및 시트는 국제 표준화 기구에서 발행한 것으로, 텅스텐 합금 판의 분류 및 기술적 요구 사항을 다룹니다.
3. MIL-T-21014D 군사 사양: 텅스텐 중합금 판, 막대 및 막대 텅스텐 중합금의 군사적 사용 및 품질 관리를 위한 미국 군사 표준입니다.
4. EN 1654-1:2018 고밀도 중금속 및 합금 - 기술적 납품 조건 - 제 1 부: 텅스텐 중합금 제품은 텅스텐 합금의 납품 조건 및 시험 사양을 다루는 유럽 표준입니다.

3. 중요한 기술 서적 및 문서

1. "텅스텐 및 텅스텐 합금 기술 핸드북", 야금 산업 출판사, 2020 텅스텐 및 텅스텐 합금의 물리적 특성, 제조 공정 및 응용 기술을 포괄적으로 소개합니다.
2. 텅스텐 및 텅스텐 합금, 금속 핸드북, 제 2 권, ASM International, 1990 년 국제적으로 권위 있는 금속 핸드북, 텅스텐 합금 재료 기초 및 성능 분석.
3. "항공우주 분야에서의 텅스텐 중합금의 개발 및 응용", 재료과학 저널, 2018 에서는 항공우주 분야에서 텅스텐 중합금의 최신 연구 및 개발 진행 상황에 대해 자세히 설명합니다.
4. 텅스텐 합금 분말 야금 기술 및 산업 응용에 대한 사례 연구, 2019 년 5 호.

IV. 대표적인 특허문헌

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. CN101234567B 본 발명은 고밀도화 텅스텐 합금 판을 제조하는 방법을 공개하고,
새로운 분말 야금 공정의 텅스텐 합금 판 제조 기술에 관한 것이다.
2. US9876543B2 열전도도가 향상된 텅스텐 합금 시트
텅스텐 합금 시트의 열전도도가 향상된 복합 재료 설계.
3. EP3456789A1 텅스텐 합금판의 코팅 방법
텅스텐 합금판의 표면 코팅 및 내마모 처리 기술.

5. 학술대회 및 산업계 보고서

1. 국제 텅스텐 학회는
텅스텐 소재 분야의 최신 기술과 산업 동향을 한자리에 모읍니다.
2. 중국 비철금속학회 텅스텐 및 몰리브덴 지부 연례총회의 회의록은
중국 텅스텐 합금의 기술적 진보와 시장 분석에 초점을 맞췄습니다.
3. CTIA GROUP LTD 가 발행한 2024 년 산업 보고서 "텅스텐 합금판 시장 동향 분석 보고서"는
전 세계 텅스텐 합금판 생산 및 판매와 미래 동향에 대한 세부 내용을 담고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

부록 4: 텅스텐 합금 용어집 및 영어 약어

용어(중국어)	용어(영어)	해석 및 설명
텅스텐 합금	텅스텐 합금	텅스텐을 주성분으로 하고 니켈, 철, 구리 등의 금속을 첨가한 합금입니다.
분말 야금	분말 야금	분말 성형 및 소결을 통해 금속 재료를 제조하는 공정.
소결	소결	고온에서 분말 입자를 밀도화하는 과정.
등방성 프레스	등방성 프레스	균일한 압력을 이용해 분말을 일정한 모양으로 압축하는 기술입니다.
열처리	열처리	가열, 단열, 냉각을 통해 재료의 구조와 특성을 변화시키는 방법입니다.
미세구조	미세구조	현미경으로 관찰한 재료의 내부 구조적 특성.
밀도	밀도	단위 부피당 질량으로, 일반적으로 g/cm^3 로 표현합니다.
인장 강도	인장 강도	인장력을 받는 재료의 최대 응력.
항복 강도	항복 강도	재료가 소성적으로 변형되기 시작하는 응력입니다.
연장	연장	파괴되기 전에 재료가 소성적으로 변형될 수 있는 능력을 백분율로 표현한 것입니다.
경도	경도	국부적 변형에 저항하는 능력은 종종 브리넬 경도(HB)와 로크웰 경도(HR)와 같은 지표를 사용하여 측정됩니다.
열팽창 계수	열팽창 계수	온도 변화에 따라 재료가 팽창하는 속도.
열전도도	열전도도	열을 전달하는 물질의 능력($W/(m \cdot K)$)로 측정.
저항률	전기 저항률	물질의 현재 저항은 $\mu\Omega \cdot cm$ 단위로 측정됩니다.
내식성	내식성	재료가 화학적 또는 전기화학적 부식에 저항하는 능력.
감마선 차폐	감마선 차폐	텅스텐 합금은 고에너지 감마선을 흡수하고 차단하는 능력이 있습니다.
비파괴 검사	비파괴 검사 (NDT)	초음파, X선, 자기 입자 검사 등 재료의 무결성을 손상시키지 않는 검사 방법.
입자 크기	입자 크기	분말 입자의 크기는 재료의 밀도와 성능에 영향을 미칩니다.
PVD	물리 기상 증착	물리적 기상 증착은 표면 코팅 기술입니다.
적층 제조	적층 제조 (AM)	재료를 층층이 쌓아 부품을 제조하는 기술을 일반적으로 3D 프린팅이라고 합니다.
AS9100	항공우주 품질 관리	항공우주 산업을 위한 품질 관리 시스템 표준.
ISO 13485	의료기기 품질 시스템	의료기기 품질 관리 시스템 표준.
RoHS	유해 물질 제한	특정 유해물질 사용 제한에 관한 EU 지침.
도달하다	화학물질의 등록, 평가, 허가 및 제한	EU의 화학물질 등록, 평가, 허가 및 제한 규정.
물질안전보건자료	물질안전보건자료	물질안전보건자료 (MSDS)는 화학물질의 안전한 사용에 대한 정보를 제공합니다.

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

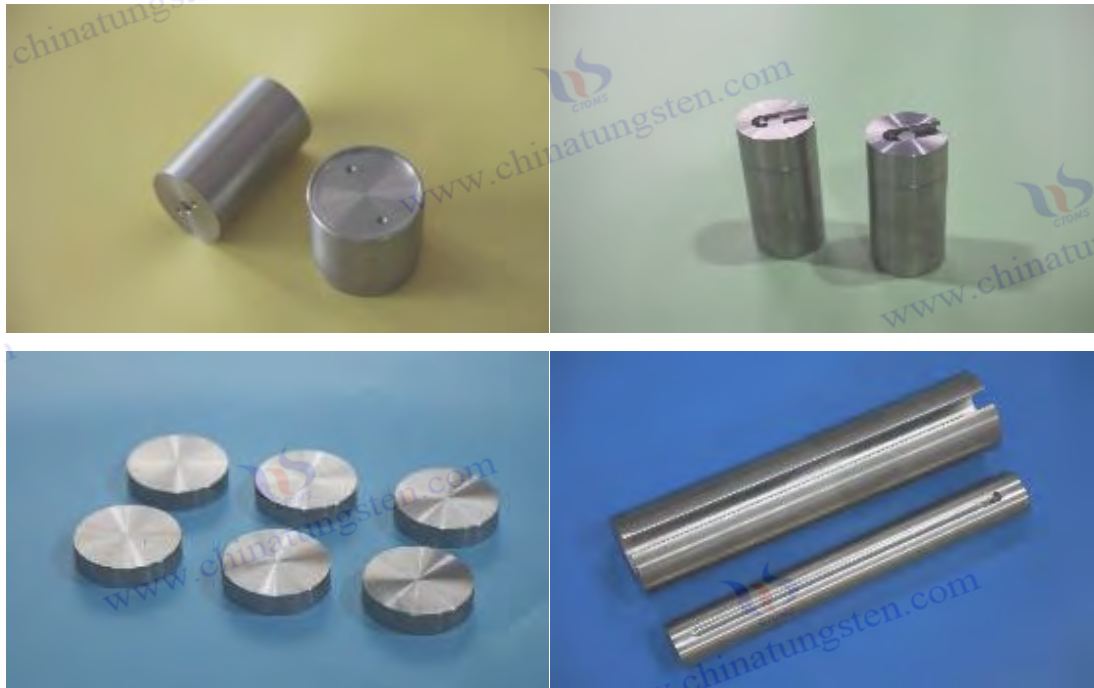
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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