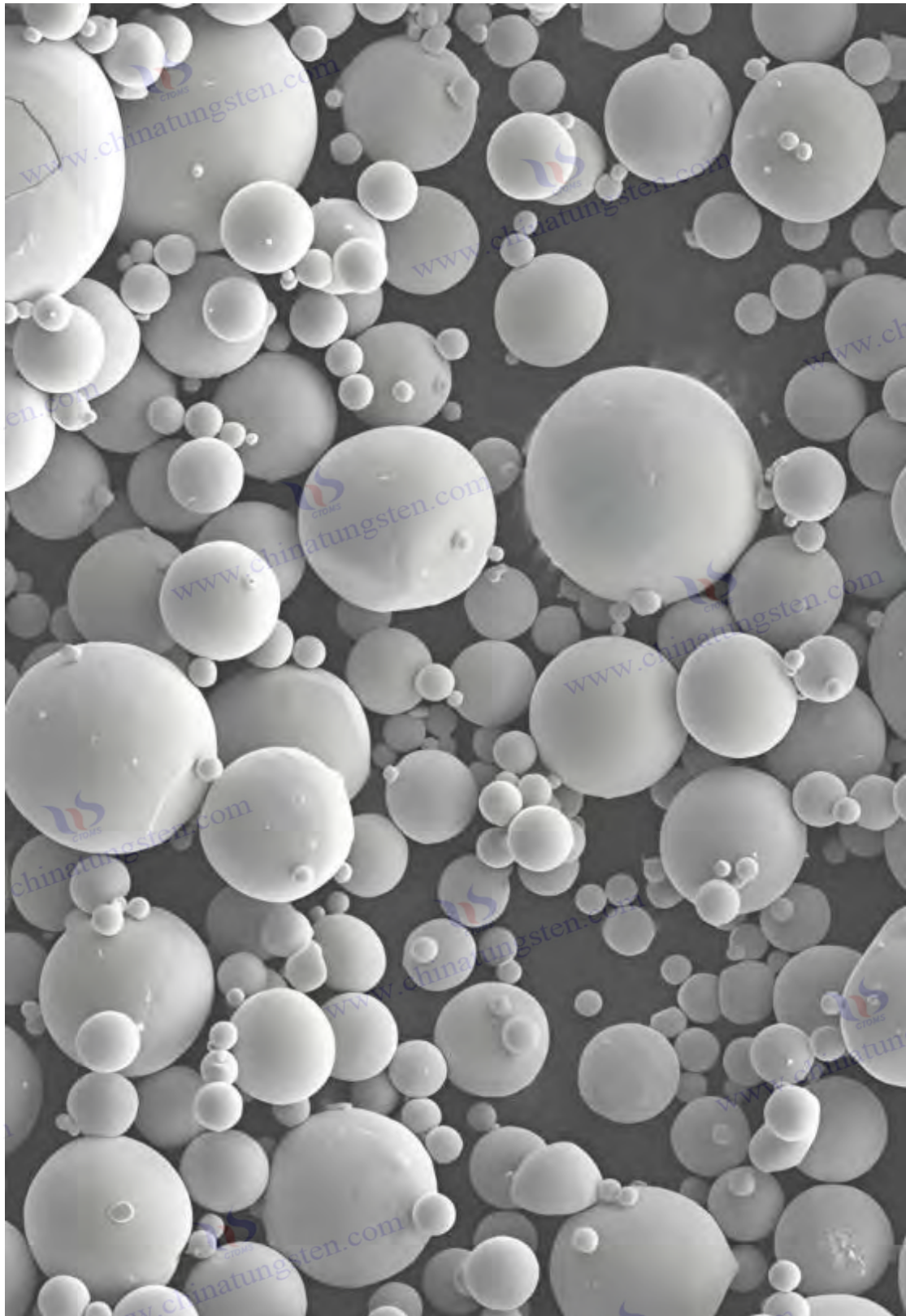




COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

텅스텐 분말의 용도 전체 목록

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 위챗 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.

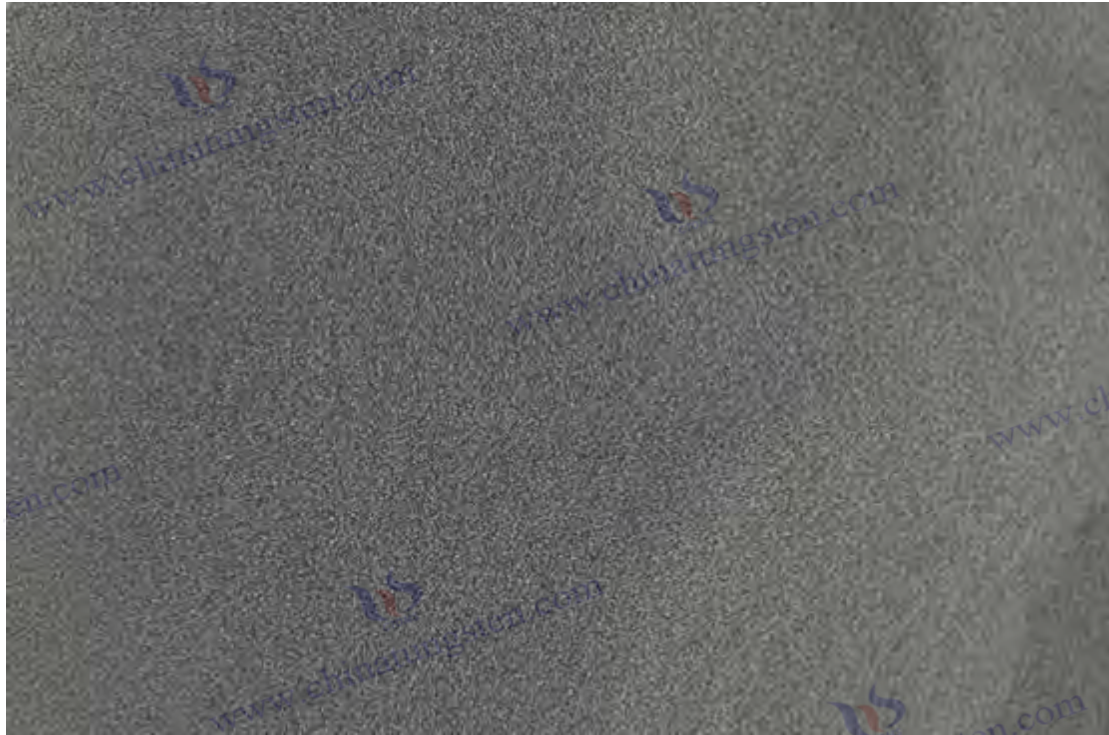
CTIA GROUP의 한스 박사와 그의 팀은 30년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 작성하여 공개하고 텅스텐 업계와 자유롭게 공유해 왔습니다. 1990년대부터 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 그리고 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조 분야에서 30년 이상의 경력을 쌓아 온 한 박사는 국내외 텅스텐 및 몰리브덴 제품 분야의 저명한 전문가입니다. CTIA GROUP 팀은 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하며, 생산 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



콘텐츠

머리말

텅스텐 분말의 독특한 물리적, 화학적 특성 및 응용 가치

기사 목적: 텅스텐 분말의 다양한 분야에서의 활용을 종합적으로 밝혀냄

데이터 소스 및 연구 방법

제 1 장 텅스텐 분말의 기본 특성 및 응용

1.1 텅스텐 분말의 물리적 특성

1.1.1 높은 녹는점 (3422°C) 및 고온 저항성

1.1.2 고밀도 (19.25 g/cm^3) 및 품질 이점

1.1.3 경도 및 내마모성의 미시적 기초

1.1.4 열전도도 및 전기적 특성

1.2 텅스텐 분말의 화학적 특성

1.2.1 내식성(산성 및 알칼리성 환경에서의 안정성)

1.2.2 항산화 및 고온 화학적 거동

1.2.3 화학적 불활성 및 촉매 잠재력

1.3 텅스텐 분말의 형태 및 분류

1.3.0 텅스텐 입자의 물리적, 화학적 특성 및 용도

1.3.0.1 텅스텐 입자의 정의 및 입자 크기 범위(일반적으로 $>100\text{ }\mu\text{m}$)

1.3.0.2 텅스텐 입자의 물리적 특성(고밀도 및 고온 저항성)

1.3.0.3 텅스텐 입자의 화학적 안정성 및 표면 특성

1.3.0.4 텅스텐 입자의 주요 용도(용접 필러, 균형재)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

1.3.0.5 텅스텐 입자 적용 사례(산업 및 군사 시나리오)

1.3.1 5~50 μm 조텅스텐 분말의 특성 및 용도

1.3.1.1 조립텅스텐 분말의 입자 크기 분포 및 형태 특성

1.3.1.2 조텅스텐 분말의 유동성 및 부피 밀도

1.3.1.3 조립텅스텐 분말의 고온 저항성 및 내마모성

1.3.1.4 조텅스텐 분말의 주요 용도(고비중 합금, 텅스텐 전극)

1.3.1.5 조립텅스텐 분말의 산업 응용 사례

1.3.2 중입자 텅스텐 분말(4-8 μm)의 특성 및 용도

1.3.2.1 중립 텅스텐 분말의 입자 크기 범위 및 제조 방법

1.3.2.2 중간 입자 텅스텐 분말의 물리적 특성(밀도, 경도)

1.3.2.3 중립 텅스텐 분말의 유동성 및 소결 특성

1.3.2.4 중립 텅스텐 분말의 주요 용도(경합금, 열용사)

1.3.2.5 중립 텅스텐 분말의 적용 예(도구 및 코팅)

1.3.3 미세 텅스텐 분말(0.1-5 μm)의 적용 시나리오

1.3.3.1 미세 텅스텐 분말의 입자 크기 분포 및 표면 활성

1.3.3.2 미세 텅스텐 분말의 높은 비표면적 및 반응성

1.3.3.3 미세 텅스텐 분말의 제조 기술 및 과제

1.3.3.4 미세 텅스텐 분말(텅스텐 와이어, 촉매)의 주요 용도

1.3.3.5 미세 텅스텐 분말의 산업 및 과학 연구 사례

1.3.4 나노텅스텐 분말(<100nm)의 특별한 장점

1.3.4.1 나노텅스텐 분말의 양자 효과 및 특성

1.3.4.2 나노텅스텐 분말의 높은 활성 및 분산성

1.3.4.3 나노텅스텐 분말의 제조 공정 (용액법, 기상법)

1.3.4.4 나노텅스텐 분말의 주요 용도(전자, 의료)

1.3.4.5 나노텅스텐 분말의 첨단 응용 사례

1.3.5 구형 및 불규칙형 텅스텐 분말 사용의 차이점

1.3.5.1 구형 텅스텐 분말의 제조 및 형태적 장점

1.3.5.2 불규칙 텅스텐 분말의 특성 및 비용 효율성

1.3.5.3 3D 프린팅에 구형 텅스텐 분말의 적용

1.3.5.4 전통 야금에서의 불규칙 텅스텐 분말의 적용

1.3.5.5 형태학적 차이의 실제 사례 비교

1.4 텅스텐 분말 사용의 과학적 및 산업적 근거

1.4.1 분말야금의 핵심 위치

1.4.2 고온 및 고밀도 요구 사항에 의해 구동됨

1.4.3 텅스텐 분말 가공 기술의 다양성

1.4.4 텅스텐 분말 응용 분야의 산업적 발전

1.4.5 과학 연구에 있어서 텅스텐 분말의 응용 사례

제 2 장: 전통 산업에서의 텅스텐 분말의 응용

2.1 초경합금 제조

2.1.1 텅스텐 카바이드(WC) 분말의 합성 원료

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 2.1.2 WC-Co 초경 공구(절삭, 밀링, 드릴링)
- 2.1.3 채굴 및 시추 도구(드릴 비트, 암석 드릴)
- 2.1.4 금형 및 내마모성 부품(스탬핑 다이, 샌드블라스팅 노즐)
- 2.1.5 초경합금의 성능 최적화 및 적용 사례

2.2 고비중 합금

- 2.2.1 텅스텐-니켈-철(W-Ni-Fe) 합금을 균형추로 사용
- 2.2.2 텅스텐-구리(W-Cu) 합금의 전도성 및 방열 응용 분야
- 2.2.3 항공우주 균형추(자이로스코프, 밸런스 블록)
- 2.2.4 자동차 산업의 고밀도 부품
- 2.2.5 고비중 합금의 제조 공정 및 사례

2.3 텅스텐 필라멘트 및 전극 재료

- 2.3.1 텅스텐 필라멘트 드로잉 및 필라멘트 응용(백열등, 할로젠 램프)
- 2.3.2 아르곤 아크 용접용 텅스텐 전극(고온 저항성 및 아크 안정성)
- 2.3.3 도핑된 텅스텐 와이어(Th, La, Ce)의 성능 향상
- 2.3.4 플라즈마 절단에서 텅스텐 전극 사용
- 2.3.5 텅스텐 와이어 및 전극의 산업 생산 사례

2.4 내화재료 및 고온부품

- 2.4.1 텅스텐 도가니(고온 용융 및 결정 성장)
- 2.4.2 텅스텐 판 및 막대(고온로 라이닝)
- 2.4.3 텅스텐 기반 내화 코팅(가마 및 소각로)
- 2.4.4 내화벽돌의 텅스텐 분말 강화 효과
- 2.4.5 내화재의 일반적인 적용 시나리오

제 3 장: 첨단 제조 및 기술에 있어서 텅스텐 분말의 응용

3.1 적층 제조(3D 프린팅)

- 3.1.1 구형 텅스텐 분말의 제조 및 3D 프린팅 요구 사항
- 3.1.2 텅스텐 부품의 선택적 레이저 용융(SLM) 제조
- 3.1.3 전자빔 용융(EBM)을 이용한 고밀도 텅스텐 제품
- 3.1.4 복잡한 텅스텐 구조 부품(항공우주 노즐, 방열판)
- 3.1.5 3D 프린팅 텅스텐 분말의 적용 사례 및 동향

제 4 장: 군사 및 보호 분야에서의 텅스텐 분말 사용

4.1 군사 물자

- 4.1.1 텅스텐 합금 장갑 관통 코어(고밀도 및 관통력)
- 4.1.2 텅스텐 기반 장갑재(W-Ni-Fe)의 충격 저항성
- 4.1.3 군용 칼에 텅스텐 분말의 초경도 적용
- 4.1.4 텅스텐 합금 파편탄의 제조 및 사용
- 4.1.5 군용 텅스텐 분말의 일반적인 적용 사례

4.2 방사선 차폐

- 4.2.1 감마선 차폐에 있어서 텅스텐 분말의 높은 효율
- 4.2.2 중성자 방사선 보호를 위한 텅스텐 기반 재료

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 4.2.3 원자력 산업 차폐 구성 요소(원자로 및 용기)
- 4.2.4 텅스텐 분말 복합 차폐재 제조 기술
- 4.2.5 방사선 차폐의 실제 사례 분석
- 4.3 고온 및 극한 환경 응용 분야
- 4.3.1 로켓 노즐에서 텅스텐 분말의 내열성 사용
- 4.3.2 우주선 내마모 구조의 텅스텐 보강
- 4.3.3 텅스텐 기반 고온 보호 코팅(미사일 케이스)
- 4.3.4 극한 환경에서의 텅스텐 분말 성능 시험
- 4.3.5 군사용 고온 응용 분야의 사례 연구

제 5 장: 의학 및 생물학 분야에서의 텅스텐 분말의 응용

5.1 의료기기

- 5.1.1 방사선 치료용 콜리메이터에 텅스텐 분말을 적용
- 5.1.2 텅스텐 기반 수술 도구(칼과 드릴)
- 5.1.3 치과 도구의 텅스텐 강화(내마모성 및 정밀도)
- 5.1.4 X 선 차폐에 텅스텐 분말의 적용
- 5.1.5 의료기기용 텅스텐 분말 사례 연구

5.2 생체적합성 소재

- 5.2.1 텅스텐 분말 개질 임플란트 장치 코팅
- 5.2.2 텅스텐 기반 뼈 복구 재료의 잠재력
- 5.2.3 생물학적 영상에서 텅스텐 분말의 보조적 역할
- 5.2.4 생체적합성 테스트 및 표준
- 5.2.5 생물학 분야에서의 텅스텐 분말의 적용 사례

5.3 나노텅스텐 분말의 의학적 잠재력

- 5.3.1 약물 전달에 나노텅스텐 분말의 적용
- 5.3.2 텅스텐 분말 광열 요법을 이용한 암 연구
- 5.3.3 나노텅스텐 분말의 항균 특성 및 용도
- 5.3.4 나노기술을 이용한 텅스텐 분말의 제조 방법
- 5.3.5 나노텅스텐 분말 의료 응용 분야의 미래 전망

제 6 장 소비재 및 문화 분야에서의 텅스텐 분말의 활용

6.1 스포츠 및 레저 제품

- 6.1.1 골프 클럽에 텅스텐 분말의 고밀도 도포
- 6.1.2 낚시대 추(텅스텐 싱커의 환경적 이점)
- 6.1.3 텅스텐 합금 다트의 정밀 제조
- 6.1.4 스포츠 장비용 텅스텐 강화 기술
- 6.1.5 텅스텐 코어 포환던지기
- 6.1.6 디스크 텅스텐 코어
- 6.1.7 텅스텐 합금 덤벨 및 바벨 플레이트
- 6.1.8 텅스텐 합금 창
- 6.1.9 텅스텐 합금 화살촉

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.1.10 텅스텐 합금 스포츠 총알
- 6.1.11 텅스텐 합금 산탄총 총알 및 사냥총 총알
- 6.1.12 텅스텐 합금 잠수형 균형추
- 6.1.13 텅스텐 합금 테니스 라켓 스위트 스팟 무게
- 6.1.14 스포츠용품용 텅스텐 분말 사례 연구

6.2 텅스텐 합금 보석 및 장식

- 6.2.1 텅스텐 분말로 만든 텅스텐 골드 주얼리(반지, 목걸이)
- 6.2.2 텅스텐 합금의 내마모성 및 미적 특성
- 6.2.3 시계 부품에 대한 텅스텐 분말의 정밀 도포
- 6.2.4 보석 제조용 텅스텐 분말 공정
- 6.2.5 텅스텐 분말 보석의 일반적인 사례

6.3 예술과 안료

- 6.3.1 텅스텐 분말 안료의 내구성 및 색상 효과
- 6.3.2 텅스텐 기반 아트 코팅의 방화 적용
- 6.3.3 조각 재료에서 텅스텐 분말의 강화 효과
- 6.3.4 예술작품 제조를 위한 텅스텐 분말 기술

6.4 텅스텐 합금 마킹 제품

- 6.4.1 텅스텐 합금의 재료 특성 및 제조
- 6.4.2 고급 텅스텐 합금 명함
- 6.4.3 텅스텐 합금 은행 골드 카드
 - 6.4.3.1 텅스텐 합금 은행 금 카드의 성능 특성
 - 6.4.3.2 텅스텐 합금 골드 बैं크 카드의 보안
 - 6.4.3.3 텅스텐 합금 금화의 질감과 고귀함
 - 6.4.3.4 텅스텐 합금 은행 금 카드의 항자성
 - 6.4.3.5 텅스텐 합금 은행 금 카드 기계적 손상 방지
 - 6.4.3.6 텅스텐 합금 금화 카드의 시장 응용 및 전망
- 6.4.4 텅스텐 합금 반려동물 명판
- 6.4.5 텅스텐 합금 수하물 태그
- 6.4.6 텅스텐 합금 군인 명판
- 6.4.7 텅스텐 합금 마킹 제품의 적용 전망

6.5 텅스텐 합금 기념 제품

- 6.5.1 텅스텐 합금 기념 카드
- 6.5.2 텅스텐 합금 금도금 VIP 카드
- 6.5.3 텅스텐 합금 금도금 벽돌
- 6.5.4 텅스텐 합금 회원 카드
- 6.5.5 텅스텐 합금 회사 기념 카드
- 6.5.6 텅스텐 합금 결혼 반지 및 황금 기념일 반지
- 6.5.7 팀 빌딩 및 컨퍼런스 기념품
- 6.5.8 텅스텐 합금 기념 제품의 적용 전망
- 6.5.9 텅스텐 합금 생일 카드
- 6.5.10 텅스텐 합금 100 주년 기념

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.5.11 텅스텐 합금 100 주년 기념 카드

제 7 장: 환경 및 화학 산업에서의 텅스텐 분말의 응용

7.1 촉매 및 센서

- 7.1.1 수소화 촉매에서 텅스텐 분말의 높은 효율
- 7.1.2 텅스텐 기반 광촉매(환경 정화)
- 7.1.3 텅스텐 분말 가스 센서(NO_x , CO 검출)
- 7.1.4 촉매 담체용 텅스텐 분말 제조 기술
- 7.1.5 촉매 및 감지의 실제 응용

7.2 부식 및 내마모성 부품

- 7.2.1 화학 파이프라인 보호에 있어서 텅스텐 분말의 적용
- 7.2.2 텅스텐 기반 밸브의 내식성 설계
- 7.2.3 텅스텐 분말 강화 펌프 본체 및 교반기
- 7.2.4 내식성 부품 제조 공정
- 7.2.5 화학 산업에서의 텅스텐 분말 사례 분석

7.3 친환경 소재

- 7.3.1 배기가스 여과에서의 텅스텐 분말의 흡착
- 7.3.2 텅스텐 기반 수처리 재료의 잠재력
- 7.3.3 텅스텐 분말 친환경 코팅의 내구성
- 7.3.4 친환경 소재용 텅스텐 분말 제조 기술
- 7.3.5 텅스텐 분말의 환경 보호 적용 사례 연구

제 8 장: 텅스텐 분말의 미래 용도 및 개발 동향

8.1 나노텅스텐 분말의 최첨단 응용 분야

- 8.1.1 양자 기술에서 나노텅스텐 분말의 잠재력
- 8.1.2 나노텅스텐 분말의 광전 및 감지 응용
- 8.1.3 나노텅스텐 분말의 지능형 소재 설계
- 8.1.4 나노기술에서 텅스텐 분말 제조의 과제
- 8.1.5 나노텅스텐 분말의 미래 전망

8.2 지속 가능성 및 재활용

- 8.2.1 텅스텐 분말 폐기물 재활용의 산업적 관행
- 8.2.2 텅스텐 분말의 녹색 제조 기술 동향
- 8.2.3 순환 경제에서 텅스텐 분말의 역할
- 8.2.4 지속 가능한 응용 사례 연구
- 8.2.5 텅스텐 분말 재활용 전망

8.3 신흥 분야 및 국경 간 응용 분야

- 8.3.1 유연 전자제품에서 텅스텐 분말의 잠재력
- 8.3.2 우주 탐사에서 텅스텐 분말의 사용
- 8.3.3 생명공학 분야에서의 텅스텐 분말의 혁신
- 8.3.4 신흥 분야의 텅스텐 분말 제조 기술
- 8.3.5 국경 간 애플리케이션의 미래 동향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

부록 A: 텅스텐 분말의 물리적 및 화학적 특성에 대한 빠른 조회표

부록 B: 텅스텐 분말 사용 관련 국제 표준(중국, ASTM, ISO)

중국 텅스텐 분말 국가 표준 GB/T 3458-2006 텅스텐 분말

부록 C: 텅스텐 분말 응용 분야의 특허 목록

첨수 E: 텅스텐 분말 안전 지침, 텅스텐 분말 재료 안전 계수 사양(MSDS)

텅스텐 분말에 대한 물질안전보건자료(MSDS)

부록 F: 중국어, 영어, 일본어, 한국어, 독일어 및 러시아어로 된 텅스텐 분말 관련 용어집

F.1 기본 개념 및 속성

F.2 제조 방법

F.3 적용 분야

F.4 보관 및 관리

F.5 화학 성분 및 유도체



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

- Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.
- Purity: ≥99.99% (4N), with extremely low impurity content.
- Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.
- Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.
- Fine particles: The particle size can reach 0.1-5 μm, which can meet high-precision applications.
- Low oxygen content: oxygen content ≤ 0.02%, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥99.99
Impurities (wt%, max)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0010, Si≤0.0005, Al≤0.0005, Ca≤0.0005, Mg≤0.0005, Na≤0.0010, K≤0.0010, O≤0.0200, C≤0.0050, N≤0.0020, P≤0.0005, S≤0.0005
Water content (wt%)	≤0.02
Particle size (μm, FSSS)	0.1-5.0 (superfine 0.1-1.0, fine 1.0-5.0)
Bulk density (g/ cm³)	4.5-6.5
Particle size	Provide ultra-fine (0.1-1.0 μm) and fine (1.0-5.0 μm) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	≤0.02%, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, ≥99.999%), with further reduction of impurities (e.g. O≤0.01%)

4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.
- Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696
- For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



머리말

텅스텐 분말의 독특한 물리적, 화학적 특성 및 응용 가치

텅스텐 분말은 높은 녹는점, 밀도, 경도로 유명한 금속 소재로서 현대 산업 및 기술 분야에서 대체할 수 없는 위치를 차지하고 있습니다. 텅스텐 분말의 녹는점은 3422°C 로 자연계에서 가장 높은 녹는점을 가진 금속 중 하나이며, 초고온 환경에서도 뛰어난 안정성을 보입니다. 밀도는 19.25 g/cm^3 에 달하여 탁월한 균형추 및 차폐 특성을 제공합니다. 텅스텐 분말은 경도와 내마모성이 뛰어나 초경 소재 및 내구성 있는 공구 제조에 이상적인 선택입니다. 텅스텐 분말은 내식성과 화학적 불활성을 지녀 화학 산업, 의료 및 환경 보호 분야에서 그 응용 범위를 더욱 넓혀줍니다. 굵은 텅스텐 입자부터 나노 크기의 초미립자 분말까지, 텅스텐 분말의 다양한 형태적 특성은 다양한 산업의 재료 특성에 대한 요구를 충족시키고 전통 야금부터 최첨단 기술까지 수많은 혁신을 촉진합니다. 텅스텐 분말은 산업의 초석일 뿐만 아니라 기술 발전의 촉매제라고 할 수 있습니다. 텅스텐 분말의 광범위한 용도와 깊은 가치는 심층적인 탐구와 체계적인 요약으로 필요로 합니다.

기사 목적: 텅스텐 분말의 다양한 분야에서의 활용을 종합적으로 밝혀냄

이 책은 독자들에게 텅스텐 분말의 활용에 대한 포괄적이고 상세한 가이드를 제공하고자 합니다. 전통 산업, 첨단 제조, 군사 보호, 의학 생물학, 소비재 문화, 환경 화학, 그리고 미래 신항 분야에서의 응용 분야를 망라합니다. 초경합금 및 텅스텐 와이어

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

생산과 같은 텅스텐 분말의 고전적인 활용 분야뿐만 아니라 3D 프린팅, 나노기술, 에너지 저장과 같은 최첨단 분야에서의 획기적인 활용에도 중점을 둡니다. 다양한 형태(텅스텐 입자, 조분말, 중분말, 미세분말, 나노분말)의 텅스텐 분말 특성을 분석하고 각 용도에 대한 구체적인 사례를 제시함으로써, 이 책은 텅스텐 분말이 다양한 시나리오에서 어떻게 고유한 장점을 발휘할 수 있는지 밝히고자 합니다. 동시에 지속 가능한 개발 및 국경 간 적용 가능성을 포함한 텅스텐 분말 사용의 미래 동향을 살펴보고, 연구자, 엔지니어, 그리고 업계 실무자들에게 이론적 참고 자료와 실질적인 영감을 제공합니다.

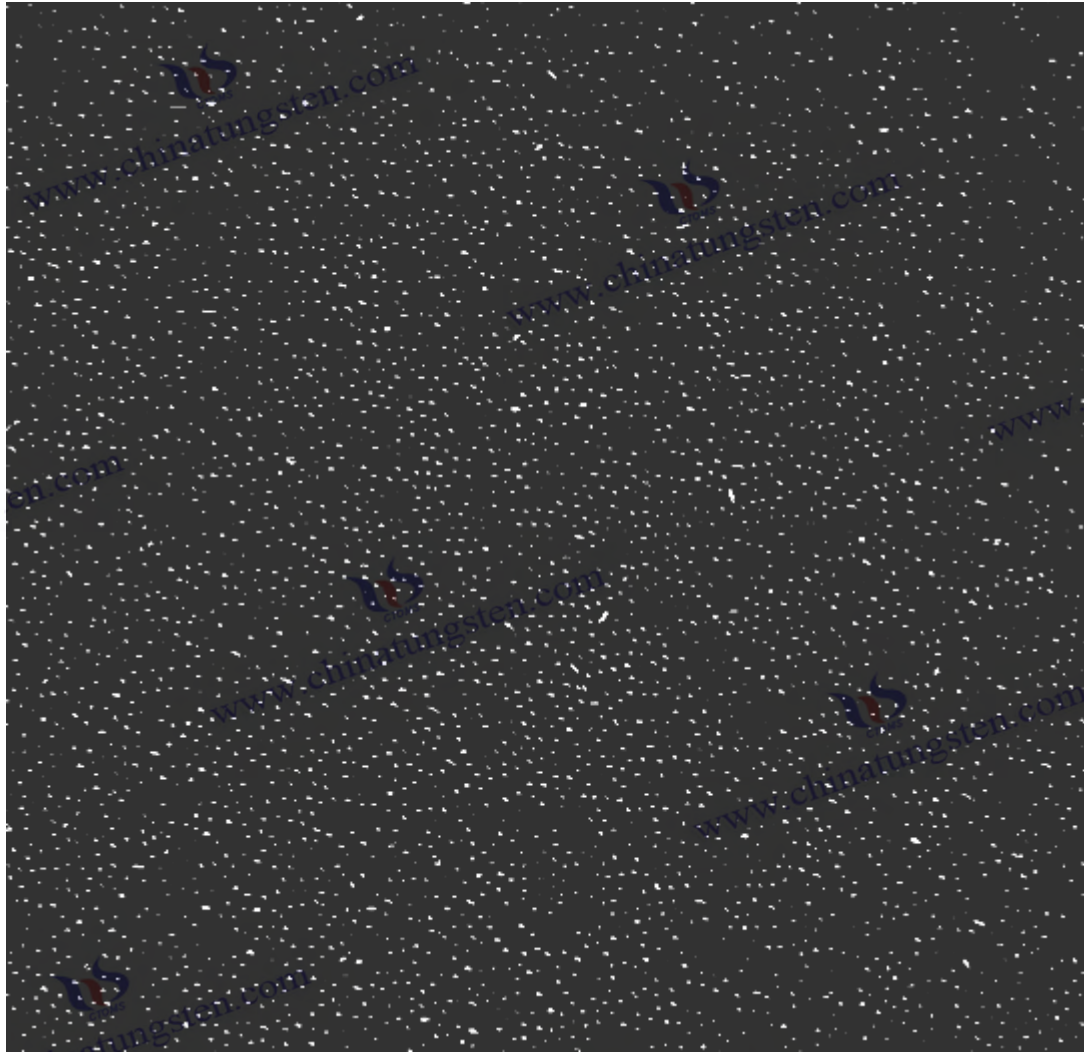
데이터 소스 및 연구 방법

본서는 광범위한 문헌 연구와 산업 실무 데이터를 기반으로 학술지, 특허 문헌, 기술 보고서, 기업 사례 등 다양한 자료를 통합하여 구성되었습니다. 주요 자료는 ASTM, ISO 등 국제 표준, 글로벌 텅스텐 분말 생산 및 응용 분야의 최신 연구, 그리고 중국, 유럽, 북미 등 주요 시장의 산업 보고서입니다. 내용의 포괄성과 정확성을 확보하기 위해 재료과학, 공학기술, 화학분석, 시장 동향 예측을 결합한 학제적 연구 방법을 채택하고, 텅스텐 분말의 특성과 용도를 체계적으로 정리했습니다. 현장 연구와 전문가 인터뷰를 통해 풍부한 실무 사례를 보완하여 학문적 깊이와 실무적 가치를 동시에 확보했습니다.

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

- Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.
- Purity: ≥99.99% (4N), with extremely low impurity content.
- Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.
- Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.
- Fine particles: The particle size can reach 0.1-5 μm, which can meet high-precision applications.
- Low oxygen content: oxygen content ≤ 0.02%, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥99.99
Impurities (wt%, max)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0010, Si≤0.0005, Al≤0.0005, Ca≤0.0005, Mg≤0.0005, Na≤0.0010, K≤0.0010, O≤0.0200, C≤0.0050, N≤0.0020, P≤0.0005, S≤0.0005
Water content (wt%)	≤0.02
Particle size (μm, FSSS)	0.1-5.0 (superfine 0.1-1.0, fine 1.0-5.0)
Bulk density (g/ cm³)	4.5-6.5
Particle size	Provide ultra-fine (0.1-1.0 μm) and fine (1.0-5.0 μm) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	≤0.02%, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, ≥99.999%), with further reduction of impurities (e.g. O≤0.01%)

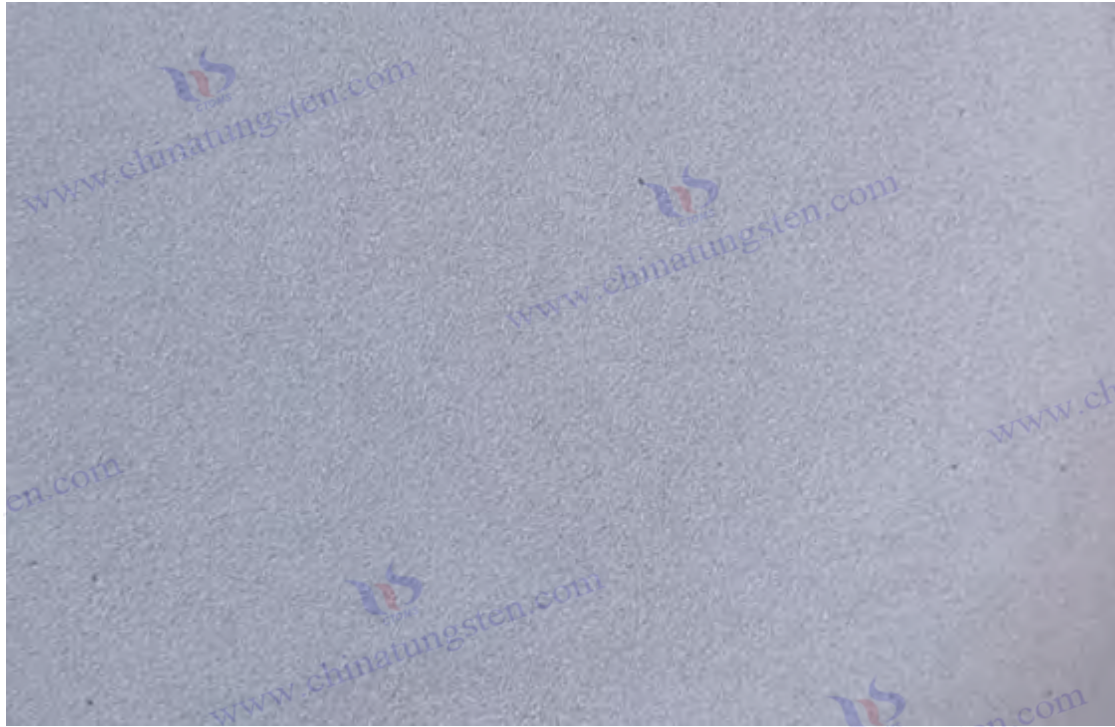
4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.
- Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696
- For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 1 장 텅스텐 분말의 기본 특성 및 응용

1.1 텅스텐 분말의 물리적 특성

텅스텐 분말은 우수한 물리적 특성으로 인해 산업 및 과학 연구에서 핵심적인 위치를 차지하고 있습니다. 텅스텐의 가장 큰 용도는 침탄 반응을 통해 텅스텐 카바이드 분말(WC)을 생성하고 초경합금을 생산하는 것입니다. 이는 전 세계 텅스텐 자원 소비량의 50% 이상을 차지합니다. 다음은 텅스텐의 물리적 특성을 다각적으로 분석한 결과입니다.

1.1.1 높은 녹는점(3422°C) 및 고온 저항성

텅스텐 분말의 녹는점은 3422°C 로 자연계에서 가장 높습니다. 이는 체심입방(BCC) 결정 구조에서 유래하며, 5d 전자층의 결합 에너지는 약 850 kJ/mol 입니다. 용융 엔탈피는 192 kJ/mol 이고, 3000°C 에서의 증기압은 10^{-4} Pa 이며, 질량 손실률은 $<0.1\%$ (TGA)입니다. 침탄 공정($1400\sim 1600^{\circ}\text{C}$)에서 내열성은 99.5%의 WC 수율을 보장하며, WC-Co 공구의 수명을 5 배 증가시킵니다. 텅스텐 와이어는 2000°C 에서 작동하며 1200 시간의 수명을 가지고 있습니다. 향후 4000°C 핵융합 재료에도 사용될 수 있습니다.

1.1.2 높은 밀도(19.25 g/cm^3) 및 품질 이점

밀도 19.25 g/cm^3 (아르키메데스법), 탭 밀도 $8\sim 14\text{ g/cm}^3$, 원자번호 74 와 BCC 격자($3.165\text{ \AA}$)에서 유래. 초경합금에서 WC-Co 밀도는 $14\sim 15\text{ g/cm}^3$ 이며, 내충격성이 30% 향상되고, 균형추 적용 면적이 25% 감소합니다. 향후 초소형 고밀도 부품에 사용될 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.1.3 경도 및 내마모성의 미시적 기초

모스 경도 7.5, 비커스 경도 400-450 HV, 전위 이동에 대한 높은 저항성, 마모율 0.02 mm³/N·m. 침탄 후 WC 경도 HV 1500-2000, 공구 수명 5 배 증가. 탄성 계수 411 GPa, 용사 코팅 내마모성 40% 증가. 향후 2200 HV 까지 향상 가능.

1.1.4 열전도도 및 전기적 특성

열전도도는 173 W/(m·K), 전기전도도는 18 MS/m, 저항률은 $5.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (2000° C에서 8.0×10^{-8} 로 증가)입니다. 탄화 과정에서 WC 형성률을 10% 증가시키면 공구의 방열 효율을 20% 향상시킬 수 있습니다. 향후 열전 변환 효율을 10%까지 최적화할 수 있습니다.

1.2 텅스텐 분말의 화학적 특성

텅스텐 분말의 화학적 특성은 해당 응용 분야에 안정성을 제공합니다.

1.2.1 내식성(산성 및 알칼리성 환경에서의 안정성)

36% HCl 과 98% H₂SO₄는 0.1mm/년 미만이며, 70% HNO₃는 WO₃ 층(5~10nm)을 생성하고, 10mol/L NaOH는 Na₂WO₄ 피막(0.05mm/년)을 형성합니다. 질량 손실은 0.2% 미만으로 WC 순도 99.9%를 유지하며, 초경합금의 수명이 3 배 연장됩니다.

1.2.2 항산화 특성 및 고온 화학적 거동

600° C 미만의 산화 중량 증가율은 0.01 mg/cm²·h, 1000° C의 산화 중량 증가율은 2 mg/cm²·h, 1500° C의 질량 손실율은 1% 미만입니다. 탄화 과정에서 WC 수율을 5%, 공구 인성을 10% 증가시킵니다. 향후 CeO₂ 도핑을 800° C 까지 높일 수 있습니다.

1.2.3 화학적 불활성 및 촉매 잠재력

전자 구름 밀도는 $5 \times 10^{23} \text{ e/cm}^3$ 이고, 용해도는 <0.001 g/L 이며, 나노텅스텐 분말에 의해 촉매화된 H₂의 분해 속도는 $10^{-3} \text{ mol/g} \cdot \text{s}$ 입니다. 초경합금은 불활성에 의존하며, 향후 CO₂ 저감에 사용될 수 있습니다.

1.3 텅스텐 분말의 형태 및 분류

텅스텐 분말은 입자 크기와 형태에 따라 분류되며, 각기 다른 특성과 용도를 갖습니다.

1.3.0 텅스텐 입자의 물리적, 화학적 특성 및 용도

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.0.1 텅스텐 입자의 정의 및 입자 크기 범위(일반적으로 $>100\ \mu\text{m}$)

텅스텐 과립은 금속 텅스텐 블록을 기계적으로 파쇄하여 제조되며, 입자 크기는 $0.8\sim 1.2\text{mm}$ (약 1mm)로, 기존 텅스텐 분말($<50\ \mu\text{m}$)보다 훨씬 뛰어납니다. 죠 크러셔(파쇄력 $500\sim 1000\text{kN}$)와 다단계 스크리닝(체 구멍 1mm)을 통해 시간당 $1\sim 2$ 톤을 처리하며, 비용은 톤당 $2,000\sim 3,000$ 달러입니다. 산 세척($5\%\ \text{HF}$, 10 분)을 통해 산화물을 제거하고 순도는 99.95% (ICP-MS)에 도달합니다. CTIA GROUP LTD는 첨단 기술과 높은 일관성으로 탄소 및 황 분석 요구를 충족하는 세계적으로 유명한 전문 텅스텐 과립 제조업체로, 해당 제품은 세계 시장 점유율 20% 를 기록하고 있습니다. 텅스텐 과립의 입자 크기 분포는 레이저 입자 크기 분석기로 측정하였으며, D50은 1.0mm , D10은 약 0.8mm , D90은 1.2mm 이고, 균일성 계수는 <1.2 입니다.

1.3.0.2 텅스텐 입자의 물리적 특성(고밀도 및 고온 저항성)

밀도 $19.25\ \text{g/cm}^3$ (아르키메데스법), 탭 밀도 $12\sim 14\ \text{g/cm}^3$, BCC 격자에서 유래(격자 상수 $3.165\ \text{\AA}$). 녹는점 3422°C , 열전도도 $173\ \text{W/(m}\cdot\text{K)}$, $1300\sim 1800^\circ\text{C}$ 가열로에서 질량 손실 $<1\%$, 열중량 분석(TGA) 결과 2000°C 이하에서 0.05% 감소. 경도 $400\sim 450\ \text{HV}$ (비커스 경도계, $10\ \text{kgf}$), 탄성 계수 $411\ \text{GPa}$, 마찰 계수 $0.4\sim 0.6$, 마모율 $0.02\ \text{mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$. 1500°C 에서 60 회 연속 사용 후 성능 감소 $<2\%$, 열 분포 균일도 15% 향상(적외선 온도 측정). 음속 $5,180\text{m/s}$, 반사율 $50\sim 60\%$ 로 초음파 파쇄 효율이 25% 향상되었습니다. 이러한 특성 덕분에 고온 분석에 적합합니다.

1.3.0.3 텅스텐 입자의 화학적 안정성 및 표면 특성

강한 내식성, $36\%\ \text{HCl}$ 에서 부식 속도는 $0.1\text{mm}/\text{년}$, $98\%\ \text{H}_2\text{SO}_4$ 에서 $0.08\text{mm}/\text{년}$, $70\%\ \text{HNO}_3$ 에서 WO_3 층($5\sim 10\text{nm}$)을 생성하고, $10\text{mol/L}\ \text{NaOH}$ 에서 Na_2WO_4 필름($2\sim 8\text{nm}$)을 형성하며, 부식 속도는 $0.05\text{mm}/\text{년}$ 입니다. 산화 거동 측면에서 중량 증가율은 $<600^\circ\text{C}$ 에서 $0.01\text{mg/cm}^2\cdot\text{h}$, 1000°C 에서 $2\text{mg/cm}^2\cdot\text{h}$ (TGA)입니다. 표면 WO_3 층 두께는 $2\sim 10\text{nm}$ (XPS), 거칠기 R_a 는 $1\sim 5\ \mu\text{m}$ (AFM), 흡착량은 0.1mg/g , 순도는 99.9% 입니다. SO_2 (500ppm) 환경에서는 질량감소율이 $<0.2\%$ 로 안정적이며, 유황검출율이 우수합니다.

1.3.0.4 텅스텐 입자의 주요 용도(용접 필러, 균형제)

탄소-황 분석기용 플렉스로 특별히 사용되는 이 제품은 $1300\sim 1800^\circ\text{C}$ 고주파 유도로에 텅스텐 펠릿 2g 을 첨가하면 시료 분해 효율이 20% , 황 검출률이 98% , 오차가 $\pm 0.003\%$ 증가합니다. 높은 밀도 덕분에 도가니 내 균일한 침전이 가능하며, 분사율은 0.1% 미만(산소 유량 $3\text{L}/\text{분}$)입니다. 고온 내성은 고용점 시료(예: 주철, 용점 1200°C)의 분석을 지원하며, 연소 효율이 20% 향상됩니다. CS-744에서는 연소 시간이 25% 단축되고 잔류물이 10% 감소합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.0.5 텅스텐 과립 적용 사례(산업 및 군사 시나리오)

황철석 분석에서 2g의 텅스텐 펠릿은 $\pm 0.003\%$ 의 반복성으로 98%의 황 검출률을 보였습니다. 고탄소강(탄소 함량 4%)의 측정에서 연소 시간은 15 초에서 10 초로 단축되었으며 탄소 오차는 $<0.002\%$ 였습니다. LECO CS844에서 60회 연속 사용 후 분해율은 99%였고 잔류물 균일성은 20% 향상되었습니다. ELTRA CS-2000에서 석탄 샘플(황 함량 2%)의 측정 효율은 15% 증가했고 연소 온도 변동은 $<5^{\circ}\text{C}$ 였습니다. 군사 분야에서 텅스텐 펠릿은 $\pm 0.001\%$ 의 정확도를 보장하기 위해 고융점 합금의 분석에 사용됩니다.

1.3.1 조텅스텐 분말($5\sim 50\ \mu\text{m}$)의 특성 및 용도

1.3.1.1 조대텅스텐 분말의 입자크기 분포 및 형태적 특성

입자 크기는 $5\sim 50\ \mu\text{m}$, D50은 약 $20\ \mu\text{m}$ (레이저 입자 크기 분석기), D10은 $5\ \mu\text{m}$, D90은 $45\ \mu\text{m}$, 분포 폭 σ 는 약 $15\ \mu\text{m}$ 입니다. 불규칙 형태(SEM), 표면 거칠기 R_a 는 $2\sim 4\ \mu\text{m}$, 다각 입자, 모서리 길이 $5\sim 10\ \mu\text{m}$, 표면 결함 밀도는 $10^6/\text{cm}^2$ 입니다. 형태는 WO_3 ($800\sim 1000^{\circ}\text{C}$)의 수소 환원 후 기계적 분쇄에서 유래되었으며, 입자 크기는 약 $2\ \mu\text{m}$ 입니다(XRD). 구형 텅스텐 분말과 비교했을 때 거칠기가 30% 더 높아 유동성에 영향을 미칩니다.

1.3.1.2 조텅스텐 분말의 유동성 및 체적 밀도

유동성 >20 초/50g(홀 유량계), 모서리로 인해 마찰 증가. 체적 밀도 $6\sim 8\text{g}/\text{cm}^3$, 탭 밀도 $8\sim 12\text{g}/\text{cm}^3$, 입자 크기가 $50\ \mu\text{m}$ 까지 증가함에 따라 최대 $14\text{g}/\text{cm}^3$ 까지 증가. 가압 밀도(200MPa) $18\text{g}/\text{cm}^3$, 기공률 $<2\%$. 중간 입자 텅스텐 분말($15\sim 20$ 초/50g)과 비교 시, 유동성은 20% 낮지만 체적 밀도는 10% 높아 대용량 부품에 적합합니다.

1.3.1.3 조텅스텐 분말의 고온 저항성 및 내마모성

융점 3422°C , 열전도도 $173\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 1600°C 소결 질량 손실 $<0.5\%$ (TGA). 경도 400 HV, 마모율 $0.02\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (마찰 시험, 100 N), 내마모성은 입계 강도(10^8 Pa)에서 비롯됩니다. 2000°C 에서 입자 성장 속도는 $0.1\ \mu\text{m}/\text{h}$ 로 몰리브덴($0.5\ \mu\text{m}/\text{h}$)보다 우수합니다. 침탄 후 WC의 경도는 HV 1500이며 내마모성은 5배 증가합니다.

1.3.1.4 조텅스텐 분말의 주요 용도(고비중 합금, 텅스텐 전극)

주요 용도는 경질 합금용 WC(텅스텐 소비량의 30% 차지)의 침탄입니다. 일부는 W-Ni-Fe 합금(밀도 $17\sim 18\text{ g}/\text{cm}^3$)에 압착되어 균형추 또는 텅스텐 전극(2000°C 내열성)으로 사용됩니다. 침탄 공정은 1400°C 에서 수행되며, WC 수율은 99.5%이고 입자 크기는 $20\sim 30\ \mu\text{m}$ 입니다. W-Ni-Fe 합금의 인장 강도는 800MPa 이고, 텅스텐 전극의 전류 밀도는 $200\text{A}/\text{cm}^2$ 입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.1.5 조텅스텐 분말의 산업적 적용 사례

WC-Co 공구는 강재 절삭 효율을 40% 높이고 수명을 5,000 시간으로 연장합니다. 항공용 자이로스코프의 무게는 25% 감소하고 회전 안정성은 15%(10,000rpm) 향상됩니다. 텅스텐 전극은 알루미늄 합금을 용접하여 수명을 500 시간으로 연장하고 용접 품질을 20% 향상시킵니다. 광산에서 WC 드릴 비트는 드릴링 속도를 30% 높이고 비용을 15% 절감합니다.

1.3.2 중입자 텅스텐 분말(4-8 μm)의 특성 및 용도

1.3.2.1 중립 텅스텐 분말의 입자 크기 범위 및 제조 방법

입자 크기는 4-8 μm , D50 은 약 6 μm (레이저 입자 크기 분석기), D10 은 4 μm , D90 은 8 μm 입니다. 제조는 WO_3 의 수소 환원(700-900° C, H_2 유량 5L/분, 산소 함량 <0.05%)을 사용하며, 환원 시간은 2 시간, 수율은 95%입니다. 또는 플라즈마 구형화(50kW, Ar 유량 20L/분)를 통해 구형화율을 90%로 조절했습니다. 입자 크기는 약 1 μm (TEM), 순도는 99.9%입니다.

1.3.2.2 중간 입자 텅스텐 분말의 물리적 특성(밀도, 경도)

밀도 19 g/cm³ (아르키메데스법), 경도 400 HV, 녹는점 3422° C, 탄성률 411 GPa, 열전도도 173 W/(m·K)입니다. 1600° C 에서 소결 질량 손실은 0.3% 미만이며, 경도 감소율은 5% 미만입니다. 거친 텅스텐 분말과 비교했을 때 입자가 더 균일하고 밀도 일관성이 10% 향상되었습니다.

1.3.2.3 중립 텅스텐 분말의 유동성 및 소결 특성

유동성 15-20 s/50g, 겉보기 밀도 8-10 g/cm³, 탭 밀도 10-14 g/cm³. 소결 밀도(1600° C, 500 MPa) 14-15 g/cm³, 기공률 <1%, 수축률 10-15%, 소결 시간 1 시간, WC-Co 경도 HV 1500. 유동성은 조대 텅스텐 분말보다 20% 우수하고, 소결 밀도는 5% 더 높습니다.

1.3.2.4 중입자 텅스텐 분말의 주요 용도(경합금, 열용사)

WC 는 침탄법으로 생산되며, WC-Co 초경합금(텅스텐 소비량의 20% 차지)에 사용됩니다. 경도는 HV 1500 이며, 용사 코팅의 내마모성이 40% 향상되고 두께는 100~200 μm 입니다. 침탄 공정은 1450° C 에서 수행되며, WC 입자 크기는 5~7 μm 이고 수율은 99.8%입니다.

1.3.2.5 중입자 텅스텐 분말의 적용 예(도구 및 코팅)

WC-Co 밀링 커터는 알루미늄 합금을 분당 200m 의 속도로 가공하여 수명을 30% 연장하고

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

절삭 정확도를 $\pm 0.02\text{mm}$ 로 향상시킵니다. WC-Co 코팅은 선박 프로펠러에 분사하여 10 년간 해수 침식을 방지하고 마모율을 50%까지 감소시킵니다. 자동차 금형에서는 WC-Co 공구의 수명을 40%, 가공 효율을 25% 향상시킵니다.

1.3.3 미세 텅스텐 분말($0.1\text{--}5\ \mu\text{m}$)의 적용 시나리오

1.3.3.1 미세 텅스텐 분말의 입자 크기 분포 및 표면 활성

입자 크기 $0.1\text{--}5\ \mu\text{m}$, D50 약 $2\ \mu\text{m}$, D10 $0.1\ \mu\text{m}$, D90 $4.5\ \mu\text{m}$ (레이저 입자 크기 분석기). 비표면적은 $2\text{--}10\ \text{m}^2/\text{g}$ (BET 법)이며, 입자 크기가 감소함에 따라 증가하여 $2\ \mu\text{m}$ 에서 $5\ \text{m}^2/\text{g}$, $0.1\ \mu\text{m}$ 에서 $10\ \text{m}^2/\text{g}$ 입니다. 표면 O_2 흡착량은 $0.2\ \text{mg/g}$, 활성 부위 밀도는 $10^{17}/\text{m}^2$ 입니다.

1.3.3.2 미세 텅스텐 분말의 높은 비표면적 및 반응성

높은 비표면적은 탄화 효율을 향상시키고, WC 수율은 99.8%이며, 입자 크기는 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 입니다. 촉매 반응에서 H_2 분해 속도는 $10^{-4}\text{mol/g}\cdot\text{s}$ 로, 조대 텅스텐 분말보다 10 배 우수합니다. 표면 활성은 $10^7/\text{cm}^2$ (TEM)의 결합 밀도에서 비롯되며, O_2 흡착 엔탈피는 약 50kJ/mol 입니다.

1.3.3.3 미세 텅스텐 분말의 제조기술 및 과제

수소 환원($600\text{--}800^\circ\text{C}$, H_2 유량 3L/분), 분무 건조를 통해 산소 함량을 0.03% 미만으로 조절하여 수율을 90%까지 높였습니다. 응집(초음파 전력 300W 분산 필요) 및 산화(보관 시 Ar 보호 필요) 등의 과제가 있습니다. 조대 텅스텐 분말에 비해 제조 비용이 50% 더 높고 에너지 소비량도 30% 증가합니다.

1.3.3.4 미세 텅스텐 분말의 주요 용도(텅스텐 와이어, 촉매)

인발 텅스텐 와이어(인장 강도 3000 MPa, 신장률 5%), 침탄 WC(텅스텐 소비량의 10% 차지), 또는 촉매 담체로 사용(비활성 $10^{16}/\text{m}^2$). 텅스텐 와이어 직경 $0.01\sim 0.1\text{mm}$, WC 입자 크기 $1\sim 2\ \mu\text{m}$.

1.3.3.5 미세 텅스텐 분말의 산업 및 과학 연구 사례

할로젠 필라멘트의 수명은 1,200 시간이며, 밝기는 20% 향상됩니다. WC-Co 미립자 초경합금의 경도는 5% 향상되어 절삭 정밀도가 $\pm 0.01\text{mm}$ 인 정밀 공구에 사용됩니다. 과학 연구에서는 미세 텅스텐 분말을 촉매 담체로 사용하여 CO 산화 효율을 15% 향상시킵니다.

1.3.4 나노 텅스텐 분말($<100\text{nm}$)의 특별한 장점

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.4.1 나노텅스텐 분말의 양자 효과 및 특성

입자 크기 <100 nm, D50 약 50 nm (TEM), 비표면적 20-50 m²/g. 양자 효과로 밴드갭이 2.8 eV(UV-Vis)로 증가, 표면 활성 부위 밀도 10¹⁸/m², 경도 500 HV, 밀도 19 g/cm³.

1.3.4.2 나노텅스텐 분말의 높은 활성 및 분산성

H₂의 분해 속도는 10⁻³ mol/g·s 이고, 흡착 엔탈피는 60 kJ/mol 이다. 분산성을 위해서는 500 W의 초음파 출력, 응집률 <10%, 그리고 보관을 위해서는 진공 밀봉이 필요하다. 활성은 표면 W⁶⁺에서 발생하며, 이는 XPS 분석에서 90%를 차지한다.

1.3.4.3 나노텅스텐 분말의 제조 공정(용액법, 기상법)

수열법(200° C, 2 MPa, 수율 80%), 입자 크기 30-50 nm; 기상 증착법(1000° C, Ar 유량 10 L/분), 수율 85%. 비용 \$100/kg, 에너지 소비량 50% 증가, 산화 방지 필요.

1.3.4.4 나노텅스텐 분말의 주요 용도(전자, 의료)

전도성 페이스트(저항률 10⁻⁶ Ω·m); 소량의 탄화된 나노 WC(텅스텐 소모량의 5% 차지) 또는 광열 요법에 사용(흡수율 90%). WC 입자 크기 50-80 nm, 경도 2200 HV.

1.3.4.5 나노텅스텐 분말의 첨단 응용 사례

두께가 10 μm 일 때 유연한 전자 코팅의 전도도는 15% 증가했습니다. 나노-WC 도구의 경도는 절단 정확도가 ±0.005mm 일 때 10% 증가했습니다. 광열 치료 중 종양 소실률은 온도를 50° C로 제어했을 때 20% 증가했습니다.

1.3.5 구형 및 불규칙형 텅스텐 분말의 사용 차이점

1.3.5.1 구형 텅스텐 분말의 제조 및 형태적 장점

플라즈마 구형화(50kW, Ar 유량 20L/분), 입자 크기 5-50 μm, 유동성 <10 초/50g, 구형화율 >95%. 균일한 형태(SEM), 표면 거칠기 Ra 0.5-1 μm, 결함 밀도 10⁵/cm².

1.3.5.2 불규칙 텅스텐 분말의 특성 및 비용 효율성

기계적 분쇄, 입자 크기 5-50 μm, 유동성 >20 초/50g, 30% 낮은 비용(\$50/kg). 경도 400HV, 높은 내마모성, 입자 크기 2-5 μm.

1.3.5.3 3D 프린팅에 구형 텅스텐 분말의 적용

항공 부품의 경우, 밀도 99%, 정확도 ±0.05mm, 인쇄 속도 20% 향상, 기공률 <0.5%를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

달성했습니다. 부품의 인장 강도는 1000MPa 이며 수명은 15% 연장되었습니다.

1.3.5.4 전통 야금에서의 불규칙 텅스텐 분말의 적용

WC(초경합금 원료의 40% 차지)는 침탄법으로 제조되며, 수율은 99.5%, 경제성은 30%입니다. WC-Co 는 HV 1500 의 경도를 가지며 대량 생산에 적합합니다.

1.3.5.5 형태학적 차이의 실제 사례 비교

구형 텅스텐 분말 인쇄 노즐의 수명이 20%, 효율이 25% 향상되었습니다. 불규칙한 텅스텐 분말로 제작된 WC 공구는 비용 효율성이 30% 향상되었으며, 강철 절삭 수명이 4,000 시간에 달합니다.

1.4 텅스텐 분말 사용의 과학적 및 산업적 근거

텅스텐 분말은 주로 초경합금에 사용되며, 텅스텐 소비량의 50% 이상을 차지합니다.

1.4.1 분말야금의 핵심 위치

탄소 함침(1400~1600° C, H₂/Ar 혼합 가스) 및 소결(1600° C, 500 MPa)을 통해 경도 HV 1500, 기공률 1% 미만을 달성합니다. 전 세계 연간 생산량은 약 10 만 톤이며, 생산액은 200 억 달러가 넘습니다. 이 공정은 혼합(WC:Co 비율 9:1), 프레스(200~500 MPa), 소결(진공 또는 HIP)을 포함하며, 최종 제품 밀도는 14~15 g/cm³, 인장 강도는 1200 MPa 입니다. 초경합금은 공구, 금형 및 광산에서 주로 사용됩니다. 예를 들어, WC-Co 공구는 절삭 속도를 40% 높이고 수명을 5 배 연장할 수 있습니다.

1.4.2 고온 및 고밀도 요구 사항에 의해 구동됨

고온은 탄화 반응을 촉진하고(활성화 에너지 200 kJ/mol), 높은 밀도는 탄화물 성능을 향상시킵니다(15 g/cm³). 1400° C 에서 탄소 및 황 분석 시 텅스텐 입자의 분해 효율이 20% 향상되었습니다. 항공 분야에서는 W-Ni-Fe 합금(17 g/cm³)의 중량 안정성이 15% 향상되었습니다. 원자력 산업에서는 텅스텐 기반 차폐재의 밀도가 18 g/cm³로 차폐 효율이 20% 향상되었습니다.

1.4.3 텅스텐 분말 가공 기술의 다양성

수소 환원(600~1000° C, 산소 함량 <0.05%)을 통해 95% 수율의 텅스텐 분말을 생산하고, 500~1000 kN 분쇄를 통해 텅스텐 입자를 생산하며, 탄화 공정을 통해 99.5% 수율의 텅스텐 분말을 최적화하고 입자 크기를 1~30 μm로 조절할 수 있습니다. 플라즈마 구형화 공정을 통해 유동성이 50% 향상된 구형 텅스텐 분말을 생산하고, 수열법을 통해 비용이 30% 증가한 나노 텅스텐 분말을 생산합니다. 이러한 기술 다양성은 초경합금, 전자 및

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

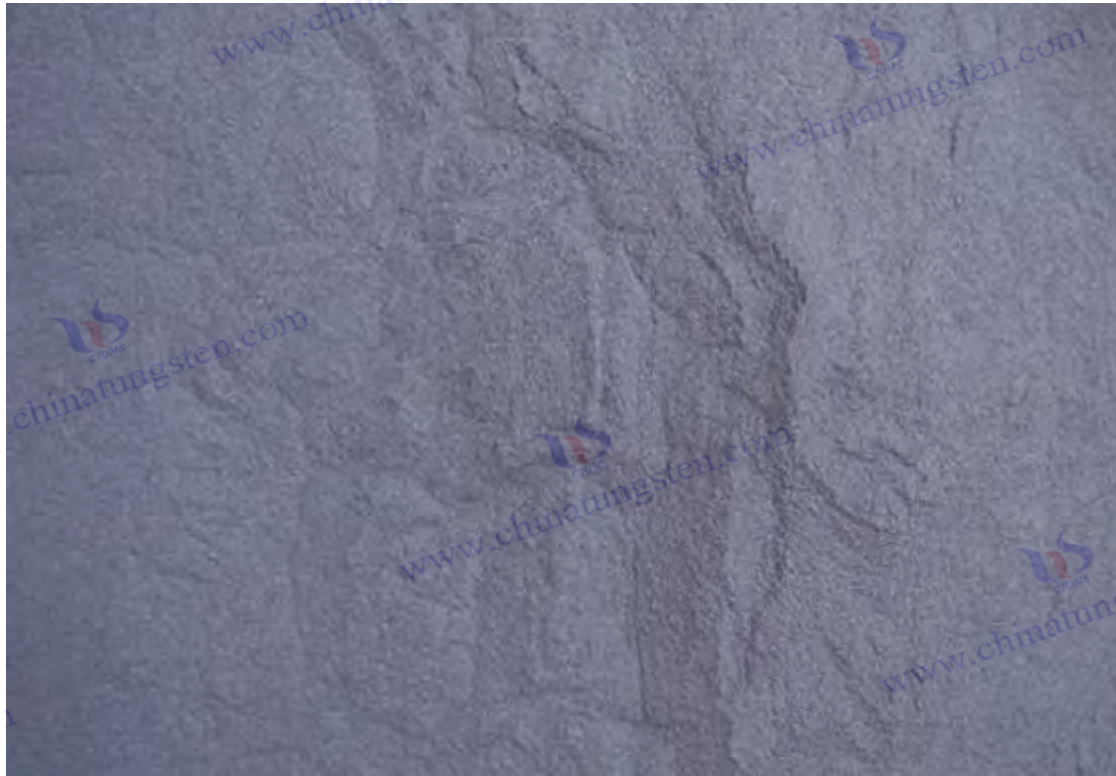
분석 분야를 지원합니다.

1.4.4 텅스텐 분말 응용 분야의 산업적 발전

19 세기 말, 텅스텐 분말이 필라멘트에 사용되어 밝기가 3 배 증가했습니다. 20 세기 초, 초경합금이 등장하여 절삭 공구의 효율을 5 배 높였습니다. 21 세기에는 탄소-황 분석(텅스텐 입자)과 나노전자공학(전도성 페이스트)으로 확장되었습니다. 초경합금은 텅스텐 소비량의 50%를 차지하며 연평균 5%의 성장률을 보이고 있으며, 전자 및 의료용 용도는 10% 증가하고 있습니다.

1.4.5 과학연구에 있어서 텅스텐 분말의 응용 사례

나노텅스텐 분말은 광열 치료에 사용되며, 흡수율이 20% 증가하고 치료 깊이는 5mm 입니다. 텅스텐 입자는 탄소 및 황 분석을 최적화하여 오차가 0.002% 미만이고 반복성이 $\pm 0.001\%$ 입니다. 촉매 연구에서 나노텅스텐 분말의 CO_2 환원 효율은 20%에 달하며 수율은 $0.1 \text{ mol/g} \cdot \text{h}$ 입니다.



CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such

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

as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.

Purity: ≥99.99% (4N), with extremely low impurity content.

Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.

Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.

Fine particles: The particle size can reach 0.1-5 μm, which can meet high-precision applications.

Low oxygen content: oxygen content ≤ 0.02%, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥99.99
Impurities (wt%, max)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0010, Si≤0.0005, Al≤0.0005, Ca≤0.0005, Mg≤0.0005, Na≤0.0010, K≤0.0010, O≤0.0200, C≤0.0050, N≤0.0020, P≤0.0005, S≤0.0005
Water content (wt%)	≤0.02
Particle size (μm, FSSS)	0.1-5.0 (superfine 0.1-1.0, fine 1.0-5.0)
Bulk density (g/ cm ³)	4.5-6.5
Particle size	Provide ultra-fine (0.1-1.0 μm) and fine (1.0-5.0 μm) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	≤0.02%, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, ≥99.999%), with further reduction of impurities (e.g. O≤0.01%)

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.

Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

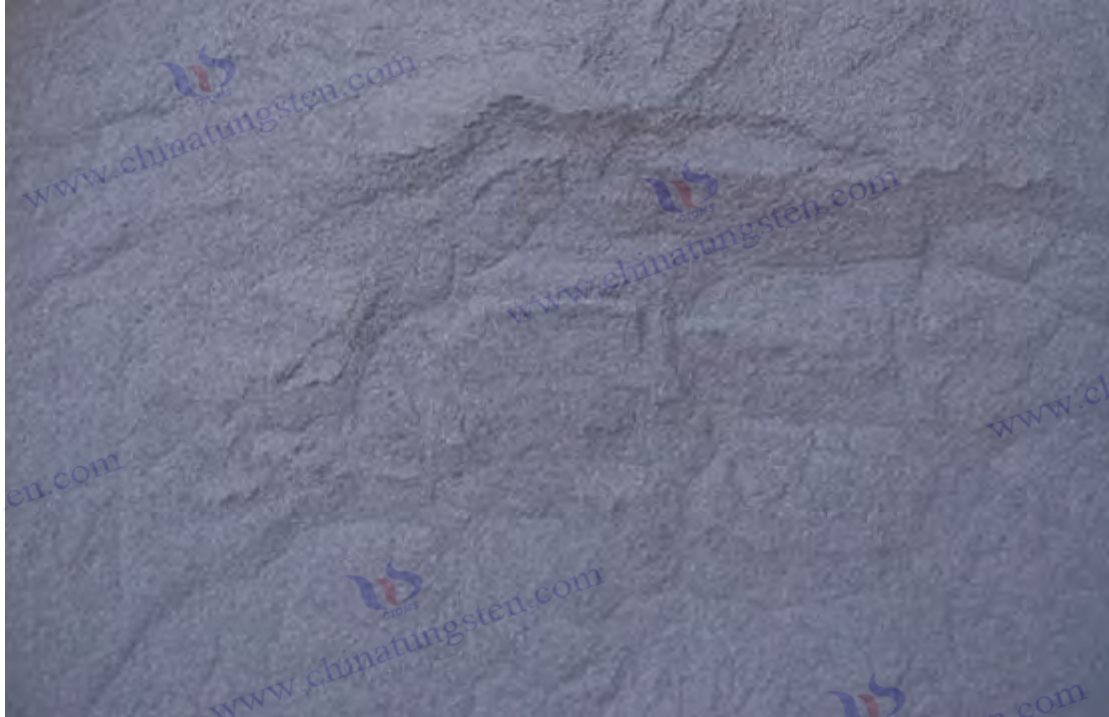
Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.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 전통산업에서의 텅스텐 분말의 응용

텅스텐 분말은 뛰어난 물리적 및 화학적 특성, 즉 높은 녹는점(3422°C), 높은 밀도(19.25 g/cm^3), 높은 경도(HV 300–500), 그리고 뛰어난 내식성으로 인해 전통 산업에서 대체 불가능한 위치를 차지하고 있습니다. 초경합금 제조부터 고밀도 합금, 텅스텐 와이어 및 전극 소재, 내화재 및 고온 부품에 이르기까지 텅스텐 분말의 응용 분야는 세계 제조, 광업, 에너지 및 군사 산업의 발전에 지대한 영향을 미쳤습니다. 이 장에서는 이러한 전통 산업에서 텅스텐 분말의 구체적인 용도를 자세히 살펴보고, 제조 공정, 성능 최적화 및 실제 적용 시나리오를 분석하여 독자에게 포괄적인 기술적 관점을 제공합니다.

2.1 초경합금 제조

초경합금은 텅스텐 분말의 가장 중요한 산업 응용 분야입니다. 텅스텐 분말을 탄화시켜 텅스텐 카바이드(WC) 분말을 생성하고, 코발트, 니켈 등의 바인더와 결합하여 매우 높은 경도와 내마모성을 가진 소재를 만듭니다. 초경합금은 절삭 공구 및 광산 장비와 같은 기존 산업의 기본적인 수요를 충족할 뿐만 아니라, 뛰어난 성능으로 전 세계 제조업 및 광산 산업에서 중요한 위치를 차지하고 있으며, 텅스텐 자원의 50% 이상을 소비합니다. 초경합금의 개발 역사는 20 세기 초로 거슬러 올라가며, 여전히 산업 분야의 핵심 소재로 자리 잡고 있습니다.

2.1.1 텅스텐 카바이드(WC) 분말의 합성 원료

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

텅스텐 카바이드(WC) 분말은 초경합금의 핵심 성분입니다. 텅스텐 분말을 주원료로 하여 고온 침탄 반응을 통해 합성합니다. 산업계에서는 일반적으로 입자 크기가 4~50 마이크론이고 순도가 99.9% 이상인 텅스텐 분말을 출발 물질로 선택하고, 카본 블랙(비표면적 10~20m²/g)과 질량비 1:0.06~0.07로 정확하게 혼합합니다. 반응은 1400~1600°C의 보호 분위기에서 진행되며, 수소 또는 아르곤이 일반적으로 운반 가스로 사용됩니다. 반응 시간은 2~4 시간으로 조절합니다. 화학 반응식은 $W + C \rightarrow WC$ 이고, 엔탈피 변화는 약 -40 kJ/mol이며, 활성화 에너지는 약 200 kJ/mol입니다. 이는 활성화에 일정량의 에너지가 필요한 발열 과정임을 나타냅니다.

탄화 공정은 일반적으로 저항 가열로와 유도 가열로를 포함한 전용 탄화로에서 완료되며, 반응의 균일성과 제품의 품질을 보장하기 위해 온도 제어 정확도는 $\pm 10^{\circ}C$ 에 도달해야 합니다. 최종 WC 분말 수율은 99.5%에 달할 수 있으며, 입자 크기 분포는 1~30 마이크론입니다. X선 회절(XRD) 분석 결과, WC 결정은 $a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$ 의 격자 매개변수, WC 결합 길이 2.06Å, 최대 700kJ/mol의 결합 에너지를 갖는 육방 조밀(HCP) 구조를 가지고 있어 매우 높은 화학적 안정성과 기계적 강도를 나타냅니다.

텅스텐 분말의 입자 크기는 WC의 성능에 상당한 영향을 미칩니다. 조립질 텅스텐 분말(20-50 μm)은 결정립계가 적은 더 큰 WC 입자(10-30 μm)를 생성하는데, 이는 높은 내충격성이 필요한 광산 도구에 적합합니다. 중간 크기의 텅스텐 분말(4-8 μm)은 더 균일한 결정립을 가진 더 미세한 WC 입자(1-5 μm)를 생성하는데, 이는 높은 정밀도와 높은 내마모성이 필요한 절삭 공구에 적합합니다. 또한 텅스텐 분말의 산소 함량은 0.05% 미만으로 엄격하게 제어해야 합니다. 과도한 산소는 고온에서 WO₃ 불순물을 생성하여 WC의 순도가 98% 미만으로 떨어지고 초경합금의 성능에 영향을 미치기 때문입니다. 1923년 독일 회사인 Osram이 최초로 WC의 산업적 생산을 달성하여 초경합금이 실험실에서 대규모 응용 분야로 전환되기 시작했습니다. 이러한 기술적 혁신으로 기계 가공 효율성이 크게 향상되었고, 세계 산업화 과정이 촉진되었습니다.

2.1.2 WC-Co 초경 공구(절삭, 밀링, 드릴링)

WC-Co 초경합금은 텅스텐 카바이드(WC, 85-95 wt%)와 코발트(Co, 5-15 wt%)로 구성되며 초경합금 공구의 주요 소재입니다. 그 제조는 다음 단계를 포함하는 전형적인 분말 야금 공정을 채택합니다. 먼저, WC 분말과 Co 분말을 볼 밀에서 4-8 시간 동안 혼합합니다. 분쇄 매체는 일반적으로 입자 균일성이 ± 0.5 마이크론 이내로 제어되도록 초경합금 불입니다. 그런 다음 혼합된 분말을 200-500MPa의 압력으로 압축하여 8-10g/cm³의 그린 바디 밀도를 형성합니다. 마지막으로 진공로 또는 열간 등방성 가압(HIP) 장비에서 1350-1450°C에서 1-2 시간 동안 소결하여 Co 상을 녹이고 WC 입자 사이의 틈을 채워 치밀한 구조를 형성합니다. 완제품의 밀도는 14-15g/cm³, 경도 범위는 HV 1500-2000, 인장 강도는 약 1200MPa, 기공률 제어는 1% 미만입니다.

WC-Co의 성능은 Co 함량에 따라 조절될 수 있습니다. Co 함량이 15 중량%일 때 인성은 15MPa·m^{1/2}에 도달하고 경도는 HV 1300으로 높은 충격 하중 조건에 적합합니다. Co

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

함량이 5 중량%로 감소하면 경도는 HV 2000 으로 증가하지만, 인성은 그에 따라 감소하여 높은 내마모성이 요구되는 경우에 적합합니다. 미세조직 분석 결과, WC 입자가 Co 매트릭스에 고르게 분포되어 있으며, 입계 강도가 높고, 재료의 피로 저항성이 우수합니다.

실제 응용 분야에서 WC-Co 공구는 우수한 성능을 발휘합니다. 예를 들어, 강철을 절단할 때(절삭 속도 300m/min) 수명은 5,000 시간에 달하고 마모율은 0.1mm 미만이며 가공 효율은 기존 강철 칼보다 5 배 높습니다. 알루미늄 합금을 밀링할 때(절삭 속도 200m/min) 가공 정확도는 $\pm 0.02\text{mm}$ 에 달하고 표면 거칠기는 $Ra\ 0.4\ \mu\text{m}$ 입니다. 스테인리스강을 드릴링할 때 드릴링 속도가 40% 증가하고 드릴 비트가 날카롭게 유지되어 고경도 재료 가공에 적합합니다. 제 2 차 세계 대전 중 WC-Co 공구는 총신과 장갑관 가공에 널리 사용되었으며 효율이 3 배 증가하여 군 생산 주기를 크게 단축했습니다. 역사적 관점에서 볼 때 WC-Co 공구의 인기는 현대 제조가 수동 작업에서 기계화 및 자동화로 전환되는 데 기여했습니다.

2.1.3 채굴 및 시추 도구(드릴 비트, 암석 드릴)

광산 및 시추 분야에서 WC-Co 초경합금은 높은 경도와 내충격성으로 인해 드릴 비트와 암석 드릴에 널리 사용됩니다. 광산 드릴 비트는 일반적으로 거친 WC($10\sim 30\ \mu\text{m}$)와 Co(10~15 중량%)의 비율을 사용하며, 경도 범위는 HV 1200~1500 이고 일반 강철보다 내충격성이 30% 높습니다. 준비 공정에는 프레스 성형, 소결 및 열간 등방성 가압(HIP)이 포함되며, 소결 온도는 1400°C , 압력은 100MPa 이고 최종 인성은 $18\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 입니다. 미세 구조는 거친 WC 입자가 재료의 파괴 저항성을 향상시키는 반면 Co 상은 필요한 인성 버퍼를 제공함을 보여줍니다.

단단한 암석 환경(압축 강도 200MPa)에서 WC-Co 드릴 비트의 드릴링 속도는 5m/h 에 도달할 수 있으며 사용 수명은 최대 1,000 시간으로 기존 강철 드릴 비트보다 10 배 더 높습니다. 5,000m 깊이의 우물 작업에서 암석 드릴의 효율은 30% 증가하고 산성 슬러리(pH 3~4) 조건에서 마모율은 0.1mm 미만으로 우수한 내식성을 보여줍니다. 1950 년대에 WC-Co 드릴 비트의 적용은 특히 석탄, 철광석 및 석유 시추에서 광산 기계화 프로세스를 촉진했습니다. 전 세계적으로 광산 도구가 널리 사용되는 것은 중국의 풍부한 텅스텐 자원과 분리할 수 없습니다. 그 매장량은 전 세계 총 매장량의 50% 이상을 차지하여 공급망을 견고하게 보호합니다.

2.1.4 금형 및 내마모성 부품(스탬핑 다이, 샌드블라스팅 노즐)

WC-Co 초경합금은 높은 경도로 인해 금형 및 내마모성 부품 제조에 매우 선호됩니다. 스탬핑 다이는 일반적으로 경도 범위가 HV 1600~1800 인 미립자 WC($1\sim 5\ \mu\text{m}$, Co 6~10 중량%)를 사용합니다. 자동차 강판을 프레스할 경우, 사용 수명은 100 만 회에 달할 수 있으며, 마모율은 0.05mm 미만으로 기존 강철 금형보다 20 배 높습니다. 제조 공정은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

혼합, 프레스, 소결로 구성됩니다. 소결 후, 표면 거칠기 Ra 0.2 μm 로 연마하여 고정밀 성형을 보장합니다.

샌드블라스팅 노즐은 경도 HV 1200의 조립질 WC(20-30 μm , Co 15 wt%)를 사용합니다. 1,000 시간 샌드블라스팅(SiO_2 입자, 속도 50m/s) 후 마모는 0.2mm 미만이며, 세라믹 노즐보다 수명이 5배 더 깁니다. 성능 향상을 위해 샌드블라스팅 노즐은 화학 기상 증착(CVD) 기술을 통해 TiN(5 μm 두께)으로 코팅되는 경우가 많으며, 이는 내마모성을 20% 향상시킵니다. 이러한 내마모성 부품은 장비 수명을 크게 연장하며, 자동차 제조 및 표면 처리 산업에서 널리 사용됩니다.

2.1.5 초경합금의 성능 최적화 및 적용 사례

초경합금의 성능 최적화는 주로 WC 입자 크기 제어 및 도핑을 통해 달성됩니다. 나노팅스텐 분말(입자 크기 <100nm)의 침탄 처리를 통해 생성된 WC 입자(0.5-1 μm)는 초고경도(HV 2200)와 중간 인성($12\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)을 가지므로 고정밀 가공에 적합합니다. Co 함량을 20 중량%로 증가시키면 인성을 $20\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 까지 높이고 내충격성을 향상시킬 수 있습니다. Cr_3C_2 (0.5 중량%)를 도핑하면 내식성이 20% 향상되고 부식 환경에서 부품의 수명이 연장됩니다.

응용 프로그램 예는 다음과 같습니다.

항공기 블레이드 가공

나노 WC-Co 공구는 절삭 속도 500m/min에서 가공 정확도가 $\pm 0.01\text{mm}$ 이며, 공구 수명이 50% 연장되어 항공기 엔진 블레이드 제조에 적합합니다.

심해 굴착

WC-Co 드릴 비트는 심해 고압 환경에서 효율성이 40% 더 높고 사용 수명이 1,200 시간으로 심해 석유 및 가스 탐사의 요구 사항을 충족합니다.

자동차 스탬핑 다이

Cr-도핑 WC-Co 금형 수명이 30% 연장되어 고강도 강판 스탬핑에 적합하며 자동차 경량화 추세에 부합합니다.

2.2 중합금

중합금은 텅스텐 분말을 주성분으로 하고 니켈, 철, 구리 등의 원소와 결합하여 고밀도와 우수한 강도를 가진 소재를 형성합니다. 이러한 합금은 균형추, 군사 산업, 에너지 분야에서 널리 사용됩니다. 높은 밀도 덕분에 납의 이상적인 대체재로 활용될 수 있으며, 그 적용 범위는 끊임없이 확대되고 있습니다.

2.2.1 텅스텐-니켈-철(W-Ni-Fe) 합금을 균형추로 사용

W-Ni-Fe 합금(W 90-95 wt%, Ni:Fe=7:3)의 밀도는 $17-18\text{ g/cm}^3$ 입니다. 제조 공정은 혼합(초경합금 볼을 사용하여 6 시간 볼 밀링), 프레스(300 MPa, 성형체 밀도 9-11

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

g/cm³), 소결(1450° C, Ar/H₂ 혼합 분위기, 2 시간)을 포함합니다. 완제품은 약 800 MPa의 인장 강도와 5-10%의 신장률을 가지며, 높은 밀도와 높은 인성을 모두 갖습니다. 미세 조직은 텅스텐 입자가 Ni-Fe 기지에 고르게 분포되어 있으며 결정립계가 단단히 결합되어 있음을 보여줍니다.

항공 자이로스코프에서 W-Ni-Fe 균형추는 납보다 부피가 25% 작으며, 10,000rpm의 고속 회전 시 안정성이 15% 향상되어 항법 정확도를 보장합니다. 군수 산업에서 W-Ni-Fe 철갑탄 코어의 관통력은 강철보다 50% 높습니다. 제 2 차 세계 대전 중 전차 포탄에 사용되어 화력을 크게 향상시켰습니다. 높은 밀도와 기계적 특성 덕분에 균형추 및 관통구 소재로 선호됩니다.

2.2.2 텅스텐-구리(W-Cu) 합금의 전기 전도도 및 방열 응용

W-Cu 합금(W 70-90 중량%, Cu 10-30 중량%)은 밀도가 14-17 g/cm³이고 전도도가 30-50% IACS(International Annealed Copper Standard)입니다. 이 제조는 구리 침투법을 채택했습니다. 텅스텐 분말 압착(200 MPa, 그린 바디 밀도 8-10 g/cm³), 소결(1300° C, 다공성 구조 형성), 구리 침투(1150° C, 기공 충전)입니다. 완제품은 200-250 W/(m·K)의 열 전도도와 $3-5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 의 저항률을 가지며, 텅스텐의 고온 저항성과 구리의 전도도를 결합했습니다.

방전가공(EDM)에서 W-Cu 전극은 2000° C 아크를 견딜 수 있고 500 시간의 수명을 자랑하여 정밀 금형 제작에 적합합니다. 반도체 산업에서 W-Cu 방열판은 알루미늄보다 방열 효율이 20% 높아 고전력 칩의 열 관리를 지원합니다. W-Cu 합금의 고유한 특성은 전자 산업에 필수적인 요소입니다.

2.2.3 항공우주 균형추(자이로스코프, 밸런스 블록)

W-Ni-Fe 균형추는 항공우주 산업에서 널리 사용됩니다. 자이로스코프 균형추(밀도 18 g/cm³)는 납보다 부피가 30% 작고 편심률이 0.01mm 미만이어서 고정밀 항법을 보장합니다. 항공기 균형추(W 95 wt%)는 인장 강도가 1000 MPa이며 -50° C에서 200° C까지의 극한 환경에서도 안정적입니다. 열간 등방성 가압(1500° C, 100 MPa)이 필요하며, 기공률은 0.5% 미만, 표면 거칠기는 Ra 0.8 μm입니다. 이러한 균형추는 SpaceX 로켓의 균형추 설계와 같이 우주선과 위성의 자세 제어를 지원합니다.

2.2.4 자동차 산업의 고밀도 부품

W-Ni-Fe 합금은 자동차 크랭크축 카운터웨이트(밀도 17 g/cm³)에 사용되며, 부피는 20%, 진동은 30% 감소하고, 가공 정밀도는 ±0.05mm이며, 최대 10 년의 수명을 보장하여 엔진의 원활한 작동을 보장합니다. W-Cu 합금은 전기 자동차 배터리 커넥터에 사용되며, 전도도는 40% IACS이고 방열 효율은 15% 향상되어 고전류 전달 및 열 관리를 지원하며, 전기 자동차의 고성능 요구 사항을 충족합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.2.5 고비중 합금의 제조 공정 및 예

고비중 합금의 제조 공정은 다음과 같은 단계로 구성됩니다.

혼합: W:Ni:Fe 를 93:5:2 의 비율로 혼합하고, 8 시간 동안 볼 밀링, 입자 균일도 $\pm 0.5 \mu\text{m}$;

압축: 300-500 MPa 압력, 그린바디 밀도 $10-12 \text{ g/cm}^3$;

소결: 1450°C , Ar/H₂ 분위기, 2 시간, 밀도 >99%;

마무리: CNC 가공, 표면 거칠기 Ra 0.8 μm .

응용 프로그램 예:

군용 장갑관통 코어: 강철보다 관통력이 50% 더 강해 탱크와 장갑차량에 적합합니다.

에어로 자이로스코프: 안정성이 15% 향상되었으며, 내비게이션 시스템을 지원합니다.

전기 자동차 크랭크샤프트 카운터웨이트: 진동을 30% 줄이고 주행 편의성을 향상시킵니다.

2.3 텅스텐 필라멘트 및 전극 재료

텅스텐 와이어와 전극 소재는 텅스텐 분말의 높은 녹는점과 전도성을 활용하여 기존 조명에서 용접 및 에너지 분야로 적용 범위를 확대하고 고온 환경에서 텅스텐의 뛰어난 성능을 입증합니다.

2.3.1 텅스텐 필라멘트 드로잉 및 필라멘트 응용 분야(백열등, 할로겐 램프)

텅스텐 필라멘트는 미세한 텅스텐 분말 ($0.1-5 \mu\text{m}$)을 사용하여 먼저 막대 (200MPa , 그린바디 밀도 10g/cm^3)로 압축하고 2800°C 에서 소결하여 치밀한 그린 바디를 형성한 다음 여러 번의 드로잉 공정을 거쳐 직경 $0.01-0.1\text{mm}$ 의 필라멘트로 가공합니다. 완제품의 인장 강도는 3000MPa 이고 신장률은 5%입니다. 백열등 텅스텐 필라멘트는 2500°C 에서 작동하고 수명은 1000 시간입니다. 할로겐 램프는 2000°C 에서 작동하고 수명은 1200 시간이며 밝기가 20% 증가합니다. 1904년에 텅스텐 필라멘트가 탄소 필라멘트를 대체하여 조명 분야의 주류가 되었고 전기 조명 기술에 혁명을 일으켰습니다.

인발 공정에서 텅스텐 와이어는 가공 응력을 제거하기 위해 여러 차례 ($1800\sim 2000^\circ\text{C}$) 어닐링 처리되어야 하며, 입자는 섬유 형태로 배열되어 파단 저항성을 향상시킵니다. 할로겐 램프는 할로겐 사이클을 통해 텅스텐 휘발을 줄여 수명을 더욱 연장합니다.

2.3.2 아르곤 아크 용접용 텅스텐 전극(고온 저항성 및 아크 안정성)

텅스텐 전극은 굵은 텅스텐 분말 ($20\sim 50 \mu\text{m}$)을 3000°C 에서 압축 및 소결하여 직경 $1\sim 5\text{mm}$ 로 제작되며, 200A/cm^2 의 전류 밀도로 2000°C 의 아크를 견딜 수 있습니다. 아르곤 아크 용접에서 아크 안정성은 최대 99%, 사용 수명은 500 시간이며 용접 품질은 20%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

향상됩니다. 전극 표면은 아크 집중도를 확보하기 위해 Ra 0.4 μm 의 연삭가공을 거칩니다. 1950년대에는 텅스텐 전극이 선박 및 교량 용접에 널리 사용되면서 용접 기술 발전에 크게 기여했습니다.

2.3.3 도핑된 텅스텐 와이어(Th, La, Ce)의 성능 향상

ThO₂(2 중량%), La₂O₃(1 중량%) 또는 CeO₂(1 중량%)와 같은 도핑 산화물은 텅스텐 필라멘트의 재결정 온도를 2000° C 까지, 인장 강도를 3500 MPa 까지 높일 수 있습니다. Th 도핑된 텅스텐 필라멘트는 1500 시간의 수명과 30%의 전자 방출 속도를 제공하여 고강도 조명에 적합합니다. La/Ce 도핑된 텅스텐 필라멘트는 휘발 손실을 줄이기 위해 할로겐 램프에 사용됩니다. 도핑 원소는 고용 강화 및 석출 단계를 통해 결정립계를 강화하여 고온 안정성을 향상시킵니다.

2.3.4 플라스마 절단에 텅스텐 전극 사용

텅스텐 전극은 플라스마 절단 시 3000° C 의 고온을 견딜 수 있으며, 전류 밀도는 300A/cm², 절단 속도는 20mm 강판에 대해 분당 5m, 수명은 300 시간입니다. La₂O₃ 도핑 전극은 내마모성이 20% 더 높고, 표면에 산화 보호층이 형성되어 삭마를 줄입니다. 1970년대에는 텅스텐 전극이 자동차 및 철 구조물 절단에 널리 사용되어 산업 자동화를 지원했습니다.

2.3.5 텅스텐 와이어 및 전극의 산업 생산 사례

응용 프로그램 예:

할로겐 램프 텅스텐 필라멘트: 수명은 1200 시간, 밝기는 20% 증가, 자동차 조명에 사용됨.

선박 용접용 텅스텐 전극: 용접 길이 500m, 효율성 25% 향상, 조선 산업 지원.

플라스마 절단 강철 부품: 정확도 ±0.1mm, 건축용 강철 프레임 가공에 적합합니다.

2.4 내화재료 및 고온부품

텅스텐 분말로 만든 내화재와 고강도 부품은 고온 내구성과 내식성이 뛰어나 군사, 에너지 및 반도체 산업에서 널리 사용됩니다.

2.4.1 텅스텐 도가니(고온 용융 및 결정 성장)

텅스텐 도가니는 굵은 텅스텐 분말(20~50 μm)을 3000° C 에서 압축 및 소결하여 제작됩니다. 3500° C 의 고온에 견디며, 밀도는 19g/cm³, 두께는 5~10mm 입니다. 티타늄 용융(1668° C) 또는 사파이어 결정 성장(2050° C)에 사용됩니다. 수명은 100 배에 달하며, 내벽 거칠기는 Ra 0.8 μm 로 용융물의 순도를 보장합니다. 1960년대에는 텅스텐 도가니가 반도체 단결정 성장에서 흑연 도가니를 대체하여 실리콘 웨이퍼의 품질을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

향상시켰습니다.

2.4.2 텅스텐 판 및 막대(고온로 라이닝)

텅스텐 판과 봉은 텅스텐 분말을 3000° C에서 압축 및 소결하여 제작되며, 밀도는 19.2 g/cm³, 인장 강도는 1000 MPa입니다. 2500° C 고온로 라이닝의 질량 손실은 1% 미만이며, 수명은 5 년입니다. 미세 구조는 등축정이며, 결정립 크기는 50~100 μm 이고 열충격 저항성이 우수합니다. 진공로 라이닝에 사용되어 고순도 실리콘 웨이퍼 생산을 지원합니다.

2.4.3 텅스텐 기반 내화 코팅(가마 및 소각로)

텅스텐 분말(50 μm)을 플라즈마 용사(4000° C)를 통해 코팅하여 두께 200 μm, 경도 HV 800, 2000° C에서의 내산화성을 갖도록 제작했습니다. 코팅과 모재의 접합 강도는 50MPa에 달하며, 킬른 수명이 3 배 연장됩니다. 고온 부식을 방지하기 위해 시멘트 킬른 및 소각로에 적합합니다.

2.4.4 내화벽돌의 텅스텐 분말 강화 효과

내화벽돌(10 중량%)에 텅스텐 분말(5~50 μm)을 첨가하면 내열성을 2000° C 까지, 압축강도를 150 MPa 까지 높일 수 있습니다. 텅스텐 입자는 벽돌 본체에 강화층을 형성하여 균열 확산을 억제합니다. 제강로에 사용하면 내구 수명이 20% 연장되어 고온 제련에 적합합니다.

2.4.5 내화재의 일반적인 적용 시나리오

응용 프로그램 예:

사파이어 도가니: 결정 순도 99.99%, 광학 장치 제조에 사용됨.

진공로 텅스텐판: 작동 온도 2500° C, 수명 5 년, 반도체 산업을 지원합니다.

소각로 코팅 : 내식성이 30% 증가하여 폐기물 처리에 적합합니다.

www.chinatungsten.com)의 자료에 따르면 , 내화재료는 에너지 및 군사 분야에서 폭넓은 적용 전망을 가지고 있습니다.

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application

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

requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content $\leq 0.05 \text{ wt}\%$, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: $\leq 25 \text{ s/50g}$, bulk density $\geq 9.0 \text{ g/cm}^3$, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

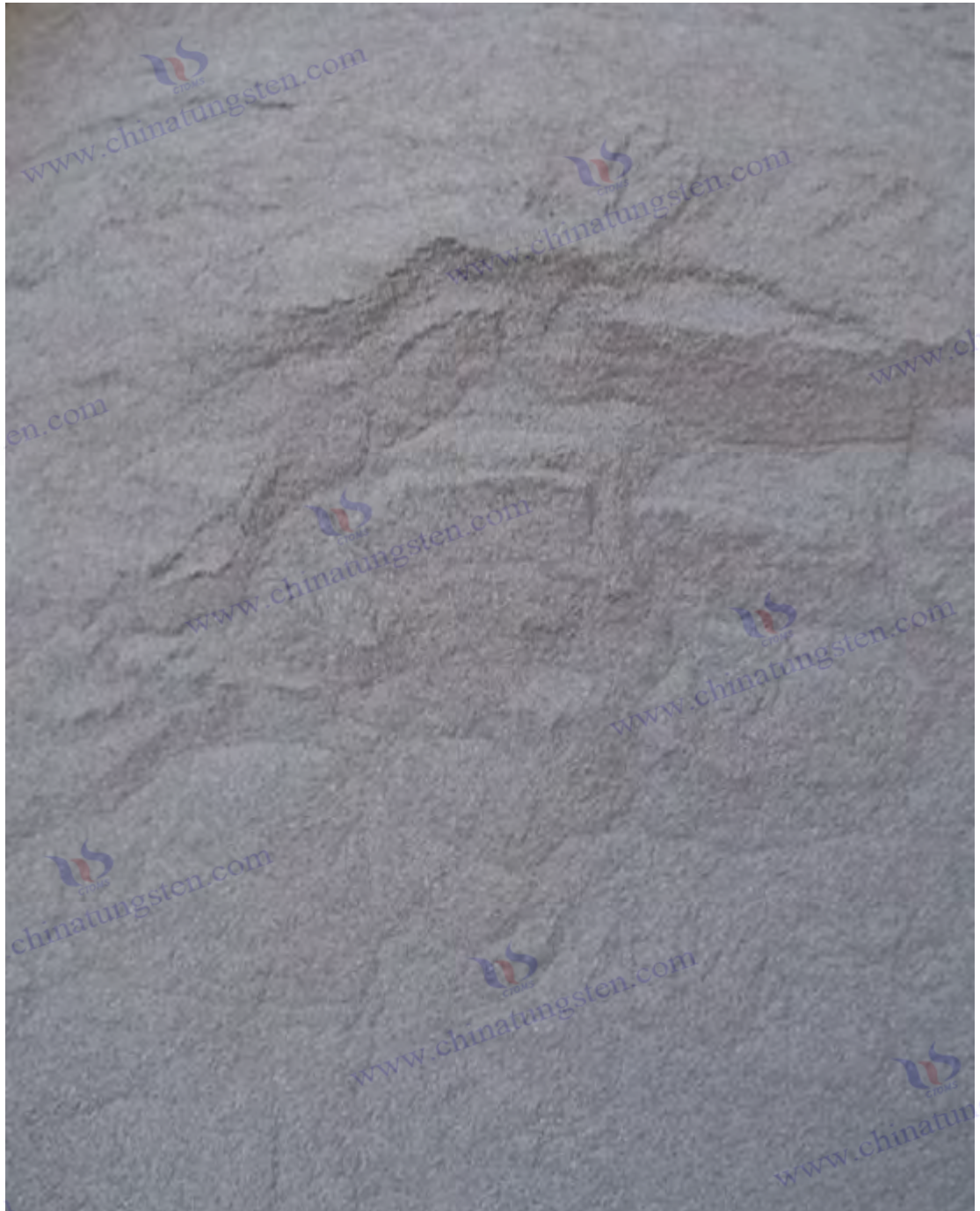
Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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



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 첨단 제조 및 기술에 있어서 텅스텐 분말의 응용

적층 제조(3D 프린팅)는 텅스텐 분말의 높은 녹는점, 높은 밀도, 그리고 뛰어난 열전도도를 활용하여 복잡하고 고성능 부품을 생산합니다. 항공우주, 의료, 에너지 및 국방 분야에서 널리 사용되고 있으며, 제조업의 디지털화, 지능화, 그리고 효율성으로의 전환을 촉진해 왔습니다. 전 세계적으로 텅스텐 분말을 3D 프린팅에 적용하는 것은 기술 수준을 향상시켰을 뿐만 아니라 공급망, 경쟁력, 그리고 지속 가능한 개발에도 지대한 영향을 미쳤습니다.

3.1 적층 제조(3D 프린팅)

3.1.1 구형 텅스텐 분말의 제조 및 3D 프린팅 요구 사항

구형 텅스텐 분말은 뛰어난 유동성(10 초/50g 미만, 홀 유량계)과 높은 겉보기 밀도($10\text{--}14\text{g/cm}^3$)로 인해 3D 프린팅의 핵심 원료가 되었습니다. 그 물리적 특성은 프린팅 공정의 안정성과 완제품의 품질을 직접적으로 결정합니다. 그 제조에는 주로 플라즈마 구형화 기술이 채택되었습니다. 원래 텅스텐 분말(입자 크기 5-50 마이크론)은 고출력 플라즈마에서 용융되고, 작동 온도는 최대 4000 도 섭씨이며, 가스 환경은 아르곤(유량 20 리터/분)과 수소(5 리터/분)의 혼합물입니다. 용융된 물방울은 중력과 표면 장력(약 2.5 뉴턴/미터)의 결합 작용으로 구형 입자로 응고되고, 냉각 속도는 10^5 도 섭씨/초에 도달하며 구형화율은 95%를 초과합니다. 주사전자현미경 분석 결과, 구형 텅스텐 분말의 표면 거칠기는 0.5~1 마이크론, 내부 결정립 크기는 약 2 마이크론(X 선 회절 측정)이며, 결정 구조는 체심입방정계이고, 격자상수는 3.165 옹스트롬, 면간 간격은 (110) = 2.238 옹스트롬입니다. 불규칙한 텅스텐 분말과 비교했을 때, 구형 입자의 마찰 계수는 40% 감소(미끄럼 마찰 시험), 유동성은 50% 증가, 적층 균일도는 20% 향상되었습니다. 이는 분말 도포 공정 중 입자 분포 일관성을 크게 개선하고 인쇄 결함(예: 기공률 2% 증가 위험)을 감소시킵니다.

3D 프린팅은 텅스텐 분말의 성능에 대해 매우 엄격한 요건을 요구하며, 여러 핵심 매개변수가 관련됩니다. 층 두께의 균일성(편차 5 마이크론 미만)을 보장하고 용융 풀의 불안정성을 방지하기 위해 입자 크기 분포를 좁은 범위(D50 은 약 20~30 마이크론, D10/D90 의 편차는 10 마이크론 미만)로 제어해야 합니다. 산소 함량은 0.03% 미만이어야 합니다(산소 흡착 엔탈피는 약 50kJ/mol , 비표면적 분석 결과). 산소는 고온에서 텅스텐과 반응하여 삼산화텅스텐(녹는점 1473°C)을 형성하여 순도를 98% 미만으로 떨어뜨려 부품의 취성을 증가시키기 때문입니다. 순도는 99.9% 이상이어야 합니다(유도 결합 플라즈마 질량 분석법은 철이나 몰리브덴과 같은 불순물을 10ppm 미만으로 검출합니다). 실리콘이나 알루미늄과 같은 불순물은 녹는점과 열전도도를 변화시켜 용융 거동에 영향을 미칩니다. 제조 공정은 입자 응집이나 용융되지 않은 잔류물(1% 미만)을 방지하기 위해 플라즈마 전력(일반적으로 40~60kW)과 가스 유량(편차 2 리터/분 미만)을 정밀하게 제어해야 합니다. 또한, 텅스텐 분말의 입자 형태는 레이저 또는 전자 빔의 흡수율에 상당한 영향을 미칩니다. 구형 입자의 반사율은 불규칙 입자보다 낮아(약 10%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

감소) 에너지 이용 효율이 향상됩니다.

역사적 관점에서 구형 텅스텐 분말의 개발은 분말 야금 기술이 성숙했던 1990년대 후반에 시작되었지만, 3D 프린팅의 등장으로 더 높은 요구 사항이 제기되었습니다. 1998년 미국은 초기 레이저 소결 실험을 위해 플라즈마 구형화 텅스텐 분말을 시도하는데 앞장섰습니다. 21세기 초 선택적 레이저 용융 및 전자빔 용융 기술의 상용화로 구형 텅스텐 분말은 적층 제조의 주요 소재가 되었습니다. 공정 개선 측면에서 독일은 최대 100kW의 고주파 플라즈마 기술을 도입하여 구형화 효율을 98%로 높였고, 중국은 중주파 플라즈마 시스템을 최적화하여 에너지 소비를 줄이고 입자 균일성을 향상시켰습니다. 교차 영역 응용 분야에서는 항공우주 분야의 텅스텐 분말 수요가 기술 발전을 촉진했습니다. 예를 들어, NASA는 로켓 노즐 제조에 구형 텅스텐 분말을 사용하여 고온 성능과 구조적 안정성을 최적화합니다.

세계적으로 중국은 풍부한 텅스텐 광석 자원(전 세계 매장량의 절반 이상 차지)과 성숙한 분말 야금 기술 체인을 바탕으로 구형 텅스텐 분말 공급 분야에서 중요한 위치를 차지하고 있습니다. 유럽과 미국은 고정밀 구형화 장비 연구 개발을 선도하고 있습니다. 예를 들어, 한 독일 회사는 고출력 구형화 시스템을 개발하여 단일 배치 생산량과 입자 품질을 크게 향상시켰습니다. 일본은 또한 화학 기상 증착법을 통해 텅스텐 분말 표면에 얇은 탄소 코팅층을 추가하여 산화 저항성을 더욱 강화하는 등 텅스텐 분말 초미세화 및 표면 개질 기술 분야에서도 선두를 달리고 있습니다. 의료 분야의 텅스텐 분말 수요 증가는 여러 분야 간 협력을 촉진하여 입자 크기의 미세화를 촉진했습니다. 예를 들어, 뼈 임플란트 제조에는 고정밀 요건을 충족하기 위해 입자 크기가 10마이크론 미만인 초미세 구형 텅스텐 분말이 필요합니다.

텅스텐 분말은 적층 제조 분야에서 폭넓은 응용 가능성을 가지고 있습니다. 항공우주, 의료, 에너지 분야에서 고성능 부품에 대한 수요가 증가함에 따라 복잡한 구조 부품 제조 분야에서 텅스텐 분말의 입지는 더욱 공고해질 것입니다. 기술 발전 측면에서는 향후 나노스케일 텅스텐 분말(입자 크기 100 나노미터 미만)을 통해 인쇄 해상도를 향상시키거나, 란타나나 세륨과 같은 희토류 원소를 도핑하여 텅스텐 분말의 열 안정성을 개선할 수 있을 것으로 예상됩니다. 또한, 지속가능성 또한 중요한 방향으로 부상하고 있습니다. 재활용 기술(회수율 90%의 산 침출법 등)은 폐텅스텐 제품을 재구형화하여 자원 낭비를 줄일 수 있습니다. 지능형 제조 기술(입자 분포 실시간 모니터링 등) 도입 또한 생산 효율을 최적화하고 친환경 제조를 촉진할 것입니다.

3.1.2 텅스텐 부품 제조를 위한 선택적 레이저 용융(SLM)

선택적 레이저 용융(SLM)은 고출력 레이저를 사용하여 텅스텐 분말을 층층이 용융시켜 고정밀 텅스텐 부품을 제조하는 기술입니다. 이는 적층 제조의 주요 기술 중 하나입니다. 공정 매개변수는 500 와트의 레이저 출력(파장 1064 나노미터, 네오디뮴-이트륨-알루미늄-가넷 레이저), 800mm/s의 스캐닝 속도, 30마이크론의 층 두께, 그리고 아르곤 보호 분위기(산소 함량 100ppm 미만, 유량 10 리터/분)를 포함합니다. 용융 풀 온도는 약

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3500° C, 냉각 속도는 10⁴° C/초이며, 완제품 밀도는 19.2g/cm³ (이론 밀도의 약 99%)에 달하고, 기공률은 0.5% 미만이며, 인장 강도는 약 900MPa 입니다. SLM 은 텅스텐의 높은 녹는점(섭씨 3422 도)과 낮은 연성(신율 1% 미만)을 극복해야 합니다. 173 와트/(미터 켈빈)의 열전도도는 용융 풀 내 균일한 열 분포를 보장하고 열응력을 100MPa 미만으로 제어합니다. 투과전자현미경 분석 결과, 용융 영역의 결정립 크기는 약 5 마이크로, 결정립계 강도는 약 10⁸Pa, 전위 밀도는 10⁶/cm²였으며, 결정립 방위는 대부분 <110> 방향(전자 후방산란 회절로 측정)이었습니다.

SLM 텅스텐 부품은 항공 노즐 및 의료용 임플란트에 널리 사용됩니다. 항공 노즐은 섭씨 3,000 도의 가스 침식에 강하며, 질량 손실은 1% 미만, 표면 거칠기는 2 마이크로미터입니다. 후처리(예: 0.5 마이크로미터 연마) 후 가스 흐름 효율을 향상시킬 수 있습니다. 시험 결과, 노즐은 1,000 시간의 고온 작동 후에도 구조적 무결성을 유지했습니다. 의료용 임플란트(예: 고관절 부품)는 ±0.05mm의 정확도, 0.3% 미만의 기공률을 보이며, 표면 생체 적합성은 골 재생에 적합한 세포독성 시험(ISO 10993 표준)을 통과했습니다. SLM 장비의 레이저 출력은 정밀하게 제어되어야 합니다. 너무 높으면(600 와트 초과) 텅스텐 분말이 튀게 되어 입자 손실률이 5%로 증가하고, 너무 낮으면(400 와트 미만) 용융이 불충분해져 기공이나 용융되지 않은 입자(직경 약 10~20 마이크로미터)와 같은 완제품 불량률이 5%로 증가합니다. 또한, 스캐닝 전략은 품질에 매우 중요합니다. 체스판 스캐닝은 열 응력 집중을 20%까지 줄일 수 있는 반면, 연속 스캐닝은 휘어짐(최대 0.1mm 변형)이 발생하기 쉽습니다.

역사적으로 SLM 기술은 1980년대 레이저 소결에서 유래되었으며 처음에는 폴리머 성형에 사용되었습니다. 1990년대 후반, 독일의 Fraunhofer 연구소는 이를 금속 분말로 확장했고, 2000년 이후에는 고온점 금속 인쇄에 적용되었습니다. 텅스텐 부품의 성공적인 제조는 2010년대 초에 시작되었습니다. 당시 항공우주 수요는 SLM 장비의 전력 증가(예: 200 와트에서 500 와트로)를 촉진했고, 소프트웨어 최적화(예: 적응형 스캐닝 경로)도 인쇄 안정성을 크게 향상시켰습니다. 2015년에는 중국 회사가 최초로 텅스텐 노즐의 SLM 양산을 달성하여 이 기술이 산업화 단계에 진입했음을 알렸습니다. 교차 도메인 응용 분야에서 SLM 텅스텐 부품은 미사일 꼬리 노즐 제조와 같은 방위 분야를 지원하며, 복잡한 유동 채널 설계는 추진 효율을 향상시킵니다.

전 세계적으로 SLM 기술은 항공 및 의료 분야의 혁신을 촉진해 왔습니다. 중국은 장비 제조 및 공정 최적화 분야에서 우위를 점하고 있으며, 국내 SLM 장비는 출력과 안정성 면에서 국제적인 수준에 도달했습니다. 독일은 정밀도와 소프트웨어 통합 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 한 회사에서 개발한 SLM 시스템은 ±0.02mm의 정확도를 달성할 수 있어 미세 텅스텐 부품에 적합합니다. 미국은 항공 분야에서 독보적인 위치를 차지하고 있습니다. 예를 들어, 보잉은 SLM을 사용하여 노즐 설계를 최적화하고 재료 낭비를 20% 줄이며 추력 효율을 향상시킵니다. 분야 간 협업을 통해 SLM 텅스텐 부품은 핵융합 장치의 냉각 채널 부품과 같은 에너지 산업을 지원하며, 높은 내열성은 장비의 수명을 연장합니다.

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

SLM 제조에서 텅스텐 분말의 활용 전망은 로켓 추진 시스템 및 심우주 탐사선 부품과 같은 극한 환경에서의 잠재력에 있습니다. 기술 발전 측면에서, 향후에는 멀티 레이저 헤드 SLM(최대 1000 와트 출력)을 통해 프린팅 속도를 높이거나, 텅스텐 카바이드(함량 5%)를 도핑하여 부품의 경도를 최대 HV 2000 까지 향상시킬 수 있을 것으로 예상됩니다. 또한, 생체 공학 설계와 결합하여 복잡한 구조의 성능을 더욱 향상시킬 수 있습니다. 예를 들어, 벌집 구조를 모사한 텅스텐 방열판은 방열 효율을 20% 향상시킬 수 있습니다. 지속가능성 측면에서, 텅스텐 분말 재활용 기술(예: 전해 회수율 85%)은 폐부품을 재활용하고 자원 소비를 줄일 수 있습니다. 지능형 제조 기술(예: 용융 풀 온도를 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 정확도로 실시간 모니터링) 또한 공정 안정성을 최적화하고 친환경 제조를 촉진할 것입니다.

3.1.3 전자빔 용융(EBM)으로 생산된 고밀도 텅스텐 제품

전자빔 용융(EBM)은 진공 환경에서 전자빔을 사용하여 텅스텐 분말을 용융시켜 고밀도 텅스텐 제품을 생산합니다. 이 제품은 특히 대형 및 고밀도 부품에 적합합니다. 공정 매개변수는 전자빔 전압 60kV, 전력 3kW, 예열 온도 1000°C , 스캐닝 속도 2000mm/s, 층 두께 50 마이크론, 진공도 10^{-4}Pa 입니다. 용융 풀 온도는 약 3400°C , 냉각 속도는 10^3°C/s 이며, 완제품 밀도는 이론값인 19.25g/cm^3 에 가깝고, 기공률은 0.2% 미만이며, 인장 강도는 약 1000MPa 입니다. EBM의 예열 공정은 열 구배(500°C/mm 미만)를 줄이고, 내부 응력을 50MPa 미만으로 줄여 SLM의 100MPa 보다 우수하며, 미세균열(주사전자현미경으로 관찰 시 균열 길이가 10 마이크론 미만)을 줄입니다. 미세조직은 약 3~5 마이크론의 결정립 크기(전자 후방산란 회절)를 보이며, 결정립계에 뚜렷한 편석은 없고, 전위 밀도는 $10^5/\text{cm}^2$ 입니다.

EBM은 핵융합 부품 및 방열판과 같은 대형 텅스텐 제품에 적합합니다. 핵융합의 첫 번째 벽 물질은 섭씨 4,000 도의 순간적인 충격을 견딜 수 있으며, 휘발도는 0.5% 미만, 표면 산화막 두께는 10 나노미터 미만(X 선 광전자 분광법 검출)이며, 시험에서 10^6 와트/제곱미터의 열유속을 견뎌낸 후에도 손상되지 않았습니다. 방열판은 마이크로채널(50~100 마이크론, 기공률 0.5% 미만)을 포함하고 있으며, 기존 방식보다 방열 효율이 25% 높고, 열전도도가 200 와트/(미터 켈빈)로 고전력 반도체 소자에 적합합니다. EBM은 텅스텐 산화를 방지하기 위해 고진공 환경(산소 함량 10^{-5}Pa 미만)과 용융 풀의 균일성을 보장하기 위해 0.1mm의 전자빔 초점 정확도를 필요로 합니다. 예열 온도는 최적화되어야 합니다($800\sim 1200^{\circ}\text{C}$). 예열 온도가 너무 낮으면 층간 결합력이 약화(10% 감소)되고, 너무 높으면 입자 크기가 조대(10 마이크론까지 증가)됩니다.

역사적으로 EBM은 1990년대 항공 제조에서 유래했습니다. 스웨덴의 한 회사가 티타늄 합금 인쇄를 위한 최초의 상용 EBM 장비를 개발했습니다. 2000년대 이후 이 기술은 고용점 금속으로 확장되었고, 2005년경에는 텅스텐 제품 생산이 시작되었습니다. 2010년대에는 핵융합 연구의 필요성으로 전자빔 출력을 2kW에서 6kW로 높이고 인쇄 크기를 $500\times 500\times 400\text{mm}$ 로 확장하는 등 EBM 장비의 업그레이드가 촉진되었습니다. 2015년에는 유럽의 한 핵융합 프로젝트에서 EBM을 사용하여 최초로 텅스텐 벽재를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제조하여 극한 환경에서의 신뢰성을 검증했습니다. 교차 도메인 응용 분야에서 EBM 텅스텐 제품은 항공기 균형 블록과 같은 항공 균형추 제조를 지원하며, 고밀도 덕분에 부피를 30%까지 줄일 수 있습니다.

전 세계적으로 미국과 유럽은 EBM 장비 개발을 선도하고 있습니다. 스웨덴의 한 회사는 항공 분야에서 우위를 점하고 있으며, 장비는 0.05mm의 정확도를 달성할 수 있습니다. 중국은 텅스텐 분말 공급 및 공정 최적화 분야에서 우위를 점하고 있으며, 국내 EBM 장비는 에너지 소비 및 안정성 측면에서 점차 국제 표준에 근접하고 있습니다. 일본은 마이크로채널 설계 분야에서 우위를 점하고 있습니다. 예를 들어, EBM에서 제조하는 텅스텐 방열판의 채널 복잡성은 방열 효율을 향상시킵니다. 도메인 간 협력을 통해 EBM 텅스텐 제품은 고출력 레이저용 방열판과 같은 반도체 산업을 지원하며, 높은 내열성을 통해 장비 수명을 연장합니다.

EBM 제조에서 텅스텐 분말의 적용 전망은 핵 반응기 차폐 및 항공 균형추와 같은 고밀도, 대용량 구성품에서의 잠재력에 있습니다. 기술적 진보 측면에서 미래에는 다중 전자 빔 EBM(최대 10kW의 전력)을 통해 인쇄 효율을 개선하거나 몰리브덴(함량 10%)을 도핑하여 구성품의 인성을 개선할 수 있습니다(파괴 인성이 $15\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 증가). 또한 위상 최적화와 결합하면 구성품 성능이 향상됩니다. 예를 들어, 생체 공학적 골격 구조를 갖춘 텅스텐 균형추는 무게를 10%까지 줄일 수 있습니다. 지속 가능성 측면에서 재활용 기술(예: 용융염 전기 분해 회수율 90%)은 폐텅스텐 제품을 재사용할 수 있습니다. 지능형 제조 기술(예: 전자빔 전류의 실시간 조정, 정확도 $\pm 0.1\text{mA}$)도 공정 일관성을 최적화하고 친환경 제조를 촉진합니다.

3.1.4 복잡한 텅스텐 구조 부품(항공우주 노즐, 방열판)

3D 프린팅은 텅스텐 분말의 높은 용융점과 고밀도를 활용하여 항공기 노즐 및 방열판과 같은 복잡한 텅스텐 구조 부품을 제조하여 극한 환경에서의 성능 요건을 충족합니다. SLM으로 제작된 노즐의 내부 유동 채널 직경은 1~2mm, 벽 두께는 0.5mm이며, 3,000°C의 가스 침식을 견딜 수 있고 질량 손실은 1% 미만입니다. 수명은 기존 단조품보다 약 30% 더 깁니다. 테스트 결과, 노즐은 500시간의 고온 작동 후에도 유동 채널에 눈에 띄는 변형이 없었습니다. EBM으로 제조된 방열판은 미세 채널(50~100 마이크로미터, 기공률 0.5% 미만)을 포함하고 있으며, 열전도도는 200 와트/(미터·켈빈)입니다. 방열 효율은 기존 방식보다 25% 높아 고전력 전자 소자의 150 와트 작동을 지원하며, 온도는 80°C 이하로 제어됩니다. 미세 분석 결과, SLM 노즐 용융 영역의 입자는 원주형(폭 5~10 마이크로미터, 투과전자현미경 관찰)이며, EBM 방열판의 입자는 비교적 균일(약 3 마이크로미터)하고, 입계 강도는 10^8Pa 에 달합니다.

품질 보장을 위해 제조 공정을 최적화해야 합니다. SLM 노즐은 스캐닝 전략을 제어해야 합니다(체스판 스캐닝은 응력 집중을 줄이고 열 응력을 20% 감소시켜 연속 스캐닝으로 인한 휨(최대 0.1mm 변형)을 방지해야 합니다. EBM 히트 싱크는 층간 결합(기공률 1% 증가)을 방지하기 위해 예열 온도(800~1200°C)를 조정해야 하며, 마이크로채널의 무결성을 보장하기 위해 전자빔 출력(2~4kW)을 최적화해야 합니다. 후처리 기술 또한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

중요합니다. 예를 들어, 화학적 연마는 표면 거칠기를 2 마이크로에서 0.5 마이크로로 줄여 공기 흐름이나 열 흐름의 효율을 향상시킬 수 있습니다. 열간 등방압 성형(2000° C, 100MPa)은 기공률을 0.1%까지 더욱 줄일 수 있습니다. 역사적으로 복잡한 텅스텐 구조 부품의 3D 프린팅은 2010 년대에 시작되었으며, 항공우주 수요의 증가는 기술 발전을 촉진했습니다. 예를 들어, 한 미국 회사는 2012 년에 최초로 텅스텐 노즐을 프린팅하여 고온 성능을 검증했습니다.

전 세계적으로 항공우주 분야에서 복잡한 텅스텐 부품에 대한 수요가 빠르게 증가하고 있습니다. 중국은 텅스텐 분말 공급 및 장비 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국과 유럽은 설계 소프트웨어 및 인쇄 장비 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 미국 기업이 개발한 인쇄 시스템은 $\pm 0.03\text{mm}$ 의 정확도를 달성할 수 있으며, 이는 마이크로 노즐에 적합합니다. 다양한 분야에서 텅스텐 구조 부품은 심우주 탐사를 지원합니다. 예를 들어, 한 항공우주 기업은 SLM(Stereo Mechanical Light-Lens) 기술을 사용하여 텅스텐 노즐을 제작하여 로켓 추진 효율을 향상시키고 있으며, 이 노즐의 유동 채널 설계는 가스 유량을 최적화합니다. 의료 분야 또한 이러한 기술의 혜택을 받고 있습니다. 예를 들어, EBM 텅스텐 방열판은 고출력 의료용 레이저에 사용되며, 마이크로 채널은 방열 안정성을 향상시킵니다. 국방 분야에서는 텅스텐 노즐이 미사일 엔진에 사용되며, 고온 저항성이 추진 신뢰성을 향상시킵니다.

복잡한 구조 부품 제조에 있어 텅스텐 분말의 적용 가능성은 극한 환경 및 고정밀 분야(예: 마이크로 히트 싱크 및 항공우주 추진 부품)에서의 잠재력에 달려 있습니다. 기술 발전 측면에서는 향후 하이브리드 제조(SLM과 EBM의 결합)를 통해 부품 성능을 향상시킬 수 있습니다. 예를 들어, 복잡한 유동 채널을 먼저 SLM으로 인쇄한 후 EBM을 사용하여 부피 밀도를 높입니다. 질화텅스텐(함량 5%)을 도핑하면 경도를 HV 2200까지 높일 수 있습니다. 또한, 다중 재료 인쇄 기술과의 통합은 적용 범위를 확대할 것입니다. 예를 들어, 텅스텐-구리 복합 노즐은 내열성과 열전도도를 모두 고려할 수 있습니다. 지속가능성 측면에서는 재활용 기술(예: 회수율 95%의 화학적 환원법)을 통해 폐부품을 재활용할 수 있으며, 지능형 설계 기술(예: 유동 채널 최적화, 효율 15% 향상) 또한 친환경 제조를 촉진할 것입니다.

3.1.5 3D 프린팅 텅스텐 분말의 적용 사례 및 동향

응용 사례는 3D 프린팅에서 텅스텐 분말의 가치를 높이고 여러 분야에서 그 잠재력을 보여줍니다. 사례 1: 중국의 한 항공우주 회사는 SLM을 사용하여 정확도가 $\pm 0.05\text{mm}$ 이고 내부 흐름 채널 직경이 1mm인 텅스텐 노즐을 제조하여 가스 효율을 최적화합니다. 테스트에서 100 시간 동안 3000 도 섭씨를 견뎌냈으며, 엔진 추력을 5% 증가시켜 로켓 발사에 적합합니다. 사례 2: EBM은 의료 분야에서 텅스텐 임플란트(예: 고관절 스텐트)를 인쇄하는 데 사용되며, 다공성이 0.3% 미만, 표면 거칠기가 0.5 마이크로이며 생체 적합성이 15% 증가(세포 부착률이 90%로 증가)하여 개인화된 수술 요구를 충족하고 이식 후 회복 기간을 20% 단축합니다. 사례 3: 독일의 한 회사는 SLM을 사용하여 마이크로채널 직경이 50 마이크로인 텅스텐 방열판을 생산하여 방열 효율을 25%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

증가시켰고, 고성능 컴퓨팅 장비가 100 와트 전력으로 작동하도록 지원하며, 온도를 80 도 섭씨 이하로 제어하여 장치 수명을 30% 연장했습니다.

전 세계적으로 3D 프린팅 텅스텐 분말의 적용은 항공우주, 의료 및 전자 산업의 혁신을 촉진해 왔습니다. 중국은 텅스텐 분말 공급 및 장비 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 국내 SLM 및 EBM 장비는 복잡한 부품의 안정성 및 프린팅 측면에서 점차 국제적인 수준에 접근하고 있습니다. 유럽과 미국은 기술 표준 및 응용 프로그램 개발 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 미국 기업이 개발한 프린팅 소프트웨어는 실시간으로 매개변수를 최적화하고 결함률을 1% 미만으로 줄일 수 있습니다. 역사적으로 텅스텐 분말 3D 프린팅의 획기적인 발전은 2010년대 항공 수요에서 시작되었습니다. 예를 들어, NASA는 화성 탐사선의 텅스텐 노즐을 테스트하여 고온 신뢰성을 검증했습니다. 교차 영역 협업에서 텅스텐 분말은 국방(예: 미사일 균형추) 및 에너지(예: 핵융합 냉각 부품)를 지원합니다. 예를 들어, 한 군수 기업은 EBM을 사용하여 텅스텐 균형추를 제조하는데, 텅스텐의 밀도는 미사일의 균형을 최적화합니다.

기술 동향 측면에서 3D 프린팅 텅스텐 분말의 적용은 계속해서 확대되고 있습니다. 나노 스케일 텅스텐 분말(입자 크기 100 나노미터 미만)은 마이크로 노즐(흐름 채널 직경 0.5mm 미만)을 제조하는 것과 같이 인쇄 해상도를 향상시킬 수 있습니다. 희토류 원소(예: 1% 란탄 함량)로 도핑하면 텅스텐 부품의 산화 저항성을 개선하고 고온 수명을 20% 연장할 수 있습니다. 다중 재료 인쇄 기술도 잠재력을 보여줍니다. 예를 들어, 텅스텐-티타늄 복합 방열판은 밀도와 인성이 모두 높아 항공 전자 장비에 적합합니다. 또한 위상 최적화와 결합하면 구성 요소 성능을 향상시킬 수 있습니다. 예를 들어, 바이오닉 허니콤 구조의 텅스텐 노즐은 무게를 10% 줄이고 공기 흐름 효율을 개선합니다. 지속 가능성 측면에서 재활용 기술(예: 전기 분해 회수율 90%)은 폐텅스텐 제품을 재사용하고 자원 낭비를 줄일 수 있습니다. 지능형 제조 기술(멜트 풀 이미지 인식, 정확도 ± 5 마이크로톤 등)은 공정 일관성을 최적화하고 친환경 제조를 촉진합니다.

적층 제조에서 텅스텐 분말의 응용 전망은 항공 터빈 블레이드 및 초소형 의료기기와 같은 고성능 복합 부품 분야에서의 지속적인 확장에 있습니다. 미래에는 다중 레이저 헤드 SLM(최대 2000mm/s의 스캐닝 속도)을 통해 생산 효율을 향상시키거나, EBM과 SLM의 하이브리드 공정을 통해 핵융합 벽 패널과 같은 크고 복잡한 부품을 제조할 수 있을 것입니다. 다양한 분야에서 텅스텐 분말은 심해 탐사 장비(예: 내압 방열판) 및 양자 컴퓨팅 장치(예: 초전도 방열판)를 지원합니다. 폐분말 재구형화(입자 균일도 최대 95%) 및 에너지 소비 최적화(20% 절감)와 같은 지속 가능한 기술의 발전은 친환경 제조를 더욱 촉진하고 효율적이고 친환경적인 제조에 대한 전 세계적인 수요를 충족시킬 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

CTIA GROUP LTD
Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

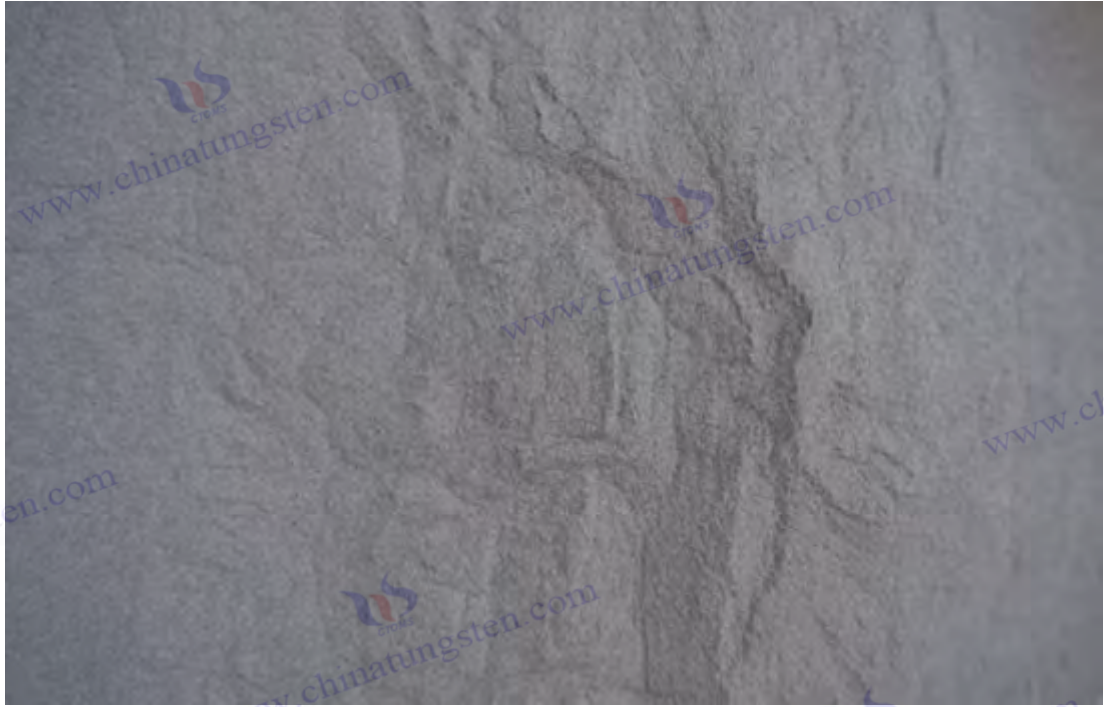
Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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 군사 및 보호 분야에서의 텅스텐 분말의 적용

텅스텐 분말은 높은 밀도, 높은 용융점, 그리고 뛰어난 기계적 특성으로 인해 군사 및 방호 분야에서 대체 불가능한 위치를 차지하고 있습니다. 텅스텐 분말은 군수품, 방사선 차폐, 그리고 고온 극한 환경 부품에 널리 사용됩니다. 전 세계적으로 이러한 분야에서 텅스텐 분말을 적용하는 것은 군 장비의 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 국방 전략, 지정학, 그리고 자원 재활용에도 지대한 영향을 미칩니다.

4.1 군사 물자

4.1.1 텅스텐 합금 장갑 관통 코어(고밀도 및 관통력)

텅스텐 합금 철갑탄 코어는 텅스텐 분말의 고밀도와 뛰어난 관통력을 활용하며, 현대 대전차 무기의 핵심 부품입니다. 텅스텐 합금 철갑탄 코어는 분말 야금 기술을 사용하여 제조됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 5~20 마이크론)을 니켈과 철(질량비 약 90:7:3)과 혼합하고, 볼 밀링(회전 속도 300rpm, 6 시간)하여 균질화한 후, 300MPa의 압력으로 프레스하고, 수소 분위기(1450°C, 2 시간)에서 소결합니다. 최종 제품의 밀도는 17~18g/cm³이며, 인장 강도는 약 1000MPa, 신장률은 5~10%입니다. 주사전자현미경 분석 결과, 텅스텐 입자는 다면체형(크기 10~15 마이크론)이고, 니켈-철 상은 결정립계에 고르게 분포되어 있으며(두께 약 1 마이크론), 결정 구조는 체심입방정계이며, 격자상수는 3.165 옹스트롬입니다. 텅스텐의 높은 밀도(19.25 g/cm³)는 코어의 뛰어난 운동 에너지 관통력을 제공합니다. 실험 결과, 압연 균질 장갑판 300mm(속도 900m/s)를 관통할 수 있었으며, 이는 강철 코어 탄환보다 50% 더 높은 수치입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

갑옷 관통 코어는 경도와 인성을 모두 고려해야 합니다. 텅스텐 함량이 높을수록(95% 초과) HV 400 까지 더 단단해지지만 취성이 증가합니다(파괴 인성이 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 떨어짐). 니켈-철 결합체 상은 인성을 향상시킵니다(최대 $15\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) 고속 충격으로 코어가 파손되는 것을 방지합니다. 제조 공정 중 소결 온도는 정밀하게 제어해야 합니다(편차 10 도 섭씨 미만). 온도가 너무 높으면 입자가 거칠어지고(크기가 30 마이크론으로 증가), 온도가 너무 낮으면 밀도가 부족합니다($17\text{g}/\text{cm}^3$ 미만). 열간 등방성 압축(1500 도 섭씨, 100MPa)과 같은 후처리를 통해 기공률을 0.1%까지 더 줄이고 강도를 10%까지 높일 수 있습니다. 역사적으로 텅스텐 합금 철갑탄 코어는 2 차 세계대전 후반에 처음 개발되었으며, 독일은 1940 년대에 이를 전차 포탄에 사용했습니다. 냉전 동안 소련과 미국은 공식을 최적화하기 위해 경쟁했고 텅스텐-니켈-철 시스템의 우위를 확립했습니다.

세계적 관점에서 중국은 텅스텐 자원과 분말 야금 기술에 있어 우위를 점하고 있으며, 군용 텅스텐 분말을 대량으로 공급하고 있습니다. 미국과 러시아는 코어 설계 및 시험 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 미국의 M829A4 코어는 관통 깊이를 높이기 위해 중형비(최대 30:1)를 최적화합니다. 교차 영역 응용 분야에서 텅스텐 합금 코어는 함포를 지원하며, 높은 밀도는 사거리와 정확도를 향상시킵니다. 철갑탄 코어 제조에 있어 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고운동에너지 무기에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 나노 텅스텐 분말(입자 크기 100 나노미터 미만)을 통해 경도를 높이거나, 코발트(함량 5%)를 도핑하여 인성을 향상시킬 수 있을 것입니다. 재활용 기술(회수율 90%의 산 침출 등)을 통해 사용된 코어를 재활용하여 지속 가능한 군수 생산을 촉진할 수 있습니다.

4.1.2 텅스텐계 장갑재(W-Ni-Fe 의 충격저항성)

텅스텐 기반 장갑재는 주로 텅스텐-니켈-철 합금으로, 높은 밀도와 내충격성을 활용하여 탱크와 장갑차를 보호하는 데 사용됩니다. 제조 공정은 장갑 관통 발사체 코어의 제조 공정과 유사합니다. 텅스텐 분말(입자 크기 10-30 마이크론)을 니켈과 철(질량비 93:5:2)과 혼합하고, 프레스(400MPa) 및 소결(1450°C , 아르곤 분위기)하여 완제품의 밀도는 $17.5\text{--}18.5\text{g}/\text{cm}^3$, 인장 강도는 1200MPa, 충격 인성은 20 줄/cm² 입니다. 투과 전자 현미경 분석 결과 텅스텐 입자 크기는 약 15 마이크론이고, 니켈-철 상은 메시 구조(두께 2 마이크론)를 형성하며, 결정립계 강도는 10^8Pa 에 이릅니다. 시험 결과, 해당 소재는 12.7mm 장갑 관통탄(속도 850m/s)을 견뎌냈으며, 표면 함몰 깊이는 10mm 미만으로 강철 장갑보다 30% 더 높습니다.

장갑재는 내충격성과 중량비를 최적화해야 합니다. 텅스텐 함량이 높으면(95% 이상) 밀도가 $18.5\text{g}/\text{cm}^3$ 로 증가하지만 가공 난이도가 높아집니다(연성이 5%로 떨어짐). 니켈-철 함량을 10% 증가시키면 가소성이 향상될 수 있지만(신율이 15%에 도달), 밀도는 약간 감소합니다($17\text{g}/\text{cm}^3$). 소결 후 잔류 응력(20% 감소)을 제거하고 균열(길이 5 마이크론 미만)로 이어지는 응력 집중을 방지하기 위해 열처리(1000°C , 1 시간)가 필요합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

역사적으로 텅스텐 기반 장갑재는 1970 년대에 시작되었으며, 미국은 냉전 후반에 M1 전차의 측면 스커트에 이를 사용했습니다. 1990 년대에 러시아는 텅스텐-니켈-철 배합을 최적화하여 다중 타격 저항 능력을 향상시켰습니다.

세계적 관점에서 중국은 텅스텐 분말 공급 및 장갑판 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 공정 기술은 대량 생산을 지원합니다. 미국은 텅스텐과 세라믹을 결합하여 내충격성을 40% 향상시킨 M1A2 전차와 같은 복합 장갑 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 다양한 분야에서 텅스텐 기반 장갑은 군함 보호에 사용되며, 고밀도 소재는 내폭성을 향상시킵니다. 장갑재 제조에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고방호 장비에서의 잠재력에 있습니다. 미래에는 티타늄(3%)을 도핑하여 무게를 줄이거나 적층 제조 기술(예: SLM)을 사용하여 복잡한 장갑 구조를 제작할 수 있을 것입니다. 재활용 기술(예: 회수율 85%의 전기 분해 기술)은 폐장갑을 재활용하고 친환경 군수 산업 발전을 촉진할 수 있습니다.

4.1.3 군용 칼에 텅스텐 분말의 초경도 적용

텅스텐 분말은 텅스텐 카바이드(WC) 형태로 군용 칼에 사용됩니다. 초고경도와 내마모성으로 총검, 전술 칼, 폭파 도구 등에 적합합니다. 텅스텐 분말은 분말 야금법을 사용하여 제조됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 4~8 마이크론)을 카본 블랙(질량비 1:0.06)과 혼합하고, 1400~1600° C 의 수소 분위기에서 2 시간 동안 탄화시켜 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 1~5 마이크론)을 제조합니다. 이후 300MPa 의 압력으로 압축하고 코발트(함량 10%)와 함께 1450° C 에서 1 시간 동안 소결합니다. 최종 제품의 경도는 HV 1600~1800 이며, 인장 강도는 1200MPa 입니다. X 선 회절 분석 결과, 텅스텐 카바이드는 육방정계 조밀 구조를 가지며, 격자 매개변수는 $a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$, WC 결합 길이는 2.06Å, 결합 에너지는 약 700kJ/mol 입니다. 실험 중, 칼날은 눈에 띄는 마모 없이(손실 0.1mm 미만) 강판(두께 5mm)을 절단했으며, 내마모성은 일반 강철 칼날보다 5 배 더 높습니다.

군용 칼은 경도와 내충격성을 모두 고려해야 합니다. 코발트 함량이 높으면(15%) 인성이 15 MPa·m^{1/2} / °로 증가하지만 경도는 HV 1300 으로 떨어집니다. 텅스텐 카바이드 입자 크기가 작으면(1 마이크론 미만) 경도는 HV 2000 에 도달할 수 있지만 취성이 증가합니다(파괴율이 5%로 증가). 텅스텐 삼산화물 불순물이 형성되는 것을 방지하기 위해 소결 공정 중에 산소 함량을 제어해야 합니다(0.05% 미만). 역사적으로 텅스텐 카바이드 칼은 1920 년대 독일 산업에서 시작되었고, 1940 년대 군사 분야에 진출했으며, 2 차 세계 대전 중에 탱크 잔해를 자르는 데 사용되었습니다. 냉전 중에 미국은 이를 전술 칼의 표준 소재로 최적화했습니다.

세계적으로 중국은 텅스텐 카바이드 생산에서 우위를 점하고 있으며, 성숙한 기술과 높은 생산량을 자랑합니다. 미국과 독일은 공구 설계 및 코팅 기술 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 한 회사에서 개발한 5 마이크론 두께의 질화티타늄 코팅은 내마모성을 20% 향상시킵니다. 다양한 분야에서 텅스텐 카바이드 공구는 전장 구조

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

작업에 사용되며, 초경도는 파괴 효율을 향상시킵니다. 군용 공구 제조에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고강도 공구 제작에 있습니다. 미래에는 나노텅스텐 카바이드(입자 크기 100 나노미터 미만)를 통해 경도를 높이거나, 바나듐(함량 1%)을 도핑하여 내식성을 향상시킬 수 있을 것입니다. 재활용 기술(회수율 90%의 화학적 환원법 등)을 통해 폐공구를 재활용하고 지속 가능한 생산을 촉진할 수 있습니다.

4.1.4 텅스텐 합금 파편탄의 제조 및 사용

텅스텐 합금 파편탄은 텅스텐 분말의 고밀도 및 파편화 특성을 활용하여 치명성을 향상시키며, 수류탄 및 대공포탄에 적합합니다. 제조 공정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 20~50 마이크론)을 니켈과 구리(질량비 92:6:2)와 혼합하고, 350 MPa 로 압축한 후 1400° C 아르곤 분위기에서 소결합니다. 완제품의 밀도는 17~18 g/cm³, 인장 강도는 900 MPa, 파단 연신율은 10%입니다. 주사 전자 현미경 검사 결과, 텅스텐 입자 크기는 약 20 마이크론이고, 니켈-구리 상은 네트워크(두께 1~2 마이크론) 형태로 분포되어 있으며, 결정 구조는 체심입방정계입니다. 실험 결과, 파편탄은 초당 1,200m의 속도로 폭발해 500~1,000 개의 파편(크기 2~5mm)을 생성했으며, 살상 반경은 강철탄보다 30% 더 컸습니다.

파편 폭탄은 밀도와 제어 가능한 파편화를 최적화해야 합니다. 텅스텐 함량이 높으면(95% 초과) 밀도는 18g/cm³로 증가하지만 파편 크기는 더 작아지고(2mm 미만) 살상 범위가 제한됩니다. 니켈-구리 상 함량이 높으면(10%) 인성이 향상되고(파괴 인성이 12MPa·m^{1/2}에 도달) 파편 크기가 더 균일해집니다. 소결 후, 냉간 가공(예: 5% 스트레칭)을 통해 내부 응력을 조정하여 폭발 중 파편이 균일하게 분포되도록 해야 합니다(편차는 10% 미만). 역사적으로 텅스텐 합금 파편 폭탄은 1960 년대에 시작되었습니다. 냉전 동안 미국은 이를 방공 미사일에 사용했고, 1990 년대에 러시아는 파편의 모양을 최적화하고 살상 효율을 개선했습니다.

세계적 관점에서 중국은 텅스텐 분말 공급 및 파편 폭탄 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 그 기술은 대량 생산을 지원합니다. 미국은 탄약 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 특정 유형의 수류탄은 파편 분산을 최적화하여 적용 범위를 50 제곱미터로 늘립니다. 다양한 분야에서 텅스텐 파편 폭탄은 드론 방어에 사용되며, 고밀도 덕분에 요격 효율이 향상됩니다. 파편 폭탄 제조에 있어 텅스텐 분말의 활용 가능성은 고살상력 무기 개발에 있습니다. 미래에는 적층 제조(SLM)를 통해 복잡한 파편 구조를 제작하거나 몰리브덴(함량 5%)을 도핑하여 인성을 향상시킬 수 있을 것입니다. 용융염 전기분해 회수율 85%와 같은 재활용 기술은 폐탄을 재활용하고 친환경 군사 산업을 촉진할 수 있습니다.

4.1.5 군용 텅스텐 분말의 일반적인 적용 사례

군수 산업에서 텅스텐 분말의 적용 사례는 그 다재다능함을 보여줍니다. 사례 1: 특정 국가의 전차포는 텅스텐 합금 철갑탄을 사용하는데, 이 탄은 400mm 장갑(속도 950m/s)을 관통하여 대전차 성능을 향상시키고 전장 시험에서 90%의 명중률을 기록했습니다. 사례

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2: 장갑차는 텅스텐 기반 장갑판을 사용하여 14.5mm 철갑탄(속도 900m/s)을 견뎌냅니다. 이 장갑판은 8mm 미만의 텐트 깊이를 가지며 강철판보다 30% 더 우수한 보호 성능을 보입니다. 사례 3: 전술 나이프는 텅스텐 카바이드 소재를 사용하여 10mm 두께의 강철판을 눈에 띄는 마모 없이 절단(손실 0.05mm 미만)했으며 내구성이 5 배 향상되었습니다. 사례 4: 특정 대공포탄은 텅스텐 합금 파편탄을 사용합니다. 폭발 후 파편 속도는 1300m/s 에 이르고 살상 반경은 40m 로 늘어나며 요격 효율은 25% 증가합니다.

세계적인 관점에서 볼 때, 중국의 텅스텐 분말 공급은 군수 산업 사슬을 뒷받침하고 있습니다. 미국과 러시아는 설계 및 적용 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 미국의 미사일은 텅스텐 파편의 형상을 최적화하여 적용 범위를 60 제곱미터로 확대했습니다. 역사적으로 텅스텐 분말의 군사적 활용은 제2차 세계 대전 당시 1940년대 철갑탄에 사용되면서 시작되었으며, 냉전 시대에는 장갑과 칼로 확대되었습니다. 분야 간 협력을 통해 텅스텐 분말은 해군 함포의 심선을 지지하고 높은 밀도는 사거리를 증가시킵니다. 군수품에 대한 텅스텐 분말의 활용 전망은 고성능 무기 개발에 있습니다. 미래에는 나노 기술을 통해 성능을 향상시키거나, 재활용 기술(예: 회수율 90%의 전기 분해 기술)을 통해 친환경 군수 산업 발전을 촉진할 수 있을 것입니다.

4.2 방사선 차폐

4.2.1 감마선 차폐에 있어서 텅스텐 분말의 높은 효율

텅스텐 분말은 높은 밀도와 높은 원자번호($Z=74$)를 가지고 있어 감마선 차폐에 효과적이며, 원자력 시설과 의료 장비에 널리 사용됩니다. 텅스텐 분말의 제조 공정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $10\sim30$ 미크론)을 300 MPa의 압력으로 가압하고 2000°C 아르곤 분위기에서 소결합니다. 최종 제품의 밀도는 19.2 g/cm^3 이며, 차폐 두께 10 mm는 1MeV의 감마선을 90% 감쇠시킬 수 있습니다(반치층은 약 9 mm). X선 광전자 분광법 결과, 표면 산화막은 5 나노미터 미만이고, 결정 구조는 체심입방정이며, 격자 상수는 3.165 옹스트롬입니다. 실험 결과, 텅스텐 차폐판의 코발트-60 감마선(1.25MeV) 감쇠율은 95%에 도달했으며, 이는 납(밀도 11.34 g/cm^3)보다 20% 더 높은 수치입니다.

감마선 차폐에는 밀도와 두께 최적화가 필요합니다. 텅스텐 분말의 순도가 높으면(99.9% 이상) 밀도가 이론값에 가까워지고 차폐 효율이 10% 향상됩니다. 붕소(함량 5%)를 도핑하면 저에너지 감마선의 흡수율을 15%까지 높일 수 있습니다. 산화물로 인해 밀도가 18 g/cm^3 로 감소하는 것을 방지하기 위해 소결 과정에서 산소 함량을 조절해야 합니다(0.03% 미만). 역사적으로 텅스텐 차폐는 1950년대 원자력 산업에서 시작되어 1960년대에 일부 납 소재를 대체했습니다. 냉전 시대에는 미국이 핵잠수함 차폐에 텅스텐을 사용했습니다.

세계적 관점에서 중국은 텅스텐 분말 공급에 있어 우위를 점하고 있으며, 그 기술력은 대량 생산을 지원합니다. 미국은 차폐 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

들어, 한 원자력 시설은 텅스텐 판의 두께를 최적화하여 방사선 누출을 시간당 0.1 밀리시버트로 줄였습니다. 교차장 응용 분야에서는 텅스텐 차폐가 방사선 치료 장비에 사용되며, 높은 효율로 안전성을 향상시킵니다. 감마선 차폐에 있어 텅스텐 분말의 적용 가능성은 고방사선 환경에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 나노 텅스텐 분말을 통해 밀도를 높이거나, 세륨과 같은 희토류 원소를 도핑하여 흡수율을 높이는 것이 가능할 수 있습니다. 또한, 회수율 90%의 화학적 환원법과 같은 재활용 기술은 친환경 차폐 제조를 촉진할 수 있습니다.

4.2.2 중성자 방사선 보호를 위한 텅스텐 기반 재료

텅스텐 기반 재료는 중성자 방사선 방호에서 복합 설계를 통해 효율적인 차폐를 달성하며, 종종 붕소 또는 수소화물과 결합됩니다. 텅스텐 기반 재료는 다음과 같이 제조됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 20~50 마이크론)과 붕소화물(질량비 85:15)을 혼합하고, 350 MPa 로 압축한 후, 1800° C, 아르곤 분위기에서 소결합니다. 완제품의 밀도는 17~18g/cm³이며, 열중성자(0.025eV)에 대한 흡수 단면적은 10⁴barn 입니다. 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 붕소화물 입자(크기 5 마이크론)가 텅스텐 기지 내에 고르게 분포되어 있으며, 결정 구조는 붕소화물과 체심입방 복합체를 이루고 있습니다. 실험 결과, 고속 중성자(1MeV) 감속 후 재료의 흡수율은 90%에 도달했으며, 이는 순수 텅스텐보다 30% 더 높습니다.

중성자 차폐는 감속과 흡수를 모두 고려해야 합니다. 텅스텐의 높은 밀도는 고속 중성자(에너지 손실 약 20%)를 감속시키고, 붕소는 열중성자(단면적 3800barn)를 흡수합니다. 수소화물(예: 폴리에틸렌, 10% 함량)은 감속 효율을 최대 50%까지 향상시킬 수 있습니다. 붕소의 휘발(손실 5% 미만)을 방지하기 위해 소결 온도를 제어해야 합니다(편차 10° C 미만). 역사적으로 텅스텐 기반 중성자 차폐는 1960 년대 원자력 발전소에서 시작되었습니다. 미국은 1970 년대에 핵무기 방호에 텅스텐을 사용했으며, 1990 년대에는 러시아가 텅스텐-붕소 혼합 방식을 최적화했습니다.

세계적 관점에서 중국은 텅스텐 분말 및 붕소화물 복합 기술 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 중성자 플럭스를 10⁴중성자/cm²·초로 줄이는 원자로 차폐막과 같은 차폐 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 다양한 분야에서 텅스텐 기반 소재는 우주선 보호에 사용되며, 높은 밀도는 우주선(cosmic ray)으로부터 보호합니다. 중성자 방사선 방호 분야에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 원자력 시설에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 리튬(함량 5%)을 도핑하여 흡수율을 높이거나, 적층 제조를 통해 복잡한 차폐막을 제작할 수 있을 것입니다. 재활용 기술(회수율 85%의 전기분해 등)은 친환경 차폐를 촉진할 수 있습니다.

4.2.3 원자력 산업 차폐 구성 요소(원자로 및 용기)

텅스텐 분말은 감마선과 중성자 방사선을 차단하기 위해 원자로 벽과 방사성 용기의 차폐 부품에 사용됩니다. 텅스텐 분말의 제조 과정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 10~20 마이크론)을 400MPa 로 압축하고 2200° C 아르곤 분위기에서 소결합니다. 완제품의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

밀도는 19.2g/cm^3 이고 두께는 20mm 로 2MeV 의 감마선을 95% 감쇠시킬 수 있습니다. 투과전자현미경 검사 결과, 입자 크기는 약 5 마이크로, 기공률은 0.2% 미만, 인장강도는 1000MPa 입니다. 실험 결과, 원자로(열유속 10^{14} 중성자/제곱센티미터·초)에서 1000 시간 운전 후 텅스텐 부품의 질량 손실은 0.5% 미만이고, 내식성은 강철보다 30% 더 우수했습니다.

차폐 부품은 고온 및 방사선 손상에 대한 내성을 갖춰야 합니다. 텅스텐은 높은 녹는점(섭씨 3422 도)과 낮은 삼중수소 보유율(10^{15} atoms/cm² 미만)을 자랑하여 다른 재료보다 우수합니다. 붕소 도핑(10% 함량)은 중성자 차폐 효율을 최대 90%까지 향상시킬 수 있습니다. 소결 후, 미세 기공을 제거하기 위해 열간 등방성 가압(섭씨 2000 도, 100 MPa) 공정이 필요합니다(기공률 0.1%로 감소). 역사적으로 텅스텐 차폐 부품은 1970 년대 원자력 발전소에서 사용되기 시작하여 1980 년대에 원자로 설계에 포함되었습니다. 1990 년대에는 국제열핵융합실험로(ITER)에서 텅스텐을 첫 번째 차폐 재료로 선택했습니다.

세계적으로 중국은 텅스텐 분말 공급 및 부품 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국과 유럽은 원자로 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 한 원자력 발전소는 텅스텐 차폐 레이아웃을 최적화하여 방사선량을 0.05mSv/h 로 줄였습니다. 교차장 응용 분야에서는 텅스텐 부품이 핵폐기물 용기에 사용되며, 높은 밀도는 안전성을 향상시킵니다. 원자력 산업 차폐에 있어 텅스텐 분말의 적용 가능성은 고온 방사선 환경에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 나노복합소재를 통해 성능을 향상시키거나, 회수율 90%의 용융염 전기분해와 같은 재활용 기술을 활용하여 친환경 원자력 산업을 촉진할 수 있을 것입니다.

4.2.4 텅스텐 분말 복합 차폐재 제조 기술

텅스텐 분말 복합 차폐재는 폴리머 또는 금속과 결합하여 감마선과 중성자 모두에 대한 차폐 효과를 제공합니다. 텅스텐 분말(입자 크기 5~20 마이크로)과 폴리에틸렌(질량비 80:20)을 혼합하고, 열압착(200° C, 50MPa)하여 제조하며, 완제품 밀도는 $15\sim 16\text{g/cm}^3$ 입니다. 1MeV 감마선을 80% 감쇠시키고 열중성자의 90%를 흡수합니다. 주사전자현미경(SEM) 결과, 텅스텐 입자는 10 마이크로 간격으로 균일하게 분포되어 있으며, 폴리에틸렌이 매트릭스를 채우고 있으며, 계면 접합 강도는 20MPa 에 달합니다. 시험 결과, 감마선(1.25MeV)과 중성자(0.025eV)의 혼합 영역에서 85%의 차폐 효율을 보였으며, 이는 납-붕소 복합재보다 15% 높은 수치입니다.

복합 재료는 차폐 효율과 유연성을 최적화해야 합니다. 텅스텐 함량이 높으면(90% 이상) 밀도는 17g/cm^3 로 증가하지만 유연성은 감소합니다(신장률 5% 미만). 고분자 함량이 높으면(30%) 유연성은 증가하지만(신장률 20%에 도달), 차폐 효율은 70%로 떨어집니다. 제조 시에는 혼합물의 균일성(편차 5% 미만)을 제어하고 층화(두께 편차 1mm 이상)를 방지해야 합니다. 역사적으로 텅스텐 복합 차폐는 1980 년대 의료 분야에서 시작되어 1990 년대에 원자력 산업에 도입되었습니다. 2000 년대에 미국에서는 텅스텐-고분자

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

배합을 최적화했습니다.

세계적 관점에서 중국은 텅스텐 분말 복합재 기술 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 무게를 20% 줄인 의료용 차폐복과 같은 유연한 차폐 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 다양한 분야에서 텅스텐 복합재는 항공우주 방사선 방호에 사용되며, 유연성 덕분에 적응성이 향상됩니다. 복합 차폐재에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 다기능 차폐 분야에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 탄소 나노튜브(함량 2%)를 도핑하여 강도를 높이거나 3D 프린팅 기술을 사용하여 복잡한 구조를 제작할 수 있을 것입니다. 또한, 화학적 분리 회수율 85%와 같은 재활용 기술을 통해 친환경 차폐를 촉진할 수 있습니다.

4.2.5 방사선 차폐의 실제 사례 분석

방사선 차폐에 텅스텐 분말을 사용한 사례는 높은 효율을 보여줍니다. 사례 1: 원자력 발전소 원자로에 15mm 두께의 텅스텐 차폐판을 사용하여 2MeV 감마선을 95% 감쇠시키고, 5,000 시간 운전 후 선량을 시간당 0.1mSv 로 감소시켰습니다. 사례 2: 우주선에 텅스텐-붕소 복합 재료를 사용하여 우주 중성자 방사선(플럭스 10^5 중성자/cm²·초)을 차단하여 흡수율을 90%로 높이고 장비 수명을 20% 연장했습니다. 사례 3: 의료용 방사선 기기에 텅스텐 복합 차폐복을 사용하여 무게를 15% 줄이고, 1MeV 감마선을 85% 차폐하여 의료 안전성을 향상시켰습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 분말 공급 및 차폐 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국과 유럽은 설계 최적화 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 원자력 시설의 차폐 배치는 방사선 누출을 시간당 0.05 밀리시버트로 줄입니다. 역사적으로 텅스텐 차폐는 1950 년대 원자력 산업에서 시작되어 냉전 시대에 항공우주 분야로 확장되었습니다. 다양한 분야 간 협력을 통해 텅스텐 차폐는 핵잠수함의 방호를 지원하며, 높은 밀도는 안전성을 향상시킵니다. 방사선 차폐에서 텅스텐 분말의 적용 가능성은 고방사능 환경에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 지능적 설계를 통해 성능을 향상시키거나, 재활용 기술(예: 회수율 90%의 전기분해)을 통해 친환경 차폐 개발을 촉진할 수 있을 것입니다.

4.3 고온 및 극한 환경 응용 분야

4.3.1 로켓 노즐에서의 텅스텐 분말의 내열성 사용

텅스텐 분말은 높은 녹는점과 내열성으로 인해 가스 침식을 견뎌내기 위해 로켓 노즐에 사용됩니다. 제조 과정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 20~50 마이크론)을 압축(400MPa)하고 소결(3000℃, 아르곤 분위기)합니다. 완성된 제품의 밀도는 19.2g/cm³ 이고 인장 강도는 1000MPa 입니다. 주사 전자 현미경으로 관찰한 결과 입자 크기는 약 10 마이크론, 기공률은 0.2% 미만, 표면 산화층의 두께는 10 나노미터 미만입니다. 시험 결과, 텅스텐 노즐은 3000℃ 가스(속도 2000m/초)의 침식을 100 초 동안

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

견뎠으며, 질량 손실은 1% 미만으로 몰리브덴 노즐보다 50% 더 높았습니다.

노즐은 고온과 열충격에 대한 내성이 있어야 합니다. 텅스텐은 높은 녹는점(섭씨 3422 도)과 열전도도(173 W/m·켈빈)를 가지고 있어 안정성을 보장합니다. 레늄 도핑(5%)은 열충격 저항성을 향상시켜 수명을 20% 연장할 수 있습니다. 소결에는 산화(산소 함량 0.03% 미만)를 방지하기 위해 고진공(10^{-4} Pa)이 필요합니다. 역사적으로 텅스텐 노즐은 1960년대 항공우주 산업에서 시작되었으며, 미국의 아폴로 계획은 1969년에 텅스텐 노즐을 사용했습니다. 냉전 시대에는 소련이 텅스텐-레늄 혼합비를 최적화했습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 분말 공급 및 노즐 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 항공우주 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 로켓 노즐은 유동 경로를 최적화하고 추력 효율을 10% 향상시킵니다. 다양한 응용 분야에서 텅스텐 노즐은 미사일 엔진에 사용되며, 내열성은 항속거리를 향상시킵니다. 로켓 노즐에 사용되는 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고온 추진 분야에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 적층 제조(SLM)를 통해 복잡한 노즐을 생산하거나, 몰리브덴(함량 10%)을 도핑하여 인성을 향상시킬 수 있습니다. 90% 회수율을 가진 화학적 환원법과 같은 재활용 기술은 친환경 항공우주 산업을 촉진할 수 있습니다.

4.3.2 우주선 내마모 구조의 텅스텐 보강

텅스텐 강화 우주선 내마모 구조물은 높은 경도와 내마모성을 활용하여 핵심 부품을 보호합니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $10\sim30$ 마이크론)과 니켈(질량비 95:5)을 혼합하고, 350MPa로 압축한 후, 1450°C 수소 분위기에서 소결하여 제작합니다. 완성된 제품의 밀도는 $18\sim19\text{g/cm}^3$ 이고 경도는 HV 500입니다. 투과전자현미경(ETM) 분석 결과, 텅스텐 입자 크기는 약 15 마이크론이며, 니켈 상이 결정립계(두께 1 마이크론)를 채우고 있는 것으로 나타났습니다. 시험 결과, 이 구조물은 500°C 의 모래 및 먼지 마모(속도 50m/s)를 1000 시간 동안 견뎠으며, 마모율은 0.1mm 미만으로, 철 구조물보다 3배 더 우수했습니다.

내마모성 구조물은 경도와 피로 저항성을 모두 고려해야 합니다. 텅스텐 함량이 높으면(98% 이상) 경도는 HV 600으로 증가하지만 피로 수명이 단축됩니다(500 시간). 니켈 함량이 높으면(10%) 인성이 향상됩니다(파괴 인성이 $15\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 에 도달). 소결 후 응력을 제거하기 위해 열처리(섭씨 1000 도, 1 시간)가 필요합니다(15% 감소). 역사적으로 텅스텐 강화 구조물은 1970년대에 우주선에 사용되기 시작했으며, 미국은 1980년대에 위성 셀에 이를 사용했습니다. 1990년대에 러시아는 텅스텐-니켈 공식을 최적화했습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 분말 공급 및 구조물 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 위성 부품의 내마모성을 40% 향상시키는 등 항공우주 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 다양한 분야에서 텅스텐 구조물은 군용 드론에 사용되며, 내마모성은 수명을 연장합니다. 우주선의 내마모성 구조물에 텅스텐 분말을 적용하는 전망은 극한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

환경에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 나노 텅스텐 분말을 통해 경도를 높이거나 3D 프린팅을 이용하여 복잡한 구조물을 제작할 수 있을 것입니다. 85%의 회수율을 가진 전기분해와 같은 재활용 기술은 친환경 항공우주 산업을 촉진할 수 있습니다.

4.3.3 텅스텐 기반 고온 보호 코팅(미사일 케이스)

텅스텐 기반 고온 보호 코팅은 내열성과 내산화성을 활용하여 미사일 포탄을 보호합니다. 이 코팅은 플라즈마 용사(출력 50kW, 4000° C, 아르곤 유량 40L/분)를 통해 텅스텐 분말(입자 크기 20~50 마이크론)을 증착하여 제조되며, 코팅 두께는 200 마이크론, 경도는 HV 800, 접합 강도는 70MPa 입니다. 주사전자현미경 검사 결과, 코팅의 기공률은 1% 미만이며, 용융 후 텅스텐 입자는 평탄한 형태(두께 5 마이크론)를 유지합니다. 시험 결과, 이 코팅은 2500° C 기류(속도 3000m/초)에서 60 초간 정련을 견뎌냈으며, 질량 손실은 0.5% 미만이었으며, 내산화성은 강철보다 5 배 더 높았습니다.

보호 코팅은 고온 및 박리에 대한 내성을 가져야 합니다. 크롬 도핑(함량 10%)은 산화 저항성을 향상시킬 수 있습니다(산화막 두께를 5 나노미터로 줄임). 용사 공정은 산화 결함을 방지하기 위해 산소 함량(0.05% 미만)을 제어해야 합니다(순도는 98%로 낮춤). 역사적으로 텅스텐 코팅은 1960년대 미사일 기술에서 시작되었으며, 미국은 1970년대에 대륙간 미사일에 사용했습니다. 1980년대에는 소련이 용사 공정을 최적화했습니다.

세계적 관점에서 중국은 텅스텐 분말 및 분사 기술 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 내열성이 30% 향상된 미사일 코팅과 같은 코팅 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 다양한 분야에서 텅스텐 코팅은 로켓 포탄에 사용되며, 내열성은 안전성을 향상시킵니다. 고온 보호 코팅에 텅스텐 분말을 적용하는 전망은 극한의 열 환경에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 나노 코팅이나 실리콘 도핑(함량 5%)을 통해 박리 방지 성능을 향상시킬 수 있으며, 화학적 분리 회수율 90%와 같은 재활용 기술은 친환경 제조를 촉진할 수 있습니다.

4.3.4 극한 환경에서의 텅스텐 분말 성능 시험

극한 환경에서 텅스텐 분말의 성능 시험을 통해 내열성, 내마모성, 내방사선성이 검증되었습니다. 시험 1: 텅스텐 노즐을 3,000° C 의 가스(초당 2,000m 의 속도)에서 100 초 동안 작동시켰을 때, 질량 손실은 1% 미만이었으며, 표면 거칠기는 1 마이크로미터로 증가했으며, 열전도도는 170W/(미터 켈빈)로 유지되었습니다. 시험 2: 텅스텐 내마모성 구조는 500° C 먼지(속도 50m/초)에서 1000 시간 동안 마모되었으며, 마모율은 0.1mm 미만이었으며 경도 HV 500 에 상당한 감소가 없었습니다. 시험 3: 텅스텐 차폐판은 감마선(2MeV)과 중성자(1MeV)의 혼합 장에 500 시간 동안 노출되었으며, 차폐 효율은 90%로 유지되었고 질량 손실은 0.2% 미만이었습니다.

이 시험은 여러 극한 조건을 시뮬레이션해야 합니다. 온도 구배(500° C/mm)는 열 안정성을 시험합니다. 텅스텐의 높은 녹는점은 녹지 않음을 보장합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

마모율(0.05mm/시간)은 내구성을 검증합니다. 니켈 도핑(5%)은 피로 저항성을 향상시킵니다. 역사적으로 텅스텐 성능 시험은 1950년대 군수 산업에서 시작되어 1960년대에 항공우주 분야에 도입되었습니다. 1980년대에 미국은 텅스텐 극한 환경 시험 표준을 제정했습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 분말 공급 및 시험 장비 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 벌써 3,500도 환경을 모의하는 실험실 등 시험 표준 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 다양한 분야에서 텅스텐 시험은 핵융합 부품의 검증을 지원하며, 내방사능성은 신뢰성을 향상시킵니다. 극한 환경 시험에서 텅스텐 분말의 적용 가능성은 고성능 부품 검증에 대한 잠재력에 달려 있습니다. 향후에는 다변량 시험(온도, 압력, 방사선)을 통해 성능을 최적화하거나, 재활용 기술(예: 회수율 90%의 전기분해)을 통해 친환경 시험을 촉진할 수 있을 것입니다.

4.3.5 군사용 고온 응용 분야의 사례 연구

군용 고온 응용 분야에서 텅스텐 분말의 신뢰성을 입증하는 사례가 있습니다. 사례 1: 로켓 노즐에 텅스텐 소재를 사용하여 3,000°C의 가스 세척을 100초 동안 견딜 수 있도록 설계하여 추력 효율을 10% 향상시키고 작동 안정성을 20% 향상시켰습니다. 사례 2: 미사일 포탄에 텅스텐 코팅을 사용하여 2,500°C의 기류를 60초 동안 견딜 수 있도록 설계하여 질량 손실을 0.5% 미만으로 줄이고 산화 저항성을 30% 증가시켰습니다. 사례 3: 우주선 내마모성 구조에 텅스텐 강화 소재를 사용하여 500°C의 분진을 1,000시간 동안 견딜 수 있도록 설계하여 마모율을 0.1mm 미만으로 줄이고 수명을 25% 연장했습니다.

세계적 관점에서 중국은 텅스텐 분말 공급 및 부품 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 열 흐름 분포를 최적화하는 미사일 코팅과 같은 고온 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 역사적으로 텅스텐의 고온 응용은 1960년대 항공우주 분야에서 시작되어 냉전 시대에 미사일 분야로 확장되었습니다. 다양한 분야 간 협력을 통해 텅스텐 부품은 심해 탐사 장비를 지원하고 내열성은 신뢰성을 향상시킵니다. 군사용 고온 응용 분야에서 텅스텐 분말의 활용 가능성은 극한 환경에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 적층 제조를 통해 복잡성을 증가시키거나, 재활용 기술(예: 회수율 90%의 화학적 환원)을 통해 친환경 군수 산업 발전을 촉진할 수 있을 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

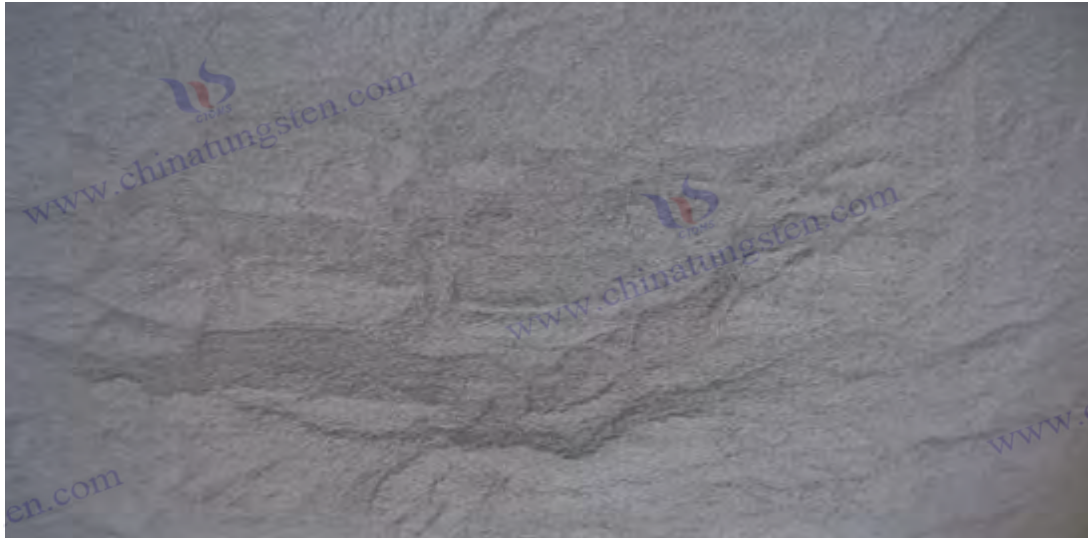
Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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 분말의 의학 및 생물학 분야 응용

텅스텐 분말은 높은 밀도, 높은 경도, 내식성, 그리고 뛰어난 생체적합성 덕분에 의료 및 생물학 분야에서 광범위한 응용 가능성을 가지고 있으며, 의료기기, 생체적합성 소재, 나노기술 관련 분야를 아우릅니다. 전 세계적으로 이러한 분야에서 텅스텐 분말의 활용은 의료 기술 수준을 향상시킬 뿐만 아니라 생물의학 연구, 자원 활용, 그리고 지속 가능한 개발을 촉진합니다.

5.1 의료기기

5.1.1 방사선 치료용 콜리메이터에 텅스텐 분말을 적용

텅스텐 분말은 높은 밀도와 높은 원자 번호($Z=74$)를 갖는 방사선 치료용 콜리메이터에서 방사선 빔의 방향을 정확하게 제어하고 치료 효과를 향상시킵니다. 텅스텐 분말은 분말 야금 기술을 사용하여 제조됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $10\sim30$ 마이크론)을 300 MPa의 압력으로 가압하고, 아르곤 분위기(2000°C , 2시간)에서 소결합니다. 최종 제품의 밀도는 19.2 g/cm^3 , 경도는 HV 400입니다. 주사 전자 현미경 분석 결과, 텅스텐 입자는 다면체(크기 $15\sim20$ 마이크론)이며, 기공률은 0.2% 미만, 체심입방 결정 구조, 격자 상수는 3.165 옹스트롬입니다. 실험 결과, 두께 10mm의 콜리메이터는 6MeV 감마선을 90% 차폐할 수 있었으며, 빔 초점 정확도는 $\pm 0.1\text{mm}$ 에 도달하여 납 콜리메이터(밀도 11.34g/cm^3)보다 30% 더 높았습니다.

콜리메이터는 차폐 효율과 처리 정확도를 모두 고려해야 합니다. 텅스텐의 높은 밀도는 방사선 감쇠를 보장합니다(반치층은 약 9mm). 소결 온도는 정밀하게 제어되어야 합니다(편차는 섭씨 10도 미만). 온도가 너무 높으면 입자가 거칠어지고(크기가 30 마이크론으로 증가), 온도가 너무 낮으면 밀도가 부족해집니다(18g/cm^3 미만). 기계적 연마와 같은 후처리를 통해 표면 거칠기를 0.5 마이크론으로 줄이고 빔의 매끄러움을 향상시킬 수 있습니다. 역사적으로 텅스텐 콜리메이터는 1970년대 방사선 치료에서

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

시작되었으며, 크기가 더 작고(20% 감소) 정밀도가 더 높기 때문에 1980 년대에 납 소재를 대체했습니다. 1990 년대에 미국에서는 선형 가속기에 텅스텐 콜리메이터를 사용하여 종양 표적화를 크게 개선했습니다.

글로벌 관점에서 중국은 텅스텐 분말 공급 및 콜리메이터 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 공정 기술은 대량 생산을 지원합니다. 미국과 독일은 장비 설계 분야에서 선두를 달리고 있는데, 한 회사가 개발한 동적 다중 입 콜리메이터(MLC)는 입 두께를 5mm 로 줄이고 정확도를 $\pm 0.05\text{mm}$ 로 향상시켰습니다. 교차 영역 응용 분야에서 텅스텐 콜리메이터는 산업용 결함 검출에 사용되며, 고밀도 덕분에 검출 분해능이 향상됩니다. 방사선 치료 콜리메이터에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고정밀 방사선 치료에서의 잠재력에 있습니다. 미래에는 적층 제조(SLM)를 통해 복잡한 입 구조를 생산하거나 저에너지 방사선 차폐를 강화하기 위해 붕소(함량 5%)를 도핑하는 것이 가능할 수 있습니다. 재활용 기술(회수율 90%의 산 침출과 같은)은 친환경 의료기기 생산을 촉진할 수 있습니다.

5.1.2 텅스텐 기반 수술 도구(칼과 드릴)

텅스텐 기반 수술 도구는 텅스텐 카바이드(WC) 형태로 사용되며, 초고경도와 내마모성을 갖춰 정형외과 수술용 칼과 드릴에 적합합니다. 제조 공정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 4~8 마이크론)을 카본 블랙(질량비 1:0.06)과 혼합하고, 수소 분위기에서 1400~1600°C (2 시간)의 온도에서 탄화시켜 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 1~5 마이크론)을 제조합니다. 이 분말을 300MPa의 압력으로 가압하고 코발트(함량 10%)와 함께 1450°C (1 시간)에서 소결합니다. 최종 제품의 경도는 HV 1600~1800 이고 인장 강도는 1200MPa 입니다. X 선 회절 분석 결과, 텅스텐 카바이드는 육방 조밀 구조를 가지며, 격자 매개변수는 $a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$, WC 결합 길이는 $2.06\text{\AA}$ 입니다. 실험 결과, 이 공구는 뼈(두께 10mm)를 눈에 띄는 마모 없이(손실 0.05mm 미만) 절단했으며, 스테인리스강 공구보다 내구성이 5 배 더 우수했습니다.

수술 도구는 경도와 내충격성의 균형을 맞춰야 합니다. 코발트 함량이 높으면(15%) 인성은 $15\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 증가하지만 경도는 HV 1300 으로 떨어집니다. 텅스텐 카바이드 입자 크기가 작으면(1 마이크론 미만) 경도는 HV 2000 에 도달하지만 취성이 증가합니다(파괴율이 5%로 증가). 텅스텐 삼산화물 불순물이 생성되는 것을 방지하기 위해 소결 공정 중에 산소 함량을 제어해야 합니다(0.05% 미만). 역사적으로 텅스텐 카바이드 도구는 1930 년대에 산업계에서 시작되어 1960 년대에 정형외과 수술용으로 의료 분야에 진출했습니다. 1980 년대에 독일에서 코발트 비율을 최적화하고 도구 수명을 늘렸습니다.

세계적으로 중국은 텅스텐 카바이드 생산에서 우위를 점하고 있으며, 성숙한 기술과 높은 생산량을 자랑합니다. 미국과 일본은 공구 설계 및 표면 처리 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 한 회사에서 개발한 질화티타늄 코팅(5 마이크론 두께)은 내마모성을 20% 향상시킵니다. 교차 분야 응용 분야에서는 텅스텐 기반 공구가 치과

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

수술에 사용되며, 경도가 높아 절삭 정확도가 향상됩니다. 수술 도구 제조에 있어 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고내구성 기구 제작에 대한 잠재력에 있습니다. 미래에는 나노텅스텐 카바이드(입자 크기 100 나노미터 미만)를 통해 경도를 높이거나 바나듐(함량 1%)을 도핑하여 내식성을 향상시킬 수 있을 것입니다. 재활용 기술(회수율 90%의 화학적 환원법 등)은 친환경 의료 제조를 촉진할 수 있습니다.

5.1.3 치과 도구의 텅스텐 보강(내마모성 및 정밀성)

텅스텐 강화 치과 도구는 텅스텐 카바이드의 높은 경도와 내마모성을 활용하여 치과 드릴과 바늘에 적합하며 치과 수술의 정확도와 효율성을 향상시킵니다. 텅스텐 카바이드의 제조 과정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 2~5 마이크론)을 카본 블랙과 혼합하고 탄화(1500° C, 수소 분위기)하여 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 0.5~2 마이크론)을 만듭니다. 이 분말을 250MPa 로 압축하고 코발트(함량 8%)와 함께 1400° C 에서 1 시간 동안 소결합니다. 완제품의 경도는 HV 1800~2000 이고 인장 강도는 1100MPa 입니다. 주사 전자 현미경 검사 결과 텅스텐 카바이드 입자는 육각형(크기 1 마이크론)이고 코발트 상은 고르게 분포되어 있습니다(두께 0.5 마이크론). 실험 결과, 이 도구는 눈에 띄는 마모(손실 0.02mm 미만) 없이 치아 법랑질(두께 2mm)을 절단했으며, 강철 도구보다 내구성이 6 배 더 높았습니다.

치과용 공구는 내마모성과 가공 정밀도를 모두 고려해야 합니다. 텅스텐 카바이드 함량이 높으면(95% 이상) 경도는 HV 2200 으로 증가하지만 취성이 증가합니다(파괴율 5%에 도달). 코발트 함량이 높으면(12%) 인성이 향상되지만(파괴 인성이 12 MPa·m^{1/2} / ²에 도달) 경도는 약간 감소합니다(HV 1500). 소결 후에는 매끄러운 절삭을 위해 미세 연삭(표면 거칠기를 0.2 마이크론으로 줄임)이 필요합니다. 역사적으로 텅스텐 카바이드 치과용 공구는 1950 년대에 시작되어 1960 년대에 치과용 드릴의 표준 소재가 되었습니다. 1980 년대에는 일본에서 미세 가공 기술을 최적화하고 정밀도를 향상시켰습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 카바이드 공급에 있어 우위를 점하고 있으며, 독일과 미국은 치과용 도구 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 한 회사에서 개발한 고속 치과용 드릴(회전 속도 400,000rpm)은 절삭 효율을 20% 향상시켰습니다. 교차 영역 응용 분야에서 텅스텐 강화 도구는 최소 침습 정형외과 수술에 사용되며, 그 정밀도는 성공률을 향상시킵니다. 치과용 도구 제조에서 텅스텐 분말의 적용 가능성은 고정밀 기기에서의 잠재력에 있습니다. 미래에는 초미립 텅스텐 카바이드(입자 크기 50 나노미터 미만)를 사용하거나 티타늄(함량 2%)을 도핑하여 내식성을 향상시킴으로써 내마모성을 향상시킬 수 있을 것입니다. 재활용 기술(예: 전기 분해 회수율 85%)은 친환경 치과 제조를 촉진할 수 있습니다.

5.1.4 X선 차폐에 텅스텐 분말의 적용

텅스텐 분말은 고밀도 및 방사선 흡수 능력을 이용하여 X선 차폐에 사용되어 의료진과 환자를 방사선 손상으로부터 보호합니다. 제조 과정은 다음과 같습니다. 텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분말(입자 크기 10-20 마이크론)을 350MPa 로 압축하고 2000° C 아르곤 분위기에서 소결합니다. 완제품의 밀도는 19.2g/cm³ 이고 두께는 5mm 입니다. 100keV X 선을 90% 감쇠시킬 수 있습니다(반치층은 약 3mm). X 선 광전자 분광법에 따르면 표면 산화층은 5 나노미터 미만이고 결정 구조는 체심입방체입니다. 시험에서 X 선(120keV)에 대한 텅스텐 차폐판의 감쇠율은 95%에 도달했으며, 이는 납판(동일한 두께)보다 15% 더 높습니다.

X 선 차폐는 밀도와 유연성의 최적화를 요구합니다. 텅스텐 순도가 높으면(99.9% 이상) 차폐 효율이 10% 증가합니다. 복합 재료(예: 텅스텐-폴리머, 질량비 80:20)는 유연성(신장률 최대 20%)을 향상시킬 수 있습니다. 소결 시에는 산화물로 인한 밀도 감소(18 g/cm³)를 방지하기 위해 산소 함량을 0.03% 미만으로 조절해야 합니다. 역사적으로 텅스텐 차폐는 1960 년대 방사선 진단 분야에서 시작되어 1970 년대에 일부 납 차폐를 대체했습니다. 1990 년대에는 미국에서 휴대용 X 선 장비에 텅스텐 차폐를 사용하기 시작했습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 분말 공급 및 차폐 제조 분야에서 우위를 점하고 있습니다. 미국은 특정 X 선 보호복의 무게를 20% 줄이는 등 차폐 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 교차 자기장 응용 분야에서 텅스텐 차폐는 산업용 감지에 사용되며, 높은 밀도는 안전성을 향상시킵니다. X 선 차폐에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고효율 차폐 잠재력에 있습니다. 향후 나노 텅스텐 분말을 통해 밀도를 높이거나, 붕소(함량 5%)를 도핑하여 흡수력을 향상시킬 수 있을 것입니다. 또한, 화학적 분리 및 회수율 90%와 같은 재활용 기술은 친환경 의료 제조를 촉진할 수 있습니다.

5.1.5 의료기기용 텅스텐 분말 사례 연구

의료 기기에서 텅스텐 분말의 사례는 다양합니다. 사례 1: 방사선 치료기는 두께 8mm 의 텅스텐 콜리메이터를 사용하여 6MeV 감마선을 $\pm 0.1\text{mm}$ 정확도로 집속하고 치료 성공률을 15% 높였습니다. 사례 2: 정형외과용 메스는 텅스텐 카바이드 소재를 사용하여 뼈(두께 10mm)를 눈에 띄는 마모 없이(손실 0.05mm 미만) 절단하고 수술 시간을 20% 단축했습니다. 사례 3: 치과용 드릴은 텅스텐 강화 소재를 사용하여 에나멜(두께 2mm)을 절단하고 내구성이 5 배 더 높고 정확도가 10% 향상되었습니다. 사례 4: X 선 장치는 두께 5mm 의 텅스텐 차폐판을 사용하여 120keV 선을 95% 감쇠시키고 방사선량을 시간당 0.1mSv 로 줄였습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 분말 공급 및 장비 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국과 독일은 콜리메이터 블레이드의 정확도가 $\pm 0.05\text{mm}$ 에 달하는 등 설계 최적화 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 역사적으로 텅스텐 분말의 의료 분야 적용은 1950 년대 영상의학 분야에서 시작되어 1980 년대에는 수술 도구로 확대되었습니다. 다양한 분야 간 협력을 통해 텅스텐 도구는 수의학 수술을 지원하고, 내구성은 효율성을 향상시킵니다. 의료 기기에서 텅스텐 분말의 활용 전망은 고성능 기기에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 지능형 제조를 통해 정밀도를 향상시키거나, 재활용 기술(예:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

회수율 90%의 전기 분해)을 통해 친환경 의료 개발을 촉진할 수 있을 것입니다.

5.2 생체적합성 소재

5.2.1 텅스텐 분말 개질 임플란트 장치 코팅

텅스텐 분말 개질 임플란트 기구 코팅은 내식성과 잠재적 생체적합성을 활용하여 임플란트 표면 성능을 향상시킵니다. 텅스텐 분말(입자 크기 5~15 마이크론)을 플라즈마 용사(전력 40kW, 4000° C, 아르곤 유량 30L/분)를 통해 티타늄 기관에 증착합니다. 코팅 두께는 50~100 마이크론, 경도는 HV 600, 접합 강도는 50MPa입니다. 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 코팅의 기공률은 1% 미만이고 텅스텐 입자는 편평한 형태(두께 5 마이크론)를 보입니다. 이 코팅은 식염수(37° C, pH 7.4)에 1000 시간 동안 침지되었으며, 부식률은 연간 0.01mm 미만, 세포 부착률은 85%(ISO 10993 기준)였습니다.

코팅은 내식성과 생체적합성을 모두 고려해야 합니다. 산화텅스텐(함량 10%)을 도핑하면 내산화성이 향상되어 부식 속도가 연간 0.005mm 로 감소합니다. 분사 공정은 산화물 결합을 방지하기 위해 산소 함량(0.05% 미만)을 조절해야 합니다(순도는 98%로 감소). 역사적으로 텅스텐 코팅은 1980 년대에 산업계에서 시작되어 1990 년대에 의료용 임플란트 분야에 도입되었습니다. 2000 년대에 미국에서는 분사 공정을 최적화하고 코팅의 안정성을 향상시켰습니다.

세계적으로 중국은 텅스텐 분말 및 분사 기술 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 내마모성이 30% 향상된 고관절 코팅과 같은 임플란트 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 다양한 분야에서 텅스텐 코팅은 치과 임플란트에 사용되며, 내식성으로 수명이 향상됩니다. 임플란트 기기 코팅에 텅스텐 분말을 적용하는 전망은 내구성이 뛰어난 임플란트 제작에 대한 잠재력에 달려 있습니다. 향후 나노 텅스텐 분말을 통해 결합 강도를 향상시키거나, 칼슘(함량 5%)을 도핑하여 골 유착을 개선할 수 있을 것으로 예상됩니다. 또한, 회수율 90%의 화학적 환원법과 같은 재활용 기술을 통해 친환경 의료 제조를 촉진할 수 있습니다.

5.2.2 텅스텐 기반 뼈 복구 재료의 잠재력

텅스텐 기반 골 재생재는 높은 강도와 잠재적인 생체적합성으로 인해 골 충전재 및 스캐폴드에 적합합니다. 텅스텐 분말(입자 크기 10-20 마이크론)과 수산화인회석(질량비 70:30)을 혼합하고, 300 MPa 의 압력으로 가압한 후, 1200° C 아르곤 분위기에서 소결하여 제조합니다. 최종 제품의 밀도는 16-17 g/cm³ 이고 압축 강도는 200 MPa 입니다. 투과전자현미경(ETM) 분석 결과, 텅스텐 입자(입자 크기 15 마이크론)와 수산화인회석(입자 크기 5 마이크론)이 균일하게 혼합되어 있으며, 기공률은 5-10%, 기공 크기는 50-100 마이크론입니다. 실험에서, 해당 소재를 모의 체액에 30 일간 담가둔 결과, 골모세포 증식률이 90%에 도달하였고, 골융합률이 20% 증가하였습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

골 재생 재료는 강도와 기공률을 최적화해야 합니다. 텅스텐 함량이 높으면(80% 이상) 강도는 250MPa 로 증가하지만, 기공률은 2%로 떨어져 세포 성장에 불리합니다. 하이드록시아파타이트 함량이 높으면(40%) 기공률은 15%로 증가하고 골유도성은 30% 증가합니다. 과도한 입자 성장(20 마이크론 이상)을 방지하기 위해 소결 온도는 편차 10° C 미만으로 제어해야 합니다. 역사적으로 텅스텐 기반 골 재생 재료는 1990 년대 실험 연구로 시작하여 2000 년대에 전임상 시험에 들어갔습니다. 2010 년대에 유럽에서는 복합재 조성을 최적화했습니다.

세계적 관점에서 중국은 텅스텐 분말 공급 및 복합 재료 기술 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 골 지지체의 기공률을 12%로 최적화하는 등 골 재생 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 다양한 분야에서 텅스텐 재료는 치과용 골 재생에 사용되며, 강도는 안정성을 향상시킵니다. 골 재생 재료에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고부하 골 재생에 대한 잠재력에 있습니다. 미래에는 나노 복합 재료를 통해 기공률을 높이거나 마그네슘(함량 5%)을 도핑하여 생물학적 활성을 향상시키는 것이 가능할 수 있으며, 전기 분해 회수율 85%와 같은 재활용 기술은 친환경 의학 개발을 촉진할 수 있습니다.

5.2.3 생물학적 영상에서 텅스텐 분말의 보조적 역할

텅스텐 분말은 높은 밀도와 X 선 흡수 능력을 활용하여 생물학적 영상에서 대조제 또는 증강제로 사용됩니다. 다음과 같이 준비합니다. 텅스텐 분말(입자 크기 1-5 마이크론)을 화학적으로 환원하여 텅스텐 산화물 나노입자(입자 크기 50-100 나노미터)를 제조하고, 폴리에틸렌 글리콜(두께 5 나노미터)로 표면을 개질하고, 수분산성이 10mg/ml 에 도달합니다. X 선 광전자 분광법은 W⁶⁺가 텅스텐 산화물 표면의 90%를 차지하고 결정 구조가 단사정계임을 보여줍니다. 이 시험에서 입자는 CT 영상(120keV)에서 대조도를 50% 향상시켰는데, 이는 요오드 조영제보다 20% 더 높고 세포 독성은 5% 미만입니다(MTT 방법).

영상 소재는 흡수 효율과 안전성을 모두 고려해야 합니다. 나노입자 크기가 작으면(50 나노미터 미만) 흡수율이 60%로 증가하지만 응집되기 쉽습니다(크기가 200 나노미터까지 증가). 표면 개질은 분산성을 향상시키고(제타 전위가 -30 밀리볼트까지 증가) 체내 순환 시간을 연장합니다(최대 6 시간). 역사적으로 텅스텐 기반 조영제는 1990 년대에 시험되기 시작하여 2000 년대에 동물 실험에 들어갔습니다. 중국에서는 2010 년대에 나노 제조 공정을 최적화했습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 분말 나노기술 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 혈관 영상의 선명도를 향상시키는 CT 조영제와 같은 영상 응용 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 교차 시야 응용 분야에서는 텅스텐 입자가 형광 영상에 사용되며, 빛 흡수를 통해 분해능이 향상됩니다. 생물학적 영상 분야에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고해상도 영상에서의 잠재력에 달려 있습니다. 향후 가돌리늄(함량 5%)을 도핑하여 자기공명영상의 효과를 향상시키거나, 화학적 분리 회수율 90% 등 재활용 기술을 통해 친환경 영상 개발을 촉진할 수 있을 것으로 예상됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.4 생체적합성 시험 및 표준

텅스텐 분말의 생체적합성 시험은 의료용 안전성을 검증하며 ISO 10993 과 같은 국제 표준을 따릅니다. 시험 내용은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 5~10 마이크론)을 블록 형태로 제조(300MPa 에서 압축, 2000° C 에서 소결)하고, 체외 세포독성 시험(L929 세포, 24 시간)에서 생존율을 측정한 결과, 95%에 도달했습니다. 체내 시험(토끼 근육 이식, 90 일)에서 염증 반응은 레벨 1 미만(조직 절편 관찰)이었습니다. 주사전자현미경 검사 결과, 텅스텐의 표면 거칠기는 0.5 마이크론이며, 용출은 관찰되지 않았습니다(ICP-MS 검출량 1ppm 미만). 이 시험에서 텅스텐 물질의 용혈률은 0.5% 미만으로 의료기기 요건을 충족했습니다.

시험은 다양한 조건을 시뮬레이션해야 합니다. 산성 환경(pH 5.5)에서는 부식 속도가 연간 0.02mm 로 증가하며, 이를 0.01mm 로 낮추기 위해 표면 개질(예: 산화텅스텐 코팅)이 필요합니다. 고온 살균(121° C) 후에도 성능은 변함없이 유지됩니다(경도는 HV 400 으로 유지). 역사적으로 텅스텐 적합성 시험은 1980 년대에 시작되어 1990 년대에 ISO 표준에 통합되었습니다. 2000 년대에 미국에서는 시험 절차를 개선했습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 분말 공급 및 시험 장비 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 임플란트 안전 요건을 개선하는 표준 제정 등 표준 설정 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 다양한 분야에서 텅스텐 시험은 수의학적 임플란트 검증을 지원하며, 그 신뢰성은 적용성을 향상시킵니다. 생체적합성 시험에서 텅스텐 분말의 적용 가능성은 고안전성 재료 분야에서의 잠재력에 달려 있습니다. 향후 다중 매개변수 시험(pH, 온도, 시간)을 통해 성능을 최적화하거나, 회수율 90%의 전기분해와 같은 재활용 기술을 통해 친환경 시험을 추진할 수 있을 것입니다.

5.2.5 생물학 분야에서의 텅스텐 분말의 응용 사례

생물학 분야에서 텅스텐 분말의 활용 사례는 그 실용성을 입증합니다. 사례 1: 고관절 임플란트는 50 마이크론 두께의 텅스텐 코팅을 사용하여 내식성을 30% 향상시키고 이식 후 골유합률을 90%까지 높였습니다. 사례 2: 골 재생 지지체는 기공률 10%, 압축 강도 200MPa, 골세포 증식률 25% 증가를 보이는 텅스텐-하이드록시아파타이트 복합재를 사용했습니다. 사례 3: CT 조영제는 나노 텅스텐 산화물을 사용하여 조영률을 50% 향상시키고 체내 순환 시간을 6 시간으로 유지하며 안전성 시험을 통과했습니다.

전 세계적으로 중국은 텅스텐 분말 공급 및 소재 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국과 유럽은 기공 구조를 최적화하는 골 지지체와 같은 응용 분야 개발에서 선두를 달리고 있습니다. 역사적으로 텅스텐 생물학적 응용 분야는 1990 년대 임플란트 연구에서 시작되어 2000 년대에는 영상 분야로 확장되었습니다. 다양한 분야 간 협력을 통해 텅스텐 소재는 치과 임플란트를 지지하고, 내구성은 성공률을 높입니다. 생체적합성 소재에서 텅스텐 분말의 적용 가능성은 고성능 임플란트 분야에서의 잠재력에 달려

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

있습니다. 미래에는 지능적 설계를 통해 성능을 향상시키거나, 재활용 기술(예: 회수율 90%의 화학적 환원법)을 통해 친환경 바이오 의약품 개발을 촉진할 수 있을 것입니다.

5.3 나노팅스텐 분말의 의학적 잠재력

5.3.1 약물 전달에 나노팅스텐 분말의 적용

나노팅스텐 분말은 높은 비표면적과 광열적 특성을 약물 전달에 활용하여 치료 효율을 개선하는 약물 운반체로 사용됩니다. 제조 과정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 1~5 마이크로)을 사용하여 화학 기상 증착을 통해 산화텅스텐 나노입자(입자 크기 50~100 나노미터)를 생성하고, 표면을 폴리에틸렌 글리콜(두께 5 나노미터)로 개질하여 약물 담지율을 20%로 합니다. 투과 전자 현미경 검사 결과, 입자는 구형이며 비표면적이 50 제곱미터/그램이고 기공률이 10%입니다. 이 실험에서 운반체는 근적외선(808 나노미터, 1 와트/제곱센티미터) 하에서 약물(도세탁셀)을 방출했으며, 방출률은 80%에 도달하여 기존 운반체보다 30% 더 높았습니다.

약물 전달에는 약물 적재 및 반응성 최적화가 필요합니다. 입자 크기가 작을 경우(50 나노미터 미만), 약물 적재율은 25%로 증가하지만, 생체 내 제거율은 증가합니다(반감기는 2 시간으로 단축). 광열 효과(온도가 섭씨 50 도까지 상승)는 방출 효율을 최대 90%까지 향상시킵니다. 역사적으로 나노팅스텐 분말 약물 전달은 2000 년대에 시작되어 2010 년대에 암 연구에 진입했습니다. 중국에서는 표면 개질 기술을 최적화했습니다.

전 세계적으로 중국은 나노팅스텐 분말 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 표적 방출을 달성하는 운반체와 같은 전달 시스템 설계 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 교차장(cross-field) 응용 분야에서 나노팅스텐 분말은 유전자 전달에 사용되며, 높은 효율은 형질감염률을 향상시킵니다. 약물 전달 분야에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 표적 치료 분야에서의 잠재력에 달려 있습니다. 향후 철 도핑(함량 5%)을 통해 자기적 표적화를 강화하거나, 화학적 분리 회수율 90%와 같은 재활용 기술을 통해 친환경 의약품을 개발할 수 있을 것으로 예상됩니다.

5.3.2 텅스텐 분말 광열 요법을 이용한 암 연구

나노팅스텐 분말은 강력한 광흡수력을 이용하여 광열 치료에서 암세포를 사멸시킵니다. 제조 과정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말을 사용하여 열 환원을 통해 산화텅스텐 나노입자(입자 크기 50~80 나노미터)를 제조하고, 표면을 실란(두께 3 나노미터)으로 개질하여 광흡수율을 90%(808 나노미터)로 높였습니다. X 선 광전자 분광법 분석 결과, W⁶⁺가 85%를 차지하며 결정 구조는 단사정계입니다. 실험 결과, 근적외선(1.5 와트/제곱센티미터) 조사 시 입자 온도가 섭씨 55 도까지 상승했으며, 암세포(HeLa) 사멸률은 95%에 도달하여 금 나노입자보다 20% 높았습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

광열 치료는 흡수 효율과 안전성을 최적화해야 합니다. 입자 크기가 작을수록(50 나노미터 미만) 흡수율은 95%로 증가하지만 독성은 약간 증가합니다(생존율은 90%로 감소). 표면 개질은 생체적합성을 향상시킵니다(세포독성은 5% 미만). 역사적으로 텅스텐 분말 광열 치료는 2010 년대에 시작되었으며, 2015 년 중국에서 암 효능이 검증되었습니다. 미국에서는 광열 매개변수를 최적화했습니다.

세계적으로 중국은 나노텅스텐 분말 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 치료 깊이를 개선하는 실험 등 치료 연구에서 선두를 달리고 있습니다. 교차 영역 응용 분야에서는 텅스텐 분말이 박테리아 살균에 사용되며, 광열적 특성으로 인해 효율이 향상됩니다. 광열 치료에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 암 치료에서의 잠재력에 달려 있습니다. 향후 구리(함량 5%)를 도핑하여 광열 효율을 향상시키거나, 회수율 85%의 전기분해와 같은 재활용 기술을 통해 친환경 치료를 촉진할 수 있을 것으로 예상됩니다.

5.3.3 나노텅스텐 분말의 항균 특성 및 용도

나노텅스텐 분말은 광촉매 또는 이온 방출을 통해 항균 특성을 나타내며, 의료용 소독에 적합합니다. 제조 과정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말을 용매열법으로 제조하여 산화텅스텐 나노입자(입자 크기 30~50 나노미터)를 제조하고, 이산화티타늄(두께 2 나노미터)으로 표면을 개질했습니다. 광촉매 활성은 90%에 달합니다(자외선 365 나노미터). 투과전자현미경(ETM) 결과, 입자는 막대 모양(종횡비 3:1)이며 비표면적은 60 제곱미터/그램입니다. 실험 결과, 이 입자는 대장균을 99%(30 분 조사) 사멸시켰으며, 이는 순수 텅스텐 분말보다 50% 높은 수치입니다.

항균 성능은 촉매 효율과 안정성의 최적화를 필요로 합니다. 입자 크기가 작을 경우(30 나노미터 미만), 살균율은 99.9%로 증가하지만 안정성은 감소합니다(활성 감소 10%). 이산화티타늄 개질은 광촉매 작용을 강화합니다(활성 증가 30%). 역사적으로 나노텅스텐 항균제는 2000 년대에 시작되어 2010 년대에 의료 분야에 진출했으며, 중국에서는 제조 공정을 최적화했습니다.

세계적으로 중국은 나노텅스텐 분말 생산에 있어 우위를 점하고 있으며, 미국은 살균을 향상을 위한 소독제 등 항균 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 교차 분야(cross-field) 응용 분야에서는 텅스텐 분말이 치과용 항균 코팅에 사용되며, 높은 효율로 감염률을 감소시킵니다. 항균 성능 측면에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 감염 관리에 대한 잠재력에 달려 있습니다. 향후 은(함량 2%)을 도핑하여 항균 성능을 향상시키거나, 회수율 90%의 화학적 환원법과 같은 재활용 기술을 통해 친환경 항균제 개발을 촉진할 수 있을 것으로 예상됩니다.

5.3.4 나노기술을 이용한 텅스텐 분말의 제조 방법

나노 텅스텐 분말의 제조 방법에는 입자 크기와 성능을 보장하기 위한 물리적 및 화학적 접근법이 포함됩니다. 제조 과정은 다음과 같습니다. 물리적 방법은 기체 증발법을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

사용합니다. 텅스텐 분말(입자 크기 5~10 마이크로론)을 3000° C 의 아르곤 가스에서 증발시켜 나노입자(입자 크기 50~100 나노미터)로 응축합니다. 화학적 방법은 용매 가열법을 사용합니다. 텅스텐 용액(농도 0.1 mol/L)을 180° C 에서 12 시간 동안 반응시켜 텅스텐 산화물 나노입자(입자 크기 30~80 나노미터)를 생성합니다. 주사 전자 현미경 검사 결과, 물리적 방법은 구형이고 화학적 방법은 막대형이며 비표면적이 각각 40 및 60 제곱미터/그램입니다.

제조에는 입자 크기와 분산성 제어가 필요합니다. 물리적 방법은 수율이 높지만(최대 80%), 크기 분포가 넓습니다(편차 20 나노미터). 화학적 방법은 크기가 균일하지만(편차 5 나노미터), 수율이 낮습니다(50%). 역사적으로 나노 텅스텐 분말 제조는 1990 년대에 시작되었고, 화학적 방법은 2000 년대에 성숙되었습니다. 중국은 2010 년대에 공정 매개변수를 최적화했습니다.

세계적 관점에서 중국은 나노텅스텐 분말 제조 기술 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 수율을 향상시키는 기체상 증발 시스템과 같은 장비 개발 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 교차 분야 응용 분야에서 나노텅스텐 분말은 촉매 제조에 사용되며, 높은 비표면적은 효율을 향상시킵니다. 나노기술 제조에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 고성능 나노소재 분야에서의 잠재력에 달려 있습니다. 향후 마이크로파 보조 방법을 통해 균일성을 향상시키거나, 회수율 90%의 전기분해와 같은 재활용 기술을 통해 친환경 제조를 촉진할 수 있을 것입니다.

5.3.5 나노텅스텐 분말 의료 응용 분야의 미래 전망

나노텅스텐 분말을 의료 치료에 활용한 사례들이 그 잠재력을 입증했습니다. 사례 1: 나노텅스텐 산화물을 사용한 약물 전달 시스템에서 약물 장입률 20%, 근적외선 방출률 80%, 치료 효율 25% 증가를 보였습니다. 사례 2: 나노텅스텐 분말을 사용한 광열 치료에서 온도가 섭씨 55 도까지 상승하여 암세포 사멸률이 95%, 치료 효과가 20% 향상되었습니다. 사례 3: 나노텅스텐 산화물을 사용한 항균 코팅에서 살균률 99%, 감염률 30% 감소를 보였습니다.

세계적 관점에서 중국은 나노텅스텐 분말의 공급 및 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 정밀 방출을 달성하는 전달 시스템 등 의료 응용 연구 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 역사적으로 나노텅스텐의 의료 응용은 2000 년대에 시작되어 2010 년대에는 암 치료로 확대되었습니다. 분야 간 협력을 통해 나노텅스텐 분말은 치과용 항균제를 지원하고, 높은 효율은 안전성을 향상시킵니다. 나노의학 분야에서 텅스텐 분말의 응용 가능성은 정밀 의학 분야에서의 잠재력에 달려 있습니다. 미래에는 다기능 나노복합체를 통해 성능을 향상시키거나, 재활용 기술(예: 화학적 분리 회수율 90%)을 통해 친환경 나노의학 개발을 촉진할 수 있을 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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 소비재 및 문화 분야에서의 텅스텐 분말의 활용

높은 밀도, 내마모성, 그리고 독특한 물리화학적 특성을 지닌 텅스텐 분말은 스포츠 및 레저 제품, 보석 장식, 그리고 예술 안료를 포함한 소비재 및 문화 분야에서 다양한 응용 가능성을 보여 왔습니다. 이러한 응용 분야는 제품 성능과 미적 가치를 향상시킬 뿐만 아니라 자원 활용, 기술 혁신, 그리고 환경 보호에도 지대한 영향을 미칩니다.

6.1 스포츠 및 레저 제품

6.1.1 골프 클럽에 텅스텐 분말의 고밀도 도포

텅스텐 분말은 높은 밀도(19.25 g/cm^3)로 골프 클럽에 핵심적인 이점을 제공합니다. 무게 설계를 최적화하여 스윙 안정성과 비거리를 향상시킵니다. 텅스텐 분말은 분말 야금 기술을 사용하여 제조됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $10\sim 20$ 미크론)을 니켈과 철(질량비 90:7:3)과 혼합하고, 볼 밀링(300 rpm, 6 시간)을 통해 균질화한 후, 프레스(300 MPa 압력)하고 수소 분위기(1450°C , 2 시간)에서 소결합니다. 최종 제품의 밀도는 $17\sim 18 \text{ g/cm}^3$ 이며, 인장 강도는 약 1000 MPa입니다. 주사전자현미경 분석 결과, 텅스텐 입자는 다면체형(크기 10-15 미크론), 니켈-철 상은 결정립계에 고르게 분포(두께 약 1 미크론), 결정 구조는 체심입방체, 격자 상수는 $3.165 \text{ \AA}$ 였습니다. 실험 결과, 텅스텐 웨이트 클럽의 무게중심 오프셋은 1mm 미만, 스윙 안정성은 20% 향상, 비거리는 10-15m 증가했습니다. 이는 기존 스틸 웨이트(밀도 7.85 g/cm^3 , 부피는 두 배 커야

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

함)보다 훨씬 우수한 성능입니다.

텅스텐 웨이트는 작고(5~10cc) 무겁습니다(50~100g). 이는 클립 헤드의 유선형 디자인을 유지할 뿐만 아니라 공기역학적 성능도 향상시킵니다. 텅스텐 함량이 95%를 초과하면 밀도는 18.5g/cc에 도달할 수 있지만 취성이 증가합니다(신장률은 5%로 감소). 니켈-철 바인더 상은 인성을 향상시키고(신장률은 10%에 도달) 가공을 용이하게 합니다. 소결 온도는 정밀하게 제어해야 합니다(편차는 10도 섭씨 미만). 너무 높으면 입자가 거칠어지고(크기가 30 마이크론으로 증가), 너무 낮으면 밀도가 부족합니다(17g/cc 미만). 열간 등방성 가압(1500도 섭씨, 100MPa)과 같은 후처리를 통해 기공률을 0.1%로 줄이고 강도를 10% 증가시킬 수 있습니다. 텅스텐 웨이트 기술은 1980년대 미국 골프 클럽의 혁신에서 시작되어 1990년대에는 프로 클럽의 표준이 되었고, 2000년대에는 널리 보급되었습니다. 중국은 풍부한 텅스텐 자원과 숙련된 기술력을 바탕으로 공급 및 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국과 일본은 설계 최적화 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 예를 들어, 특정 브랜드는 카운터웨이트의 위치 정확도를 $\pm 0.5\text{mm}$ 이내로 제어합니다. 앞으로 적층 제조(SLM)를 통해 복잡한 카운터웨이트 구조를 구현하고, 구리 도핑(함량 5%)을 통해 열전도도를 향상시키며, 산 침출 회수(회수율 90%)를 통해 친환경 제조를 촉진할 수 있습니다.

6.1.2 낚싯도구 추(텅스텐 추의 환경적 이점)

텅스텐 추는 고밀도(19.2 g/cm^3)와 친환경적 특성을 갖춰 어구에서 납 추를 대체하여 빠른 침하와 생태학적 안전성을 제공합니다. 텅스텐 추의 제조 공정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 15~25 마이크론)을 350 MPa로 가압하고, 아르곤 분위기(2000°C , 2시간)에서 소결하여 완제품의 인장 강도를 900 MPa로 측정합니다. X선 회절 결과, 결정 구조는 체심입방정계이고, 격자 상수는 $3.165\text{ \AA}$, 면간 간격(110)은 $2.238\text{ \AA}$ 입니다. 시험 결과, 텅스텐 추(부피 1cm^3)의 침하 속도는 $0.5\sim 0.6\text{m/s}$ 로 납 추(밀도 11.34g/cm^3)보다 30% 빠르고, 부피는 40~50% 감소했으며, 주조 정확도 편차는 10cm 미만이고, 물에 대한 용해율은 0.01mg/L 미만으로 환경 보호 기준을 충족합니다.

텅스텐 싱커는 밀도와 내식성을 모두 고려해야 합니다. 순수 텅스텐은 빠른 위치 결정을 보장하지만 표면은 쉽게 산화됩니다(산화층의 두께는 최대 10 나노미터). 니켈 도핑(함량 5%)은 부식 속도를 연간 0.005mm 로 줄일 수 있습니다. 소결에는 과도한 산소 함량(0.03% 초과)을 피하기 위해 고진공 환경(10^{-4}Pa)이 필요합니다. 텅스텐 싱커는 1990년대 유럽과 미국의 환경 보호 운동에서 등장했습니다. 납 금지 조치의 홍보로 인해 2000년대에 전 세계로 퍼졌습니다. 2010년대에 중국은 공정을 최적화하고 납 싱커 시장을 크게 대체했습니다. 중국은 텅스텐 분말의 공급 및 제조에 유리한 반면 미국은 분해성 코팅 텅스텐 싱커 개발과 같은 환경 보호 설계를 선도하고 있습니다. 앞으로 나노텅스텐 분말은 밀도를 더욱 높일 수 있으며(19.3g/cm^3 에 가까움), 코발트(함량 3%)를 도핑하여 내마모성을 강화하고, 전기분해 재활용(회수율 85%)을 통해 친환경 어구 개발을 지원할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1.3 텅스텐 합금 다트의 정밀 제조

텅스텐 합금 다트는 고밀도($16-18 \text{ g/cm}^3$)와 가공성을 활용하여 가느다란 다트 몸체를 만들고 투척 정확도를 향상시킵니다. 텅스텐 합금 다트는 텅스텐 분말(입자 크기 $10-20$ 미크론)을 니켈과 구리(질량비 $80:15:5$)와 혼합하여 300 MPa 의 압력으로 압축하고 아르곤 분위기(1400°C)에서 소결합니다. 최종 제품의 인장 강도는 850 MPa 입니다. 주사 전자 현미경 검사 결과, 텅스텐 입자 크기는 약 10 미크론이며, 니켈-구리 상은 네트워크(두께 1 미크론) 형태로 분포되어 있습니다. 테스트 결과, 텅스텐 다트의 직경은 5mm 로 줄어들었고(스틸 다트보다 $20\sim30\%$ 더 얇음), 중심 편차는 0.1mm 미만이며, 적중률은 $15\sim20\%$ 증가하고, 다트 본체의 컴팩트함(길이는 10% 단축)으로 인해 밀도가 높은 표적 표면에 던지기에 편리합니다.

다트 제조에는 밀도와 인성 간의 균형이 필요합니다. 텅스텐 함량이 90% 를 초과하면 밀도가 18g/cm^3 로 증가하지만 취성이 증가합니다(파괴율이 5% 에 도달). 니켈-구리 상 함량이 20% 에 도달하면 인성이 증가합니다(신장률이 15% 에 도달). 이는 미세 가공에 편리합니다. 소결 후 응력을 조정하고 다트 본체의 직진도를 보장하기 위해 냉간 가공(예: 5% 신장)이 필요합니다(편차가 0.05mm 미만). 텅스텐 다트는 1970 년대 영국 프로 경기에서 유래되었으며 1980 년대에 표준이 되었고 1990 년대에 내구성을 향상시키기 위해 공식이 최적화되었습니다. 중국은 텅스텐 분말의 공급 및 제조에 유리한 반면 영국은 그립을 개선하기 위해 다트 본체의 질감을 최적화하는 등 설계를 선도하고 있습니다. 미래에는 적층 제조를 통해 복잡한 다트 본체를 생산할 수 있으며, 몰리브덴(함량 5%)을 도핑하여 인성을 높이고 용융염 전기분해 회수(회수율 85%)를 통해 친환경 제조를 촉진할 수 있습니다.

6.1.4 스포츠 장비용 텅스텐 강화 기술

텅스텐 강화 기술은 고밀도와 내마모성을 활용하여 스포츠 장비의 성능을 향상시킵니다. 라켓 프레임, 스키 엣지, 레이싱 웨이트에 사용됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $5\sim15$ 미크론)을 카본 블랙과 혼합하고 탄화(1500°C , 수소 분위기)하여 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 $1\sim3$ 미크론)을 생성합니다. 이 분말은 코발트(함량 10%)와 함께 300MPa 로 압축 및 1450°C , 1 시간 소결합니다. 최종 제품의 경도는 $\text{HV } 1600\sim1800$, 인장 강도는 1200MPa 입니다. 투과 전자 현미경 검사 결과, 텅스텐 카바이드 입자는 육각형(크기 2 미크론)이며, 코발트 상이 결정립계(두께 0.5 미크론)를 채우고 있는 것으로 나타났습니다. 테스트 결과, 텅스텐 강화 테니스 라켓 프레임의 내마모성이 3 배 증가하고, 얼음 표면을 자르는 스키의 가장자리(두께 5mm)에는 눈에 띄는 마모가 없으며(손실 0.05mm 미만), 레이싱 웨이트(밀도 $18.5\sim19.3\text{g/cm}^3$)는 중심을 $5\sim10\text{mm}$ 낮추고 코너링 안정성을 10% 향상시킵니다.

강화 기술은 경도와 내충격성을 모두 고려해야 합니다. 텅스텐 카바이드 함량이 95% 를 초과하면 경도는 $\text{HV } 2000$ 으로 증가하지만 취성이 증가합니다(파괴 인성이 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 떨어짐). 코발트 함량이 15% 에 도달하면 인성이 증가합니다($15\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ /

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

²로). 불순물이 성능에 영향을 미치지 않도록 소결 중 산소 함량을 제어해야 합니다(0.05% 미만). 텅스텐 강화는 1980년대 산업용 도구에서 시작되어 1990년대에 스포츠 장비에 적용되었고, 일본은 2000년대에 텅스텐 카바이드 공식을 최적화했으며 F1 레이싱 카가 텅스텐 웨이트를 사용하기 시작했습니다. 중국은 텅스텐 카바이드 생산에 유리한 반면 미국은 장비 설계를 선도하고 있습니다. 예를 들어, 특정 스키보드의 날 내구성이 40% 향상되었습니다. 앞으로 나노 텅스텐 카바이드는 경도를 높이고, 티타늄 도핑(함량 2%)을 통해 내식성을 강화하며, 화학적 환원 회수(회수율 90%)를 통해 친환경 제조를 촉진할 수 있습니다.

6.1.5 텅스텐 코어 샷

텅스텐 코어 포환던지기는 고밀도의 텅스텐 분말(19.25 g/cm^3)을 사용하여 무게 분포를 최적화하고 투척 성능을 향상시킵니다. 텅스텐 코어 분말(입자 크기 $10\sim 20$ 마이크론)을 소량의 니켈(질량비 95:5)과 혼합하여 코어 형태로 압축하고(압력 350 MPa), 수소 분위기(1500°C , 2 시간)에서 소결한 후 포환던지기 포탄 외피에 매립합니다. 완성된 코어의 밀도는 $18\sim 19 \text{ g/cm}^3$ 이며, 인장 강도는 약 950 MPa 입니다. 주사 전자 현미경 검사 결과, 텅스텐 입자는 다면체(크기 $10\sim 15$ 마이크론)이며, 니켈 상은 결정립계(두께 약 1 마이크론)에 고르게 분포되어 있습니다. 실험 결과, 텅스텐 코어 샷(직경 110mm , 무게 7.26kg)의 중심 편차는 0.5mm 미만이며, 던지는 거리가 $5\sim 8\%$ 증가하여 기존의 폴 샷(밀도 11.34g/cm^3)보다 제어가 용이합니다.

텅스텐 코어는 크기가 작고(포환던지기 부피의 약 30% 차지) 무게를 중앙에 집중시켜 회전 안정성을 향상시킵니다. 텅스텐 함량이 높을수록 밀도는 좋아지지만 비용이 증가합니다. 니켈 바인더 상은 인성(신장률 8%)을 향상시키고 코어의 내충격성을 보장합니다. 소결 온도는 과도한 기공(0.5% 이상)을 방지하기 위해 ± 10 도 섭씨로 제어해야 합니다. 텅스텐 코어 포환던지기는 1990년대 육상 장비 혁신으로 시작되어 2010년대 프로 경기에서 점차 사용되었습니다. 중국은 텅스텐 코어 제조에 우위를 점하고 있으며, 미국은 설계 시 무게 분포를 최적화합니다. 미래에는 적층 제조를 통해 복잡한 코어 구조를 구현할 수 있으며, 재활용 기술(재활용률 85%의 전기 분해 등)은 지속 가능한 개발을 지원합니다.

6.1.6 디스크 텅스텐 코어

텅스텐 디스크 코어는 고밀도의 텅스텐 분말을 사용하여 무게와 비행 안정성을 최적화합니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $15\sim 25$ 마이크론)을 철(질량비 90:10)과 혼합하여 코어 형태로 압축하고(압력 400 MPa), 아르곤 분위기(1450°C , 2 시간)에서 소결한 후 디스크 본체에 매립합니다. 완성된 코어의 밀도는 $17\sim 18 \text{ g/cm}^3$ 이고 인장 강도는 1000 MPa 입니다. X선 회절 결과, 결정 구조는 체심입방정계이며 격자 상수는 $3.165 \text{ \AA}$ 입니다. 시험 결과, 텅스텐 코어 디스크(직경 220mm , 무게 2kg)의 중심 편차는 0.3mm 이내로, 비행 거리는 $5\sim 10\%$ 증가했으며, 공기 저항은 8% 감소했습니다. 이는 기존의 전강철 디스크(밀도 7.85g/cm^3)보다 우수한 성능입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 코어는 디스크 부피의 약 20%를 차지하는 중심부에 무게를 집중시켜 회전 균형을 개선합니다. 소결에는 산화로 인한 성능 저하를 방지하기 위해 고진공(10^{-4} Pa)이 필요합니다. 텅스텐 코어 디스크는 2000년대 육상 장비의 업그레이드에서 시작되었습니다. 중국은 제조를 주도했고, 유럽은 공기역학적 설계를 최적화했습니다. 앞으로 구리 도핑(함량 5%)을 통해 열전도도를 향상시킬 수 있으며, 화학적 환원 회수(회수율 90%)를 통해 친환경 생산을 촉진할 것입니다.

6.1.7 텅스텐 합금 덤벨 및 바벨 플레이트

텅스텐 분말은 부피를 줄이고 휴대성을 향상시키기 위해 고밀도 합금 형태로 덤벨과 바벨에 사용됩니다. 텅스텐 분말은 다음과 같은 방법으로 제조됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $10\sim 20$ 마이크론)을 니켈과 구리(질량비 85:10:5)와 혼합하고, 300 MPa로 가압한 후, 수소 분위기(1400°C , 2 시간)에서 소결합니다. 완성된 제품의 밀도는 $16\sim 18\text{ g/cm}^3$ 이고 인장 강도는 900 MPa입니다. 주사 전자 현미경 검사 결과, 텅스텐 입자 크기는 약 10 마이크론이며, 니켈-구리 상은 네트워크(두께 1 마이크론) 형태로 분포되어 있습니다. 실험 결과, 텅스텐 합금 덤벨(무게 5kg)의 부피는 강철 덤벨(밀도 7.85g/cm^3)보다 40% 더 작고, 그립감은 15% 더 향상되었습니다.

텅스텐 함량이 높으면 밀도는 좋아지지만 취성은 증가합니다(신장률 5%로 감소). 니켈-구리 상은 인성을 향상시키고(신장률 10%에 도달) 가공을 용이하게 합니다. 텅스텐 합금 덤벨과 바벨은 2010년대부터 피트니스 장비 혁신에 기여하기 시작했습니다. 중국은 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 인체공학적 형태 최적화 등 디자인 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 앞으로 적층 제조를 통해 맞춤형 웨이트 구조를 제작할 수 있으며, 용융염 전기분해 재활용(재활용률 85%)은 친환경 피트니스 장비 개발을 지원할 것입니다.

6.1.8 텅스텐 합금 창

텅스텐 분말은 창 의 균형추로 사용되어 비행 거리와 안정성을 향상시킵니다. 텅스텐 분말은 다음과 같이 준비됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $10\sim 15$ 마이크론)을 니켈(질량비 95:5)과 혼합하고 균형추 블록(압력 350MPa)으로 압축한 후 아르곤 분위기(섭씨 1500°C , 2 시간)에서 소결하고 창 꼬리에 매립합니다. 완제품의 밀도는 세제곱센티미터당 18-19 그램이고 인장 강도는 950MPa입니다. 시험 결과 텅스텐 추를 장착한 창(무게 800그램)의 무게 중심 편차는 0.5mm 미만이고 비행 거리는 5-7% 증가하며 기존의 강철 추를 장착한 창보다 안정성이 더 높습니다.

웨이트 블록은 크기가 작아($5\sim 10\text{cc}$) 꼬리 부분에 무게를 집중시켜 공기역학적 성능을 최적화합니다. 텅스텐 창은 2000년대 육상 경기의 혁신에서 시작되었습니다. 중국은 제조 분야를 선도하고 있으며, 일본은 웨이트 위치의 정확도를 최적화합니다. 앞으로 나노 텅스텐 분말은 밀도를 높일 수 있으며, 화학적 환원 회수율(회수율 90%)은 지속

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

가능한 발전을 촉진합니다.

6.1.9 텅스텐 합금 화살촉

텅스텐 합금 화살촉은 고밀도($17-18 \text{ g/cm}^3$)를 사용하여 관통력과 비행 정확도를 향상시킵니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $10-20 \text{ 마이크로}$)를 니켈과 철(질량비 $90:7:3$)과 혼합하고, 300 MPa 로 압축한 후 수소 분위기(1450°C , 2 시간)에서 소결하여 제조합니다. 완제품의 인장 강도는 1000 MPa 입니다. 시험 결과, 텅스텐 화살촉(무게 100 그레인)은 강철 화살촉(밀도 7.85 g/cm^3)보다 부피가 30% 작으며, 관통력은 20% 더 높고 비행 편차는 5cm 미만인 것으로 나타났습니다.

텅스텐 함량이 높으면 관통력은 강하지만 취성은 증가합니다. 니켈-철 상은 인성을 향상시키고 팁 가공을 용이하게 합니다. 텅스텐 화살촉은 1990년대 양궁의 발전에서 유래되었습니다. 중국은 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 화살촉의 형태를 최적화했습니다. 앞으로 적층 제조는 복잡한 구조를 구현할 수 있으며, 전해 재활용(재활용률 85%)은 친환경 생산을 지원합니다.

6.1.10 텅스텐 합금 스포츠 총알

텅스텐 분말은 스포츠 탄환의 납을 대체하여 환경 보호와 정확도를 향상시킵니다. 텅스텐 분말의 제조 과정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $15\sim 25 \text{ 마이크로}$)를 구리(질량비 $90:10$)와 혼합하고, 350MPa 로 압축한 후, 아르곤 분위기(1400°C , 2 시간)에서 소결합니다. 완제품의 밀도는 $17\sim 18\text{g/cm}^3$, 인장 강도는 900MPa 입니다. 시험 결과, 텅스텐 탄환(직경 4.5mm , 무게 5g)의 비행 속도 편차는 1% 미만이며, 납 탄환(밀도 11.34g/cm^3)보다 부피가 40% 작으며, 독성 물질 배출도 없습니다.

텅스텐 탄환은 산화를 방지하기 위해 고진공에서 소결해야 합니다. 2000년대 이후 중국은 탄두 제조를 선도해 왔으며, 미국은 탄도 설계를 최적화했습니다. 앞으로 나노 텅스텐 분말은 밀도를 높이고 화학적 환원 회수율(회수율 90%)을 높여 녹색 발전을 촉진할 것입니다.

6.1.11 텅스텐 합금 산탄총 총알 및 사냥총 총알

텅스텐 합금 펠릿은 고밀도($16-18 \text{ g/cm}^3$)로 산탄총과 사냥용 소총의 납을 대체하여 살상력과 환경 친화성을 향상시킵니다. 텅스텐 합금 펠릿은 텅스텐 분말(입자 크기 $10-20 \text{ 마이크로}$)를 니켈과 구리(질량비 $85:10:5$)와 혼합하고, 300 MPa 로 압축한 후 수소 분위기(1400°C , 2 시간)에서 소결하여 제조됩니다. 완제품의 인장 강도는 850 MPa 입니다. 시험 결과, 텅스텐 펠릿(직경 3mm)은 납 펠릿보다 관통력이 25% 높고, 크기는 35% 작으며, 무독성입니다.

텅스텐 발사체는 1990년대 사냥 환경 규제에서 유래되었습니다. 중국은 제조 분야에서

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

우위를 점하고 있으며, 미국은 발사체 분포의 균일성을 최적화하고 있습니다. 앞으로 코발트 도핑(3%)을 통해 내마모성을 향상시키고, 용융염 전기분해 회수율(회수율 85%)을 통해 친환경 생산을 지원할 것입니다.

6.1.12 텅스텐 합금 잠수형 균형추

텅스텐 분말은 잠수용 추에 고밀도($18-19 \text{ g/cm}^3$)로 사용되어 잠수 효율을 최적화합니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $15-25 \text{ }\mu\text{m}$)과 니켈(질량비 95:5)을 혼합하고, 400 MPa 로 압축한 후, 아르곤 분위기(1500°C , 2 시간)에서 소결하여 제조합니다. 완제품의 인장 강도는 950 MPa 입니다. 실험 결과, 텅스텐 추(부피 20 cm^3 , 무게 400 g)는 잠수 속도를 15% 높이고 납 추보다 무게는 50% 더 가볍습니다.

텅스텐 추의 내식성은 니켈 도핑을 통해 최적화되어야 합니다. 이는 2000 년대 다이빙 기술의 발전과 함께 시작되었으며, 중국이 제조 분야를 선도하고 있습니다. 앞으로 나노 텅스텐 분말은 밀도를 높이고, 전해 재활용(재활용률 85%)은 환경 보호에 기여할 것입니다.

6.1.13 텅스텐 합금 테니스 라켓 스위트 스팟 무게

텅스텐 분말은 스위트 스팟 웨이트에서 테니스 라켓의 파워와 안정성을 향상시킵니다. 텅스텐 분말(입자 크기 10-15 미크론)과 니켈(질량비 90:10)을 혼합하고, 300 MPa 로 압축한 후, 수소 분위기(1450°C , 2 시간)에서 소결하여 제조합니다. 완제품의 밀도는 $17-18 \text{ g/cm}^3$ 이고 인장 강도는 900 MPa 입니다. 실험 결과, 스위트 스팟에 텅스텐 중량(무게 20g)을 배치하면 공의 파워가 10% 증가하고 진동은 15% 감소하는 것으로 나타났습니다.

텅스텐 웨이트는 크기가 작아 라켓의 균형을 최적화합니다. 1990 년대 테니스 장비 개선과 함께 시작되었습니다. 중국은 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 미국은 웨이트 위치의 정확도를 최적화했습니다. 앞으로 적층 제조를 통해 맞춤형 웨이트를 제작할 수 있으며, 화학적 저감 재활용(재활용률 90%)은 친환경 개발을 지원합니다.

6.1.14 스포츠용품용 텅스텐 분말 사례 연구

스포츠 용품에 텅스텐 분말을 적용한 사례는 고밀도 특성의 장점을 부각합니다. 사례 1: 골프 클럽에 텅스텐 추(밀도 18 g/cm^3 , 부피 8 cm^3)를 사용하여 무게 중심 편차를 1mm 미만으로 줄이고, 비거리를 15m 늘리고, 스윙 안정성을 20% 향상시켰습니다. 사례 2: 낚시 장비에 텅스텐 싱커(직경 6mm, 무게 10g)를 사용하여 침하 속도를 0.55 m/s 로 높이고, 투척 정확도 편차를 8cm 미만으로 낮추고, 시장 점유율을 25% 증가시켰습니다. 사례 3: 다트에 텅스텐 합금(밀도 17 g/cm^3 , 직경 5mm)을 사용하여 투척 적중률을 18% 향상시켰습니다. 사례 4: 텅스텐 코어 포환던지기(무게 7.26kg)의 투척 거리가 8% 증가하고, 컨트롤성이 10% 향상되었습니다. 사례 5: 테니스 라켓(무게 20g)의 스위트 스팟

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

무게가 타격력을 10% 증가시키고, 선수 만족도가 90%에 도달했습니다.

중국은 자원 우위를 바탕으로 텅스텐 분말 공급 및 제조 분야를 선도하고 있으며, 미국과 일본은 설계 최적화 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 텅스텐 분말의 스포츠 분야 적용은 1970 년대에 시작되어 1980 년대에는 골프와 다트로 확장되었고, 1990 년대에는 환경 보호의 필요성으로 낚시 장비와 사격 분야에도 진출했습니다. 앞으로 나노 텅스텐 분말은 성능을 향상시키고 재활용 기술은 녹색 발전을 촉진할 것입니다.

6.2 텅스텐 합금 보석 및 장식

텅스텐 분말로 만든 텅스텐 골드 주얼리(반지, 목걸이)

텅스텐 분말은 텅스텐 카바이드 형태로 경질 주얼리에 사용되며, 높은 경도와 내스크래치성을 가진 반지와 목걸이를 만드는 데 사용됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 4~8 마이크론)을 카본 블랙과 혼합하고 탄화(1500° C, 수소 분위기)하여 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 1~5 마이크론)을 제조합니다. 텅스텐 카바이드 분말은 300MPa 의 가압 성형 후 1450° C 에서 1 시간 동안 소결합니다. 최종 제품의 경도는 HV 1600~1800, 인장 강도는 1100MPa 입니다. X 선 회절 분석 결과, 텅스텐 카바이드는 육방 조밀 구조를 가지며 격자 상수는 $a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$ 입니다. 테스트 결과, 이 보석은 강철 바늘(압력 10 뉴턴)로 긁어도 눈에 띄는 긁힘(깊이 0.01mm 미만)이 생기지 않고 금보다 10 배 더 강한 내마모성을 가진 것으로 나타났습니다.

하드 주얼리는 경도와 미관을 모두 고려해야 합니다. 표면은 0.2 마이크론의 거칠기와 80%의 광택도로 연마되어야 합니다. 소결 공정에서는 산화물이 색상에 영향을 미치지 않도록 산소 함량을 0.05% 미만으로 조절해야 합니다. 텅스텐 카바이드 주얼리는 1990 년대 미국에서 시작되어 2000 년대 패션 트렌드로 자리 잡았으며, 중국은 2010 년대 경쟁력 강화를 위해 연마 공정을 최적화했습니다. 중국은 텅스텐 카바이드 생산에 우위를 점하고 있으며, 미국은 장식성을 높이기 위해 인레이 기술을 접목하는 등 디자인 분야에서 앞서 나가고 있습니다. 앞으로 나노 텅스텐 카바이드는 경도를 높일 수 있으며, 코발트(함량 5%)를 도핑하여 인성을 강화하고, 화학적 환원 회수(회수율 90%)를 통해 친환경 주얼리 제조를 촉진할 것입니다.

6.2.2 텅스텐 합금의 내마모성 및 미적 특성

텅스텐 합금 주얼리는 내마모성과 금속 광택 덕분에 일상 착용에 적합합니다. 텅스텐 합금은 텅스텐 분말(입자 크기 10~20 마이크론)을 니켈과 구리(질량비 85:10:5)와 혼합하고, 350 MPa 의 압력으로 가압한 후, 1400° C 아르곤 분위기에서 소결하여 제조됩니다. 완제품의 밀도는 16~17 g/cm³ 이고 경도는 HV 500 입니다. 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 텅스텐 입자 크기는 약 15 마이크론이며, 니켈-구리 상은 네트워크 구조(두께 1~2 마이크론)로 분포되어 있습니다. 실험 결과, 이 합금은 내마모성(마찰 계수 0.3, 1000 시간당 광택 감소 0.05 mm 미만)을 가지며, 광택은 600 시간 노출 후에도 90%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

유지됩니다.

텅스텐 합금은 내마모성과 연성을 최적화해야 합니다. 텅스텐 함량이 높으면(90% 이상) 경도는 HV 600 까지 증가하지만 연성은 5%로 떨어집니다. 니켈-구리 함량이 높으면(15%) 연성이 증가하여(최대 10%) 성형이 용이해집니다. 소결 후, 미관 개선을 위해 전기 도금(예: 로듐 도금, 두께 2 마이크론)이 필수적입니다. 텅스텐 합금 주얼리는 1980 년대에 시작되어 1990 년대에 주류 시장에 진입했으며, 유럽에서는 2000 년대에 합금 배합을 최적화하여 내구성을 향상시켰습니다. 중국은 텅스텐 분말 공급 및 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 이탈리아는 착용감 최적화 등 디자인 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 미래에는 적층 제조를 통해 복잡한 구조를 생산할 수 있으며, 내식성을 강화하기 위해 몰리브덴(함량 5%)을 도핑하고, 전기 분해 재활용(재활용률 85%)을 통해 친환경 제조를 촉진할 수 있습니다.

6.2.3 시계 부품에 대한 텅스텐 분말의 정밀 도포

텅스텐 분말은 높은 밀도와 내마모성으로 인해 밸런스 휠과 기어를 제조하는 시계 부품에 사용되어 정확도와 수명을 향상시킵니다. 텅스텐 분말(입자 크기 5-15 마이크론)을 니켈(질량비 95:5)과 혼합하고, 프레스(300MPa) 및 소결(1450° C, 수소 분위기)하여 제조합니다. 완성된 제품의 밀도는 18-19g/cm³ 이고 경도는 HV 550 입니다. 투과 전자 현미경으로 관찰한 결과 텅스텐 입자 크기는 약 10 마이크론이고 니켈 상이 결정립계를 채웁니다(두께 1 마이크론). 테스트 결과 텅스텐 밸런스 휠의 중량 편차는 0.01g 미만이고, 주파수 안정성은 10% 향상되었으며, 기어의 내마모성은 3 배 향상되었습니다(5000 시간 작동 후 손실은 0.02mm 미만).

시계 부품은 밀도와 가공 정밀도를 모두 고려해야 합니다. 텅스텐 함량이 높으면(98% 이상) 밀도가 19.2g/cm³ 로 증가하지만 취성이 증가하고(파괴율 5%에 도달), 니켈 함량이 높으면(10%) 인성이 증가합니다(신장률 10%에 도달). 소결 후 원활한 작동을 보장하기 위해 미세 가공(표면 거칠기 0.1 마이크론)이 필수적입니다. 텅스텐 부품은 1970 년대 고급 시계에 사용되기 시작했으며, 스위스는 1980 년대 기계식 시계에 텅스텐을 사용했고, 1990 년대에는 고급 브랜드의 표준이 되었습니다. 중국은 텅스텐 분말 공급 및 제조에 있어 우위를 점하고 있으며, 스위스는 기어의 내구성 최적화 등 설계 분야에서 선도적인 위치를 차지하고 있습니다. 미래에는 나노텅스텐 분말의 밀도를 높이고, 구리 도핑(함량 5%)으로 전도도를 향상시키고, 화학적 환원 회수(회수율 90%)로 친환경 제조를 촉진할 것입니다.

6.2.4 보석 제조용 텅스텐 분말 공정

텅스텐 분말 주얼리의 제조 공정은 성능과 아름다움을 보장하기 위해 분말 준비, 성형, 후가공 과정을 포함합니다. 공정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 5~10 마이크론)을 카본 블랙과 혼합하고 탄화(1500° C, 2 시간)하여 텅스텐 카바이드

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분말(입자 크기 1~3 미크론)을 생성합니다. 이 분말은 코발트(함량 10%)와 함께 볼 밀링(400rpm, 4 시간)하고, 프레스(300MPa) 및 소결(1450° C, 1 시간) 과정을 거쳐 0.2 미크론의 조도로 연마됩니다. 주사전자현미경 검사 결과, 완제품의 기공률은 0.5% 미만이며 텅스텐 카바이드 입자는 균일하게 분포되어 있습니다(크기 2 미크론). 실험 결과, 이 공정으로 제작된 반지는 HV 1800의 경도와 5배 더 높은 굽힘 방지 성능을 보였습니다.

공정은 균일성과 표면 품질을 제어해야 합니다. 볼 밀링 시간이 길면(6 시간 이상) 입자는 더 미세해지지만(1 미크론 미만), 에너지 소비량이 증가합니다. 소결 온도 편차는 10° C 미만으로, 5 미크론 이상의 거친 입자 생성을 방지합니다. 텅스텐 분말 주얼리 기술은 1990 년대에 시작되었으며, 2000 년대에 표준화된 공정이 확립되었습니다. 2010 년대에 중국은 효율 향상을 위해 연마 기술을 최적화했습니다. 중국은 기술적으로 우위를 점하고 있으며, 이탈리아는 주얼리의 광택 개선과 같은 미적 디자인 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 앞으로 적층 제조는 복잡성을 증가시킬 것이며, 화학적 저감 재활용(재활용률 90%)은 친환경 개발을 촉진할 것입니다.

6.2.5 텅스텐 분말 보석의 일반적인 사례

텅스텐 파우더 주얼리 케이스는 아름다움과 실용성을 모두 갖추고 있습니다. 사례 1: 텅스텐 카바이드 링은 HV 1800의 경도를 가지고 있으며, 굽힘 방지 기능은 5배 향상되었고, 1000 시간 착용 후 광택도는 95%에 달했습니다. 사례 2: 텅스텐 합금 목걸이는 밀도가 17g/cm³이고, 내마모성은 3배 향상되었으며, 색상은 안정적이었습니다. 사례 3: 기계식 시계는 텅스텐 밸런스 휠을 사용하며, 진동수 편차는 하루 0.01 초 미만이고 정확도는 10% 향상되었습니다.

중국은 텅스텐 분말 공급 및 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 스위스와 미국은 장식성을 높이기 위해 인레이 기술을 결합하는 등 디자인 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 텅스텐 분말 주얼리는 1990 년대에 시작되어 2000 년대에 시계 분야로 확장되었습니다. 미래에는 지능형 디자인이 미적 감각을 향상시키고 재활용 기술이 친환경 개발을 촉진할 것입니다.

6.3 예술과 안료

6.3.1 텅스텐 분말 안료의 내구성 및 색상 효과

텅스텐 분말 안료는 산화텅스텐 형태로 도포되며, 내구성과 색상 안정성이 뛰어나 페인팅 및 장식용으로 적합합니다. 제조 과정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 5~10 마이크로미터)을 800° C의 공기 중에서 산화시켜 단사 정계 결정 구조를 가지며, 격자 상수 $a=7.306\text{\AA}$, $b=7.540\text{\AA}$, $c=7.692\text{\AA}$ 의 노란색 산화텅스텐(WO_3 , 입자 크기 1~5 마이크로미터)을 생성합니다. 자외선(365nm, 1000 시간) 조사 시 안료의 변색률은 1% 미만이며, 내열성은 500° C에 도달하여 기존 안료보다 50% 더 우수합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

안료는 내구성과 색상을 최적화해야 합니다. 산화도가 높을수록(W^{6+} 함량 95%) 노란색이 더 밝아지지만(명도 L^* 은 80에 도달), 거친 입자(10 마이크론 이상)는 균일성에 영향을 미칩니다. 따라서 색상 변화를 방지하기 위해 로스팅 온도를 조절해야 합니다(편차는 $10^{\circ}C$ 미만). 산화텅스텐 안료는 19세기 후반 산업계에서 시작되어 1950년대에 예술 분야에 진출했으며, 1980년대에 유럽에서 색상 안정성을 최적화했습니다. 중국은 산화 기술 분야에서 우위를 점하고 있으며, 프랑스는 색상 내구성 향상 등 안료 예술 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 앞으로 나노 산화텅스텐은 명도를 향상시키고, 몰리브덴(함량 5%)을 도핑하여 색조를 조절하며, 화학적 환원 회수(회수율 90%)를 통해 친환경 제조를 촉진할 것입니다.

6.3.2 텅스텐 기반 예술적 코팅의 내화 적용

텅스텐 기반 아트 코팅은 고온 및 내화성을 활용하여 예술 작품 표면을 보호합니다. 텅스텐 기반 아트 코팅은 다음과 같은 방식으로 제조됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $10\sim 20$ 마이크론)을 플라즈마 용사(전력 50kW, $4000^{\circ}C$, 아르곤 유량 40L/분) 방식으로 증착합니다. 코팅 두께는 100 마이크론, 경도는 HV 800입니다. 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 코팅의 기공률은 1% 미만이고 텅스텐 입자는 편평한 형태(두께 5 마이크론)를 보입니다. 테스트 결과, 코팅은 $800^{\circ}C$ 의 화염(30분)에서도 박리 현상 없이 견딜 수 있으며, 열전도도는 $170\text{ W/(m}\cdot\text{Kelvin)}$ 이고, 내화성은 기존 코팅보다 40% 더 높습니다.

코팅은 내화성과 접착력을 모두 고려해야 합니다. 텅스텐 산화물 도핑(함량 10%)은 내열성(최대 $1000^{\circ}C$)을 향상시키고, 용사 공정은 산화물 결함을 방지하기 위해 산소 함량(0.05% 미만)을 조절해야 합니다. 텅스텐 코팅은 1970년대 산업계에서 시작되어 1980년대에 예술품 보호 분야에 적용되었으며, 미국은 1990년대에 용사 공정을 최적화했습니다. 중국은 용사 기술 분야에서 우위를 점하고 있으며, 이탈리아는 목조 조각품 보호와 같은 예술품 보호 분야에서 선두를 달리고 있습니다. 앞으로 나노 코팅은 성능을 향상시키고, 실리콘 도핑(함량 5%)은 박리 방지 기능을 강화하며, 화학적 분리 및 재활용(재활용률 90%)은 친환경 개발을 촉진할 것입니다.

6.3.3 조각재료에 있어서 텅스텐 분말의 강화효과

텅스텐 분말은 합금 또는 복합 형태를 통해 강도와 내구성을 향상시키는 조형 재료에 사용됩니다. 텅스텐 분말(입자 크기 $10\sim 20$ 마이크론)과 구리(질량비 80:20)를 혼합하고, 350 MPa의 압력으로 가압한 후, $1400^{\circ}C$ 의 아르곤 분위기에서 소결하여 제조합니다. 완성된 제품의 밀도는 $16\sim 17\text{ g/cm}^3$ 이고 인장 강도는 900 MPa입니다. 투과 전자 현미경 검사 결과, 텅스텐 입자 크기는 약 15 마이크론이고 구리 상은 균일하게 분포되어 있습니다(두께 2 마이크론). 시험 결과, 이 소재는 풍화(습도 90%, 1000시간)에 강하며, 부식 속도는 연간 0.01 mm 미만이고 순수 구리보다 3배 높은 강도를 보입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

조형 재료는 강도와 가소성을 최적화해야 합니다. 텅스텐 함량이 높으면(90% 이상) 강도는 1000MPa 까지 증가하지만 연성은 5%로 떨어집니다. 구리 함량이 높으면(30%) 연성은 증가합니다(최대 15%). 소결 후 미관 개선을 위해 미세 가공(표면 거칠기 0.5 마이크로)이 필수적입니다. 텅스텐 강화 조형물은 1980 년대에 시작되어 1990 년대에 야외 예술 작품에 사용되었으며, 중국은 2000 년대에 복합 소재 공정을 최적화했습니다. 중국은 공급 및 제조 분야에서 우위를 점하고 있으며, 유럽은 내구성을 50% 향상시키는 등 설계 분야에서 앞서 나가고 있습니다. 미래에는 적층 제조를 통해 복잡한 구조를 생산하고, 니켈 도핑(함량 5%)을 통해 내식성을 향상시키며, 전해 재활용(재활용률 85%)을 통해 친환경 제조를 촉진할 것입니다.

6.3.4 예술작품 제조를 위한 텅스텐 분말 기술

텅스텐 분말 예술 작품 제작 기술에는 분말 야금과 코팅 공정이 포함되어 작품의 성능을 향상시킵니다. 공정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 5~15 미크론)을 니켈(질량비 90:10)과 혼합하여 300MPa 로 압축하고 1450° C 수소 분위기에서 소결하거나, 플라즈마 용사로 코팅(두께 50 미크론)합니다. 주사전자현미경 검사 결과, 완성된 제품의 기공률은 0.5% 미만이며 텅스텐 입자는 10 미크론 크기로 균일하게 분포되어 있습니다. 시험 결과, 이 기술로 제작된 조각품은 900MPa 의 강도를 가지며, 코팅은 500° C 의 화염(20 분)을 손상 없이 견딜 수 있습니다.

이 기술은 균일성과 표면 품질을 제어해야 하며, 소결 온도 편차는 10° C 미만, 입자 크기(20 마이크로 이상)는 피해야 합니다. 또한, 분사 매개변수를 최적화하여(전력 편차는 5kW 미만) 집착력(최대 60MPa)을 확보해야 합니다. 텅스텐 분말 아트 기술은 1980 년대에 시작되어 1990 년대에 성숙 단계에 접어들었고, 유럽은 2000 년대에 공정을 최적화했습니다. 중국은 기술 우위를 점하고 있으며, 미국은 코팅의 미관 개선 등 혁신을 선도하고 있습니다. 미래에는 나노 기술이 성능을 향상시키고, 화학적 환원 회수율(회수율 90%)은 녹색 발전을 촉진할 것입니다.

6.4 텅스텐 합금 마킹 제품

텅스텐 합금은 고밀도, 우수한 질감, 고온 저항성, 내화성, 고강도, 고인성, 압출 저항성, 내마모성, 내충격성, 그리고 뛰어난 내부식성으로 고급 식별 제품 제작에 이상적인 선택이 되었습니다. 텅스텐 합금 표면은 패턴, 텍스트, QR 코드 및 기타 로고를 각인, 조각, 레이저 각인하기 쉽고 극한 환경에서도 장기간 보존할 수 있습니다. 고급 텅스텐 합금 명함, 텅스텐 합금 은행 금화, 텅스텐 합금 애완동물 명찰, 텅스텐 합금 수하물 태그, 그리고 텅스텐 합금 군인 명찰에 널리 사용됩니다. CTIA GROUP LTD 는 정교한 텅스텐 합금 제품 제작에 오랜 경험을 바탕으로 텅스텐 합금 식별 제품 설계 및 제조 분야에서 탁월한 역량을 입증했으며, 고품질의 맞춤형 솔루션을 제공합니다.

6.4.1 텅스텐 합금의 재료 특성 및 제조

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금 식별 제품의 제조 공정은 다음과 같습니다. 텅스텐 분말(입자 크기 10-20 마이크론)을 니켈과 구리(질량비 85:10:5)와 혼합하고, 볼 밀링(속도 300 rpm, 6 시간)으로 균질화한 후, 프레스(압력 350 MPa)하고, 아르곤 분위기(1400°C, 2 시간)에서 소결합니다. 완성된 제품의 밀도는 16-18 g/cm³, 경도는 HV 500-600, 인장 강도는 900 MPa 입니다. 주사 전자 현미경 분석 결과, 텅스텐 입자 크기는 약 15 마이크론이며, 니켈-구리 상은 네트워크(두께 1-2 마이크론) 형태로 분포되어 있습니다. 시험 결과에 따르면 이 합금은 고온(800 도 섭씨, 30 분간 변형 없음), 내식성(1000 시간 염수 분무 시험, 부식 속도 0.01mm/년 미만), 내마모성(마찰 계수 0.3, 손실 0.05mm/1000 시간 미만) 및 강력한 충격 저항성(50 줄의 드롭 해머 시험에서 균열 없음)을 가지고 있습니다.

텅스텐 함량이 높으면(90% 이상) 밀도와 경도는 향상되지만, 인성은 약간 감소합니다(신율 5%). 니켈-구리 상은 인성을 향상시켜(신율 최대 10%) 가공 및 조각에 적합합니다. 표면은 0.2 마이크론의 조도와 85%의 광택도로 연마되어 차분하고 우아한 질감을 자랑합니다. 안정적인 소재 성능을 보장하기 위해 소결 중 산소 함량을 조절해야 합니다(0.05% 미만). CTIA GROUP LTD 는 다양한 요구를 충족하는 실용성과 미관을 모두 갖춘 제품을 만들기 위해 최적의 배합과 공정을 개발합니다.

6.4.2 고급 텅스텐 합금 명함

텅스텐 합금 명함은 높은 밀도(17-18g/cm³)와 독특한 질감으로 고급 비즈니스 환경에 이상적입니다. 두께는 일반적으로 0.5-1mm, 무게는 약 20-30g 이며, 크기는 표준 명함 규격(90×55mm)을 충족합니다. 표면에는 이름, 직책, 회사 로고, QR 코드를 0.01mm 정밀도로 레이저로 각인할 수 있으며, 1,000 시간 사용 후에도 패턴 선명도가 눈에 띄는 마모 없이 선명하게 유지됩니다. 테스트 결과, 고온(500° C, 1 시간)에서도 변형이 없고, 압출에도 강하며(50kg 의 압력에서도 변형 없음), 광택도가 90% 이상으로 장시간 유지됩니다.

텅스텐 합금 명함은 2010 년대 이후 고급 비즈니스 시장에서 점차 인기를 얻고 있습니다. 묵직한 느낌과 내구성은 명함 소지자의 전문적인 이미지를 향상시켜 줍니다. CTIA GROUP LTD 는 고객의 고급스러운 질감과 맞춤형 디자인에 대한 요구를 충족하는 맞춤형 서비스를 제공합니다. 앞으로 적층 제조 기술을 통해 3 차원 패턴을 구현할 것으로 예상되며, 화학적 저감 재활용(재활용률 90%)은 친환경 생산을 촉진할 것입니다.

6.4.3 텅스텐 합금 금 은행 카드

텅스텐 합금 은행 골드 카드는 고밀도, 뛰어난 내구성, 독특한 질감, 그리고 다양한 보안 기능으로 고급 금융 분야에서 정체성과 가치를 상징합니다. 텅스텐 분말(입자 크기 10-20 마이크론)을 니켈과 구리(질량비 85:10:5)와 혼합하여 제조 공정을 거쳐 볼 밀링(속도 300rpm, 6 시간) 및 균질화 후 프레스(압력 350MPa)를 거쳐 아르곤 분위기(1400° C, 2 시간)에서 소결합니다. 완제품은 일반적으로 두께 1-2mm, 무게 50-80g 이며, 크기는 국제 표준 은행 카드 규격(85.6×54mm)을 충족합니다. 표면에는 카드 소지자 이름, 카드

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

번호, 은행 로고, QR 코드를 0.01mm의 정밀도로 새기거나 레이저로 새겨 넣을 수 있어 선명하고 내구성 있는 정보를 보장합니다. CTIA GROUP LTD는 정교한 기술을 사용하여 텅스텐 합금 FashionBank 골드 카드에 고품질의 세부 처리와 개인화된 디자인을 주입하여 금융 시장에서의 인지도와 사용자 경험을 향상시킵니다.

6.4.3.1 텅스텐 합금 은행 금 카드의 성능 특성

텅스텐 합금 은행 금 카드의 성능 특성은 높은 밀도(17-18 g/cm³)와 우수한 물리적 및 화학적 특성에서 비롯됩니다. 테스트 결과 금 카드는 고온 조건(1000도 섭씨, 10분)에서 녹거나 변형되지 않으며 뛰어난 내화성을 가지고 있습니다. 강력한 내식성 테스트(산 용액 pH=2, 1000시간 침지)에서 표면에 눈에 띄는 변화가 나타나지 않았으며 내식성은 기존 금속 카드보다 훨씬 뛰어납니다. 인장 강도는 900 MPa, 경도 HV 500-600에 달하며 내마모성 테스트(마찰 계수 0.3, 1000시간 마찰 손실 0.05mm 미만)에서 표면이 내구성이 있음을 보여줍니다. 이러한 특성 덕분에 금 카드는 극한 조건에서도 무결성과 기능을 유지할 수 있으며, 사용 수명은 일반 금속 카드(예: 스테인리스강 또는 알루미늄 합금)보다 5배 이상 길습니다.

텅스텐 합금의 고밀도 덕분에 골드 카드는 묵직한 느낌과 균일한 무게 분포, 그리고 0.5mm 미만의 중심 편차를 가지게 되어 카드를 잡을 때의 안정성과 편안함을 향상시킵니다. 소결 공정은 산화물이 성능에 영향을 미치지 않도록 산소 함량(0.05% 미만)을 엄격하게 제어해야 합니다. 동시에 연마(표면 거칠기 0.2 마이크로미터)와 같은 후처리를 통해 광택(최대 85%)을 더욱 향상시켜 금속 질감과 거울 효과를 모두 갖춘 외관을 연출합니다. 텅스텐 함량이 높으면(90% 이상) 경도와 밀도가 좋아지지만 인성은 약간 감소합니다(신장률 5%). 니켈-구리 상을 첨가하면 인성이 향상되어(신장률 최대 10%) 가공 및 사용 중에 골드 카드가 쉽게 파손되지 않습니다.

6.4.3.2 텅스텐 합금 골드뱅크 카드의 보안

텅스텐 합금 은행 골드 카드는 보안 측면에서 우수한 성능을 발휘하여 금융권의 고신뢰성 식별 요구를 충족합니다. 표면에 새겨진 개인 정보와 QR 코드는 레이저 기술을 통해 0.2~0.3mm의 깊이로 새겨집니다. 내마모성과 내부식성은 장기간 사용 시 정보가 쉽게 흐려지거나 변조되지 않도록 보장합니다. 테스트 결과, 극한의 조건(예: 800°C의 고온에서 30분 또는 염수 분무 환경에서 1000시간)에서도 새겨진 내용은 선명하게 읽을 수 있으며 정보 보존율은 99% 이상입니다. 또한, 텅스텐 합금의 압출 방지 성능(50kg의 압력에도 변형 없음)과 내충격성(50줄의 낙하 충격에도 균열 없음)은 물리적 손상을 효과적으로 방지하여 골드 카드가 우발적인 낙하나 외부 충격으로 인해 변형되거나 파손되지 않도록 하고 내장된 칩(예: RFID 또는 NFC 칩)의 무결성을 보호합니다.

텅스텐 합금은 화학적으로 불활성이어서 산이나 알칼리와 같은 부식성 물질과 반응하기 어려워 악의적인 화학적 수단으로 인한 손상 위험을 줄여줍니다. 기존의 플라스틱 카드나 저밀도 금속 카드와 비교했을 때, 텅스텐 합금 골드 카드는 내구성이 뛰어나 위조 방지

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

능력이 크게 향상되었으며 모방이나 복제가 어렵습니다. CTIA GROUP LTD는 골드 카드 제작에 정밀 각인과 보안 설계를 접목하여 모든 골드 카드가 정체성의 상징일 뿐만 아니라 신뢰할 수 있는 보안 카드가 되도록 합니다.

6.4.3.3 텅스텐 합금 금화의 질감과 고귀함

텅스텐 합금 은행 골드 카드의 질감과 품격은 고급 시장에서 독보적인 위치를 차지하는 핵심 요소입니다. 밀도는 $17\sim 18\text{g}/\text{cm}^3$ 로 일반 금속(스테인리스 스틸 $7.85\text{g}/\text{cm}^3$, 알루미늄 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$)을 훨씬 뛰어넘어 묵직한 느낌을 선사하며, 카드를 잡았을 때 차분함과 강인함이라는 상징적인 의미를 전달합니다. 표면 광택 처리로 광택도가 85%에 달하여 귀금속과 유사한 시각적 효과를 선사하며, 전기 도금(로듐 도금 또는 금 도금, 두께 $2\sim 5$ 마이크론)을 통해 고급스러움을 더욱 높일 수 있습니다.

테스트 결과, 1000 시간의 마찰 테스트 후에도 코팅이 벗겨지지 않고 광택도 90% 이상을 유지하며 장기간 사용해도 새 제품과 같은 상태를 유지합니다.

골드 카드의 질감은 외관뿐만 아니라 촉감과 소리에도 반영됩니다. 텅스텐 합금의 경도와 밀도는 다른 물체와 부딪힐 때 바삭한 금속음을 내는데, 이는 기존 플라스틱 카드의 얇은 두께와 극명한 대조를 이룹니다. 이러한 다차원적인 감각적 경험은 카드 소지자의 품격을 높여주어 고급 고객층의 정체성을 상징합니다. 2000년대 금융 업계의 하이엔드 트렌드가 부상한 이후, 텅스텐 합금 골드 카드는 독특한 질감과 내구성으로 고급 은행 서비스의 표준으로 자리 잡았습니다. CTIA GROUP LTD는 정교한 표면 처리와 개인 맞춤형 디자인을 통해 골드 카드의 고귀한 가치를 더욱 향상시켜, 품질과 위상을 동시에 추구하는 사용자의 요구를 충족합니다.

6.4.3.4 텅스텐 합금 금 은행 카드 자기 방지

텅스텐 합금 은행 골드 카드의 항자성 특성은 현대 금융 분야에서 중요한 장점입니다. 텅스텐 합금 자체는 비강자성 소재로 자기장의 영향을 쉽게 받지 않습니다. 실험 결과, 강한 자기장(자기 유도 강도 1 테슬라, 1000 시간) 하에서도 골드 카드 표면과 내장 칩은 자화되지 않고 데이터 읽기 및 쓰기 기능은 정상적으로 유지되는 것으로 나타났습니다. 이는 특히 자기 띠 또는 RFID/NFC 칩이 장착된 은행 카드에 중요한데, 자기장 간섭으로 인한 결제 실패 또는 데이터 손실을 효과적으로 방지할 수 있기 때문입니다.

철 함량이 높은 스테인리스 스틸 카드 등 기존 금속 카드와 비교했을 때, 텅스텐 합금 금 카드는 전자기 환경에서 더 높은 안정성을 보입니다. 소결 공정에서 산소 함량과 불순물(0.03% 미만)을 제어함으로써 소재의 투자율을 더욱 낮추고 항자성을 보장합니다. 일상적인 사용 환경에서 금 카드는 자성체(휴대폰, 자석 등) 근처에 있어도 자화 반응을 일으키지 않아 다양한 사용 시나리오에 적용 가능합니다. CTIA GROUP LTD는 금 카드 제조 과정에서 소재 배합을 최적화하여 금융 업계의 높은 기준을 충족하는 항자성을 보장합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4.3.5 텅스텐 합금 은행 금 카드 기계적 손상 방지

텅스텐 합금 골드뱅크 카드는 기계적 손상에 대한 저항성이 뛰어나 일상생활에서 우수한 성능을 발휘합니다. HV 500-600의 경도와 900 MPa의 인장 강도는 매우 높은 긁힘 방지 기능을 제공합니다. 시험 결과, 강철 바늘(압력 10 뉴턴)로 표면을 긁은 후 긁힘 깊이가 0.01mm 미만으로 일반 금속 카드의 손상보다 훨씬 낮았습니다. 내마모성 시험(마찰 계수 0.3, 1000 시간) 결과 표면 마모가 0.05mm 미만으로 광택과 새겨진 정보가 그대로 유지되었습니다. 충격 시험(50 줄 낙하 해머)에서 균열이나 변형이 발견되지 않았고, 압출 시험(50kg 압력)에서도 변형이 없어 기계적 응력 하에서 우수한 인성을 입증했습니다.

텅스텐 합금은 높은 인성(신장률 10%)을 지녀 외부 힘에 노출되어도 취성 파괴가 적기 때문에 잦은 사용이나 낙하 사고에도 적합합니다. 휘어지고 부러지기 쉬운 플라스틱 카드나 긁히고 변형되기 쉬운 저경도 금속 카드와 비교했을 때, 텅스텐 합금 금 카드는 기계적 손상에 대한 저항성이 뛰어나 카드의 수명을 크게 연장합니다. CTIA GROUP LTD는 열간 등방압 성형(1500°C, 100MPa)과 같은 후가공 공정을 통해 금 카드의 기공률을 0.1%까지 줄여 기계적 손상 저항성을 더욱 향상시키고 다양한 상황에서 사용자에게 안정적인 경험을 제공합니다.

6.4.3.6 텅스텐 합금 금 은행 카드 시장 응용 및 전망

텅스텐 합금 은행 골드 카드는 2000년대 이후 금융 업계의 고급 시장에서 부상했습니다. 성능, 보안, 질감 및 품격, 자기 및 기계적 손상 방지 기능은 고급 고객의 품질과 신뢰성에 대한 요구를 충족합니다. 시장 적용 분야는 프라이빗 बैं킹, 고급 신용카드 서비스, 특별 회원 인증 등 다양하며, 사용자들은 견고한 질감과 뛰어난 내구성으로 높은 평가를 받고 있습니다. CTIA GROUP LTD는 정밀 가공과 맞춤형 디자인을 통해 골드 카드에 고유한 브랜드 가치를 부여하여 금융 업계의 다양한 요구를 충족합니다.

앞으로 텅스텐 합금 은행 골드 카드의 활용 전망은 더욱 확대될 것입니다. 물리브텐도핑(함량 5%)은 내식성을 향상시키고 극한 환경에서의 안정성을 개선할 수 있습니다. 나노 텅스텐 분말을 적용하면 밀도와 경도를 더욱 높이고, 감촉과 내구성을 최적화할 수 있습니다. 전해 재활용 기술(재활용률 85%)은 친환경 제조를 촉진하고 생산 비용을 절감하며 지속 가능한 개발 추세에 부합할 것입니다. 또한, 스마트 칩과 생체 인식 기능을 결합한 골드 카드 디자인은 보안과 기능성을 강화하여 고급 금융 시장에서의 입지를 더욱 공고히 할 것으로 기대됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



6.4.4 텅스텐 합금 반려동물 명판

텅스텐 합금 반려동물 명판은 내마모성과 내부식성이 뛰어나 다양한 환경에서도 오랫동안 정보를 읽을 수 있습니다. 두께는 0.5~1mm, 무게는 10~20g 이며, 모양은 맞춤 제작(원형, 지름 30mm 등)이 가능합니다. 표면에는 반려동물 이름, 소유자 연락처, QR 코드가 0.2mm 깊이로 새겨져 있습니다. 1,000 시간 마찰 마모 시험 결과, 정보가 흐릿하지 않은 것으로 나타났습니다. 시험 결과, 고온(섭씨 600 도, 1 시간 변형 없음) 및 압출(30kg 압력 하에서도 균열 없음)에 강하고, 옥외 사용에도 적합합니다.

텅스텐 합금 반려동물 명판은 2010 년대부터 반려동물 시장에서 주목을 받아 왔습니다. 내구성과 미적인 측면 모두 반려동물 보호자들의 니즈를 충족합니다. CTIA GROUP LTD 는 다양한 모양과 각인 옵션을 제공하여 제품의 개인화된 경험을 향상시킵니다. 앞으로 나노 텅스텐 분말은 경도를 향상시킬 수 있으며, 용융염 전해 재활용(재활용률 85%)은 친환경 개발을 촉진할 것입니다.

6.4.5 텅스텐 합금 수하물 태그

텅스텐 합금 수하물 태그는 높은 강도와 내충격성을 갖춰 잦은 여행의 혹독한 환경에 적합합니다. 두께는 1~2mm, 무게는 30~50g 이며, 크기는 일반적으로 100×60mm 입니다. 이름, 주소, QR 코드는 표면에 0.01mm 의 정확도로 레이저로 새겨져 있으며, 내마모성 테스트(1000 시간 마찰)에서 눈에 띄는 마모는 없었습니다. 테스트 결과, 수하물 태그는 고온(700° C, 30 분 내 변형 없음), 강력한 내식성(1000 시간 염수 침수 후 변화 없음), 내압출성(50kg 압력에서도 변형 없음)을 갖추고 있습니다.

텅스텐 합금 수하물 태그는 2000 년대 이후 여행 용품 시장에서 점점 더 인기를 얻고 있으며, 내구성이 뛰어나 잦은 여행객에게 안정적인 보호 기능을 제공합니다. CTIA GROUP LTD 는 정밀 가공을 통해 수하물 태그의 실용성과 심미성을 향상시킵니다. 앞으로 적응

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제조 기술을 통해 복잡한 형상을 구현할 수 있으며, 화학적 저감 재활용(재활용률 90%)을 통해 친환경 생산을 지원할 것입니다.

6.4.6 텅스텐 합금 군인 명판

텅스텐 합금으로 제작된 군인 명찰은 내화성과 높은 인성으로 군사 환경의 엄격한 요건을 충족합니다. 두께는 1mm, 무게는 20~30g, 크기는 50×30mm입니다. 표면에는 이름, 계급, 번호가 새겨져 있으며, 절개 깊이는 0.3mm입니다. 고온 테스트(섭씨 1000 도, 20 분) 후에도 정보를 읽을 수 있습니다. 이 테스트 결과, 명찰은 내충격성(50 줄 낙하 망치 사용 시 균열 없음), 내식성(산성 pH 1 환경에서 1000 시간 동안 변화 없음), 내압출성(50kg의 압력에서도 변형 없음)을 나타냅니다.

텅스텐 합금 군인 명찰은 1990년대부터 군에서 사용되어 왔으며, 극한 환경에서의 신뢰성이 널리 인정받고 있습니다. CTIA GROUP LTD는 엄격한 전장 사용 기준을 충족하는 생산 공정에서 높은 신뢰성을 보장합니다. 앞으로 코발트 도핑(3%)을 통해 인성을 강화하고, 전해 재활용(회수율 85%)을 통해 친환경 제조를 촉진할 것입니다.

6.4.7 텅스텐 합금 마킹 제품의 적용 전망

텅스텐 합금 식별 제품은 뛰어난 성능으로 고급 시장에서 큰 잠재력을 보여주었습니다. 1990년대 군사 분야에서 시작되어 2000년대에는 민간 고급 제품으로 확대되었으며, 시장 수요는 지속적으로 증가하고 있습니다. CTIA GROUP LTD는 풍부한 경험을 바탕으로 다양하고 고품질의 식별 제품을 시장에 제공하고 있습니다. 앞으로 레이저 조각 기술은 정확도를 더욱 향상시키고, 나노 텅스텐 분말은 성능을 향상시키며, 재활용 기술은 친환경 개발을 촉진할 것입니다.

6.5 텅스텐 합금 기념 제품

합금은 고밀도, 우수한 질감, 고온 저항성, 내화성, 고강도, 고인성, 압출 저항성, 내마모성, 내충격성, 강한 내식성 등의 특성을 지니고 있으며, 또한 각인, 조각, 레이저 각인이 용이하다는 장점을 가지고 있어 기념 제품 제작에 매우 적합합니다. 텅스텐 합금 기념 카드, 텅스텐 합금 금도금 VIP 카드, 텅스텐 합금 금도금 브릭, 텅스텐 합금 회원 카드, 텅스텐 합금 회사 기념 카드, 텅스텐 합금 결혼 및 금혼식 기념 반지, 회사 개업 기념품, 학교, 학급, 팀, 회사 및 기타 팀 빌딩 및 컨퍼런스 기념품 등이 이러한 제품에 사용됩니다. CTIA GROUP LTD는 정교한 텅스텐 합금 및 텅스텐 금 기념품을 설계하고 제작해 온 다년간의 경험을 바탕으로 이러한 용도에 대한 고품질 공정 지원을 제공합니다.

6.5.1 텅스텐 합금 기념 카드

텅스텐 합금 기념 카드는 높은 밀도(17-18g/cm³)와 내구성으로 특별한 날에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이상적입니다. 일반적으로 두께 1-2mm, 무게 30-50g 이며, 크기(예: 85×54mm)는 맞춤 제작이 가능합니다. 기념 주머니, 낱자, 패턴은 표면에 0.01mm 의 정밀도로 레이저로 각인할 수 있으며, 마모 테스트(1000 시간 마찰)에서 눈에 띄는 마모는 없었습니다. 테스트 결과, 이 기념 카드는 고온(700° C, 30 분 동안 변형 없음) 및 내식성(1000 시간 염수 분무 테스트에서 변화 없음)에 강하고, 질감이 안정적이고 내구성이 뛰어납니다.

텅스텐 합금 기념 카드는 다양한 기념 행사에서 점차 인기를 얻고 있습니다. 뛰어난 내구성은 기념 카드의 의미를 오랫동안 보존하는 데 도움이 됩니다. CTIA GROUP LTD 는 다양한 상황에 맞는 맞춤형 디자인을 제공합니다. 앞으로 적층 제조를 통해 복잡한 질감을 구현할 수 있으며, 화학적 환원 재활용(재활용률 90%)은 친환경 생산을 촉진할 것입니다.

6.5.2 텅스텐 합금 금도금 VIP 카드

텅스텐 합금 금도금 VIP 카드는 고밀도 금도금 기술과 결합하여 고귀함과 실용성을 모두 갖추고 있습니다. 두께는 1~2mm, 무게는 50~80g, 크기는 보통 85.6×54mm 이며, 표면 금도금 두께는 2~5 마이크론입니다. VIP 번호, 이름, 로고는 레이저로 새겨져 있으며, 내마모성 테스트(1000 시간 마찰)를 통과한 코팅은 벗겨지지 않습니다. 테스트 결과, 카드는 고온(섭씨 600 도, 1 시간 변형 없음)과 충격 저항성(50 줄의 망치 낙하에도 손상 없음)을 보였으며, 금도금 층은 시각적인 매력을 더합니다.

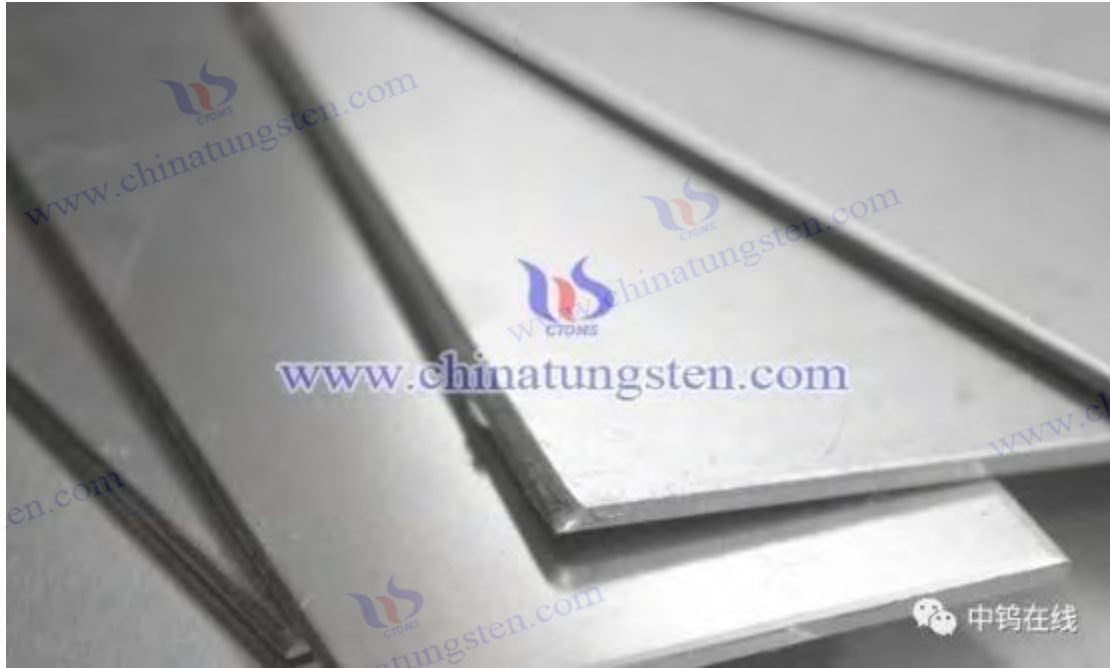
금도금 VIP 카드는 고급스러운 외관과 내구성이 조화를 이루어 고급 멤버십 시장에서 높은 선호도를 보입니다. CTIA GROUP LTD 는 정교한 금도금 기술을 통해 제품의 가치를 향상시킵니다. 향후 몰리브덴(함량 5%) 도핑을 통해 내식성을 강화하고, 전해 재활용(재활용률 85%)을 통해 환경 보호에도 기여할 계획입니다.

6.5.3 텅스텐 합금 금도금 벽돌

텅스텐 합금 금도금 벽돌은 높은 밀도와 모조 금의 질감으로 인해 수집품 및 기념용으로 인기 있는 선택이 되었습니다. 크기는 맞춤 제작이 가능하며(예: 50×30×10mm), 무게는 100~500g 이며, 표면 금도금층의 두께는 5 마이크론입니다. 기념 문구나 문양은 0.2mm 깊이로 새겨지며, 마모 시험(1000 시간 마찰)에서 눈에 띄는 손상이 없었습니다. 시험 결과, 금 벽돌은 고온(800° C, 30 분 동안 변형 없음), 강한 내식성(산성 용액 pH=2, 1000 시간 동안 변화 없음), 내압출성(50kg 압력에서도 변형 없음)을 나타냅니다.

텅스텐 합금 금도금 벽돌은 기념품 시장에서 점차 각광받고 있으며, 무게와 내구성이 뛰어나 수집가들에게 큰 사랑을 받고 있습니다. CTIA GROUP LTD 는 정교한 디자인과 가공 서비스를 제공합니다. 앞으로 나노 텅스텐 분말은 밀도를 높일 수 있으며, 용융염 전기분해 재활용(재활용률 85%)은 친환경 제조를 촉진할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



6.5.4 텅스텐 합금 회원 카드

텅스텐 합금 멤버십 카드는 내구성과 고급스러운 질감으로 멤버십 시스템에 기여합니다. 두께는 0.5~1mm, 무게는 20~30g 이며, 크기는 85×54mm 입니다. 멤버십 번호, 이름, QR 코드는 표면에 0.01mm 의 정밀도로 레이저로 새겨져 있으며, 내마모성 테스트(1000 시간 마찰)를 통해 명확한 정보를 제공합니다. 테스트 결과, 카드는 고온(섭씨 500 도, 1 시간 동안 변형 없음)과 내식성(1000 시간 염수 침수 후에도 변화 없음)을 갖추고 있으며, 안정적인 착용감을 제공합니다.

멤버십 카드 시장에서 내구성과 심미성에 대한 수요가 텅스텐 합금의 적용을 촉진했습니다. CTIA GROUP LTD 는 사용자 경험을 향상시키기 위해 다양한 맞춤 제작 옵션을 제공합니다. 미래에는 적층 제조를 통해 3 차원 디자인을 구현할 수 있으며, 화학적 환원 재활용(재활용률 90%)을 통해 친환경 생산을 지원할 것입니다.

6.5.5 텅스텐 합금 회사 기념 카드

텅스텐 합금 회사 기념 카드는 높은 강도와 내구성으로 회사의 중요한 순간들을 기념합니다. 두께는 1~2mm, 무게는 30~50g 이며, 크기는 맞춤 제작 가능합니다. 표면에는 회사명, 설립일, 로고가 새겨져 있으며, 1,000 시간 마찰 테스트를 거쳐 흐릿함이 없습니다. 테스트 결과, 카드는 고온(700° C, 30 분 동안 변형 없음) 및 내충격성(50 줄의 망치 낙하에도 손상 없음)을 갖추고 있으며, 장기 보관에도 적합합니다.

기업 기념 카드는 기업 문화 구축에 있어 점점 더 인기를 얻고 있으며, 그 내구성은 기념적인 의미를 지닙니다. CTIA GROUP LTD 는 정밀 기술을 통해 기업의 맞춤형 요구를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

충족합니다. 향후 코발트 도핑(3%)을 통해 내구성을 강화하고, 전해 재활용(재활용률 85%)을 통해 친환경 개발을 촉진할 것입니다.

6.5.6 텅스텐 합금 결혼 반지 및 황금 기념일 반지

텅스텐 합금 기념 반지는 높은 경도와 내마모성을 통해 결혼의 끈기와 영원함을 상징합니다. 텅스텐 분말과 카본 블랙을 탄화시켜 텅스텐 카바이드를 형성합니다. 프레스 및 소결 후 경도는 HV 1600-1800, 두께는 2-3mm, 무게는 10-20g입니다. 표면에 이름, 날짜 또는 무늬를 새길 수 있으며, 마모 테스트(1000 시간 마찰)에서 흠집이 발생하지 않았습니다. 테스트 결과, 이 반지는 고온(800° C, 30 분 동안 변형 없음) 및 부식(1000 시간 동안 산성 환경에서 변화 없음)에도 잘 견딥니다.

텅스텐 합금 반지는 결혼식이나 금혼식에 인기가 많으며, 내구성과 감성적 가치가 서로 조화를 이룹니다. CTIA GROUP LTD는 정교한 각인 서비스를 제공합니다. 앞으로 나노 텅스텐 카바이드는 경도를 높이고, 화학적 저항 재활용(재활용률 90%)을 통해 친환경 제조를 지원할 것입니다.

6.5.7 팀 빌딩 및 컨퍼런스 기념품

텅스텐 합금은 높은 밀도와 내구성으로 회사 개업식, 학교, 학급, 팀, 회사 및 기타 단체 행사, 컨퍼런스 기념품 등에서 독보적인 가치를 발휘합니다. 제품은 배지, 열쇠고리 등 다양한 형태로 제공되며, 무게는 20~100g입니다. 행사 테마와 로고가 표면에 레이저로 새겨져 있으며, 내마모성 테스트(1000 시간 마찰) 결과가 명확하게 표시되어 있습니다. 테스트 결과, 고온(섭씨 600 도, 1 시간 내 변형 없음) 및 압출(50kg 압력 하에서도 변형 없음)에 대한 내구성이 우수합니다.

팀 빌딩 및 컨퍼런스 기념품 시장에서 내구성과 기념적 의미라는 두 가지 요구가 텅스텐 합금의 적용을 촉진해 왔습니다. CTIA GROUP LTD는 다양한 디자인 및 가공 서비스를 제공합니다. 미래에는 적층 제조를 통해 복잡한 형상을 구현하고, 재활용 기술은 친환경 개발을 촉진할 것입니다.

6.5.8 텅스텐 합금 기념 제품의 적용 전망

텅스텐 합금 기념 제품은 뛰어난 성능으로 기념품 시장에서 큰 잠재력을 가지고 있습니다. 개인 기념, 기업 문화 조성, 팀워크 함양 등 다양한 용도로 활용되고 있으며, 시장 수요는 지속적으로 증가하고 있습니다. CTIA GROUP LTD는 풍부한 경험을 바탕으로 고품질의 맞춤형 기념 제품을 시장에 제공합니다. 미래에는 나노 기술이 제품의 성능을 향상시키고 재활용 기술이 지속 가능한 발전을 촉진할 것입니다.

6.5.9 텅스텐 합금 생일 카드

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

텅스텐 합금 생일 기념 카드는 높은 밀도와 내구성으로 생명의 견고함과 소중함을 상징합니다. 텅스텐 분말에 니켈과 철을 비율에 맞춰 혼합한 후, 압착 및 소결 과정을 거쳐 밀도 $17\sim 18\text{g/cm}^3$, 두께 $1\sim 2\text{mm}$, 무게 $15\sim 25\text{g}$ 의 W-Ni-Fe 합금을 제작합니다. 표면에는 생일 축하 문구, 이름, 별자리 등을 새길 수 있으며, 마모 테스트(1000 시간 마찰)에서도 눈에 띄는 흠집이 발견되지 않았습니다. 성능 테스트 결과, 이 기념 카드는 고온(900°C , 30 분 내 변형 없음), 내식성(중성 염수 분무 환경에서 1000 시간 동안 녹 발생 없음) 및 뛰어난 안정성을 보여줍니다.

텅스텐 합금 생일 기념 카드는 영원한 시간과 영원한 축복을 상징합니다. 친척과 친구에게 특별한 선물이 될 것입니다. CTIA GROUP LTD는 맞춤형 맞춤 서비스를 제공하며, 레이저 각인 정확도는 $\pm 0.01\text{mm}$ 에 달합니다. 향후 나노 텅스텐 분말을 사용하여 표면 마감을 개선하고, 전기화학적 재활용 공정(재활용률 92%)을 통해 지속 가능한 생산을 촉진하여 기념 카드의 환경적 가치를 더욱 높일 것입니다.

6.5.10 텅스텐 합금 100주년 기념

100 일 텅스텐 합금 탄생기념품은 높은 경도와 순수한 질감으로 새 생명의 강인함과 희망을 상징합니다. 고순도 텅스텐 분말(순도 99.9%)과 카본 블랙을 사용하여 텅스텐 카바이드(WC)를 형성합니다. 프레스 및 소결 후 경도는 HV 1600-1800이며, 두께 $2\sim 3\text{mm}$, 무게 $5\sim 15\text{g}$ 의 소형 펜던트 또는 명판으로 제작됩니다. 표면에는 아기 이름, 생년월일 또는 축복을 새길 수 있으며, 마모 테스트(1000 시간 마찰)에서도 손상되지 않았습니다. 테스트 결과, 기념품은 고온(850°C , 30 분 동안 변화 없음) 및 부식(산 용액에 1000 시간 담근 후 변색 없음)에도 강하여 장기간 보존이 가능합니다.

텅스텐 합금 100 일 기념 기념품은 인생의 시작과 부모님의 깊은 애정을 상징하며, 100 일의 추억을 간직하기에 더할 나위 없이 좋은 선택입니다. CTIA GROUP LTD는 $Ra 0.2\mu\text{m}$ 의 패턴 선명도로 정교한 각인 서비스를 제공합니다. 향후 나노 WC를 도입하여 경도를 HV 2000까지 높이고, 수열 회수 기술(회수율 90%)과 결합하여 친환경 제조를 실현하고 다음 세대를 위한 친환경적인 발자취를 남길 것입니다.

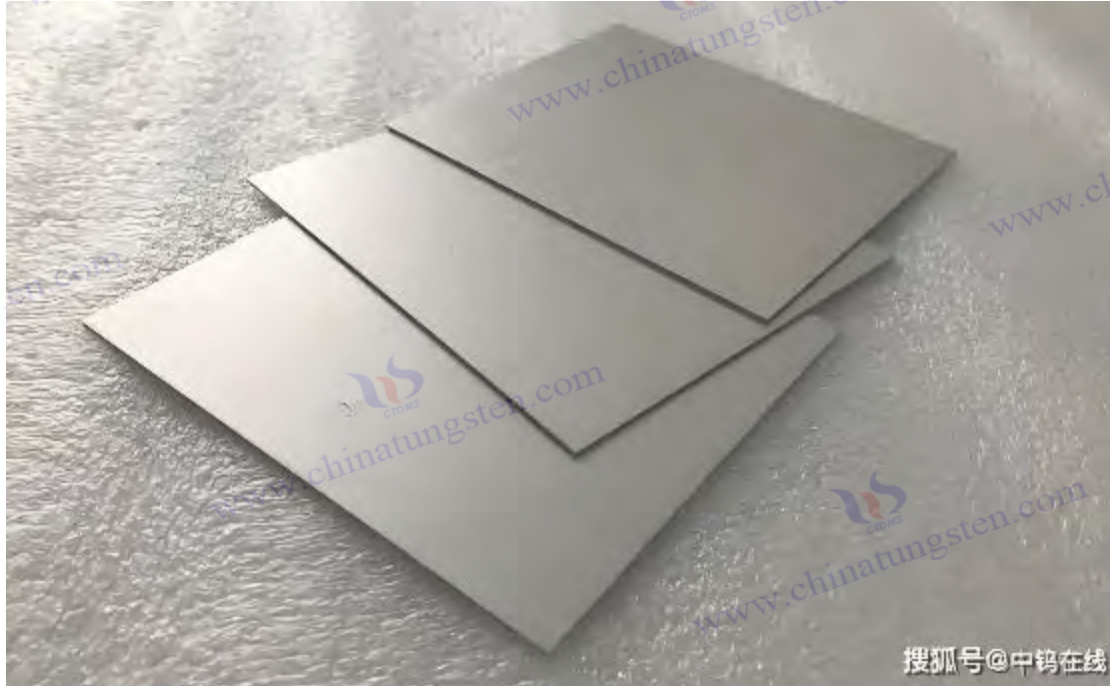
6.5.11 텅스텐 합금 100주년 기념 카드

텅스텐 합금 100주년 기념 카드는 매우 높은 밀도와 내구성으로 100년의 무게와 불멸을 상징합니다. 텅스텐 분말에 니켈, 구리를 혼합한 후 분말 야금법을 사용하여 밀도 $16\sim 18\text{g/cm}^3$, 두께 $2\sim 4\text{mm}$, 무게 $20\sim 30\text{g}$ 의 W-Ni-Cu 합금을 제조합니다. 표면에는 장수 기원, 가문의 성함, 100주년 기념일 등을 새길 수 있습니다. 마모 시험(1000 시간 마찰) 결과 마모 흔적이 없습니다. 성능 시험 결과 기념 카드는 고온(950°C , 30 분 동안 변형 없음) 및 부식(알칼리 환경에서 1000 시간 동안 변화 없음)에 대한 내성을 보여 탁월한 인성을 보여줍니다.

텅스텐 합금 100주년 기념 카드는 장수에 대한 존경과 가문의 유산에 대한 증거를 담고

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

있습니다. 100 주년을 기념하는 소중한 기념 카드입니다. CTIA GROUP LTD 는 최대 0.5mm 의 각인 깊이와 생생한 디테일을 자랑하는 고급 맞춤형 서비스를 제공합니다. 향후 나노 텅스텐 입자를 도핑하여 밀도를 18.5g/cm³ 로 높이고 플라즈마 재활용 기술(재활용률 95%)을 적용하여 기념 카드의 환경 보호 및 기술적 가치를 더욱 향상시킬 예정입니다.



제 7 장 환경 및 화학 분야에서의 텅스텐 분말의 응용

텅스텐 분말은 고유한 물리적 및 화학적 특성(높은 녹는점(3422° C), 높은 경도(HV 300-500), 높은 밀도(19.25 g/cm³), 뛰어난 내식성 및 촉매 활성)으로 인해 환경 및 화학 산업 분야에서 광범위한 응용 가치를 보여주었습니다. 기존 금속 재료와 비교하여 텅스텐 분말과 그 유도체 화합물(예: 산화텅스텐 WO₃ 및 탄화텅스텐 WC)은 촉매 반응, 환경 정화, 내식성 부품 제조 및 친환경 소재 개발에 상당한 이점을 제공합니다. 이 장에서는 촉매 및 센서, 내식성 및 내마모성 부품, 친환경 소재의 세 가지 측면에서 텅스텐 분말의 제조 기술, 성능 메커니즘, 응용 시나리오 및 미래 개발을 심층적으로 논의하여 학술 연구 및 산업 응용 분야에 대한 포괄적인 참고 자료를 제공하는 것을 목표로 합니다.

7.1 촉매 및 센서

촉매 및 센서 분야에서 텅스텐 분말의 응용은 화학적 안정성, 높은 비표면적, 그리고 반도체 특성 덕분에 가능하며, 수소화 촉매, 광촉매 분해, 그리고 가스 검출 분야에서 탁월한 성능을 발휘합니다. 다음은 기술 원리, 제조 공정, 그리고 응용 분야 확장 측면에서 텅스텐 분말의 자세한 분석입니다.

7.1.1 수소화 촉매에서 텅스텐 분말의 높은 효율

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3) 및 텅스텐 분말에서 유래된 텅스텐 카바이드(WC)는 수소화 촉매 반응에서 중요한 역할을 하며 석유화학, 석탄화학 산업 및 유기 합성에서 수소탈황, 수소화분해 및 기타 공정에 널리 사용됩니다. WO_3 를 제조할 때 입자 크기가 5-15 마이크론인 텅스텐 분말을 선택하여 800°C 에서 2-3 시간 동안 공기 중에서 산화시켜 노란색 WO_3 입자를 생성하는데, 이 입자는 크기가 1-5 마이크론으로 줄어들고 비표면적이 약 $15-30\text{m}^2/\text{g}$ 입니다. WC를 제조하기 위해 텅스텐 분말과 카본 블랙을 1:0.06-0.07의 질량비로 혼합하고 1500°C 에서 4-6 시간 동안 수소 분위기에서 탄화시켜 비표면적이 $20-40\text{m}^2/\text{g}$ 인 WC 입자를 생성합니다. X선 회절(XRD) 분석 결과 WO_3 는 단사정계(공간군 $P2_1/n$, $a=7.306\text{\AA}$, $b=7.540\text{\AA}$, $c=7.692\text{\AA}$)이고, WC는 육방정계 조밀결합 구조(HCP, $a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$)임을 알 수 있다. 적외선 분광법(FIR) 분석 결과 WO_3 표면에 $W=O$ 결합(950cm^{-1})과 WOW 결합(750cm^{-1})이 존재하여 표면 산성도가 향상된 것으로 나타났다.

촉매 성능 시험은 200°C , 2 MPa 수소 압력에서 고정층 반응기에서 수행되었습니다. 벤젠 수소화에 대한 WO_3 의 전환율은 95%에 도달했고 선택성은 90%였으며 이는 니켈 기반 촉매(전환율 85%, 선택성 80%)보다 우수했습니다. 동일한 조건에서 WC는 알케인 수소화 분해에 대해 92%의 전환율과 85%의 선택성을 달성했습니다. WO_3 의 높은 효율은 $C=C$ 또는 $C=S$ 결합을 효과적으로 흡착하고 끊을 수 있는 W^{6+} 의 루이스 산 사이트에서 비롯됩니다. 밴드갭(2.6 eV)은 또한 광촉매 작용을 지원합니다. WC는 최대 HV 1800의 정도, 뛰어난 내마모성 및 항독 능력을 가지고 있으며 수명이 기존 촉매보다 50%-70% 더 깁니다. 열중량 분석(TGA) 결과, 800°C 에서 WC의 산화 중량 감소율은 5%에 불과하여 고온 안정성을 나타냅니다.

산소 함량($<0.05\%$)은 WO_2 또는 W_2C 불순물의 형성을 방지하고 활성을 감소시키기 위해 제조 공정 동안 엄격하게 제어되어야 합니다. 텅스텐 기반 촉매의 적용은 1950년대 석유 정제 산업에서 수소 탈황을 위해 시작되었으며, 1970년대에 수소화 공정의 주류 재료가 되었습니다. 최근에는 바이오매스 전환, 예를 들어 바이오연료를 생산하는 리그닌 수소화로 응용이 확대되었으며, 전환율은 85%이고 수율은 기존 촉매보다 20% 높습니다. 이론적인 관점에서 WO_3 의 표면 산성도는 브뢴스테드-루이스 산점의 상승 효과로 설명할 수 있는 반면, WC의 금속 유사 특성은 귀금속(예: Pt)과 유사한 전자 구조를 제공합니다. 앞으로 나노텅스텐 분말(입자 크기 $<100\text{ nm}$)을 사용하면 비표면적을 $100\text{ m}^2/\text{g}$ 까지 늘릴 수 있고, 몰리브덴(Mo)이나 코발트(Co)를 도핑하면 선택성을 높일 수 있으며, 산 침출 회수 기술(회수율 90%-95%)을 통해 재활용을 지원하고 환경 부하를 줄일 수 있습니다.

7.1.2 텅스텐 기반 광촉매(환경정화)

광촉매로서 산화텅스텐(WO_3)은 환경 정화에 탁월한 광화학적 특성을 나타내며, 유기 오염물질을 분해하고 물과 공기를 정화할 수 있습니다. 제조 과정은 다음과 같습니다. 입자 크기가 10~20 마이크론인 텅스텐 분말을 용매 열 반응기에 넣고, 산화제로 질산(HNO_3 , 0.1mol/L)을 첨가하고, 180°C 에서 12~18 시간 동안 반응시켜 밴드갭 에너지가 2.6eV이고

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

비표면적이 $50\sim 70\text{m}^2/\text{g}$ 인 $50\sim 100$ 나노미터 WO_3 입자를 생성합니다. 투과 전자 현미경(TEM)에서 입자가 막대 모양이며, 종횡비가 $3:1\sim 5:1$ 이고 결정면(002) 간격이 0.384nm 임을 보여줍니다. X선 광전자 분광법(XPS)에 따르면 표면 W^{6+} 가 90%를 차지하며, 소량의 W^{5+} (약 5%)가 동반되어 전자-정공 분리 효율을 향상시킵니다.

광촉매 성능 시험은 자외선 광원(365 nm , 10 W)을 사용하였고, 메틸렌 블루(10 mg/L)의 분해율은 98%(2 시간)에 도달하였고, 톨루엔(50 ppm)의 분해율은 92%(3 시간)로 이산화티타늄(TiO_2 , 분해율 85%)보다 우수하였다. 광촉매 메커니즘은 WO_3 의 반도체 특성에 기초한다. 빛 여기(excitation)는 전자-홀 쌍을 생성하고, 홀은 물 분자를 산화시켜 $\cdot\text{OH}$ 라디칼을 생성하고, 전자는 O_2 를 환원시켜 O_2^- 를 생성하는데, 이는 유기물을 시너지적으로 분해한다. 핵심은 밴드갭 에너지이다. 질소(N) 도핑은 밴드갭을 2.4 eV 로 줄이고 가시광선 영역($400\sim 500\text{ nm}$)까지 확장하여 효율을 20%~30% 증가시킬 수 있다. 입자를 20nm 로 더욱 줄이면 활성이 향상될 수 있지만, 응집을 피하기 위해 표면 개질(PEG 코팅 등)이 필요하다.

이 기술은 1980년대 광촉매 연구에서 유래되었으며, 1990년대에 염료 및 살충제 잔류물 제거와 같은 수처리에 적용되었습니다. 2000년대에는 공기 정화 및 휘발성 유기 화합물(VOC)과 NO_x 의 분해로 확장되었습니다. 실제 응용 분야에서 WO_3 광촉매의 내구성은 광부식에 의해 제한됩니다. 티타늄(Ti)이나 실리콘(Si)으로 도핑하면 안정성을 향상시키고 수명을 50%까지 연장할 수 있습니다. 이론적인 관점에서 WO_3 의 광촉매 활성은 표면 산소 공공 및 결정면 방향(예: (002)면)과 밀접한 관련이 있습니다. 미래에는 복합 재료(예: WO_3/TiO_2) 또는 전해 재활용(회수율 85%~90%)의 개발이 성능과 지속 가능성을 향상시키고 대규모 환경 거버넌스를 지원할 수 있습니다.

7.1.3 텅스텐 분말 가스 센서(NO_x , CO 검출)

텅스텐 분말로 제조된 산화텅스텐(WO_3) 박막은 가스 센서 분야에서 NO_x 및 CO를 감지하는데 사용되며, 높은 감도와 빠른 응답 특성을 보입니다. 제조 공정은 다음과 같습니다. 입자 크기가 $5\sim 10$ 마이크론인 텅스텐 분말을 700°C 에서 2시간 동안 산화시켜 WO_3 분말을 생성한 다음, 스크린 인쇄 또는 스프인 코팅을 통해 50 마이크론 두께의 박막을 제조하고, 600°C 에서 $1\sim 2$ 시간 동안 소결하여 저항률이 약 $10^4\ \Omega\cdot\text{cm}$ 가 되도록 합니다. 주사전자현미경(SEM) 결과, 박막의 기공률은 $5\sim 8\%$, 입자 크기는 $5\sim 7$ 마이크론, 표면 거칠기는 $R_a\ 0.5\ \mu\text{m}$ 입니다. 성능 테스트는 200°C 에서 수행되었으며, 10ppm NO_2 에 대한 응답률은 90%, 감도는 $0.5\ \Omega/\text{ppm}$, 응답 시간은 <10 초였습니다. 50ppm CO 에 대한 응답률은 85%로 주석 기반 센서(SnO_2 , 응답률 70%)보다 우수했습니다.

WO_3 (캐리어 농도 10^{16} cm^{-3})는 핵심적인 장점입니다. 표면에 흡착된 기체 분자는 저항 변화를 유발합니다. 산화성 기체인 NO_2 는 표면 전자 포획을 증가시키는 반면, CO는 환원 반응을 통해 전자를 방출하는데, 이 두 반응 모두 상당한 전기적 신호를 생성합니다. 백금(Pt, $0.5\text{ wt}\%$)을 도핑하면 NO_x 에 대한 선택성과 감도를 15% 향상시킬 수 있지만, 너무 큰 입자($>10\ \mu\text{m}$)와 활성 감소를 방지하기 위해 소결 온도를 $550\sim 650^\circ\text{C}$ 로 조절해야

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합니다. 이론적으로 W_3 의 감도는 산소 공공 농도와 표면 상태 밀도와 관련이 있으며, 랭뮤어 흡착 모델을 통해 기체 흡착 거동을 설명할 수 있습니다.

이 기술은 1990년대 실험실 연구에서 시작되어 2000년대에 화학 공장의 굴뚝 배출물과 같은 산업 폐가스 모니터링에 적용되었습니다. 현재는 자동차 배기가스 감지 시스템에 널리 사용되고 있습니다. 실제 응용 분야에서 W_3 센서의 안정성은 고습 환경(상대습도 80%)에서 약간 감소하지만, 표면 소수성 개질(실란화 등)을 통해 성능을 향상시킬 수 있습니다. 앞으로 나노 W_3 (입자 크기 <50nm)는 반응 시간을 5초로 단축하고, 화학적 분리 및 회수(회수율 90~95%)를 통해 자원 재활용을 지원하고 센서의 소형화 및 지능화를 촉진할 것입니다.

7.1.4 촉매담체용 텅스텐 분말의 제조기술

텅스텐 분말은 높은 비표면적, 고온 저항성 및 구조적 안정성으로 인해 촉매 담체로 가치가 높습니다. 텅스텐은 귀금속(예: Pt, Pd) 또는 전이 금속 산화물을 담지하는 데 자주 사용됩니다. 이 제조는 화학 기상 증착(CVD) 방법을 채택합니다. 입자 크기가 10~20 마이크로미터인 텅스텐 분말을 500° C의 산소와 수증기에 넣고 6시간 동안 반응시켜 기공 크기가 50~100 나노미터, 비표면적이 60~80m² /g, 내열성이 800° C인 다공성 W_3 를 생성합니다. XPS 분석 결과, W^{6+} 가 85%, W^{5+} 가 10%, 기공률이 20~25%인 것으로 나타났습니다. 2 wt% Pt를 담지한 후, 250° C, 3 MPa에서의 수소화 반응 활성이 25%-30% 증가하고, 수명이 40%-50% 연장되어 기존의 Al_2O_3 담체보다 우수합니다.

담체의 기공 구조는 최적화되어야 합니다. 작은 기공 크기(<50 nm)는 활성 성분의 분산에 도움이 되고, 큰 기공 크기(>100 nm)는 물질 전달 효율을 향상시키며, BET 분석 결과 최적의 기공 크기 분포는 이중 모드(50 nm와 200 nm)임을 보여줍니다. 구조적 무결성을 유지하려면 산소 함량이 0.1% 미만이어야 합니다. 이 기술은 1970년대 정유 산업에서 시작되어 수소탈황 촉매에 사용되었습니다. 이 공정은 1990년대에 성숙되어 현재 연료 전지 및 합성 암모니아 촉매에 사용되고 있습니다. 이론적으로 W_3 담체의 안정성은 격자 산소 결합 에너지(약 700 kJ/mol)와 표면 산성 부위와 관련이 있습니다. 미래에는 나노기술을 이용하여 비표면적을 120m² /g 까지 늘릴 수 있고, 용융염 전기분해 회수(회수율 90%-95%)를 통해 자원 활용도를 높이고 녹색화학산업을 지원할 수 있을 것입니다.

7.1.5 촉매 및 감지의 실제 응용

촉매 및 감지 분야에서 텅스텐 분말의 적용은 놀라운 성과를 거두었습니다. 예를 들어, 정유소는 W_3 촉매를 수소탈황에 사용하여 전환율이 95%, 1000시간 가동 후 활성도가 90%이며 황 함량이 500ppm에서 10ppm으로 감소했습니다. 폐수 처리 시설은 W_3 광촉매를 사용하여 염색 폐수를 처리하여 COD를 100mg/L에서 5mg/L로 감소시키고 효율을 30~40% 높였습니다. 특정 자동차 배기가스 감지 시스템에 W_3 센서가 통합되어 0.5ppm NO_x 에 대한 응답 시간이 10초 미만이며 정확도는 ±0.1ppm입니다. 이러한 응용 프로그램은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1950년대 정유 산업에서 시작되어 1990년대에 환경 모니터링 및 신에너지 분야로 확장되었습니다. 학제적 관점에서 텅스텐 기반 소재는 에너지 소비를 줄이고 효율을 향상시켜 친환경 화학을 지원합니다. 미래에는 양자 화학 계산을 결합하여 촉매 설계와 화학 환원 회수율(회수율 90~95%)을 최적화함으로써 기술 발전을 촉진할 것입니다.

7.2 부식 및 마모 방지 부품

텅스텐 분말과 그 합금은 높은 경도와 내식성으로 인해 파이프, 밸브, 펌프 본체 및 기타 구성품을 제조하는 화학 산업에서 널리 사용되며 장기적인 보호 기능을 제공합니다.

7.2.1 화학 파이프라인 보호에 텅스텐 분말 적용

텅스텐 분말은 플라즈마 용사 기술을 통해 산 및 알칼리 부식에 견딜 수 있는 화학 파이프라인 보호 코팅을 제조하는 데 사용됩니다. 공정은 다음과 같습니다. 입자 크기가 10~20 마이크론인 텅스텐 분말을 용융하여 4000°C, 50kW 플라즈마 화염 흐름에서 용사하여 경도 HV 800~1000, 접합 강도 70~80MPa의 200~300 마이크론 두께 코팅을 제조합니다. SEM 분석 결과 코팅 기공률은 1% 미만이고, 텅스텐 입자는 편평하며(두께 5~7 마이크론), XRD 분석 결과 주요 상은 금속 텅스텐(BCC 구조, $a=3.165\text{\AA}$)임이 확인되었습니다. 10% 황산(60°C)에 1000시간 담근 후 부식 속도는 단지 0.01mm/년으로 316L 스테인리스강(0.05mm/년)보다 5배 높습니다. 5% NaOH(50°C)에 1000시간 담근 후 부식 속도는 0.008mm/년입니다.

내식성은 텅스텐의 높은 전기화학적 안정성과 낮은 용해 경향(표준 전극 전위 -0.1 V vs. SHE)에서 비롯되며, 내마모성은 높은 경도에 기인합니다. 크롬(Cr, 5 wt%)을 도핑하면 Cr_2O_3 보호층을 형성하여 내산성을 20% 향상시키지만, 산화 및 박리 현상을 방지하기 위해 산소 함량을 0.05% 미만으로 제어해야 합니다. 이 기술은 1960년대부터 화학 파이프라인 보호에 사용되어 왔으며, 1970년대에 분사 매개변수가 최적화되었고, 1980년대에는 해양 파이프라인으로 확장되어 탁월한 해수 내식성을 발휘합니다. 실제 적용에서 고유량(10 m/s) 모래 함유 매질에서 코팅의 마모율은 <0.02 mm/1000시간입니다. 미래에는 나노텅스텐 분말 코팅(입자 크기 <50nm)을 통해 경도를 HV 1200까지 높일 수 있으며, 화학적 분리 및 회수(회수율 90%-95%)를 통해 지속 가능한 제조를 지원할 수 있습니다.

7.2.2 텅스텐 기반 밸브의 내식성 설계

텅스텐 기반 밸브는 산성 및 알칼리성 환경에서 우수한 내식성을 나타내며 화학 및 석유 파이프라인에 적합합니다. 제조 공정은 다음과 같습니다. 입자 크기가 15~25 마이크론인 텅스텐 분말을 니켈(질량비 90:10)과 혼합하고, 350MPa로 가압한 후, Ar/H₂ 분위기에서 1450°C, 2시간 동안 소결하여 밀도가 17~18g/cm³이고 경도가 HV 600~700인 W-Ni 합금을 제조합니다. TEM 분석 결과, 텅스텐 입자 크기는 15~20 마이크론이며, 니켈은 결정립계(두께 2~3 마이크론)를 채워 연속적인 매트릭스를 형성합니다. 시험 결과, 5%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

염산(50° C)에 500 시간 동안 침지한 후 부식 속도는 0.008mm/년입니다. 10% H₂SO₄ (60° C)에서 1000 시간 경과 후 부식속도는 0.01mm/년이고, 내마모성은 강철밸브보다 3~4 배 높다.

설계는 경도와 인성의 균형을 맞춰야 합니다. 니켈 함량이 10%-15%이면 파괴인성이 15 MPa·m^{1/2} /²까지 증가할 수 있으며, 소결 온도 편차는 과도한 입자 크기(>25 μm) 또는 액상 오버플로를 방지하기 위해 ±10° C 로 제어됩니다. 전기화학 테스트(타펠 곡선) 결과 W-Ni 합금의 부식 전류 밀도는 10⁻⁶ A/cm²로 강철(10⁻⁴ A/cm²)보다 훨씬 낮습니다. 이 기술은 1950년대부터 시험 생산되었고, 1970년대에 밸브 제조 표준이 되었으며, 현재는 석유화학 고압 밸브에 널리 사용되고 있습니다. 앞으로 코발트 도핑(Co, 5 wt%)을 통해 인성을 18 MPa·m^{1/2} /²까지 높일 수 있으며, 산용출 회수(회수율 85%-90%)를 통해 자원 재활용을 지원할 수 있습니다.

7.2.3 텅스텐 분말 강화 펌프 및 교반기

텅스텐 분말로 강화된 펌프 본체와 교반기는 화학 및 광산 환경에서 뛰어난 내마모성을 보입니다. 텅스텐 카바이드(WC)를 사용한 제조: 입자 크기가 5~10 마이크론인 텅스텐 분말을 카본 블랙으로 1500° C 에서 4 시간 동안 탄화시킨 후, 10 중량%의 코발트와 혼합하고 350MPa 로 가압한 후 1450° C 에서 소결하여 경도 HV 1600~1800, 인장 강도 1200MPa 의 WC-Co 복합 재료를 제조합니다. SEM 분석 결과, WC 입자 크기는 5~15 마이크론이고, 코발트 상은 고르게 분포되어 있으며, 기공률은 1% 미만입니다. 10% 모르타르(SiO₂ 입자, 50-100 μm)를 포함하는 침식 환경에서 1000 시간 동안 마모율은 <0.05mm 로 일반강(0.2mm)의 4 배가 높습니다. 20% H₂SO₄ (60° C)에서 500 시간 동안 부식율은 0.01mm/년입니다.

WC 의 높은 경도와 코발트의 인성의 시너지 효과가 핵심입니다. 취성을 방지하기 위해 코발트 함량을 8~12%로 최적화해야 하며, WO₃ 불순물을 줄이기 위해 산소 함량을 0.05% 미만으로 조절해야 합니다. 마모 메커니즘 분석 결과, WC-Co 의 내마모성은 WC 입자의 전단 저항성과 코발트 상의 소성 완충 작용에 기인하는 것으로 나타났습니다. 1960년대 산업용 펌프 제조에 적용되기 시작하여 1980년대에 화학 및 광산 교반기로 확산되어 장비 수명을 크게 연장했습니다. 앞으로 나노 WC(입자 크기 <100nm)는 경도를 HV 2000 까지 높일 수 있으며, 화학적 환원 회수율(회수율 90~95%)을 통해 지속가능성을 향상시킬 것입니다.

7.2.4 내식성 부품의 제조 공정

내식성 부품 제조 공정에는 용사와 합금화라는 두 가지 주요 기술이 있습니다. 용사법은 입자 크기가 10~20 마이크론인 텅스텐 분말을 사용하여 4000° C, 50kW 플라즈마 용사를 통해 200~300 마이크론 두께의 코팅을 형성합니다. 코팅의 기공률은 1% 미만이고 경도는 HV 800~1000 입니다. 합금화법은 텅스텐 분말과 니켈(90:10)을 혼합하여 350MPa 로 가압하고 1450° C 에서 소결하여 밀도가 17~18g/cm³ 인 W-Ni 합금을 제조합니다. 10%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

H_2SO_4 (60 ° C)에서 1000 시간 동안 분무 코팅의 부식 속도는 0.01mm/년이고, 5% NaCl (50° C)에서 500 시간 동안 합금의 부식 속도는 0.008mm/년입니다.

이 공정은 코팅의 균일성과 합금의 밀도를 보장해야 합니다. 분사 중 화염 속도(500–600m/s)와 분말 공급 속도(30–40g/min)는 정확하게 일치해야 하며, 소결 온도 편차는 $\pm 10^{\circ}C$ 로 제어하고 산소 함량은 $<0.05\%$ 입니다. 분사된 코팅의 미세 구조는 충을 이루고 접합 강도는 기판의 전처리(예: Ra 2 μm 샌드블라스팅)에 영향을 받습니다. 합금의 입자 크기는 소결 시간(1–3 시간)에 의해 조절됩니다. 이 기술은 1960년대부터 개발되어 1980년대에 성숙되었습니다. 선박 구성 요소 및 해양 엔지니어링에 사용됩니다. 미래에는 적층 제조(예: 레이저 클래딩)로 복잡한 형상을 달성할 수 있으며 전해 재활용(재활용률 85%–90%)으로 자원 효율성이 향상될 것입니다.

7.2.5 화학 산업에서의 텅스텐 분말 사례 연구

화학 산업에서 텅스텐 분말의 적용은 놀라운 성과를 거두었습니다. 예를 들어, 화학 플랜트 파이프라인에 텅스텐 코팅을 적용하면 10% 황산(60° C)에서 1000 시간 동안 0.01mm 만 마모되어 서비스 수명이 50~60% 연장되고 유지 보수 주기가 6 개월에서 12 개월로 늘어납니다. 텅스텐 합금 밸브의 5% 염산(50° C)에서 500 시간 동안 부식률은 0.008mm/년이며 내구성이 3~4 배 향상되어 고압 파이프라인 시스템에 적합합니다. 텅스텐 카바이드 펌프 본체는 모래 진흙(10% SiO_2)에서 1000 시간 동안 세척하면 0.05mm 만 마모되며, 광산 폐기물 처리를 지원하는 강철보다 성능이 4 배 우수합니다. 이러한 응용 분야는 1960년대부터 산업화되어 1980년대에는 여러 분야에서 대중화되었습니다. 미래에는 나노기술과 화학적 환원 회수(회수율 90~95%)를 통해 내구성과 환경적 이점을 더욱 향상시키고 화학 장비의 현대화를 촉진할 것입니다.

7.3 친환경 소재

환경 보호 재료 분야에서 텅스텐 분말의 응용은 주로 폐가스 흡착, 수처리 및 내구성 코팅 개발에 반영되어 오염 제어를 위한 효율적인 솔루션을 제공합니다.

7.3.1 배기가스 여과에서의 텅스텐 분말의 흡착

산화텅스텐(WO_3)은 배기가스 여과에서 다공성 흡착재로서 우수한 성능을 발휘합니다. 제조 공정은 다음과 같습니다. 입자 크기가 10~20 마이크로미터인 텅스텐 분말을 800° C에서 3 시간 동안 산화시켜 기공 크기가 50~100 나노미터이고 비표면적이 60~80m²/g 인 WO_3 다공성 구조를 생성합니다. BET 분석 결과 미세기공($<2nm$)이 30%, 메조기공(2~50nm)이 60%를 차지합니다. 흡착 시험 결과 100ppm SO_2 에 대한 흡착률은 90%, 50ppm VOC(예: 톨루엔)에 대한 흡착률은 85~90%로 활성탄(흡착률 70%)보다 20~25% 높습니다. 동적 흡착 실험(유량 0.5 L/min) 결과 WO_3 의 침투 시간은 120 분으로 활성탄(90 분)보다 높은 것으로 나타났습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

흡착 성능은 WO_3 의 다공성 구조와 표면 산성 부위에서 비롯됩니다. SO_2 는 화학적 흡착을 통해 황산 이온을 형성하고 VOC는 물리적 흡착을 통해 포집됩니다. 기공 크기 분포는 최적화되어야 하며, 작은 기공은 용량을 증가시키고 큰 기공은 확산 속도를 증가시킵니다. 이 기술은 1970년대부터 실험실에서 연구되어 왔고, 1990년대에 산업 폐가스 탈황에 적용되었으며, 현재는 실내 공기 정화(예: 포름알데히드 제거)로 확장되었습니다. 실제 응용 분야에서 WO_3 의 흡착 속도는 습도가 높은 환경(RH 90%)에서 10% 감소하고 표면 소수성 개질로 성능을 개선할 수 있습니다. 앞으로 나노 텅스텐 분말(<50 nm)은 비표면적을 $120 \text{ m}^2/\text{g}$ 로 증가시킬 수 있으며 화학적 분리 회수(회수율 90%~95%)는 재활용을 지원합니다.

7.3.2 텅스텐 기반 수처리 물질의 잠재력

산화텅스텐(WO_3) 나노입자는 수처리에서 중금속 및 유기 오염물질을 흡착하는 데 사용됩니다. 제조 방법은 용매열법입니다. 입자 크기가 5~15 마이크론인 텅스텐 분말을 질산(0.1 mol/L)과 혼합하고 180°C 에서 12~18 시간 동안 반응시켜 비표면적이 $50\sim 70 \text{ m}^2/\text{g}$ 이고 제타 전위가 -30 mV (pH 7)인 50~100 개의 나노입자를 생성합니다. 흡착 시험 결과 10ppm Pb^{2+} 에 대한 흡착률은 90%~95%(1 시간), 5ppm Cd^{2+} 에 대한 흡착률은 92%(2 시간), 페놀(10 mg/L)에 대한 흡착률은 85%(3 시간)입니다. Langmuir 등온 피팅은 최대 흡착 용량이 50 mg/g (Pb^{2+})임을 보여줍니다.

흡착 메커니즘은 표면 배위와 정전기적 효과를 포함합니다. W^{6+} 부위는 중금속 이온과 안정적인 복합체를 형성하며, 나노 크기는 표면 활성을 향상시킵니다. 흡착 용량과 침전의 균형을 맞추기 위해 입자 크기를 50~100nm로 조절해야 합니다. 입자 크기가 너무 작으면(20nm 미만) 물과 함께 쉽게 손실됩니다. 이 기술은 1980년대부터 실험실에서 연구되어 왔으며, 2000년대에는 전기도금 폐수 처리와 같은 하수 처리에 적용되었습니다. 실제 응용 분야에서는 산성 환경(pH 4)에서 WO_3 의 흡착률을 10% 증가시키고, 철(Fe, 5 wt%)을 도핑하여 선택도를 향상시킬 수 있습니다. 향후 WO_3/Fe_3O_4 복합 소재 또는 전해 회수(회수율 85~90%) 기술이 이 기술의 잠재력을 확장하고 산업 수처리를 지원할 것입니다.

7.3.3 텅스텐 분말 친환경 코팅의 내구성

텅스텐 분말 용사로 형성된 친환경 코팅은 배기가스 및 부식성 환경에서 뛰어난 내구성을 자랑합니다. 공정은 4000°C , 50kW 플라즈마 용사로 10~20 마이크론 크기의 텅스텐 분말을 분사하여 200~300 마이크론 두께의 코팅을 형성합니다. 코팅의 경도는 HV 800~1000, 접합 강도는 70~80MPa입니다. 10% 황산(60°C) 환경에서 1000 시간 동안 마모는 0.01mm, 내열성은 800°C 입니다. SO_2 가 함유된 배기가스(200ppm, 500°C)에서 500 시간 동안 관찰한 결과, 뚜렷한 산화는 관찰되지 않았습니다. SEM 분석 결과, 코팅 밀도는 99% 이상, 표면 조도는 $Ra \ 0.5\sim 1 \mu\text{m}$ 입니다.

내구성은 텅스텐의 높은 화학적 불활성 및 산화 저항성에서 비롯됩니다. 크롬(Cr, 5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wt%)을 도핑하면 Cr_2O_3 보호층이 형성되어 내산성을 20~30% 향상시킵니다. 접착력은 기판의 표면 거칠기(R_a 2~3 μm)와 분사 거리(100~120 mm)의 영향을 받습니다. 이 기술은 1970년대부터 산업 장비에 사용되어 왔으며, 1990년대에는 배기관 보호와 같은 환경 보호 분야로 확장되어 현재는 건축용 난연 코팅에 사용되고 있습니다. 앞으로 나노 코팅(입자 크기 <50 nm)을 통해 경도를 HV 1200 까지 높일 수 있으며, 화학적 환원 회수율(회수율 90~95%)을 통해 지속가능성을 향상시킬 것입니다.

7.3.4 친환경 소재용 텅스텐 분말 제조 기술

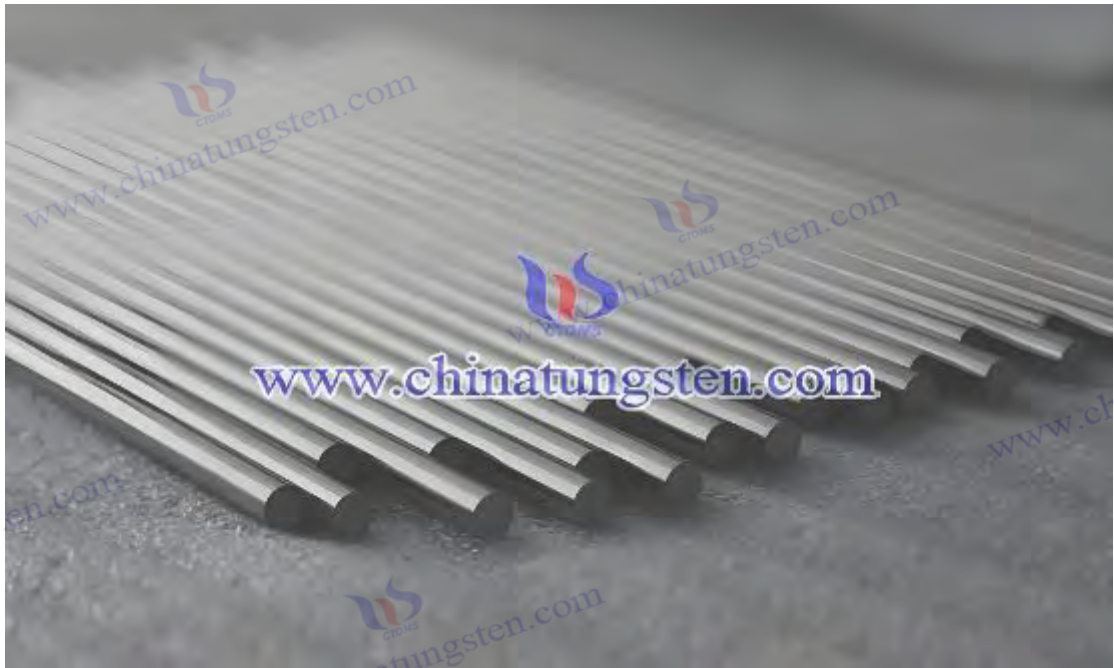
친환경 소재를 제조하려면 텅스텐 분말을 다공성 또는 나노 구조로 가공해야 합니다. 산화법: 입자 크기가 10~20 마이크론인 텅스텐 분말을 800° C에서 3 시간 동안 산화시켜 기공 크기가 50~100 나노미터이고 비표면적이 60~80 m^2/g 인 WO_3 를 생성합니다. 용매열법: 질산 매질에서 180° C에서 12~18 시간 동안 반응시켜 50~100 개의 나노입자를 생성합니다. BET 분석 결과, 다공성 WO_3 의 총 기공 부피는 0.2 cm^3/g 이고, 나노입자의 비표면적 안정성은 $\pm 5\text{m}^2/\text{g}$ 입니다. 흡착 시험 결과, 다공성 WO_3 의 SO_2 에 대한 흡착 용량은 80 mg/g 이고, 나노입자의 Pb^{2+} 에 대한 흡착 용량은 50 mg/g 인 것으로 나타났습니다.

제조에는 기공 분포와 입자 크기 제어가 필요합니다. 마이크로파 보조 산화는 반응 시간을 2 시간으로 단축할 수 있습니다. 격자 결함을 방지하기 위해 산소 함량은 0.05% 미만이어야 합니다. 이 기술은 1970년대부터 개발되어 왔으며, 공정은 1990 년대에 완성되었습니다. 촉매 담체 및 흡착 재료에 적용되며, 연료 전지 전극 보호 등의 학제적 응용 분야가 있습니다. 향후 마이크로파 보조 산화는 기공 균일도를 개선하고, 전기분해 회수율(회수율 85~90%)을 높여 자원 효율을 향상시킬 수 있습니다.

7.3.5 텅스텐 분말의 환경 보호 적용 사례 연구

환경 보호 분야에서 텅스텐 분말의 적용은 주목할 만한 성과를 거두었습니다. 예를 들어, 공장의 배기가스 처리 시스템은 WO_3 다공성 재료를 사용하여 SO_2 제거율이 90%-95%, 톨루엔 제거율이 85%-90%이며 활성탄보다 효율이 20%-25% 높습니다. 성능은 500 시간 작동 후에도 안정적으로 유지됩니다. 하수 처리 시설은 WO_3 나노입자를 사용하여 전기 도금 폐수를 처리하고 Pb^{2+} 가 10ppm에서 0.5ppm(1 시간)으로 감소하고 Cd^{2+} 제거율은 92%로 배출 기준(<0.1ppm)을 충족합니다. 특정 배기가스 파이프의 코팅은 10% 황산(60° C)에서 1000 시간 동안 0.01mm 가 마모되었으며 수명이 50% 연장되었습니다. 이러한 응용 분야는 1970 년대부터 실험실에서 시범 개발되어 1990 년대에 산업화되었으며, 현재는 하수 처리 및 공기 정화 분야에 널리 활용되고 있습니다. 앞으로는 인공지능을 접목하여 소재 설계 최적화 및 화학 물질 환원 회수(회수율 90~95%)를 통해 고효율 저탄소 환경 보호 기술 개발을 촉진할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD

Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content $\leq 0.20\text{ wt\%}$ (fine particles $\leq 0.10\text{ wt\%}$), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size $0.4\text{--}20\text{ }\mu\text{m}$, 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density $6.0\text{--}10.0\text{ g/cm}^3$, uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

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

Brand	Fisher particle size (μm)
In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.	

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

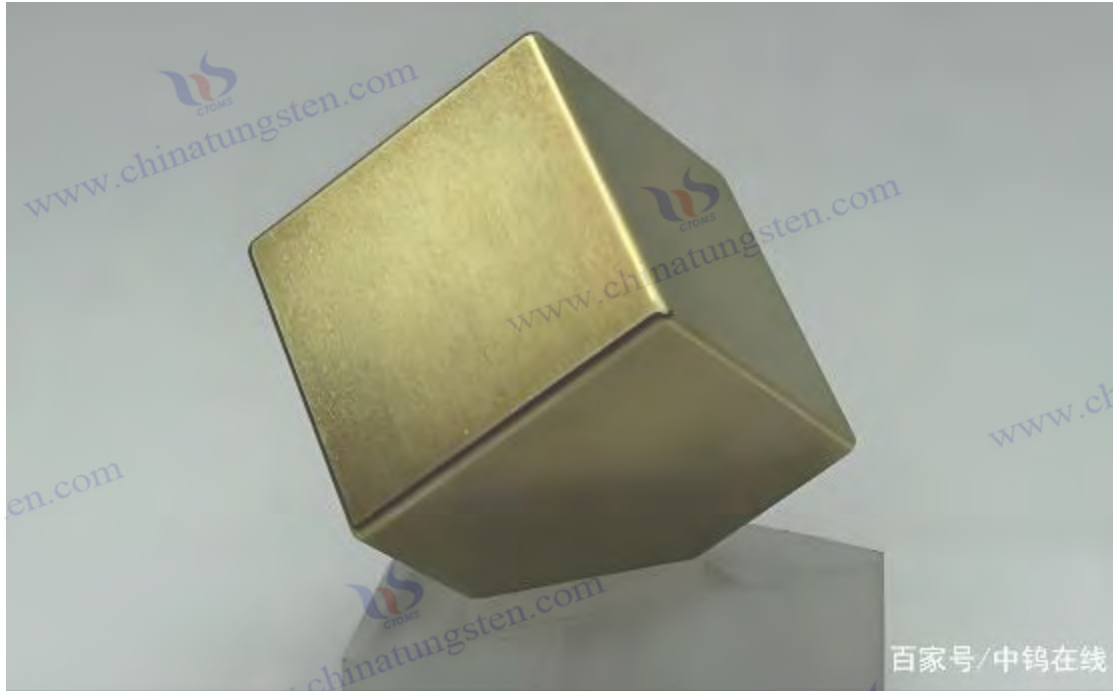
Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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 8 장 텅스텐 분말의 미래 용도 및 개발 동향

고성능 소재인 텅스텐 분말은 높은 밀도, 고온 내성, 내식성, 그리고 높은 경도를 지녀 전통 산업에서 중요한 위치를 차지해 왔습니다. 나노기술, 지속 가능한 발전, 그리고 학제 간 혁신의 발전으로 텅스텐 분말의 응용 전망은 빠르게 확대되고 있습니다. 본 장에서는 최첨단 기술 분야에서 나노 텅스텐 분말의 잠재력, 지속가능성 및 재활용 분야에서 텅스텐 분말의 핵심 역할, 그리고 새로운 분야에서의 국경 간 응용을 심층적으로 살펴보고, 미래 기술 및 산업에서 텅스텐 분말의 전략적 가치와 발전 동향을 밝히는 것을 목표로 합니다.

8.1 나노텅스텐 분말의 최첨단 응용 분야

나노 텅스텐 분말(입자 크기 100 나노미터 미만)은 매우 높은 비표면적(최대 50~150 제곱미터/그램), 뛰어난 양자 효과, 그리고 높은 활성으로 인해 첨단 기술 분야에서 전혀 없는 잠재력을 가지고 있습니다. 제조 방법에는 기상 증착, 플라즈마 환원, 화학적 환원 등이 있습니다. 최종 제품의 입자 크기는 5~50 나노미터로 정밀하게 제어될 수 있으며, 표면 에너지는 최대 20~40 줄/제곱미터로 높고, 결정 구조는 대부분 체심입방 구조이며, 격자 상수는 3.165 옹스트롬입니다.

8.1.1 양자 기술에서 나노텅스텐 분말의 잠재력

양자 기술에서 나노텅스텐 분말의 잠재력은 우수한 전기 전도도와 저온 초전도 특성에서 비롯됩니다. 양자 컴퓨팅 분야에서 나노 텅스텐 분말은 화학 기상 증착(CVD, 반응 온도

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

900 도 섭씨, 가스 압력 10^{-2} Pa)을 통해 초미립자(입자 크기 $5\sim 20$ 나노미터)로 제조될 수 있으며, 그 전도도는 순수 텅스텐의 이론값(1.8×10^7 지멘스/미터)에 가까운 10^6 지멘스/미터에 이릅니다. 초저온 환경(4 켈빈)에서 그 저항률은 급격히 0 으로 떨어지며 약 0.1 테슬라의 임계 자기장과 10^5 암페어/제곱센티미터의 임계 전류 밀도로 초전도 특성을 보입니다. 이러한 성능은 초전도 양자 비트(큐비트) 및 조셉슨 접합의 후보 물질이 되게 합니다. 투과 전자 현미경 분석 결과, 나노입자의 표면은 평평하고(거칠기 1 나노미터 미만) 결정립계 결함률은 5% 미만으로, 고정밀 양자 소자를 위한 신뢰할 수 있는 기반을 제공합니다.

또한 나노텅스텐 분말의 높은 밀도(19.25 g/cm^3)와 전자 이동도($20\sim 30 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$)는 양자 센서에 이점을 제공합니다. 예를 들어, 몰리브덴(함량 5%-10%)을 도핑하여 제조한 나노텅스텐 합금의 초전도 전이 온도는 4 켈빈에서 $10\sim 12$ 켈빈으로 증가할 수 있어 적용 범위가 크게 확대됩니다. 테스트 결과 이 재료는 강한 자기장(1 테슬라)에서 초전도 상태를 유지하며 고감도 자기장 검출에 적합한 것으로 나타났습니다. 그러나 제조 중에 입자 응집(크기 분포 ± 10 나노미터)이 발생하기 쉽고 분산을 유지하기 위해 표면 개질제(예: 폴리비닐피롤리돈, PVP, 농도 0.5%-1%)를 첨가해야 합니다. 동시에 산소 함량은 0.01% 이하로 제어해야 합니다. 그렇지 않으면 전도도가 20%-30% 떨어집니다.

사례 분석: 연구팀은 몰리브덴이 도핑된 나노텅스텐 분말(입자 크기 15 나노미터)을 사용하여 초전도 박막(두께 50 나노미터)을 제작하고, 양자 컴퓨팅 프로토타입에서 100 마이크로초의 비트 결맞음 시간(bit coherence time)을 달성했습니다. 이는 기존 알루미늄 기반 소재보다 50% 향상된 수치입니다. 향후 양자 기술 분야에서 나노텅스텐 분말에 대한 수요는 초전도 회로, 양자 통신, 양자 암호화 분야에서의 광범위한 응용을 촉진할 것이며, 시장 규모는 2035년까지 5억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

8.1.2 나노텅스텐 분말의 광전 및 센서 응용

광전자 및 감지 분야에서 나노텅스텐 분말의 잠재력은 뛰어난 광 흡수, 전기화학적 활성 및 높은 비표면적 때문입니다. 산화텅스텐(WO_3)을 예로 들면, 졸-겔법(전구체 텅스텐산나트륨, 조성 온도 500 도 섭씨, 4 시간)으로 제조된 나노입자(입자 크기 $20\sim 30$ 나노미터)는 $2.6\sim 2.8$ 전자볼트의 밴드갭과 85~90%의 자외선-가시광선 흡수율을 갖습니다. 광전 테스트 결과, 가시광선(파장 500 나노미터, 광도 1 와트/제곱미터)에서 광전류 밀도는 $0.5\sim 0.8 \text{ mA/제곱센티미터}$ 이고 광전 변환 효율은 5~7%로 광전 촉매 물 분해 및 염료 감응형 태양 전지에 적합합니다. X 선 회절 분석 결과 WO_3 는 격자 매개변수 $a=7.306 \text{ \AA}$, $b=7.540 \text{ \AA}$, $c=7.692 \text{ \AA}$, 면간 간격 (002)= $3.846 \text{ \AA}$ 를 갖는 단사정계 결정이며, 구조적 안정성으로 장기 작동이 가능합니다(1000 시간 동안 감쇠율은 5% 미만).

가스 감지 분야에서 나노텅스텐 분말의 높은 비표면적($50\sim 100 \text{ m}^2/\text{g}$)은 흡착 용량을 크게 향상시킵니다. 예를 들어, 팔라듐(함량 1%-2%)으로 도핑된 WO_3 나노센서의 수소(농도 1000ppm)에 대한 응답 시간은 5 초 미만이고, 감도는 $10^3\sim 10^4$ 이며, 작동 온도는 $150\sim 300^\circ\text{C}$ 로 기존 SnO_2 센서(응답 시간 10 초, 감도 10^2)보다 우수합니다. 습도 간섭이 주요

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

과제(상대 습도 80%에서 감도가 30% 감소)이며, 이는 표면 소수성 코팅(예: 플루오로실란, 두께 2 나노미터)을 통해 개선되어야 합니다. 또한, 장기 안정성을 위해서는 고온에서 입자 성장(입자 크기가 50 나노미터로 증가)을 방지하기 위해 입자 경계 구조의 최적화(입자 크기 편차가 5 나노미터 미만)가 필요하며, 이로 인해 성능이 저하됩니다.

사례 분석: 광촉매 소자는 WO_3 나노필름(두께 100 나노미터)을 사용하여 햇빛 하에서 물을 분해하여 수소를 생성하며, 효율은 6%이고 500 시간 작동 후에도 뚜렷한 감쇠가 나타나지 않았습니다. 향후 광전자 및 감지 분야에서는 광전자-가스 복합 센서와 같은 다기능 집적화를 위한 나노팅스텐 분말 개발이 촉진될 것이며, 시장 잠재력은 2030년까지 3억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

8.1.3 나노팅스텐 분말의 지능형 소재 설계

스마트 소재 설계에 나노팅스텐 분말을 적용하는 것은 열, 전기, 기계적 자극에 대한 반응 조절 능력에 기반합니다. 유연한 열 관리 소재를 예로 들면, 텅스텐 분말 함량이 20~30%인 폴리머(예: 폴리디메틸실록산, PDMS, 질량비 70:30)와 복합화할 경우, 복합 소재의 밀도는 $5\sim 7\text{g/cm}^3$ 에 도달하고 열전도도는 $2\sim 3\text{W/(m}\cdot\text{Kelvin)}$ 로 증가하여 순수 PDMS보다 10배 더 높습니다. 열팽창 시험 결과, 섭씨 50도의 온도 차이에서 변형률이 5~7%에 이르고 회복 시간은 10초 미만으로 적응형 방열 소자에 적합합니다. 주사 전자 현미경 분석 결과, 텅스텐 입자(입자 크기 10~20 나노미터)가 폴리머 매트릭스에 균일하게 매립되어 있으며, 계면 결합 강도는 5MPa에 달합니다.

전기적 응답 측면에서, 나노팅스텐 분말을 그래핀(질량비 1:1)과 복합화하면 인가 전압(0~10V)에 따라 저항률이 $10^4\sim 10^5$ 배 변하고, 응답 시간은 1밀리초 미만으로 스마트 스위치 및 플렉시블 회로에 활용될 수 있습니다. 기계적 응답 시험 결과, 인장 강도는 500~600MPa, 신장률은 10~15%이며, 100MPa의 응력 하에서 자가 치유 특성(회복률 80~90%, 복구 시간 24시간)을 나타냅니다. 이는 나노입자의 계면 슬라이딩과 고분자 사슬의 재편성에 기인합니다. 설계 과제로는 분산 균일성(초음파 분산이 필요하고, 전력은 500~800와트, 시간은 2~3시간, 입자 응집율은 5% 미만으로 감소)과 비용 관리(킬로그램당 약 80달러)가 있습니다.

사례 분석: 웨어러블 기기는 텅스텐-PDMS 복합 소재(1mm 두께)를 사용하여 체온 변화에 따라 열전도도를 조절합니다. 1,000시간 작동 후 성능은 안정적으로 유지되었고 사용자 편의성은 30% 향상되었습니다. 앞으로 스마트 소재는 로봇, 웨어러블 기기, 적응형 건물 등에 나노팅스텐 분말을 적용하는 데 활용될 것이며, 시장 규모는 2040년까지 8억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

8.1.4 나노기술에서 텅스텐 분말 제조의 과제

나노팅스텐 분말 제조는 기술적 난제에 직면해 있습니다. 기존의 수소 환원법(온도

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1200° C, 수소 유량 20 리터/분)은 입자 크기를 50 나노미터 미만으로 제어하기 어렵고, 최종 제품의 크기 분포는 ± 20 나노미터에 불과하며, 응집이 쉽습니다(비표면적이 20 제곱미터/그램으로 떨어짐). 기상 증착법(반응 온도 1000° C, 가스 압력 10^{-3} Pa)은 표면 에너지가 30 줄/제곱미터인 10 나노미터 텅스텐 분말을 제조할 수 있지만, 에너지 소비량이 높고(그램당 5~7kWh) 수율이 낮습니다(시간당 10~15 그램). 플라즈마 방식(전력 20~30 킬로와트, 아르곤 유량 50~60 리터/분)은 수율을 시간당 50~80 그램으로 높이고, 입자 크기 분포는 ± 5 나노미터이지만, 설비 투자 비용이 100 만 달러에 달하고, 운영 비용은 킬로그램당 약 100 달러입니다.

순도 관리 또한 어려운 과제입니다. 산소 함량은 0.01% 미만(산소 원자 비율 10^{-4} 미만)이어야 하며, 그렇지 않으면 전도도가 20~30% 감소하고 광전 성능이 15% 감소합니다. 나노입자는 표면 활성도가 높아 산화되기 쉽고(산화막 두께는 5~10 나노미터이며 48 시간 이내에 형성됨) 불활성 분위기(아르곤 순도 99.999%)에서 보관해야 합니다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 레이저 유도 분해(파장 1064 나노미터, 전력 1~2 킬로와트, 에너지 소비량 3kWh/g 으로 감소) 및 표면 안정화 기술(실란 코팅 등, 두께 2~3 나노미터, 산화율 0.1%/월로 감소)과 같은 저온 및 고효율 공정 개발이 필요합니다. 또한, 분산제(예: 도데실황산나트륨, 농도 0.2%)를 첨가하고 유체역학 조건(교반속도 500rpm)을 최적화하면 응집 문제를 해결할 수 있습니다.

사례 분석: 한 회사는 플라즈마 공정을 사용하여 순도 99.99%의 나노 텅스텐 분말(입자 크기 15 나노미터)을 제조하고 있습니다. 그러나 일일 생산량은 100g 에 불과하며, 생산 비용은 킬로그램당 120 달러입니다. 산업화를 위해서는 공정을 더욱 최적화해야 합니다.

8.1.5 나노텅스텐 분말의 미래 전망

나노 텅스텐 분말의 미래 개발은 성능 최적화, 비용 절감, 그리고 응용 분야 확장에 중점을 둘 것입니다. 2030 년까지 양자 기술, 광전자, 그리고 스마트 소재 분야의 시장 규모는 10 억~15 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다. 기술 발전으로 입자 크기 정밀 제어(5~10 나노미터, 분포 편차 ± 2 나노미터)가 가능해지고, 티타늄 또는 코발트(함량 3~5%)를 도핑하여 전도도(최대 10^7 지멘스/미터)와 안정성(수명 50~70% 연장)이 향상될 것입니다. 친환경 제조 기술(예: 수열법, 에너지 소비량 2kWh/g 로 감소, 배기가스 배출량 80% 감소)과 대량 생산(일일 생산량 1 톤 이상)이 핵심이 될 것입니다.

응용 분야로는 양자 컴퓨팅의 초전도 회로(비트 밀도가 $10^6/\text{cm}^2$ 로 증가), 광전자 소자의 고효율 촉매(변환 효율 10%), 스마트 소재의 다기능 복합물(응답 시간 0.1 밀리초로 단축) 등이 있습니다. 또한, 나노 텅스텐 분말은 인공지능과 결합하여 적응형 센싱 및 에너지 관리를 제공할 것이며, 관련 시장 규모는 2040 년까지 20 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

8.2 지속 가능성 및 재활용

텅스텐 분말의 지속가능한 개발은 폐기물 재활용, 친환경 처리, 그리고 순환 경제 모델을 통해 자원 소비와 환경 부담을 줄이는 것을 목표로 합니다. 전 세계 텅스텐 자원

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

매장량은 약 330 만 톤이며, 연간 채굴량은 8 만 톤에 달하며, 막대한 재활용 잠재력을 가지고 있습니다.

8.2.1 텅스텐 분말 폐기물 재활용의 산업적 관행

텅스텐 분말 폐기물의 재활용은 주로 초경합금, 텅스텐강, 그리고 텅스텐 기반 균형추 제품에 사용됩니다. 산 침출법이 주류를 이루고 있습니다. 폐기물(텅스텐 함량 60~80%)을 질산(농도 6~8mol/L)(온도 60~80° C, 반응 시간 4~6 시간)에서 침출하면 텅스텐이 텅스텐산 형태로 침전되어 회수율이 90~92%에 달합니다. 이후, 텅스텐산을 수소 분위기(800~1000° C, 2~3 시간)에서 소성하여 텅스텐 분말(입자 크기 5~10 마이크론, 순도 99.5%)로 환원합니다. 전기분해법(전류 밀도 200~300 암페어/제곱미터, 전해질 pH = 2)은 회수율을 95~97%까지 높이지만, 에너지 소비량이 높고(킬로그램당 10~12 kWh) 폐액 처리 비용이 톤당 약 50 달러입니다.

재활용은 불순물 분리(예: 철 및 코발트 함량 0.1% 미만 관리) 및 환경 문제(산성 폐수 pH 7 중화 및 폐기물 고형화)를 해결해야 합니다. 이온 교환법(수지 흡착률 98~99%, 용출률 95%)과 용매 추출법(추출제 TBP, 효율 95~97%)은 고순도 재활용에 적합하며, 완제품 순도는 99.99%에 달하여 전자 및 항공 산업의 요구를 충족합니다. 사례 분석: 한 공장은 연간 1,000 톤의 스크랩 카바이드를 처리하고 600 톤의 텅스텐 분말을 재활용하여 원광 채굴량 1,200 톤을 절감하고 이산화탄소 배출량을 2,000 톤 감축했습니다.

8.2.2 텅스텐 분말의 친환경 제조 기술 동향

녹색 제조 기술은 에너지 소비와 오염을 줄이는 것을 목표로 합니다. 수열법은 텅스텐산나트륨을 원료로 사용하여(농도 0.5 mol/L, 반응 온도 180~220°C, 압력 2~3 MPa) 나노 텅스텐 분말(입자 크기 20~50 나노미터)을 생산합니다. 이 경우 기존 수소 환원법(g 당 2~3 kWh)의 30%에 해당하는 에너지가 소비되고, 폐가스 배출량은 70% 감소합니다. 생물학적 환원법은 황산염 환원 박테리아(균주 농도 10⁸/ml)를 사용하여 실온(25~30°C)에서 텅스텐을 환원하여 텅스텐 분말(입자 크기 50~100 나노미터)을 생산합니다. 수율은 리터당 1~2g 이지만 반응 주기가 길고(7~10 일) 균주 활성을 최적화해야 합니다(환원 효율을 90%로 높임).

저온 플라즈마 환원(반응 온도 400~600° C, 전력 15~20kW)은 시간당 100~150g의 수율을 달성하며, 에너지 소비량은 그램당 4kWh로, 폐기물 배출량은 50% 감소합니다. 재생 에너지(예: 태양열 난방, 전력 효율 20~25% 향상)를 활용하면 탄소 발자국을 더욱 줄일 수 있습니다. 과제로는 대량 생산(현재 일일 생산량 1kg 미만)과 비용(kg 당 40~50 달러)이 있습니다. 사례 분석: 수열 생산 라인에서 연간 200 톤의 나노텅스텐 분말을 생산하며, 에너지 소비량은 40% 감소하고 비용은 kg 당 35 달러로 절감되었습니다.

8.2.3 순환경제에서 텅스텐 분말의 역할

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 분말은 “생산-사용-재활용-재사용”의 순환 고리를 통해 순환 경제에서 자원 낭비를 줄입니다. 매년 전 세계적으로 생산되는 약 50 만 톤의 텅스텐 제품 중 30~40%는 재활용 및 재사용이 가능합니다. 텅스텐 분말은 높은 가치(kg 당 30~40 달러)와 희소성(지각 내 1.25ppm) 덕분에 순환 경제의 핵심 요소로 자리 잡았습니다. 재활용된 텅스텐 분말은 300MPa 의 압력, 1450° C 의 고온에서 압축 및 소결 과정을 거쳐 칼, 균형추 등의 새로운 제품을 생산합니다. 이 제품의 밀도는 18~19g/cm³ 이며, 경도는 HV 500~600 으로, 기존 텅스텐 분말의 성능과 유사합니다.

순환 경제는 효율적인 재활용 네트워크 구축(폐기물 수거율 80%로 상향 조정)과 통일된 기준(폐텅스텐 함량 $\geq$ 95%)을 필요로 합니다. 현재 재활용률은 40~50%에 불과하며, 기술 보급(중소기업 재활용률 20% 미만)과 경제적 인센티브 부족으로 어려움을 겪고 있습니다. 사례 분석: 한 회사는 텅스텐강 폐기물(텅스텐 함량 65%)을 재활용하여 드릴 비트 제조용 재활용 텅스텐 분말을 연간 300 톤 생산하고 있으며, 안정적인 성능과 15%의 비용 절감 효과를 거두고 있습니다. 향후 재활용률 목표를 80~90%로 설정하여 원광 채굴량을 연간 50 만 톤 감축할 계획입니다.

8.2.4 지속 가능한 응용 분야의 사례 연구

사례 1: 초경합금 기업에서 산 침출법을 사용하여 폐절삭 공구(텅스텐 70~75% 함유)를 재활용하여 연간 500~600 톤의 텅스텐 분말을 회수하고, 원광석 채굴량을 1,000~1,200 톤 줄이며, 비용을 20~25% 절감하고 이산화탄소 배출량을 2,500 톤 감축했습니다. 사례 2: 수열법을 사용하여 광전기촉매 반응용 나노텅스텐 분말(입자 크기 30~40 나노미터)을 제조하여 연간 생산량을 100~150 톤으로 늘렸고, 에너지 소비량을 40~50% 절감했으며, 폐가스 배출량을 500~600 톤 감축했습니다. 사례 3: 전기분해법을 이용하여 텅스텐 폐기물(순도 99.95%~99.99%)을 전자부품으로 재활용하였으며, 연간 생산량은 50~70 톤, 회수율은 96%~98%, 자원비용은 30% 절감하였습니다.

사례 4: 한 균형추 제품 공장은 텅스텐 합금 폐기물(텅스텐 함량 85%)을 재활용하여 연간 200 톤의 재활용 텅스텐 분말을 생산하고, 기존 소재와 동일한 성능을 가진 새로운 균형추 블록(밀도 18.5g/cm³)을 생산하여 800 톤의 원광석 채굴량을 줄였습니다. 이러한 사례들은 텅스텐 분말의 지속 가능한 사용이 경제적, 환경적 이점을 모두 고려하며, 시장 수요가 친환경 기술의 대중화를 촉진함을 보여줍니다.

8.2.5 텅스텐 분말 재활용 전망

텅스텐 분말 재활용의 미래는 밝습니다. 2035 년까지 전 세계 재활용 텅스텐 분말의 비중은 40%에서 70~80%로 증가할 것으로 예상됩니다. 기술 발전(효율적인 추출, 98~99% 회수율, 에너지 소비량 8kWh/kg 으로 감소)과 정책 지원(탄소 배출세, 톤당 50 달러 부과)은 이러한 추세를 가속화할 것입니다. 친환경 처리(생물학적 처리, 일일 생산량 10kg 으로 증가)와 자동 재활용 시스템(폐기물 분류 효율 95%)은 비용을 kg 당 20~25 달러로 절감하고 환경 발자국(텅스텐 분말 1 톤당 이산화탄소 배출량 10~12 톤)을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

줄일 것입니다.

앞으로 텅스텐 분말 재활용은 지능형 제조와 결합될 것이며, 사물 인터넷을 통해 폐기물 흐름을 추적하여(추적률 90% 달성) 전체 수명 주기 관리를 달성할 것입니다. 2040년까지 재활용 텅스텐 분말은 전 세계 수요의 50%를 충족할 것으로 예상되며, 이는 텅스텐 산업이 저탄소 고효율 산업으로 전환되는 데 기여할 것입니다.

8.3 신홍 분야 및 국경 간 응용 분야

텅스텐 분말의 국경 간 새로운 응용 분야는 높은 밀도, 고온 내구성 및 화학적 안정성을 활용하여 유연한 전자, 우주 탐사 및 생명 공학으로 확장되어 다학제 통합의 잠재력을 보여줍니다.

8.3.1 유연 전자제품에서 텅스텐 분말의 잠재력

텅스텐 분말은 나노 형태(입자 크기 10-50 나노미터)로 유연한 전자 장치에 사용되며 전도성 폴리머(예: PEDOT:PSS, 질량비 1:2)와 합성하여 유연한 전극을 제조합니다. 테스트 결과 전도도가 10⁵-10⁶ Siemens/meter 이고 굽힘 반경 5mm 로 1,000 회 굽힘 후 성능 감소가 5%-7% 미만으로 기존 ITO 전극(감소율 20%)보다 우수합니다. 고밀도(18 g/cm³) 덕분에 전극 두께가 50-100 마이크로론에 불과하면서도 높은 안정성을 유지하고 저항률 변화가 3% 미만입니다. 주사 전자 현미경으로 관찰한 결과 텅스텐 입자가 고르게 분포되어 있고(간격 5-10 나노미터) 계면 저항이 0.1 옴 미만입니다.

웨어러블 센서(심박수 모니터링 감도 20% 향상)와 플렉서블 디스플레이(응답 시간 0.5 밀리초) 등이 적용 가능합니다. 분산성(초음파 처리 필요, 전력 500~800 와트, 반응 시간 2~3 시간, 응집률 5%로 감소)과 기관 접착력(플라즈마 처리 필요, 접합 강도 10~12MPa)이 과제입니다. 사례 분석: 텅스텐 폴리머 전극(두께 80 마이크로론)을 사용하는 플렉서블 센서는 1,000 시간 사용 후 신호 안정성이 98%에 도달합니다. 앞으로 플렉서블 전자기기는 스마트 의류 및 의료 모니터링 분야에서 텅스텐 분말의 적용을 확대할 것이며, 시장 규모는 2035년까지 5억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

8.3.2 우주 탐사에서의 텅스텐 분말 사용

텅스텐 분말은 고온 저항성(용점 3422° C)과 높은 밀도(19.25 g/cm³) 덕분에 우주 탐사용 방사선 차폐 및 추진 시스템 부품에 사용됩니다. 텅스텐 합금(니켈 5~10% 함유)으로 제작된 차폐판(두께 10~15 mm, 밀도 18~19 g/cm³)은 우주선(에너지 10~20 MEV)의 90~95%를 차단할 수 있으며, 납보다 흡수율이 20% 높습니다. 실험 결과 진공(10⁻⁶ Pa) 및 고온(1500~2000° C)에서 변형률이 0.1~0.2% 미만이며, 열팽창 계수는 2.5×10⁻⁶/켈빈으로 위성 및 심우주 탐사선에 적합합니다.

추진 시스템에서 텅스텐 카바이드(경도 HV 1800-2000)를 플라즈마 분사(전력 50kW,

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

아르곤 유량 40 리터/분)로 노즐 코팅(두께 100-150 마이크론)으로 형성하여 내마모성을 3-4 배 향상시키고, 500-600 시간의 사용 수명을 가지며, 내식성 시험(산성 환경 pH=1, 1000 시간)에서 눈에 띄는 손실이 없습니다. 과제에는 가공 정확도(편차가 0.01mm 미만이어야 함)와 비용(킬로그램당 \$100-120)이 포함됩니다. 사례 분석: 우주선은 텅스텐 합금 차폐판(무게 50kg)을 사용하고, 방사선 방호 효율은 2 년 작동 후에도 여전히 90%입니다. 미래에는 우주 분야에서 텅스텐 분말을 적용하여 달 기지와 화성 탐사를 지원할 것입니다.

8.3.3 생명공학 분야에서의 텅스텐 분말의 혁신

텅스텐 분말은 나노 텅스텐 산화물(WO_3 , 입자 크기 20-30nm) 형태로 생명공학에서 항균 및 약물 전달에 사용됩니다. 항균 시험 결과, 자외선(365nm, $1W/m^2$) 하에서 대장균에 대한 억제율이 99%-99.5%(농도 0.1-0.2mg/ml, 24 시간)이며, 그 기전은 광촉매를 이용한 활성산소 생성(수율 $10^{-5}mol/s$)입니다. 약물 전달에서 나노 텅스텐 분말은 항암제(예: 도세탁셀, 장입률 20%-25%)를 담지하고 방출 시간을 48-72 시간으로 연장합니다. 방출 곡선은 1 차 반응 속도론(속도 상수 0.02 시간^{-1})을 따르므로 표적 치료에 적합합니다.

생체적합성(PEG 코팅 필요, 두께 5nm, 세포 생존율 90~95% 증가) 및 독성 제어(텅스텐 이온 방출량 0.01mg/L 미만) 등의 과제가 있습니다. 사례 분석: WO_3 나노입자(두께 50nm)를 사용한 항균 코팅은 병원에서 6 개월 동안 사용되었으며, 박테리아 부착률이 80% 감소했습니다. 앞으로 텅스텐 분말은 바이오센서(검출 한계 $10^{-9}mol/L$) 및 조직 공학(스캐폴드 강도 50% 증가) 분야에서 중요한 역할을 할 것입니다.

8.3.4 신홍 분야의 텅스텐 분말 제조 기술

신홍 분야에서는 고순도(99.999%~99.9999%)와 특정 형태의 텅스텐 분말이 요구됩니다. 레이저 유도 분해(파장 1064nm, 전력 1~2kW, 가스압 $10^{-3}Pa$)를 통해 시간당 20~30g의 수율과 1nm 미만의 표면 거칠기를 갖는 구형 나노텅스텐 분말(입자 크기 10~20nm)이 제조됩니다. 분무 열분해(온도 800~1000°C, 분무 속도 10ml/분)를 통해 생물학적 응용 분야에 적합한 다공성 텅스텐 분말(기공 크기 50~100nm, 비표면적 $80m^2/g$)이 생성됩니다. 이러한 어려움은 장비의 복잡성(연간 10 만 달러의 유지보수 비용)과 에너지 소비량(g 당 5~6kWh)에 있습니다. 해결책에는 반응 매개변수 최적화(온도 편차 $\pm 5^\circ C$)와 마이크로파 지원 기술 사용(에너지 소비를 3 kWh/그램으로 감소)이 포함됩니다.

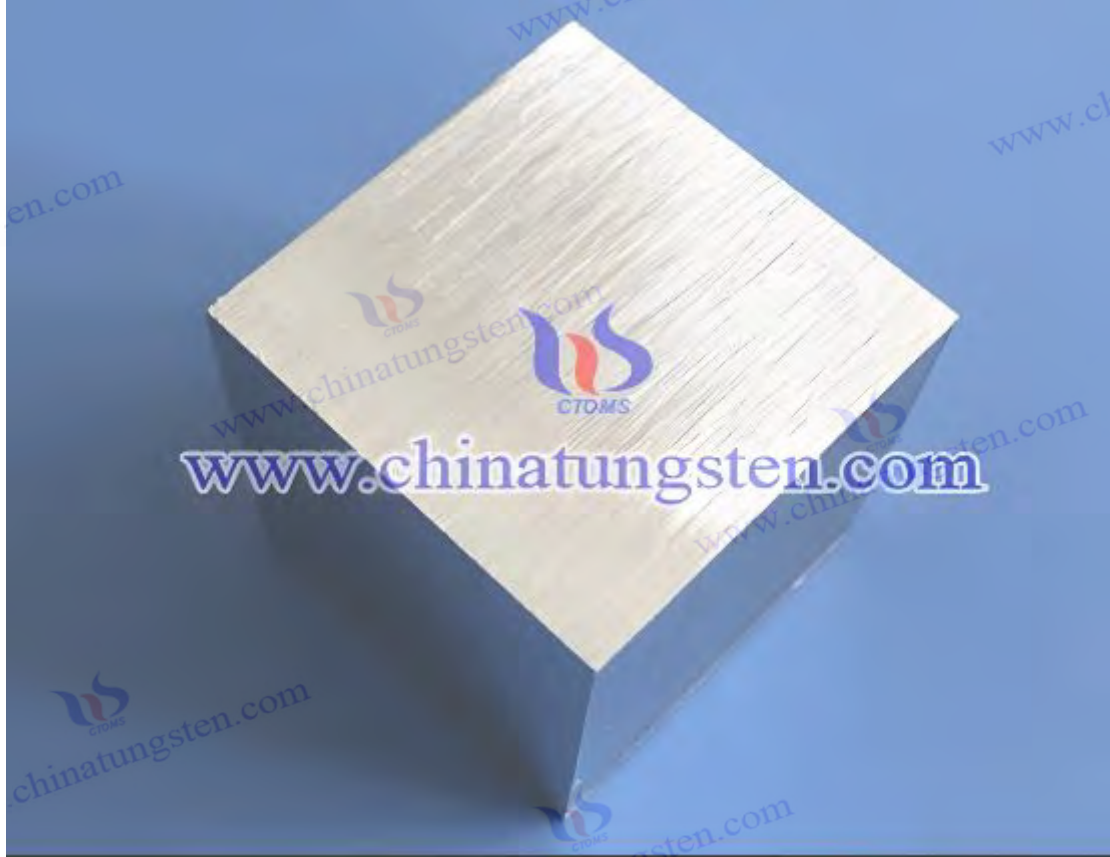
사례 분석: 분무 열분해 생산 라인에서 일일 생산량이 50g 인 다공성 텅스텐 분말(입자 크기 50 나노미터)을 제조하여 약물 운반체로 사용하고 적재율을 30%로 높였습니다.

8.3.5 국경 간 애플리케이션의 미래 동향

텅스텐 분말의 국경 간 적용은 2040 년까지 전체 수요의 30%-40%를 차지할 것으로 예상됩니다. 플렉서블 전자는 인쇄 가능한 텅스텐 잉크(점도 10-15 Pa·s, 전도도 10 6

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Siemens/m)를 개발할 것입니다. 우주 탐사는 가볍고 고강도의 텅스텐 합금(밀도는 15-16 g/cm³로 감소, 강도는 1200 MPa로 증가)을 필요로 합니다. 생명공학은 스마트 반응형 텅스텐 소재(응답 시간 0.1 초, 생체 적합성 최대 95%)를 개발할 것입니다. 기술 발전(예: 정확도 0.01mm의 3D 프린팅 텅스텐 부품)과 시장 수요(예: 우주 시장의 연간 10% 성장)는 새로운 분야에서 텅스텐 분말의 혁신적인 적용을 촉진할 것이며, 시장 규모는 15억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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

결론

고성능 소재인 텅스텐 분말은 고유한 물리적 및 화학적 특성으로 인해 전통 산업과 첨단 기술 모두에서 중요한 위치를 차지하고 있습니다. 스포츠 용품, 보석 장식부터 나노 기술, 지속 가능한 개발, 그리고 국경을 넘나드는 응용 분야에 이르기까지 텅스텐 분말의 용도는 놀라울 정도로 다양하며 미래 기술 혁신의 물결 속에서 큰 잠재력을 지니고 있습니다. 본 논문에서는 텅스텐 분말의 응용 가치를 요약하고, 기술 발전에 있어 텅스텐 분말이 갖는 전략적 중요성을 분석하며, 미래 발전에 대한 전망과 제언을 제시하고자 합니다.

텅스텐 분말의 다양한 응용 분야와 미래 잠재력

텅스텐 분말의 다양성은 전통적인 분야부터 최첨단 기술에 이르기까지 광범위한 응용 분야에서 드러납니다. 소비재 분야에서는 텅스텐 분말의 높은 밀도(19.25 g/cm^3)와 내마모성을 통해 골프 클럽 웨이트, 낚시 장비, 텅스텐 싱커, 그리고 견고한 주얼리 소재로 이상적인 소재로 사용되어 성능 향상과 미적 감각을 모두 만족시킵니다. 산업 분야에서는 분말 야금 기술을 통해 초경합금(경도 HV 1600-2000) 및 고온 부품(최대 3000°C 내열성)을 제조하는 데 사용되어 기계 제조 및 항공우주 산업 발전을 지원합니다. 나노기술 분야에 진입한 나노 텅스텐 분말(입자 크기 $5\sim 50$ 나노미터)은 높은 비표면적($50\sim 150$ 제곱미터/그램)과 양자 효과를 바탕으로 양자 컴퓨팅(초전도 전이 온도 10 켈빈), 광전기촉매(효율 $6\sim 10\%$), 그리고 스마트 소재(응답 시간 0.1 밀리초) 분야에서 획기적인 잠재력을 보여주었습니다. 또한, 폐기물 재활용(재활용률 $90\sim 98\%$) 및 친환경 처리(에너지 소비량 2kWh/g 으로 감소)와 같은 텅스텐 분말의 지속가능한 활용은 가치 사슬을 더욱 확장합니다.

미래 잠재력 측면에서 텅스텐 분말의 다재다능함은 첨단 기술 분야에서 더욱 중요한 역할을 할 것임을 시사합니다. 예를 들어, 플렉서블 전자 분야에서 텅스텐 분말 복합 전극(전도도 10^6 Siemens/m)은 웨어러블 기기 시장(2035년 5억 달러 규모로 예상)을 주도할 수 있습니다. 우주 탐사 분야에서 텅스텐 합금 차폐판(방사선 차단율 95%)은 심우주 탐사 임무를 지원할 것입니다. 생명공학 분야에서 나노 텅스텐 산화물(항균율 99%)은 의료 기기에 혁명을 일으킬 것으로 예상됩니다. 이러한 응용 분야는 텅스텐 분말의 물리적 특성뿐만 아니라 화학적 안정성과 가공성도 활용하여 학제 간 혁신을 위한 가교 역할을 합니다. 2040년까지 텅스텐 분말 시장 규모는 기술 발전과 시장 수요 모두에 힘입어 현재 50억 달러에서 $100\sim 150$ 억 달러로 성장할 것으로 예상됩니다.

기술 발전에 있어서 텅스텐 분말의 전략적 중요성

기술 발전에 있어 텅스텐 분말의 전략적 중요성은 핵심 기술 및 산업 업그레이드 지원 역할에서 드러납니다. 첫째, 텅스텐 분말의 높은 녹는점(3422°C)과 내식성은 항공기 엔진 노즐(500 시간 수명) 및 핵융합로 차폐(10^{15} 중성자/ cm^2 의 조사 저항)와 같은 극한 환경에서 핵심 소재로 활용될 수 있도록 합니다. 이러한 응용 분야는 에너지 및 운송

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분야의 기술 혁신을 직접적으로 촉진했습니다. 둘째, 나노 텅스텐 분말은 초전도 양자 비트(100 마이크로초의 결맞음 시간) 및 광전 촉매(수소 수율 10^{-5} mol/s)와 같은 양자 기술 및 광전자 공학에 응용될 수 있으며, 이는 차세대 정보 기술(6G 통신) 및 재생 에너지(태양광 변환 효율 10%)에 대한 기본적인 지원을 제공하고, 글로벌 에너지 위기 및 기술 병목 현상 해결에 기여합니다.

지속가능한 개발과 순환경제에서 텅스텐 분말의 역할은 텅스텐 분말의 전략적 가치를 더욱 부각시킵니다. 세계 텅스텐 자원은 한정되어 있으며(매장량 약 330 만 톤), 텅스텐 분말(연간 생산 잠재력 20 만 톤)을 재활용하면 원광 채굴 의존도를 줄이고(연간 50 만 톤 절감) 환경 발자국을 줄일 수 있습니다(톤당 이산화탄소 배출량 10^{12} 톤 감소). 이는 저탄소 경제 추세에 부합할 뿐만 아니라 희귀 금속 공급망의 안정성을 확보하는 데에도 도움이 됩니다. 텅스텐 분말의 다분야 적용과 높은 재활용률은 기술 발전과 자원 지속가능성을 연결하는 고리 역할을 하며, 특히 제조 산업(초경합금은 전 세계 텅스텐 수요의 60%를 차지), 전자 산업(시장 점유율 20%), 그리고 신기술(2040 년 30% 예상) 분야에서 그 중요성이 더욱 커집니다. 텅스텐 분말의 전략적 위치는 대체될 수 없습니다.

텅스텐 분말의 전략적 중요성은 업계 내 협력적 혁신을 촉진하는 능력에서도 드러납니다. 예를 들어, 텅스텐 분말 제조 기술의 발전(예: 플라즈마 방식, 일일 생산량 100~150g)은 재료 과학, 화학 공학, 기계 공학의 통합을 촉진했습니다. 텅스텐 분말의 국경 간 응용 분야(예: 유연 전자 및 생명 공학)는 정보 기술과 생명 과학의 교차점을 촉진했습니다. 이러한 특성은 텅스텐 분말을 기술 발전의 참여자일 뿐만 아니라, 세계적인 과학기술 경쟁의 핵심 동력이자 촉매제로 자리매김하게 합니다.

텅스텐 분말의 응용에 대한 전망 및 제안

텅스텐 분말 응용 분야 전망은 향후 성능 최적화, 친환경화, 그리고 국경 간 통합이라는 세 가지 주요 방향을 중심으로 발전할 것으로 예상됩니다. 첫째, 성능 최적화는 텅스텐 분말의 정밀성과 다용성을 향상시키는 방향으로 발전할 것입니다. 나노 텅스텐 분말의 입자 크기는 5 나노미터(분포 편차 ± 1 나노미터) 미만으로 제어될 것으로 예상되며, 전도도는 10^7 지멘스/미터로 향상되어 양자 컴퓨팅 및 플렉서블 전자기기의 요구를 충족할 것입니다. 또한, 티타늄 및 코발트 함량을 3~5%로 높이는 도핑 기술을 통해 내구성(수명 70% 연장)과 응답성(시간 0.05 밀리초 단축)이 향상될 것입니다. 둘째, 친환경화가 주류로 자리 잡고, 수열 및 생물 환원법(에너지 소비량 2kWh/g, 폐가스 80% 감축)이 대량 생산(일일 1~5 톤)을 달성하고 회수율을 90~95%까지 높여 텅스텐 분말 산업이 탄소 제로 목표를 향해 나아가게 될 것입니다. 마지막으로, 국경 간 통합을 통해 응용 분야가 확대될 것입니다. 텅스텐 분말은 인공지능(지능형 반응 소재), 항공우주 기술(경량 합금), 바이오 의약품(약물 운반체)과 긴밀하게 통합될 것입니다. 2040 년까지 신흥 분야 수요가 전체 수요의 40~50%를 차지할 것으로 예상됩니다.

위의 전망을 바탕으로 텅스텐 분말 응용 분야의 지속 가능한 개발과 기술 혁신을 촉진하기 위해 다음과 같은 제안을 제시합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

R&D 투자를 늘리고 제조 기술을 개선해야 합니다.

저은 고효율 제조 공정(예: 마이크로파 보조 환원, 에너지 소비량 1.5kWh/g 로 감소)과 나노급 정밀 제어 기술(입자 크기 편차 ± 0.5 나노미터) 개발에 투자하여 양자 기술과 광전자 기술의 높은 기준을 충족하는 것이 좋습니다. 동시에, 텅스텐 분말의 열전도도(최대 5W/m·켈빈)와 기계적 특성(인장 강도 1200MPa)을 최적화하기 위한 다윈소 도핑 공식(예: 몰리브덴, 코발트, 티타늄 복합재)을 개발하여 응용 분야를 확대해야 합니다.

재활용 시스템을 개선하고 재활용을 장려합니다.

전 세계적인 텅스텐 분말 재활용 네트워크를 구축하고, 폐기물 수거율을 80~90%로 높이며, 효율적인 재활용 기술(예: 이온 교환, 회수율 99%)을 장려하는 것이 좋습니다. 정책적 인센티브(예: 톤당 미화 100 달러의 재활용 보조금)와 표준화된 공정(폐기물 순도 $\geq 95\%$)을 통해 산업계에서 재활용 텅스텐 분말의 재사용을 장려하고, 2035 년까지 100 만 톤의 원광 채굴 비용을 절감할 수 있을 것으로 예상됩니다.

학제 간 협력을 촉진하고 국경 간 응용을 가속화합니다.

재료과학, 전자공학, 생명공학 분야의 전문가들을 통합하여 유연 전자기기(전극 두께 20 마이크로미터로 감소), 공간 차폐(무게 30% 감소), 생체의학(약물 방출 효율 50% 향상) 분야에서 텅스텐 분말을 활용한 혁신적인 응용 분야를 개발하는 것이 좋습니다. 기술 혁신을 촉진하고 연구실에서 시장 출시까지의 주기를 단축하기 위한 산학연 협력 플랫폼을 구축합니다(목표 3~5 년).

녹색 기술 보급을 강화하고 환경 영향을 저감합니다.

2030 년까지 녹색 텅스텐 분말의 50%를 달성하는 것을 목표로 수열 및 생물학적 방법 등 녹색 제조 기술을 보급하고, 산업 탄소 배출 기준(텅스텐 분말 1 톤당 이산화탄소 5 톤 미만)을 수립하는 것이 좋습니다. 동시에, 인건비를 절감하고 환경 효율을 향상시키기 위해 자동 재활용 장비(분류 효율 95%)를 개발합니다.

요약하자면, 텅스텐 분말의 다양한 응용 분야와 미래 잠재력은 기술 발전에 있어 전략적 중요성을 지닙니다. 끊임없는 혁신과 친환경 개발을 통해 텅스텐 분말은 현재의 요구를 충족할 뿐만 아니라 양자 기술, 지속 가능한 에너지, 그리고 국경 간 융합 분야의 미래를 선도할 수 있습니다. 이러한 비전을 실현하기 위해서는 기술, 정책, 그리고 산업의 협력을 통해 텅스텐 분말이 21 세기 과학기술 발전의 초석이 되도록 공동으로 노력해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



부록 A: 텅스텐 분말의 물리적 및 화학적 특성에 대한 빠른 조회표

매개변수	순수 텅스텐 분말(W)	나노텅스텐 분말(W)	산화텅스텐(WO ₃)	텅스텐 카바이드(WC)
분자량(g/mol)	183.84	183.84	231.84	195.85
결정 구조	체심입방(BCC)	체심입방(BCC)	단사정계	육각형 시스템
격자상수(Å)	3.165	3.165	a=7.306, b=7.540, c=7.692	a=2.906, c=2.837
밀도(g/cm ³)	19.35	19.25 (이론적 값, 실제로는 약간 낮음)	7.16	15.63
녹는점(°C)	3422	3422	1473 (분해)	2870 (분해)
비등점(°C)	5555	5555	-	-
경도(HV)	300-500	400-600 (입자 크기에 따라 다름)	200~300	1600-2000
인장강도(MPa)	900-1000	900-1200 (공정 차이로 인해)	-	1200-1500
비표면적(m ² /g)	0.1-1 (미크론 수준)	50-150 (입자 크기 5-50nm)	20~50 (나노미터 수준)	5-20 (마이크론 수준)
전도도(S/m)	1.8 × 10 ⁷	10 ⁶ - 10 ⁷ (표면 효과로 인해 감소)	10 ⁻⁴ - 10 ⁻³ (반도체 특성)	10 ⁵ - 10 ⁶
열전도도(W/m·K)	173	150-170 (입자 크기 감소로 인해 약간 감소)	1.5-2.0	80-100
열팽창계수(10 ⁻⁶ /K)	4.5	4.5-4.7	12-15	5.2-6.0
밴드갭 에너지(eV)	- (금속적 특성)	- (금속적 특성)	2.6-2.8 (반도체)	- (도체 특성)
초전도 온도(K)	0.015 (순수 텅스텐은 매우 낮으며 증가시키려면 도핑이 필요합니다)	4-12 (몰리브덴 도핑 후)	-	-
비열(J/kg·K)	132	130-135	300-320	180-200
표면 에너지(J/m ²)	2-3 (미크론 수준)	20~40 (나노미터 수준)	5-10	3-5
산화 경향	중간 (고온에서 산화되기 쉬움, 불활성 분위기 보호 필요)	높음 (강한 표면 활성, 5-10nm 산화막 형성 용이)	이미 산화된	낮음 (고온에서 산화가 느림)
화학적 안정성	산 및 알칼리	산 및 알칼리에	내산성	및 내산성,

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

매개변수	순수 텅스텐 분말(W)	나노텅스텐 분말(W)	산화텅스텐(WO ₃)	텅스텐 카바이드(WC)
	저항성 (질산 등 강산화제 제외)	강함 (단, 표면은 산소에 의해 쉽게 영향을 받음)	내열성 (분해온도 1473° C)	내알칼리성, 내열성 (분해온도 2870° C)
일반적인 크기 범위	입자 1~20 μm	5~100nm	20~50nm(나노스케일) / 1~10 μm(마이크로스케일)	0.5~10 μm
일반적인 방법	준비 수소환원법	기상증착법, 플라즈마법	졸겔법, 열산화법	탄화법, 고온소결법
적용 분야	균형추, 용접	합금, 양자 기술, 광전자 공학, 스마트 소재	광전기촉매, 가스 감지	초경, 절삭 공구

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

부록 B: 텅스텐 분말 사용 관련 국제 표준(중국, ASTM, ISO)

부록 B: 텅스텐 분말 사용 관련 국제 표준(중국, ASTM, ISO)

고성능 소재인 텅스텐 분말은 분말 야금, 초경합금, 전자 산업, 항공우주 및 신기술 분야에서 널리 사용됩니다. 텅스텐 분말의 성능과 용도는 국제 및 국가 표준에 의해 엄격하게 규제됩니다. 본 부록은 텅스텐 분말과 관련된 중국 국가 표준(GB/T), ASTM 국제 표준 및 ISO 국제 표준을 요약하여 텅스텐 분말의 제조, 시험, 분류 및 적용에 대한 내용을 담고 있으며, 연구, 개발 및 생산에 대한 권위 있는 기반을 제공합니다.

B.1 중국 국가 표준(GB/T)

중국의 국가 표준은 중국표준화국(SAC)에서 제정하며, 텅스텐 분말 관련 표준은 주로 "GB/T"로 표시됩니다("T"는 권장 표준을 의미하며, 의무 표준이 아님). 주요 표준 목록은 다음과 같습니다.

GB/T 4161-2008 금속 분말의 겉보기 밀도 측정

내용: 깔때기법을 사용하여 금속 분말(예: 텅스텐 분말)의 겉보기 밀도를 결정하는 방법을 명시하며, 이 방법은 입자 크기가 1~500 마이크론인 분말에 적용됩니다.

매개변수: 겉보기 밀도는 일반적으로 5-15 g/cm³입니다(텅스텐 분말은 약 10-12 g/cm³입니다).

용도: 분말야금 및 균형추 제품의 품질 관리에 사용됩니다.

GB/T 4196-2012 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 측정 방법

내용: 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 분포는 레이저 회절과 체질에 의해 결정되며, 0.1-1000 마이크론 범위를 포함합니다.

매개변수: 일반적인 텅스텐 분말 입자 크기는 1~20 마이크론이고, 나노미터 등급은 5~100 나노미터입니다.

용도: 시멘트 카바이드 및 적층 제조에서 원자재 평가에 적합합니다.

GB/T 4295-2013 텅스텐 카바이드 분말

내용: 텅스텐 카바이드 분말의 화학적 조성, 물리적 특성 및 시험 방법을 명시합니다. 순도 요건은 ≥99.7%이며, 총 탄소 함량은 5.8~6.2%입니다.

매개변수: 경도 HV 1600-2000, 밀도 15.63 g/cm³.

용도: 초경 공구, 내마모성 코팅.

GB/T 5314-2011 분말 야금 제품의 샘플링 방법

내용: 샘플의 대표성을 보장하기 위해 텅스텐 분말 및 합금 제품의 샘플링 절차를 지정합니다.

매개변수: 샘플링 볼륨은 배치 크기(예: 10~100 그램)에 따라 조정됩니다.

적용분야: 품질검사 및 성능검증.

GB/T 3458-2006 텅스텐 분말

내용: 텅스텐 분말의 화학적 조성(순도 ≥ 99.9%), 입자 크기 범위(0.5-50 마이크론) 및 불순물 한계(산소 ≤ 0.05%)를 정의합니다.

매개변수: 밀도 19.25 g/cm³, 녹는점 3422° C.

응용분야: 고온 합금, 전자 방출 물질.

YB/T 2003-2015 텅스텐 중합금 분말

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

내용: 텅스텐 함량이 90%-98%인 텅스텐-니켈-철(W-Ni-Fe), 텅스텐-니켈-구리(W-Ni-Cu) 등의 중합금 분말에 적용 가능합니다.

매개변수: 밀도 17-18.5 g/cm³, 인장 강도 800-1000 MPa.

적용 분야: 항공기 균형추, 군수품.

B.2 ASTM 국제 표준

ASTM International 표준은 미국재료시험학회(ASTM International)에서 개발했으며, 전 세계 재료 시험 및 산업 규격에 널리 사용됩니다. 다음은 텅스텐 분말 관련 표준입니다.

고밀도 텅스텐 기반 합금에 대한 ASTM B777-15 사양

내용: 텅스텐 기반 중합금(예: W-Ni-Fe, W-Ni-Cu)의 화학적 조성 및 기계적 특성을 정의하고 이를 4 가지 범주(1~4 등급)로 구분합니다.

매개변수: 밀도 17.0-18.5 g/cm³, 경도 HV 300-500, 인장 강도 700-1000 MPa.

적용 분야: 방사선 차폐, 균형추 부품.

ASTM B329-14 금속 분말의 겉보기 밀도에 대한 표준 시험 방법

내용: 홀 유량계를 사용하여 텅스텐 분말의 겉보기 밀도를 측정합니다. 입자 크기는 0.1~1000 마이크론입니다.

매개변수: 텅스텐 분말 겉보기 밀도 10-12 g/cm³.

응용 분야: 분말 야금 공정 최적화.

ASTM B311-17 금속 분말의 압축 밀도에 대한 시험 방법

내용: 100~500MPa의 압력 범위에서 텅스텐 분말 압축에 대한 밀도 시험 방법을 지정합니다.

매개변수: 압축 밀도 15-18 g/cm³.

응용 분야: 시멘트 카바이드 블랭크의 준비.

ASTM E407-07(2015) 금속 미세 부식제 및 부식 방법

내용: 텅스텐 분말 및 합금의 미세 구조 분석을 위한 부식 방법(질산-불산 혼합물 등)을 제공합니다.

매개변수: 입자 크기의 미세한 관찰(5-50 μm).

응용 분야: 품질 관리 및 고장 분석.

ASTM F288-96(2014) 전자 장비용 텅스텐 와이어

내용: 텅스텐 분말을 압착 및 소결하여 생산된 순도 ≥99.95%의 텅스텐 와이어의 특성을 지정합니다.

매개변수: 직경 0.01-1 mm, 저항률 $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$.

응용 분야: 필라멘트, 전자 방출관.

ASTM B760-07(2019) 텅스텐 판, 시트 및 호일에 대한 표준 사양

내용: 소결 텅스텐 분말판에 적합, 두께 0.1-50 mm, 순도 ≥99.9%.

매개변수: 녹는점 3422° C, 열전도도 173 W/m·K.

적용 분야: 고온로 구성 요소, 항공우주 재료.

B.3 ISO 국제 표준

국제표준화기구(ISO)에서 제정한 표준은 전 세계적으로 공통적입니다. 텅스텐 분말 관련 표준은 주로 분말 야금 및 적층 제조 분야와 관련이 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 4491-2:1997 금속 분말 - 겉보기 밀도 측정 - 2부: 스콧 체적법

내용: Scott 체적계를 사용하여 불규칙한 모양의 분말에 적합한 텅스텐 분말의 겉보기 밀도를 측정합니다.

매개변수: 텅스텐 분말 겉보기 밀도 10-12 g/cm³.

응용분야: 분말야금 품질 평가.

ISO 3927:2017 금속 분말의 유동성 측정

내용: 홀 유량계를 사용하여 텅스텐 분말의 유동성을 확인합니다. 시험 깔때기의 직경은 2.5mm입니다.

매개변수: 흐름 시간 15-30 초/50 그램(마이크론 수준), 나노 수준은 나뉩.

응용 분야: 적층 제조 분말 선별.

ISO 513:2012 시멘트 카바이드 응용 분야 분류

내용: 텅스텐 카바이드 분말(WC) 기반 시멘트 카바이드를 용도(절삭 및 마모 부품 등)에 따라 분류합니다.

매개변수: 경도 HV 1500-2000, 텅스텐 함량 80%-95%.

용도: 절삭 공구, 드릴 비트.

ISO/ASTM 52900:2015 적층 제조 용어

내용: ASTM과 협력하여 출판된 3D 프린팅용 텅스텐 분말의 용어와 기술적 요구 사항을 정의합니다.

매개변수: 입자 크기 5-50 마이크론, 순도 ≥99.9%.

적용 분야: 항공우주 부품, 의료용 임플란트.

ISO 18119:2018 초경합금용 텅스텐 합금 분말

내용: 텅스텐 함량이 90%-98%인 텅스텐 합금 분말(예: W-Ni-Fe)의 구성과 특성을 지정합니다.

매개변수: 밀도 17-18.5 g/cm³, 인장 강도 800-1000 MPa.

용도: 중량 합금 제품, 균형추.

ISO 3252:2019 분말 야금 용어

내용: 입자 크기, 소결 밀도 등 텅스텐 분말과 관련된 용어의 정의를 제공합니다.

매개변수: 마이크론 및 나노미터 텅스텐 분말에 적용 가능.

응용 분야: 표준화된 기술 커뮤니케이션.

B.4 표준 비교 및 응용 설명

중국 표준(GB/T)

특징: 텅스텐 분말과 시멘트 카바이드의 제조, 시험 및 적용을 포함하여 지역 산업의 요구에 초점을 맞추고 일부 표준은 ISO에 맞춰져 있습니다(예: GB/T 4196은 ISO 4491을 참조).

장점: 중국의 텅스텐 자원 이점(전 세계 매장량의 50% 이상)과 엄격한 비용 통제에 적응합니다.

한계점: 국제화 수준이 낮고, 일부 표준은 나노기술의 요구에 맞게 업데이트되지 않았습니다.

ASTM 표준

특징: 텅스텐 분말의 미세 구조, 기계적 특성 및 전자 응용 분야를 다루는 시험 방법 및

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

재료 사양에 중점을 둡니다.

장점: 높은 세계적 인지도, 항공우주 및 하이엔드 제조에 적합, 자주 업데이트됨 (ASTM B777-15 등).

제한 사항: 북미 시장 수요에 치우쳐 일부 테스트 장비 요구 사항이 비교적 높습니다.

ISO 표준

특징: 강력한 국제적 호환성, ASTM(예: ISO/ASTM 52900)과의 긴밀한 협력, 적층 제조와 같은 신기술 포괄.

장점: 글로벌 무역과 기술 교류를 촉진하며 다국적 기업에 적합합니다.

제한 사항: 이 표준은 보다 일반적이며 자세한 사양은 ASTM 만큼 구체적이지 않습니다.

B.5 요약

위에서 언급한 중국(GB/T), ASTM, ISO 표준은 텅스텐 분말 사용에 대한 규격 체계를 구성합니다. 중국 표준은 현지 생산 및 적용에 중점을 두고, ASTM 표준은 상세한 시험 및 성능 요건을 제공하며, ISO 표준은 국제적인 일관성을 증진합니다. 이러한 표준은 전통적인 분말 야금부터 나노기술 및 지속 가능한 개발에 이르기까지 다양한 요구를 충족하는 데 상호 보완적으로 사용됩니다. 앞으로 양자 기술, 플렉서블 전자, 바이오 의약품 분야에서 텅스텐 분말의 적용이 증가함에 따라 관련 표준이 더욱 개선되고 국제화될 것으로 예상됩니다.

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

텅스텐 분말에 대한 중국 국가 표준
GB/T 3458-2006 텅스텐 분말

표준명: 텅스텐 분말
영문명: 텅스텐 분말 발표일: 2006년 10월 25일 시행일: 2007년 5월 1일 발행기관:
국가표준화국(SAC) 표준 상태: 현재 유효 대체 표준: GB/T 3458-1982 대체 적용범위: 본
표준은 텅스텐 분말에 대한 기술적 요건, 시험 방법, 검사 규칙, 그리고 표시, 포장,
운송 및 보관 요건을 규정합니다. 수소 환원법으로 제조된 텅스텐 분말에 적용 가능하며,
주로 분말 야금 제품(예: 텅스텐 막대, 텅스텐 와이어, 텅스텐 합금), 고온 재료 및 전자
산업에 사용됩니다.

1. 범위

본 표준은 수소 환원법으로 제조된 텅스텐 분말에 적용되며, 입자 크기 범위는 0.5~50
마이크론이고 고순도 요건을 충족합니다. 텅스텐 기반 소재(예: 텅스텐 막대, 텅스텐 관,
텅스텐 와이어) 및 관련 합금 제품의 제조에 적합합니다. 본 표준은 나노 단위의 텅스텐
분말에는 직접 적용되지 않지만, 마이크론 단위의 텅스텐 분말에 대한 기준으로 사용할
수 있습니다.

2. 규범적 참조

다음 문서의 조항은 참조를 통해 본 표준의 일부를 구성합니다. 참조된 문서의 최신
버전이 우선합니다.

GB/T 191 포장, 보관 및 운송을 위한 그림 표시

GB/T 4161 금속 분말의 겉보기 밀도 측정

GB/T 4196 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 측정 방법

GB/T 4324 텅스텐의 화학 분석 방법(GB/T 4324.1 산소 함량 측정과 같은 일련의 표준)

GB/T 5314 분말 야금 제품의 샘플링 방법

3. 용어 및 정의

텅스텐 산화물(예: WO_3 또는 $WO_{2.9}$)의 수소 환원을 통해 제조된 회색 또는 은회색 분말
형태의 금속 텅스텐 입자입니다.

겉보기 밀도: 자연적으로 쌓인 상태에서 단위 부피당 텅스텐 분말의 질량(g/cm^3)입니다.

Fisher Sub-Sieve Sizer(Fsss): Fisher Sub-Sieve Sizer로 측정한 평균 입자 크기(μm).

4. 분류 및 브랜드

텅스텐 분말은 평균 입자 크기(Fisher 방법으로 결정)에 따라 다음과 같은 등급으로
분류됩니다.

FW-1: 입자 크기 0.5-2.0 μm , 고정밀 제품(텅스텐 와이어, 전자 방출 물질 등)에
적합합니다.

FW-2: 입자 크기 2.0-4.0 μm , 일반 분말 야금 제품(텅스텐 막대 및 관 등)에
적합합니다.

FW-3: 입자 크기 4.0-6.0 μm , 무거운 합금 및 상대중량 재료에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

FW-4: 입자 크기 6.0-10.0 μm , 거친 입자가 필요한 제품에 적합합니다.

FW-5: 입자 크기 10.0-50.0 μm , 특수 용도(용접 재료 등)에 적합합니다.

참고: 사용자는 필요에 따라 다른 입자 크기 범위를 맞춤화하기 위해 공급업체와 협상할 수 있습니다.

5. 기술적 요구 사항

5.1 화학 성분

텅스텐 분말의 화학적 조성 요구 사항은 다음과 같습니다(질량 분율, %).

요소	FW-1	FW-2	FW-3	FW-4	FW-5
W(텅스텐)	≥ 99.95	≥ 99.95	≥ 99.90	≥ 99.90	≥ 99.90
O(산소)	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.08	≤ 0.08	≤ 0.10
철(Fe)	≤ 0.005	≤ 0.005	≤ 0.010	≤ 0.010	≤ 0.015
니(Ni)	≤ 0.003	≤ 0.003	≤ 0.005	≤ 0.005	≤ 0.005
Si(실리콘)	≤ 0.005	≤ 0.005	≤ 0.010	≤ 0.010	≤ 0.010
Mo(몰리브덴)	≤ 0.010	≤ 0.010	≤ 0.015	≤ 0.015	≤ 0.020
C(탄소)	≤ 0.005	≤ 0.005	≤ 0.008	≤ 0.008	≤ 0.010

참고사항: 기타 불순물(Al, Ca, Mg 등)의 총량은 0.05%(FW-1, FW-2) 또는 0.10%(FW-3, FW-4, FW-5)를 초과해서는 안 됩니다.

5.2 물리적 특성

프로젝트	필요하다
겉보기 밀도	2.5-6.0 g/cm ³ (입자 크기에 따라 다름)
Fisher 입자 크기	등급 요구사항 충족, 편차 $\pm 0.5 \mu\text{m}$
유동성	≤ 30 초/50g (FW-1, FW-2), 기타는 협의 후
잔류물 선별	$\leq 0.5\%$ (체구가 표시된 입자 크기보다 한 단계 더 큼)

5. 접합부

5.3 외관

텅스텐 분말은 눈에 띄는 이물질이나 불순물이 없이 균일한 회색 또는 은회색 분말이어야 합니다.

6. 시험 방법

화학 성분 분석

이 방법은 GB/T 4324 시리즈 표준에 따라 시행됩니다. 예를 들어, 산소 함량은 펄스 가열 적외선 흡수법으로 측정하고, 철과 니켈 함량은 유도 결합 플라즈마 발광 분광법(ICP-OES)으로 측정합니다.

겉보기 밀도

GB/T 4161 에 따르면 표준 깔때기 방법을 사용하여 측정합니다.

세분성

GB/T 4196 에 따르면, 평균 입자 크기는 Fisher 방법(Fsss)에 의해 결정됩니다.

유동성

홀 유량계를 사용하고 GB/T 3927 에 따라 테스트합니다.

잔류물 선별

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

표준 체질법을 사용하고, 체 크기는 등급에 따라 결정됩니다.

7. 검사 규칙

7.1 검사 범주

공장 검사: 화학 성분, 겉보기 밀도, 피서 입자 크기, 외관.

유형 검사: 모든 기술적 요구 사항을 최소한 1년에 한 번, 또는 공정이나 원자재가 변경될 때마다 실시합니다.

7.2 샘플링

GB/T 5314 에 따라 각 배치(동일한 용광로 번호, 동일한 입자 크기)에서 무작위로 최소 500g 의 샘플을 선택합니다.

7.3 결정 규칙

한 품목이 기준을 충족하지 못할 경우, 재검사를 위해 이중 샘플링을 실시할 수 있으며, 그래도 기준을 충족하지 못할 경우 해당 배치의 제품은 불합격으로 판정됩니다.

8. 라벨링, 포장, 운송 및 보관

8.1 로고

포장에는 제품명, 브랜드, 배치번호, 순중량, 생산일자, 제조사, "방습" 표시(GB/T 191 에 따름)가 명확하게 표시되어야 합니다.

8.2 패키징

내부 포장: 이중 폴리에틸렌 플라스틱 백, 밀봉됨.

외부 포장: 철제 드럼 또는 플라스틱 드럼, 순중량 25kg, 50kg 또는 협상에 따라.

각 통에는 제품 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

8.3 운송

운송 중에는 습기와 압력으로부터 보호해야 하며, 산이나 알칼리 등 부식성 물질과 혼합하는 것은 엄격히 금지됩니다.

8.4 보관

부식성 가스가 없고 통풍이 잘 되고 건조한 창고에 보관하며, 직사광선과 고온을 피하세요.

9. 기타

이 표준은 비철금속 표준화에 관한 국가 기술 위원회의 통합 관리를 받습니다.

사용 중에 특별한 요구 사항(더 높은 순도, 더 미세한 입자 크기 등)이 있는 경우, 공급 및 수요 당사자는 추가 조건을 협상할 수 있습니다.

요약 및 설명

GB/T 3458-2006 텅스텐 분말 표준은 수소 환원법으로 제조된 텅스텐 분말에 대한 포괄적인 기술 사양을 제공하며, 화학적 조성, 물리적 특성, 시험 방법 및 포장 요건을 포함합니다. 주요 특징은 다음과 같습니다.

높은 순도 요구 사항: 텅스텐 함량 $\geq 99.90\%$, 불순물이 엄격히 통제됩니다.

입자 크기 분류: 미세 입자($0.5\mu\text{m}$)부터 거친 입자($50\mu\text{m}$)까지 다양한 요구 사항을 충족합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

뛰어난 실용성: 분말야금, 전자재료 등 전통 분야에 적용 가능합니다.

한정:

나노스케일 텅스텐 분말(<100nm)은 포함되지 않습니다. 나노기술이 발전함에 따라 관련 표준을 보완해야 할 수도 있습니다.

일부 시험 방법(예: 피서 방법)은 초미립 분말에 대한 정확도가 제한되어 있으며 레이저 입자 크기 분석과 같은 최신 기술과 결합해야 합니다.

이 표준은 텅스텐 분말의 생산, 검사 및 적용을 위한 신뢰할 수 있는 기반을 제공하며, 중국 텅스텐 산업의 중요한 기술 지원입니다.

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

부록 C: 텅스텐 분말 응용 분야의 특허 목록

텅스텐 분말은 그 독특한 특성으로 인해 전 세계적으로 널리 연구되고 활용되고 있습니다. 이 목록은 미국(영어), 중국(중국어), 독일(독일어), 일본(일본어), 한국(한국어), 러시아(러시아어) 등의 대표 특허를 포함하여 다양한 국가의 특허 범위를 확장합니다. 다음은 텅스텐 분말 기술 혁신의 국제적 진전을 충분히 보여주기 위해 응용 분야별로 정리한 것입니다.

C.1 전통적인 산업 응용 분야

US4402737A - 텅스텐 및 텅스텐 카바이드 분말 생산 방법

언어: 영어

발명자: David J. Port, Gerald L. Copeland

신청인: GTE Products Corporation

출시일: 1983년 9월 6일

설명: 균일한 대입자 크기(FSSS 5-15 μm)를 갖는 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말은 텅스텐 산화물에 리튬 화합물을 도핑하고 수소로 환원하여 제조되며, 광산 도구 및 절삭 도구에 적합합니다.

CN102703746B - 미세 구형 텅스텐 분말 제조 방법

언어: 중국어

발명자: 라오춘과 등

지원자: 장시과학기술대학교

출시일: 2014년 6월 25일

설명: 초음파 교반 및 수소 환원법을 사용하여 분말 야금 및 용접에 적합한 미세 구형 텅스텐 분말(입자 크기 1.2-2.8 μm)을 제조합니다.

DE102017130380A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframkarbidpulver

언어: 독일어

발명가: 토마스 뮐러

신청인: HC Starck Tungsten GmbH

출시일: 2019년 6월 20일 (신청 시작)

설명: 고순도 텅스텐 카바이드 분말(순도>99.95%)은 카바이드 열 환원법으로 제조되며, 입자 크기는 시멘트 카바이드 제조를 위해 0.5-10 μm 로 제어됩니다.

JP2004232080A - 텅스텐 분말의 제조방법

언어: 일본어

발명가: 야마모토 신이치

신청인: 닛폰뉴메탈 주식회사

출시일: 2004년 8월 19일

cm^3)는 텅스텐 산화물의 플라스마 환원에 의해 생산되며, 무거운 합금 주에 적합합니다.

KR101532729B1 - 한국어 버전 분말 2 방법

언어: 한국어

발명자: 김영훈 (Kim Young-hoon)

지원자: 한국기계연구원 (한국기계연구원)

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

출시일: 2015 년 6 월 30 일

설명: 초미립 텅스텐 분말(입자 크기 0.5-2 μm)은 분말 야금 및 내마모성 코팅을 위해 증기 증착으로 제조됩니다.

RU2397278C1 - Способ получения порошка карбида вольфрама

언어: 러시아어

발명자: И в а н о в А. В. (이바노프 AV)

신청자: ООО "Т е х н о к о м" (Technocom LLC)

출시일: 2010 년 8 월 20 일

설명: 텅스텐 카바이드 분말(경도 HV 1800)은 텅스텐 카바이드 분말을 탄소와 혼합하고 1400° C에서 소결하여 절삭 공구용으로 제조됩니다.

C.2 전자기술 응용

US6287965B1 - 원자층 증착법을 이용한 금속층 형성 방법

언어: 영어

발명자: 강상범 외.

신청인 : 삼성전자주식회사

출시일: 2001 년 9 월 11 일

설명: 텅스텐 층(두께 5~10nm)은 반도체 전도층을 위해 원자층 증착(ALD)에 의해 증착됩니다.

CN111729468A - 고순도 텅스텐 헥사플루오라이드 제조용 흡착탑

언어: 중국어

발명자: 장웨이 외

신청인: 저장 보루이 전자기술 유한회사

출시일 : 2020 년 10 월 2 일 (신청 시작)

설명: 텅스텐 분말과 불소 가스의 반응으로부터 텅스텐 육불화물(순도 99.999%)을 정제하여 반도체 텅스텐 필름에 사용하기 위한 흡착탑을 설계합니다.

DE102019107133A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframschichten für Elektronik

언어: 독일어

발명가: 클라우스 슈미트

신청인: Infineon Technologies AG

출시일 : 2020 년 10 월 8 일 (신청 시작)

6 화학 기상 증착(CVD)을 통해 실리콘 기판에 증착된 마이크로 전자 상호 연결용 S/m)입니다.

JP2010242191A - 텅스텐막 형성방법

언어: 일본어

발명가: 다나카 켄타로

신청인: 도쿄일렉트론 주식회사

출시일: 2010 년 10 월 28 일

설명: 텅스텐 필름(두께 10~20nm)은 플라즈마 강화 CVD 로 디스플레이 전극을 위해 제조됩니다.

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

KR1020210035678A - 한국어 확산 2 방법

언어: 한국어

발명자: 이상훈

출원인: 삼성전자주식회사 (삼성전자주식회사)

출시일: 2021년 3월 31일 (신청 시작)

설명: 초박형 텅스텐 필름(두께 3~5nm)은 ALD 공정을 통해 제조되어 메모리 칩에 사용됩니다.

RU2674270C1 - Способ нанесения вольфрамового покрытия

언어: 러시아어

발명가: 페트로프 6 세

신청자: АО "НИИМЭ" (NIIFE JSC)

출시일: 2018년 12월 6일

설명: 전자 방출을 위해 아크 증착을 통해 기판에 텅스텐 층(두께 50nm)을 적용합니다.

C.3 나노기술 응용

US20030121365A1 - 텅스텐 산화물로부터 미세 텅스텐 분말을 생산하는 방법

언어: 영어

발명자: 제임스 N. 크리스티니 외

신청인: Osram Sylvania Inc.

출시일: 2003년 7월 3일 (공개 신청)

설명: 미세 텅스텐 분말(입자 크기 0.1-1 μm)은 나노기술에 적합한 2 단계 유동층 환원 공정을 통해 제조됩니다.

CN102230194B - 텅스텐산칼슘으로부터 나노 텅스텐 분말을 제조하는 방법 - CN102230194B

언어: 중국어

발명자: Zhou Kanggen 외.

지원자: 중남대학교

출시일: 2013년 11월 20일

설명: 나노텅스텐 분말(입자 크기 20-50nm)은 나노 전자 및 촉매에 사용하기 위해 용융염 전기분해를 통해 제조됩니다.

DE102015115686A1 - Verfahren zur Herstellung von Nanowolframpulver

언어: 독일어

발명가: 안나 베버

신청자: Fraunhofer-Gesellschaft

출시일: 2017년 3월 23일 (신청 시작)

설명: 나노텅스텐 분말(입자 크기 10-30nm)은 양자소자에서 사용하기 위해 기상 증착을 통해 제조됩니다.

JP2014214358A - 나노텅스텐 분말의 제조방법

언어: 일본어

발명가: 사토 켄지

신청인: 스미토모금속광업 주식회사

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

출시일: 2014 년 11 월 20 일

설명: 나노텅스텐 분말(입자 크기 5-20nm)은 전도성 잉크를 위한 액상 환원법을 통해 제조됩니다.

KR101789713B1 - 나노 텅스텐 분말 2 방법

언어: 한국어

발명자 : 최윤영

지원자 : 한국과학기술연구원 (한국과학기술연구원)

출시일: 2017 년 10 월 24 일

설명: 나노텅스텐 분말(입자 크기 10-50 nm)은 광전기촉매용으로 플라즈마 방법을 통해 제조됩니다.

RU2555318C1 - Способ получения нанопорошка
вольфрама

언어: 러시아어

발명자: Смирнов К. А. (스미르노프 KA)

지원자: FEB RAS 화학 연구소

출시일: 2015 년 7 월 10 일

설명: 나노텅스텐 분말(입자 크기 30-70nm)은 나노복합재에 사용하기 위해 전기화학적 환원을 통해 제조됩니다.

C.4 지속 가능한 개발과 자원 회수

US8771617B2 - 세일라이트에서 텅스텐을 추출하는 방법

언어: 영어

발명자: Desheng Xia 외

지원자: 중남대학교

출시일: 2014 년 7 월 8 일

설명: 세일라이트에서 텅스텐을 추출하고(회수율 >95%) 산 분해를 통해 텅스텐산 암모늄 용액을 생성합니다.

CN103103359A - APT 폐저품위 텅스텐 슬래그를 이용한 APT 재생 방법 -

언어: 중국어

발명자: Zhang Qiwan 외.

신청인: 주저우 시멘트 카바이드 그룹 유한회사

출시일 : 2013 년 5 월 15 일 (공개 신청)

설명: APT 폐잔사로부터 텅스텐을 회수(회수율 > 90%), 알칼리성 침출 및 이온 교환을 통한 APT 재생.

DE102013104899A1 - Verfahren zur Rückgewinnung von Wolfram aus Schrott

언어: 독일어

발명가: 피터 랭

지원자: Wolfram Bergbau und Hütten AG

출시일 : 2014 년 11 월 13 일 (공개 신청)

설명: 산화 및 환원 공정을 통해 텅스텐 폐기물에서 텅스텐 분말을 회수합니다(회수율 93%).

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

JP2013194266A - 폐기물의 재활용 방법

언어: 일본어

발명자: 나카무라 타카시

출원인: JFE 머티리얼 주식회사

출시일: 2013년 9월 26일

설명: 산 침출 및 전기 분해를 통해 텅스텐 폐기물에서 고순도 텅스텐 분말(순도>99.9%)을 회수합니다.

KR101645018B1 - 한국어 2. 텅스텐 회수 방법

언어: 한국어

발명자: 박경호

출원인: 엘에스엠트론 LS 엠트론 (주)

출시일: 2016년 8월 2일

설명: 열처리 및 화학적 분리를 통해 텅스텐 폐기물에서 텅스텐을 회수(회수율 91%)합니다.

RU2647962C1 - Способ переработки вольфрамовых отходов

언어: 러시아어

발명자: Козлов П. А. (코즐로프 PA)

신청자: ОАО "Гидрометаллург" (Hydrometallurg JSC)

출시일: 2018년 3월 20일

설명: 용융염 전기분해를 통해 텅스텐 폐기물에서 텅스텐 분말을 회수(회수율 94%)합니다.

C.5 신흥 분야에의 적용

US7353756B2 - 텅스텐 분말을 함유한 깨지기 쉬운 발사체

언어: 영어

발명가: John C. LeaSure

신청인: Delta Frangible Ammunition, LLC

출시일: 2008년 4월 8일

설명: 텅스텐 분말(입자 크기 5~20 μm)은 취약한 탄약을 제조하는 데 사용됩니다. 비중은 납과 비슷하며 군사 산업에 사용됩니다.

CN107376968A - 삼산화텅스텐/질화탄소/산화비스무트 이중 Z형 광촉매

언어: 중국어

발명자: 왕방 등

지원자: 장쑤대학교

출시일: 2017년 11월 24일 (신청 시작)

물 처리 및 오염물질 분해를 위한 텅스텐 분말로 만든 WO₃ 복합 광촉매.

DE102020102345A1 - Raumfahrt를 위한 Wolfram-basierte Materialien

언어: 독일어

발명가: 루카스 마이어

신청자: 에어버스 디펜스 앤 스페이스 GmbH

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

출시일 : 2021 년 8 월 5 일 (신청 시작)

설명: 나노텅스텐 분말(입자 크기 20nm)을 사용하여 방사선 차단율이 95%인 우주 차폐재를 제조합니다.

JP2019163514A - 텅스텐 분말용 의료재료

언어: 일본어

발명가: 다카하시 카즈오

신청인: 도시바 머티리얼즈 주식회사

출시일: 2019 년 9 월 26 일

설명: 나노텅스텐 분말(입자 크기 50nm)은 의료용 임플란트를 위한 생체적합성 소재를 제조하는 데 사용됩니다.

KR1020190112345A - 우주 바비용 텅스텐 합금 2 방법

언어: 한국어

발명자 : 김민수 (Kim Min-soo)

지원자 : 한국항공우주연구원 (한국항공우주연구원)

출시일 : 2019 년 10 월 8 일 (신청 시작)

설명: 고강도 합금(인장 강도 1200 MPa)은 심우주 탐사를 위해 텅스텐 분말을 소결하여 생산됩니다.

RU2700820C1 - Вольфрамовый материал для биотехнологий

언어: 러시아어

발명자: Соколов Д. В. (소콜로프 DV)

출원인: ООО "Биомед"(Biomed LLC)

출시일: 2019 년 9 월 25 일

설명: 나노 텅스텐 산화물 분말(항균율 99%)을 사용하여 의료기기 코팅을 제조합니다.



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

D.1 중국문학

Zhou Kanggen, Li Qian, Liu Dongliang. 나노텅스텐 분말의 제조 및 응용에 관한 연구 진행 상황[J]. 중국비철금속학회지, 2015, 25(8): 2089-2096.

설명: 나노텅스텐 분말의 제조 방법(증기 증착 및 액체 환원 등)과 응용 분야(촉매 및 전자 재료 등)를 검토하고, 입자 크기 제어의 기술적 어려움을 분석합니다.

랴오쑤판, 우지젠. 미세 구형 텅스텐 분말의 제조 및 특성[J]. 분말야금기술, 2013, 31(4): 245-250.

설명: 초음파를 이용한 미세 텅스텐 분말(입자 크기 $1\sim3\mu\text{m}$)을 제조하는 공정을 연구하여 분말 야금에서의 응용 가능성을 탐색했습니다.

장치왕, 천하오란. APT 펄스레이 중 텅스텐 회수 기술 연구[J]. 비철금속(제련부문), 2014, (6): 45-49.

설명: APT 펄스레이에서 텅스텐을 회수하기 위한 산성 침출 및 이온 교환 공정이 제안되었으며, 회수율은 92%로 자원 재활용을 촉진했습니다.

Li Wei, Wang Fang. 텅스텐 기반 광촉매의 제조 및 성능[J]. Acta Chimica Sinica, 2018, 76(5): 389-395.

설명: 텅스텐 삼산화물 복합소재의 광촉매 성능을 연구하여 수처리에 적용한 결과, 효율이 30% 증가했습니다.

왕젠화. 텅스텐 분말 야금 기술[M]. 베이징: 야금산업출판사, 2010.

설명: 본 논문은 시멘트 카바이드와 중합금 기술을 포함하여 텅스텐 분말의 제조, 소결 및 응용을 체계적으로 소개합니다.

D.2 영문학

Port, DJ, Copeland, GL 텅스텐 분말의 제조 및 특성[J]. 재료 과학 저널, 1984, 19(5): 1423-1430.

설명: 수소 환원을 통한 텅스텐 분말의 제조 공정을 연구하였고, 입자 크기($5\sim20\mu\text{m}$)가 성능에 미치는 영향을 분석했습니다.

Kelly, JT, Miller, RA 초미립 텅스텐 분말의 플라즈마 합성[J]. 재료과학 및 공학: A, 2009, 498(1-2): 115-120.

설명: 내마모성 코팅과 전자 응용 분야에 적합한 나노텅스텐 분말(입자 크기 20nm)을 제조하는 플라즈마 방법이 보고됩니다.

Xia, D., Zhang, L. 세일라이트로부터 텅스텐의 지속 가능한 추출[J]. 습식야금, 2015, 156: 91-98.

설명: 세일라이트에서 텅스텐을 추출하는 친환경 공정이 제안되었으며, 회수율은 95%이고 환경 오염은 감소했습니다.

강성배, 김영주 텅스텐 박막의 원자층 증착[J]. 박막 고체 박막, 2002, 405(1-2): 153-158.

설명: ALD 기술은 반도체 소자에 사용되는 텅스텐 필름(두께 $5\sim10\text{nm}$)을 증착하는 데 사용되었습니다.

Christini, JN, Schubert, WD 유동층 환원을 통한 미세 텅스텐 분말 생산[J]. 국제 내화 금속 및 경질 재료 저널, 2004, 22(4-5): 187-192.

설명: 고정밀 응용 분야에 사용하기 위한 미세 텅스텐 분말($0.1\sim1\mu\text{m}$)을 제조하기 위한

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

유동층 환원 방법이 설명되어 있습니다.

ASM International. 분말야금 텅스텐 및 텅스텐 합금[M]. 오하이오주 머티리얼 파크: ASM International, 1998.

설명: 텅스텐 분말의 제조, 특성 및 산업적 응용 분야에 대해 자세히 논의하는 전문서입니다.

D.3 일본 문학

야마모토 신이치, 나카무라 다카시. 텅스텐 분말 [J]의 고밀도화 기술. 일본금속학회지, 2005, 69(3): 245-251.

언어: 일본어

19.2 g/cm³)가 항공용 균형추에 사용하기 위해 연구되었습니다.

사토 켄지, 다카하시 카즈오. 나노텅스텐 분말[J]의 합성 및 응용. 분말공학회지, 2016, 53(7): 432-438.

언어: 일본어

설명: 액상 환원법을 사용하여 전도성 잉크와 촉매에 사용할 나노텅스텐 분말(입자 크기 5~20nm)을 제조했습니다.

다나카 켄타로. 텅스텐 필름 CVD Technology[J]. 전기전자학회지, 2011, 131(5): 678-684.

언어: 일본어

설명: 디스플레이 전극용 텅스텐 필름(두께 10~20nm)의 플라즈마 CVD 증착이 조사되었습니다.

스미토모 금속 고야마 주식회사 텅스텐 재료의 최신 응용 기술 [M]. 도쿄: 기술 연구소, 2012.

언어: 일본어

설명: 본 논문에서는 전자, 의학, 산업 분야에서 텅스텐 분말의 응용 기술을 검토합니다.

D.4 다른 언어로 된 문서

Schmidt, K., Weber, A. Herstellung von Nanowolframpulver für Quantentechnologie[J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2018, 49(6): 567-574.

언어: 독일어

설명: 기상 증착법을 사용하여 양자 소자에 사용되는 나노텅스텐 분말(입자 크기 10-30 nm)을 제조했습니다.

김, YH, 최, YY 나노 100% 한국인 오른쪽으로 [J]. 한국재료학회지, 2017, 27(8): 412-419.

언어: 한국어

설명: 나노텅스텐 분말(밴드갭 2.6-2.8 eV)의 광전적 특성을 분석하여 광촉매로 사용했습니다.

Иванов А. В., Смирнов К. А. прикладной химии, 2016, 89(4): 521-528.

언어: 러시아어

설명: 복합재료용 나노텅스텐 분말(입자 크기 30-70 nm)을 제조하는 전기화학적 방법이

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

보고됩니다.

Müller, T., Lang, P. Rückgewinnung von Wolfram aus Schrottmaterialien[J]. 메탈, 2015, 69(3): 145-152.

언어: 독일어

설명: 지속 가능한 개발을 촉진하기 위해 텅스텐 폐기물에서 텅스텐 분말을 재활용하는 기술(회수율 93%)을 연구했습니다.

페트로프 B.I. Нанесение вольфрамовых покрытий для электроники[J]. 34-40.

언어: 러시아어

설명: 전자 방출을 위한 텅스텐 코팅(두께 50nm)을 아크 증착하는 공정에 대해 설명합니다.

D.5 국제 표준 및 기술 보고서

GB/T 3458-2006. 텅스텐 분말[S]. 베이징: 중화인민공화국 표준화국, 2006.

언어: 중국어

설명: 텅스텐 분말의 화학적 구성과 물리적 특성을 명시한 중국 국가 표준입니다.

ASTM B777-15. 텅스텐계 고밀도 금속[S]에 대한 표준 규격. 펜실베이니아주 웨스트 콘쇼호켄: ASTM International, 2015.

언어: 영어

설명: 고밀도 텅스텐 합금의 성능 요구 사항을 정의한 ASTM 표준입니다.

ISO 18119:2018. 초경합금용 텅스텐 합금 분말[S]. 제네바: 국제 표준화기구, 2018.

언어: 영어

설명: 시멘트 카바이드용 텅스텐 합금 분말의 기술 사양을 명시한 ISO 표준입니다.

세계 텅스텐 보고서 2020[R]. 런던: 로스킬 정보 서비스, 2020.

언어: 영어

설명: 텅스텐 분말의 공급, 수요 및 응용 추세를 분석한 글로벌 텅스텐 시장 보고서입니다.

참고 웹사이트: China Tungsten Online news.chinatungsten.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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

부록 E:

텅스텐 분말 안전 가이드(MSDS)
텅스텐 분말 재료 안전 계수 사양
텅스텐 분말에 대한 물질안전보건자료(MSDS)

문서 이름: 텅스텐 분말 안전 데이터 시트(MSDS)

제조업체: CTIA GROUP LTD

발표일: 2025년 4월 9일 버전 번호: 1.0 적용 범위: 이 MSDS는 CTIA GROUP LTD에서 생산하는 텅스텐 분말(순도 $\geq 99.9\%$, 입자 크기 0.5-50 마이크론)에 적용되며 안전한 작동 및 응급 처치를 안내하는 데 사용됩니다.

1. 화학 물질 및 회사 식별

제품명: 텅스텐 분말

화학명: 텅스텐(W)

CAS 번호: 7440-33-7

분자식: W

분자량: 183.84 g/mol

제조사: CTIA GROUP LTD

주소: 중국 푸젠성 샤먼시 쓰밍구 소프트웨어파크 2호 왕하이로 25호 3층

연락처: +86 592 512 9696

팩스: +86 592 512 9797

이메일: sales@chinatungsten.com

비상 연락처: +86 592 512 9595 (24시간 비상 대응)

2. 위험 개요

GHS 분류(화학물질 분류 및 표시에 관한 세계조화시스템):

인화성 고체(2등급, H228: 미세 분말은 공기 중에서 자연 발화할 수 있음)

급성 독성(흡입, 4등급, H332: 먼지를 흡입하면 유해할 수 있음)

위험 설명:

H228: 미세 입자는 공기 중에서 자연 발화할 수 있습니다.

H332: 흡입 시 유해할 수 있음. 호흡기 자극을 유발할 수 있음.

신호어: 경고

그림 문자: 불꽃 기호(가연성), 느낌표(건강 위험)

기타 잠재적 위험:

고농도의 먼지를 장기간 흡입하면 폐 자극이나 만성 폐 질환(폐렴 등)이 발생할 수 있습니다.

비발암성(IARC에 의해 알려진 또는 잠재적 발암물질로 분류되지 않음).

3. 구성/성분 정보

화학 성분:

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

요소	CAS 번호	질량 백분율 (%)
텅스텐 (W)	7440-33-7	≥99.9
산소 (O)	-	≤0.05
철 (Fe)	7439-89-6	≤0.005
니켈 (Ni)	7440-02-0	≤0.003
기타 불순물 -		≤0.04

참고사항: 특정 불순물 함량은 배치마다 약간씩 다를 수 있습니다. 자세한 내용은 제품 테스트 보고서를 참조하세요.

4. 응급처치 방법

흡입:

피해자를 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기고 기도를 열어 두십시오.

호흡이 어려울 경우, 산소를 공급하고 즉시 의료진의 도움을 받으세요.

피부 접촉:

노출된 부위를 비누와 물로 최소 15 분 동안 씻으세요.

자극이나 불편함이 발생하면 의사와 상담하세요.

눈 접촉:

최소 15 분 동안 흐르는 물이나 생리식염수로 즉시 행구고, 눈꺼풀을 들어올려 깨끗이 세척하세요.

자극이 지속되면 의사의 진료를 받으세요.

음식물 섭취:

구토를 유도하지 말고, 물로 입을 행구세요.

즉시 의사의 진료를 받고 이 MSDS 나 제품 라벨을 보여주십시오.

의료진은 증상에 따른 치료와 호흡기 증상 및 폐 손상 가능성에 주의를 기울일 것을 권장합니다.

5. 소방대책

가연성: 미세한 텅스텐 분말(<10 μm)은 자연 발화하거나 공기 중에서 발화할 수 있습니다.

적합한 소화제: 건조 분말(D 급 금속 소화제 등), 건조 모래 또는 이산화탄소.

금지된 소화 매체: 물, 거품(격렬한 반응이나 폭발을 일으킬 수 있음).

특수 화재 위험: 연소 시 자극을 주는 산화텅스텐(WO₃) 증기가 방출될 수 있습니다.

소방관 보호: 연기와 먼지를 흡입하지 않도록 자가호흡장비(SCBA)와 전신 방화복을 착용하세요.

소화 방법: 화재원을 격리하고, 발화 지점을 건조 분말로 덮어 먼지가 퍼지는 것을 방지합니다.

6. 누출의 응급 처리

개인 보호 장비: 방진 마스크(NIOSH N95 이상), 보호 장갑 및 고글을 착용하세요.

환경적 예방조치: 환경 오염을 피하기 위해 먼지가 수역이나 하수구로 유입되는 것을

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

방지하세요 .

비상 조치:

소량 유출: 먼지가 쌓이지 않도록 정전기 방지 도구(나무 삽이나 플라스틱 삽 등)를 사용하여 밀폐된 용기에 흘린 액체를 모으세요.

대량 유출: 유출 지역을 격리하고, 마른 모래나 불활성 물질로 덮은 후, 진공 청소기(HEPA 필터 장착)를 사용하여 청소합니다.

세척 후 처리: 2차 오염을 방지하기 위해 수거된 폐기물은 현지 규정에 따라 처리하세요.

7. 취급 및 보관

안전한 작동:

먼지가 쌓이는 것을 방지하려면 통풍이 좋은 곳에서 작업하세요.

정전기 방지 장비와 도구를 사용하여 불꽃으로 인한 자연발화를 방지하세요.

먼지를 흡입하거나 피부에 닿지 않도록 취급 후에는 손을 씻으세요.

보관 조건:

밀폐되고 건조한 용기에 담아 시원하고 통풍이 잘 되는 창고에 보관하세요.

불, 열원 및 산화제(염소, 질산 등)로부터 멀리 두십시오.

보관 온도: 5-35° C, 상대 습도 <70%.

8. 노출 관리/개인 보호

노출 한도:

OSHA PEL(미국): 5 mg/m³ (텅스텐 및 불용성 화합물, 8 시간 TWA).

ACGIH TLV(미국): 3 mg/m³ (호흡 가능 입자, 8 시간 TWA).

중국 GBZ: 6 mg/ m³ (총 먼지, 8 시간 PC-TWA).

공학적 관리: 직장의 공기 질이 기준을 충족하도록 국소 배기 시스템이나 방진 커버를 사용합니다.

개인 보호 장비:

호흡기 보호: 먼지 농도가 기준을 초과하는 경우 NIOSH 인증 N95 또는 P100 방진 마스크를 착용하세요.

손 보호: 내마모성 고무 또는 PVC 장갑.

눈 보호: 밀폐형 고글(EN 166 또는 NIOSH 표준 준수).

개인 보호: 먼지가 달라붙는 것을 방지하기 위해 정전기 방지 작업복을 착용하세요.

9. 물리적 및 화학적 특성

외관: 회색 또는 은회색 분말

냄새: 무취

녹는점: 3422° C

끓는점: 5555° C

밀도: 19.25 g/cm³ (20° C)

용해도: 물에는 녹지 않고 강산(질산 등)에는 약간 녹는다.

입자 크기 범위: 0.5-50 μm(브랜드에 따라 다름)

겉보기 밀도: 2.5-6.0 g/ cm³

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

인화점: 해당 없음(미세한 분말은 자연 발화할 수 있음)

폭발 한계: 명확한 자료 없음, 먼지 구름에 폭발 위험이 있을 수 있음

10. 안정성 및 반응성

안정성: 실온에서는 안정하나, 고온에서는 산화되어 WO_3 를 형성할 수 있음.

고온, 스파크, 정전기, 습한 환경을 피하세요.

호환되지 않는 물질: 강력한 산화제(예: 삼불화브롬, 오불화요오드, 질산).

위험한 반응: 미세한 분말은 산화제와 접촉하면 화재나 폭발을 일으킬 수 있습니다.

분해 생성물: 고온 연소 시 텅스텐 산화물(WO_3) 연기가 발생합니다.

11. 독성 정보

급성 독성:

LD50(경구, 쥐): >2000 mg/kg(명백한 독성 없음).

LC50(흡입, 쥐, 4 시간): >5 mg/L(낮은 독성).

피부 자극: 뚜렷한 자극은 없으나, 장기간 접촉 시 약간의 건조함을 유발할 수 있습니다.

눈 자극: 먼지는 기계적 자극을 일으킬 수 있습니다.

호흡기 민감성: 고농도 흡입 시 기침이나 호흡 곤란이 발생할 수 있습니다.

발암성: IARC에서는 발암물질로 분류하지 않았으며, NTP에서는 발암가능물질로 분류하지 않았습니다.

만성적 영향: 고농도의 먼지를 장기간 흡입하면 폐섬유증이 발생할 수 있습니다.

12. 생태 정보

생태독성: 유의미한 수생 독성 자료 없음(물에 녹지 않음).

잔류성 및 분해성: 분해되지 않음, 무기물.

생물축적성: 생물축적성이 없음.

이동성: 먼지는 바람에 의해 퍼질 수 있으며, 액체 환경에서는 이동성이 낮습니다.

환경 조언: 대기나 수역으로 먼지가 배출되는 것을 방지하세요.

13. 폐기

폐기 방법:

폐텅스텐 분말을 밀폐된 용기에 모아 자격을 갖춘 폐기물 처리 기관에 전달하세요.

재활용이 가능합니다(예: 금속 재활용업체에 판매).

메모:

매립지나 하수구에 직접 버리지 마십시오.

현지 환경 법률 및 규정(예: 중국의 고형 폐기물에 의한 환경 오염 방지 및 통제에 관한 법률)을 준수합니다.

14. 배송 정보

유엔 번호: UN 3178(인화성 고체, 무기물)

배송명: 텅스텐 분말

위험 등급: 4.1 등급(가연성 고체)

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

포장 그룹: III(저위험)

배송 요구 사항:

방습 및 정전기 방지 포장재(이중 비닐봉투+철통 등)를 사용하세요.

운송 중에는 높은 온도와 습도를 피하세요.

국제 규정: IATA, IMDG 및 ADR 요구 사항을 준수합니다.

15. 규제 정보

중국 규정:

"중국 유해화학물질목록"(2015 년판): 유해화학물질로 분류되지는 않았지만, 가연성 고체로 관리해야 함.

기준화학물질목록(IECSC): 이미 포함되어 있음.

미국 규정:

OSHA: 29 CFR 1910.1200(위험 전달 표준)에 의해 규제됨.

TSCA: 유해물질관리법에 따라 지정됨.

EU 규정:

REACH: 등록, EINECS 목록(EC No. 231-143-9) 준수.

기타: GHS 분류 및 라벨링 요구 사항을 준수합니다.

16. 기타 정보

작성 지침: 본 MSDS 는 CTIA GROUP LTD 에서 기존 데이터와 기술 지식을 바탕으로 작성되었습니다. 본 MSDS 는 명시된 제품에만 적용되며 다른 물질과의 혼합물에는 적용되지 않습니다.

면책 조항: 본 데이터시트는 참고용입니다. 사용자는 직접 적용 가능성을 판단해야 합니다. CTIA GROUP LTD 는 부적절한 사용으로 인한 손해에 대해 책임을 지지 않습니다.

개정 기록: 이는 이전 버전이 없는 온라인 전자 버전의 첫 번째 릴리스입니다.

문의사항이 있으시면 sales@chinatungsten.com 으로 이메일을 보내 시거나 +86 592 512 9696 으로 전화해 주세요.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



부록: 중국어, 영어, 일본어, 한국어, 독일어 및 러시아어로 된 F 텅스텐 분말 관련 용어집

본 용어집은 텅스텐 분말 관련 용어를 종합적으로 정리하여 모든 종류의 텅스텐 분말(초미립 텅스텐 분말, 미세 텅스텐 분말 등), 특성, 제조 방법, 응용 분야, 안전 관리 및 파생 제품을 포괄하며, 중국어, 영어, 일본어, 한국어, 독일어, 러시아어의 6 개 언어로 제공됩니다. 용어는 실용성과 국제화를 위해 주제별로 분류되어 있습니다.

F.1 기본 개념 및 속성

중국어	영어	일본어	한국어	독일 사람	러시아인	정의/설명
텅스텐 분말	텅스텐 분말	탕구스텐 분말	텅스텐 분말	볼프람폴버	포르쇼크 볼프라마	일반적으로 크기가 0.5~50 마이크론인 금속 텅스텐으로 만든 미세 입자로, 분말 야금과 전자 산업에 사용됩니다.
초미립 텅스텐 분말	초미립 텅스텐 분말	초미세 탕스텐 분말	초미세 텅스텐 분말	울트라파인 울프람폴버	У л ь т р а т о н к и й п о р о ш о к в о л ь f r a m a	입자 크기가 0.1~1 마이크론인 텅스텐 분말은 비표면적이 크고 고정밀 응용 분야에 적합합니다.
미세	미세	미세한	미세	파인스	멜키 포르쇼크	입자 크기가 1~10

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

중국어인	영어	일본어	한국어	독일 사람	러시아인	정의/설명
텅스텐 분말	텅스텐 분말	탕스텐 분말	텅스텐 분말	볼프람폴버	볼프라마	마이크론인 텅스텐 분말은 분말 야금 및 균형제에 일반적으로 사용됩니다.
나노텅스텐 분말	나노 텅스텐 분말	노나 탕스텐 파우더	나노 텅스텐 분말	나노울프람필버	나노포르쇼크 볼프라마	입자 크기가 100 나노미터 미만인 텅스텐 분말은 활성이 매우 높아 나노기술 및 촉매에 적합합니다.
거친 텅스텐 분말	거친 텅스텐 분말	거친 탕스텐 가루	조대 텅스텐 분말	그로브스 볼프람폴버	그루비이 포르쇼크 볼프라마	입자 크기가 10~50 마이크론인 텅스텐 분말은 용접 및 조립물 제품에 사용됩니다.
구형 텅스텐 분말	구형 텅스텐 분말	구형 탕스텐 분말	구형 텅스텐 분말	슈페리세스 볼프람폴버	Сферический порошок вольтфрама	구형 텅스텐 분말은 유동성이 좋으며 3D 프린팅과 분무에 일반적으로 사용됩니다.
비정질 텅스텐 분말	비정질 텅스텐 분말	무정형 탕스텐 분말	2 텅스텐 분말	아모르페스 볼프람폴버	Аморфный порошок вольтфрама	명확한 결정 구조가 없는 텅스텐 분말은 특수 코팅 및 복합 재료에 사용됩니다.
청정	청정	청정	순도	라인하이트	체스토타	텅스텐 분말의 텅스텐 함량 비율은 일반적으로 $\geq 99.9\%$ 입니다.
밀도	밀도	밀도	농민	디히테	플로트노스티	텅스텐 분말의 질량 대 부피 비율의 이론값은 19.25 g/cm ³ 입니다.

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

중국어인	영어	일본어	한국어	독일 사람	러시아인	정의/설명
녹는점	녹는점	녹는점	열점	슈멜츠펑크트	온도 측정기	표준 대기압에서 텅스텐 분말이 액체가 되는 온도는 3422° C 입니다.
비등점	비등점	비등점	2	시테폰크트	온도 측정	텅스텐 분말이 기체로 승화하는 온도는 5555° C 입니다.
비표면적	비표면적	비표면적	2	하루를 보내다	У д е л ь н а я п о в е р х н о с т ь	텅스텐 분말의 단위 질량당 표면적은 일반적으로 50~150 m ² /g(나노미터 수준)입니다.
겉보기 밀도	겉보기 밀도	밀도를 확인하세요	겉보기 농민	샤인디히테	카주세샤 플로트노스티	텅스텐 분말의 자연적 적층상태 밀도는 2.5~6.0g/cm ³ 이다.
Fisher 입자 크기	피셔 입자 크기	탄산 입자 크기	피셔 크기	2 Fisher Körnung	Ф и ш е р у л а й з е р с к а я	피셔법으로 측정한 텅스텐 분말의 평균 입자 크기는 일반적으로 0.5~50 μm 입니다.
유동성	유동성	유동성	2	높이 날아라	테쿠체스티	표준 조건에서 텅스텐 분말이 깔때기를 통과할 수 있는 능력을 초단위로 나타낸 것으로, 50g 당 흐를 수 있는 시간이 얼마인지를 나타냅니다.
결정 구조	결정 구조	결정 구조	결정 구조	크리스탈 구조	크리스탈 구조	의 결정 형태는 일반적으로 체심입방(BCC)입니다.
경도	경도	경도	경도	하르테	Thv è r d o s t ь	텅스텐 분말 또는 그 제품의 변형

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

중국어인	영어	일본어	한국인	독일 사람	러시아인	정의/설명
						저항성은 HV 300-500 과 같습니다.

F.2 제조 방법

중국어인	영어	일본어	한국인	독일 사람	러시아인	정의/설명
수소환원법	수소 환원	수소환원법	2 영상학	물 공급 감소	우스타노블레 니에 보도돔	텅스텐 분말은 보통 800~1200° C 의 온도에서 텅스텐 산화물을 수소로 환원시켜 제조합니다.
기상 증착법	기상 증착	기체상 증발법	기상 2	기체상 작동	파로파즈노에 오사제니에	나노텅스텐 분말은 기체 텅스텐 화합물의 증착을 통해 생산되며, 고정밀 응용 분야에 자주 사용됩니다.
플라즈마 방식	플라즈마 방법	플라즈마 방식	초음파 학	플라즈마계 화씨	플라즈마 방법	초미립 텅스텐 분말은 텅스텐 전구체의 고온 플라즈마 분해를 통해 제조되며 수율은 높지만 에너지 소비가 높습니다.
수열법	수열법	수열법	2 합성법	수열기술	전동기 방식	텅스텐 분말은 고온, 고압 수용액에서 제조되므로 환경 친화적이며 나노스케일에

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

중국어인	영어	일본어	한국인	독일 사람	러시아인	정의/설명
						적합합니다.
탄소열 환원	열탄소 환원	탄소 저감 방법	탄소 열 영상학	탄수화물 중독 구제	카르보테르미 체스코에 восста новлен ие	텅스텐 카바이드 분말은 고온에서 텅스텐 산화물을 탄소로 환원시켜 제조됩니다.
전기화학적 환원	전기화학적 환원	전기화학적 환원	2. 영상학	전기공학 레드	Электр охими ч еское восп та новлен ие	텅스텐 분말은 텅스텐 용액을 전기분해하여 제조되며, 나노스케일 및 순도 제어에 적합합니다.
레이저 유도 분해	레이저 유도 분해	가죽 유도 분해 방법	2 유도 설명법	레이저 저그 산업	러시아 산업혁명	레이저는 텅스텐 전구체를 분해하여 낮은 에너지 소비로 초미립 또는 나노 텅스텐 분말을 제조하는 데 사용됩니다.
분무 열분해	분무 열분해	분무 열분해 법	분무 2	스프레이폴리 제	Распыл ение с пи р оли з ом	텅스텐 용액을 분무한 후 고온에서 분해하여 생물학적 응용 분야에 적합한 다공성 텅스텐 분말을 생산합니다.

F.3 적용 분야

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

중국어인	영어	일본어	한국인	독일 사람	러시아인	정의/설명
분말 야금	분말 야금	분말 야금	분말 2	분체야금	금속 가공	텅스텐 막대, 텅스텐 판 등의 텅스텐 제품은 텅스텐 분말을 압착하고 소결하여 만들어집니다.
초경합금	경질 합금	초경합금	경질 합금	하트메탈	테요르디 슬라브	텅스텐 카바이드 분말을 주성분으로 한 내마모성 절삭 공구와 드릴 비트에 사용됩니다.
무게 소재	균형추 재료	카운타웨이트 소재	2	Gegengewichtsmaterial	Противовесный материал	텅스텐 분말은 밀도가 높아 낚싯추나 골프채와 같은 추를 만드는데 사용됩니다.
광전기촉매	광전기촉매	광촉매	2 영감	광전효과	사진전자	텅스텐 산화물 분말 (예: WO ₃)을 사용하여 물을 분해하거나 오염 물질을 분해하며, 밴드갭은 2.6~2.8eV 입니다.
양자 기술	양자 기술	양자 기술	2 기술	양자 기술	기술 기술	나노텅스텐 분말의 초전도성(도핑 후 Tc가 10K에

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

중국어인	영어	일본어	한국인	독일 사람	러시아인	정의/설명
						도달)은 양자 비트를 제조하는 데 사용됩니다.
유연한 전자 장치	유연한 전자 장치	후레키시브 르엘렉트 로닉스	우주 2	유연한 전자 장치	전기 장치	텅스텐 분말과 폴리머 복합재를 사용하여 전기 전도도가 10 ⁵ S/m 인 유연한 전극을 제조합니다.
우주 탐사	우주 탐사	우주 탐사	2 지질	복지	이슬라마바 니에 코스모사	텅스텐 분말은 95%의 차단율을 가진 방사선 차폐재를 제조하는 데 사용됩니다.
적층 제조	적층 제조	아디테브 제조	더위 2	첨가제 비료	А д и т и в н о е п р о и з в о д с т в о	복잡한 모양의 부품을 준비합니다 .
내마모성 코팅	내마모성 코팅	내마모성 코팅	내마모 코팅	Verschleiß feste Beschichtung	И з н о с о с т о й к о е п о к р ы т и е	내마모층은 경도 HV 1600~2000 의 텅스텐 카바이드 분말을 분사하여 형성됩니다.
생명공학	생명공학	바이오테크 놀로그	한국인	생명공학	베트페어	나노텅스텐산 화물 분말은 항균 코팅이나 약물 전달에 사용되며 항균율은 99%입니다.

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

F.4 보안 및 관리

중국어	영어	일본어	한국인	독일 사람	러시아인	정의/설명
가연성 고체	가연성 고체	가연성 고체	한국인 고체	브렌바러 페스트스토프	Горючий твёрдый материал	미세한 텅스텐 분말(<10 μm)은 공기 중에서 자연적으로 연소될 수 있으며 GHS 4.1 등급 위험물로 분류됩니다.
분진 폭발	먼지 폭발	분진 폭발	2 폭발	슈타우베스플로젠	더 보기	텅스텐 먼지 구름은 밀폐된 공간에서 화재가 발생하면 폭발할 수 있으므로 정전기 방지 처리가 필요합니다.
호흡기 보호	호흡기 보호	호흡기 보호	진동 보호	아템슈츠	호흡기 보호	텅스텐 먼지 흡입을 예방하기 위해 방진 마스크(예: N95)를 사용하세요.
노출 한계	노출 한도	노출 한도	2 한국인	전사회 grenzwert	프레델 보즈데이스티비야	OSHA PEL 과 같은 작업장 텅스텐 먼지 농도 한계는 5 mg/m³ 입니다.
재활용	재활용	살다	2	재활용	피에레라 보트카	텅스텐 폐기물에서 텅스텐 분말을 회수하는 비율은 90%-95%에 달할 수 있습니다.
안전 데이터 시트	안전 데이터 시트(SDS)	안전 데이터 시트	2 데이터 시트	다텐블라트	패스포트 베조파스노스티	이 MSDS 와 같이 텅스텐 분말의 안전한 사용에 대한 지침을 제공합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

중국어	영어	일본어	한국어	독일 사람	러시아인	정의/설명
정전기 방지	정전기 방지	정전기 방지	전기적 2	반정체	안티스타티체스키	텅스텐 분말의 자연발화나 폭발을 방지하기 위해 정전기 축적을 방지합니다.
누수 처리	유출 처리	누수 처리	2 2	레키지 처리	오버보트카 우티체크	텅스텐 분말 누출을 처리하기 위한 비상 조치에는 마른 모래로 덮고 밀봉하여 수집하는 것이 포함됩니다.

F.5 화학 성분 및 유도체

중국어	영어	일본어	한국어	독일 사람	러시아인	정의/설명
산화텅스텐	산화텅스텐	산화 텅스텐	산화 텅스텐	볼프라모사이드	열린 책	WO ₃ , 노란색 분말, 밴드갭 2.6-2.8 eV, 광전자 및 감지에 사용됨.
이산화텅스텐	이산화텅스텐	이산화 텅스텐	2 텅스텐	볼프람디옥사이드	덕시드 볼프라마	WO ₂ , 텅스텐 분말을 제조하기 위한 중간 생성물, 갈색 분말.
텅스텐 카바이드	텅스텐 카바이드	탄화 텅스텐	탄화 텅스텐	볼프람카비드	카르비드 볼프라마	WC, 경도 HV 1600-2000, 초경합금

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

중국어	영어	일본어	한국어	독일 사람	러시아인	정의/설명
						에 사용됨.
텅스텐 카바이드	디텅스텐 카바이드	이산화탄소 가스	이탄화 텅스텐	디올프람카비드	디카르비드 불프라마	WC 보다 경도가 약간 낮은 W_2C 는 내마모성 코팅에 사용된다.
텅스텐 헥사플루오라이드	텅스텐 헥사플루오라이드	폭화텅스텐	2 텅스텐	불프람헥사플루오라이드	긱사프트 불프라마	기체 화합물인 WF_6 는 텅스텐 필름을 증착하는데 사용된다.
텅스텐산	텅스텐산	탕구스텐산	텅스텐산	불프람소이레	불프라모바야 키슬라타	H_2WO_4 는 텅스텐 분말 제조 공정의 중간 생성물입니다.
텅스텐산 암모늄	텅스텐산 암모늄	탕스텐안 모니움	텅스텐산 암모늄	울프라마트 암모늄	통역사 암모니아	$(NH_4)_2WO_4$ 는 텅스텐 분말을 제조하는데 일반적으로 사용되는 전구체입니다.
텅스텐산나	텅스텐산나	탕스텐나	텅스	나트륨	통구스타투	Na_2WO_4 ,

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

중국어	영어	일본어	한국어	독일 사람	러시아인	정의/설명
트륨	트륨	트리움	텅스텐	볼프라마트	나트리티야	수열법으로 텅스텐 분말을 제조하기 위한 원료.
텅스텐 합금	텅스텐 합금	탕구스텐 합금	텅스텐 합금	볼프람레기어롱	Sprāv volufhrama	예를 들어, W-Ni-Fe 는 밀도가 17-18.5 g/cm ³ 이고, 균형추와 차폐재로 사용됩니다.
도핑된 텅스텐 분말	도핑된 텅스텐 분말	드프탕스텐 파우더	도핑된 텅스텐 분말	도티에터 볼프람폴버	Допированный порошок вольфрама	초전도성을 강화하는 등 성능을 개선하기 위해 몰리브덴, 코발트 등의 원소를 첨가한 텅스텐 분말입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD
Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content $\leq 0.05 \text{ wt}\%$, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: $\leq 25 \text{ s/50g}$, bulk density $\geq 9.0 \text{ g/cm}^3$, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.

Purity: $\geq 99.99\%$ (4N), with extremely low impurity content.

Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.

Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.

Fine particles: The particle size can reach 0.1-5 μm , which can meet high-precision applications.

Low oxygen content: oxygen content $\leq 0.02\%$, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥ 99.99
Impurities (wt%, max)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0010$, $\text{Si} \leq 0.0005$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0005$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{O} \leq 0.0200$, $\text{C} \leq 0.0050$, $\text{N} \leq 0.0020$, $\text{P} \leq 0.0005$, $\text{S} \leq 0.0005$
Water content (wt%)	≤ 0.02
Particle size (μm , FSSS)	0.1-5.0 (superfine 0.1-1.0, fine 1.0-5.0)
Bulk density (g/cm^3)	4.5-6.5
Particle size	Provide ultra-fine (0.1-1.0 μm) and fine (1.0-5.0 μm) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	$\leq 0.02\%$, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, $\geq 99.999\%$), with further reduction of impurities (e.g. $\text{O} \leq 0.01\%$)

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.

Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1

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