

은텅스텐 합금이란 무엇인가

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

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

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

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

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

목차

1 장: 은텅스텐 합금의 기본 지식

- 1.1 은텅스텐 합금의 개념
 - 1.1.1 은텅스텐 합금의 정의
 - 1.1.2 텅스텐 구리 합금과의 차이점
 - 1.1.3 텅스텐-몰리브덴 합금과의 차이점
- 1.2 은텅스텐 합금의 개발 역사
 - 1.2.1 초기 탐색 단계
 - 1.2.2 기술적 혁신과 산업 응용의 시작
 - 1.2.3 현대 기술 혁신
- 1.3 산업 연구의 중요성과 의의
 - 1.3.1 재료과학 발전 촉진
 - 1.3.2 다양한 분야에서의 적용 가치

제 2 장: 은-텅스텐 합금의 조성 및 특성

- 2.1 은과 텅스텐의 특성
 - 2.1.1 은의 물리적 및 화학적 특성
 - 2.1.1 텅스텐의 물리적 및 화학적 특성
 - 2.1.3 은 텅스텐 조성
- 2.2 은-텅스텐 합금 조성비의 영향
 - 2.2.1 은-텅스텐 비율이 합금의 굽힘 강도에 미치는 영향
 - 2.2.2 은-텅스텐 비율이 합금 인성에 미치는 영향
 - 2.2.3 은-텅스텐 비율이 합금 전도도에 미치는 영향
 - 2.2.4 은-텅스텐 비율이 합금의 열전도도에 미치는 영향
 - 2.2.5 은-텅스텐 비율이 합금 밀도에 미치는 영향
 - 2.2.6 은-텅스텐 비율이 합금 경도에 미치는 영향
 - 2.2.7 은-텅스텐 비율이 합금의 고온 저항에 미치는 영향
 - 2.2.8 은-텅스텐 비율이 합금의 아크 침식 저항성에 미치는 영향
- 2.3 은텅스텐 합금의 성능 분석
 - 2.3.1 은-텅스텐 합금의 고경도 형성 메커니즘 및 장점
 - 2.3.1.1 고경도 형성의 미세구조 메커니즘
 - 2.3.1.2 내마모성 응용 분야에서 고경도의 장점
 - 2.3.1.3 다른 합금과의 경도 비교 및 장점
 - 2.3.2 은-텅스텐 합금의 아크 침식 저항성 원리 및 성능
 - 2.3.2.1 아크 침식의 메커니즘
 - 2.3.2.2 은-텅스텐 합금의 아크 침식 저항의 본질적인 원리
 - 2.3.2.3 사용 환경에 따른 아크 침식 저항 성능의 차이
 - 2.3.2.4 아크 침식 저항성을 향상시키는 방법
 - 2.3.3 은-텅스텐 합금의 접착 방지 및 용접 방지 성능
 - 2.3.3.1 접착 및 용접의 원인
 - 2.3.3.2 은-텅스텐 합금의 접착 방지 성능

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 2.3.3.3 접착 방지 및 용접 방지 성능에 영향을 미치는 요인 분석
- 2.3.4 은-텅스텐 합금의 우수한 전도도의 원리 및 응용
 - 2.3.4.1 은-텅스텐 합금의 전도성의 물리적 특성 및 전도성 메커니즘
 - 2.3.4.2 다양한 구성 요소 비율에서의 전도도 변화
 - 2.3.4.3 전기 장비에서 전도성 응용 분야의 장점
- 2.3.5 은텅스텐 합금의 우수한 열전도도의 특성 및 가치
 - 2.3.5.1 은-텅스텐 합금의 열전도도 기본 원리 및 열전도도 메커니즘
 - 2.3.5.2 열전도도와 방열효과의 관계
 - 2.3.5.3 고온 작업 환경에서 열전도도의 적용 가치
- 2.3.6 은-텅스텐 합금의 내식성 성능 및 메커니즘
 - 2.3.6.1 은-텅스텐 합금에 대한 다양한 부식 환경의 영향
 - 2.3.6.2 은-텅스텐 합금의 내식성 고유 메커니즘
 - 2.3.6.3 내식성 향상을 위한 기술적 수단
- 2.4 CTIA 그룹 유한회사 은텅스텐 합금 MSDS

제 3 장: 은-텅스텐 합금의 미세조직 특성 관찰 및 성능 상관관계

- 3.1 은-텅스텐 합금의 미세조직 특성 관찰
 - 3.1.1 입자 형태 및 크기 특성
 - 3.1.2 위상 분포 및 계면 특성
 - 3.1.3 기공 및 결함의 미시적 표현
 - 3.1.4 다양한 제조 공정에 따른 미세 구조 차이
- 3.2 은-텅스텐 합금 구조와 거시적 특성 간의 내재적 관계
 - 3.2.1 입자 구조가 강도 및 인성에 미치는 영향의 메커니즘
 - 3.2.2 상분포와 전기 및 열전도도 간의 상관관계
 - 3.2.3 기공률 및 결함이 경도 및 내식성에 미치는 영향
- 3.3 은-텅스텐 합금의 미세구조 진화
 - 3.3.1 조성비 변화에 따른 미세구조 변화
 - 3.3.2 열처리 중 미세조직 변형
 - 3.3.3 서비스 환경이 미세 구조 및 성능 피드백에 미치는 영향
- 3.4 은-텅스텐 합금의 미세구조 제어 방법
 - 3.4.1 제조 공정에 따른 미세구조 제어 방법
 - 3.4.2 합금 원소 첨가에 의한 미세 구조 최적화
 - 3.4.3 미세구조 조절과 성능 맞춤화 간의 관계

제 4 장: 은-텅스텐 합금의 제조 공정

- 4.1 은-텅스텐 합금 생산을 위한 분말 야금법
 - 4.1.1 분말 제조 공정 및 주요 사항
 - 4.1.2 프레스 공정 원리 및 작동
 - 4.1.3 소결 공정의 제어 및 영향
- 4.2 진공침투법에 의한 은-텅스텐 합금 생산
 - 4.2.1 침투 원리 및 장비 요구 사항
 - 4.2.2 프로세스 단계 및 매개변수 최적화

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 4.2.3 프로세스의 장점 및 한계
- 4.3 프로세스 비교 및 선택 기준
 - 4.3.1 다양한 프로세스의 비용 분석
 - 4.3.2 성능 차이 및 프로세스 선택
 - 4.3.3 생산 효율성 및 프로세스 적응

제 5 장: 은-텅스텐 합금의 성능 테스트 및 특성화

- 5.1 은텅스텐 합금의 물리적 특성 시험
 - 5.1.1 밀도 시험 방법
 - 5.1.2 경도 시험 표준 및 작업
 - 5.1.3 전기전도도 및 열전도도 시험 방법
- 5.2 은-텅스텐 합금의 화학적 특성 평가
 - 5.2.1 내식성 시험 환경 및 방법
 - 5.2.2 항산화제 성능 시험 방법
- 5.3 은-텅스텐 합금 미세조직 특성 분석 기술
 - 5.3.1 금속현미경 관찰 방법
 - 5.3.2 주사전자현미경 분석 응용 분야
 - 5.3.3 X 선 회절을 이용한 구조 분석

제 6 장: 은텅스텐 합금의 응용 분야

- 6.1 전기장에서의 은텅스텐 합금의 응용
 - 6.1.1 저전압 전력 스위치의 적용 이점
 - 6.1.1.1 저전압 전력 스위치 재료에 대한 성능 요구 사항
 - 6.1.1.2 저전압 전력 스위치에서의 은-텅스텐 합금의 적용
 - 6.1.1.3 저전압 전원 스위치에서 PCB 재료를 사용하는 것의 장점 (다른 재료에 비해)
 - 6.1.2 고전압 스위치용 전기 합금 수요
 - 6.1.2.1 고전압 스위치의 작업 환경 및 전기 합금에 대한 특수 요구 사항
 - 6.1.2.2 고전압 스위치 요구 사항을 충족하는 은-텅스텐 합금의 성능
 - 6.1.3 릴레이 및 기중 차단기의 적용
 - 6.1.3.1 릴레이의 작동 원리 및 접점 재료에 대한 요구 사항
 - 6.1.3.2 릴레이에 은텅스텐 합금을 적용한 효과
 - 6.1.3.3 공기 회로 차단기의 성능 요구 사항 및 은-텅스텐 합금의 호환성
 - 6.1.4 단로기 및 접지 스위치에서의 응용
 - 6.1.4.1 절연 스위치 및 접지 스위치의 기능 및 재료 요구 사항
 - 6.1.4.2 절연 스위치 및 접지 스위치에서 은-텅스텐 합금의 장점
- 6.2 전자 분야에서 은텅스텐 합금의 응용
 - 6.2.1 EDM 전극의 성능 요구 사항 및 응용 분야
 - 6.2.1.1 전기 가공 공정 용 전극재료의 성능지수 요구사항
 - 6.2.1.2 가공 전극 으로서 은-텅스텐 합금의 성능 이점
 - 6.2.1.3 다양한 전기 가공 시나리오에서의 은-텅스텐 합금 전극 선택
 - 6.2.2 마이크로 전자공학에서 재료의 역할
 - 6.2.2.1 마이크로 전자 분야의 재료에 대한 정밀도 요구 사항

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.2.2.2 마이크로 전자 패키징에서의 은-텅스텐 합금의 응용
- 6.2.2.3 마이크로 전자 연결 부품에서 은-텅스텐 합금의 역할
- 6.2.3 센서에서의 응용 탐색
- 6.2.3.1 센서 작업 환경 및 재료 성능 요구 사항
- 6.2.3.2 센서에서 은-텅스텐 합금의 잠재적 응용 시나리오
- 6.3 항공우주 분야에서의 은텅스텐 합금의 응용
- 6.3.1 솔리드 로켓 노즐 스로트 라이닝의 적용
- 6.3.1.1 고체 로켓 노즐 스로트 라이닝의 작업 환경 및 재료 과제
- 6.3.1.2 노즐 스로트 라이너로서 은텅스텐 합금의 성능
- 6.3.1.3 은-텅스텐 합금 노즐 스로트 라이닝의 제조 및 적용 효과
- 6.3.2 항공우주 엔진 구성 요소의 잠재적 응용 분야
- 6.3.2.1 항공기 엔진의 고온 고압 작업 환경에서의 재료에 대한 요구 사항
- 6.3.2.2 항공기 엔진의 특정 부품에 대한 은-텅스텐 합금의 적용 가능성
- 6.3.3 우주선 전기 시스템의 응용
- 6.3.3.1 우주선 전기 시스템에 대한 신뢰성 요구 사항
- 6.3.3.2 우주선 접촉기 및 기타 구성품에 대한 은-텅스텐 합금의 적용
- 6.4 은텅스텐 합금의 다른 분야에서의 응용
- 6.4.1 야금 산업의 응용 시나리오
- 6.4.1.1 야금 장비의 작업 조건 및 재료 요구 사항
- 6.4.1.2 야금로 전극에서의 은-텅스텐 합금의 적용
- 6.4.1.3 야금 시험 장비에서의 은-텅스텐 합금 사용
- 6.4.2 스포츠 장비의 사용 사례
- 6.4.2.1 고급 스포츠 장비의 재료 성능에 대한 요구 사항
- 6.4.2.2 골프 헤드, 낚시 도구 및 기타 장비에 대한 은-텅스텐 합금의 적용
- 6.4.3 의료기기 분야의 탐색 및 응용
- 6.4.3.1 의료기기의 재료 생체적합성 및 성능에 대한 요구 사항
- 6.4.3.2 의료 영상 장비에서의 은-텅스텐 합금의 응용
- 6.4.3.3 정밀 수술 도구에 사용되는 은텅스텐 합금의 잠재적 응용 분야
- 6.4.4 원자력 분야의 응용 전망
- 6.4.4.1 원자력 에너지 장비의 재료 방사선 저항성 및 기타 특성에 대한 요구 사항
- 6.4.4.2 원자력 분야에서 은-텅스텐 합금의 응용 가능성 분석

제 7 장: 은텅스텐 합금의 미래 발전 방향

- 7.1 은-텅스텐 합금의 새로운 제조 기술 탐색
- 7.1.1 적층 제조 기술의 잠재적 응용 분야
- 7.1.2 기타 첨단 제조 기술의 전망
- 7.2 은-텅스텐 합금 성능 최적화 연구 동향
- 7.2.1 종합 성과 개선을 위한 연구 방향
- 7.2.2 특정 애플리케이션에 대한 성능 향상

총수

부록 A: 은-텅스텐 합금에 대한 중국 국가 표준

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

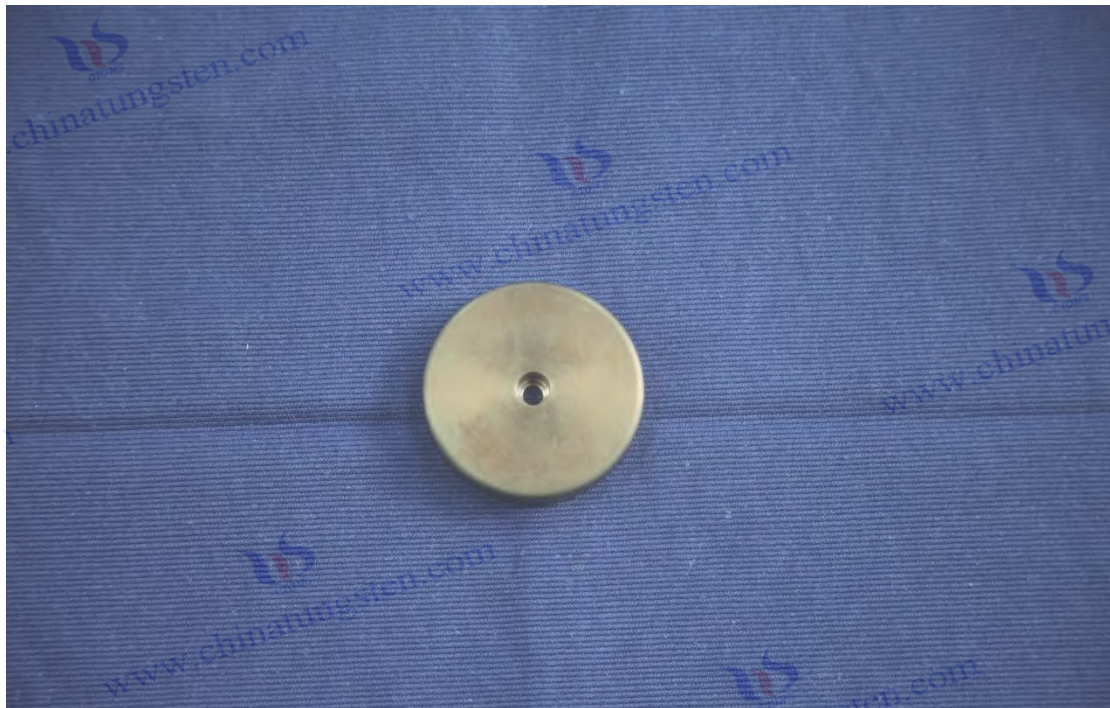
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

부록 B: 은-텅스텐 합금에 대한 국제 표준

부록 C: 유럽, 미국, 일본, 한국 및 전 세계 다른 국가의 은-텅스텐 합금 표준

부록 D: 은-텅스텐 합금 용어

참고문헌



CTIA GROUP LTD 은텅스텐 합금

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
Silver Tungsten Alloy Introduction

1. Overview of Silver Tungsten Alloy

Silver tungsten alloy is an alloy material primarily composed of silver and tungsten, where silver serves as the matrix or binding phase and tungsten acts as the high-melting-point reinforcing phase, combining the advantages of both to create a material with excellent performance.

2. Features of Silver Tungsten Alloy

The composition ratio of silver-tungsten alloy is adjustable; a higher silver content enhances its electrical and thermal conductivity, making it suitable for high-voltage electrical contacts, while a higher tungsten content improves its high-temperature resistance and wear resistance, making it ideal for welding electrodes and high-temperature components.

3. The Composition Ratio of Silver Tungsten Alloy

Materials	Composition (%weight)	Density (/g.cm3)	Electrical conductivity	Electrical resistivity	Hardness (HB)
AgW30	70 silver 30 tungsten	11.8-12.2	73	2.3	75
AgW40	60 silver 40 tungsten	12.5-12.8	64	2.6	85
AgW50	50 silver 50 tungsten	13.2-13.5	73-56	2.3-3.0	105
AgW55	45 silver 55 tungsten	13.6-13.9	54	3.2	115
AgW60	40 silver 60 tungsten	14.0-14.4	60-50	2.8-3.3	125
AgW65	35 silver 65 tungsten	14.5-14.9	50	3.4	135
AgW70	30 silver 70 tungsten	14.7-15.1	48	3.5	150
AgW80	20 silver 80 tungsten	16.1-16.5	37	4.5	180

4. Production Methods for Silver Tungsten Alloy

The preparation method for tungsten-silver alloy is the same as that for tungsten-copper alloy. Due to tungsten's high melting point and its inability to alloy with silver, traditional methods cannot be used. Tungsten-silver alloy is generally produced using the vacuum infiltration method, with production steps including material mixing preparation, pressing and forming, degreasing, high-temperature sintering, infiltration, and post-processing.

5. Applications of Silver Tungsten Alloy

Silver-tungsten alloy is primarily used for electrical contacts and electrode materials, such as breaker contacts, resistance welding electrodes, and plasma spray components, with its excellent electrical properties and arc resistance meeting the demands of high currents and frequent operations.

6. Purchasing Information

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

Website: silver-tungsten.net

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

제 1 장 은-텅스텐 합금의 기본 지식

고성능 복합 소재인 은-텅스텐 합금은 뛰어난 전기 전도성, 열 전도성, 고온 저항성, 아크 부식 저항성을 갖춰 전기, 전자, 국방 및 산업 분야에서 폭넓은 응용 가능성을 보여주고 있습니다. 이 합금은 분말 야금 공정으로 제조되며, 은의 높은 전기 및 열 전도성과 텅스텐의 높은 용점 및 경도를 결합하여 고전류, 고온 또는 고마모 환경에서 까다로운 요구 사항을 충족할 수 있습니다. 전기화 및 고출력 장비의 급속한 발전으로 전기 접점, 회로 차단기 및 전극 소재 분야에서 은-텅스텐 합금의 중요성이 점점 더 커지고 있습니다.

1.1 은텅스텐 합금의 개념

은-텅스텐 합금 은과 텅스텐을 주성분으로 하는 복합 소재입니다. 일반적으로 분말 야금으로 제조되며, 높은 전도성, 아크 부식 저항성, 고온 내성이 요구되는 분야에 널리 사용됩니다. 은은 뛰어난 전기 및 열 전도성을 제공하고, 텅스텐은 높은 용점, 경도, 내마모성을 제공하여 전기 접촉 및 고온 환경에서 우수한 성능을 발휘합니다. 은-텅스텐 합금의 성능은 고전압 스위치, 용접 전극, 항공우주 전기 부품 등 다양한 응용 분야의 요구에 맞춰 은과 텅스텐의 비율을 조절하여 최적화할 수 있습니다.

1.1.1 은텅스텐 합금의 정의

은-텅스텐 합금은 분말 야금 공정을 통해 은과 텅스텐을 혼합하여 만든 복합 소재입니다. 은은 매트릭스 또는 결합상으로, 텅스텐은 고용점 강화상으로 사용됩니다. 두 재료의 장점이 결합되어 뛰어난 성능을 가진 소재를 형성합니다. 은은 높은 전기 전도성과 열 전도성을 가지고 있어 이상적인 전도성 매트릭스를 형성하며, 텅스텐은 높은 용점과 경도를 가지고 있어 뛰어난 고온 저항성과 아크 부식 저항성을 제공합니다. 제조 공정은 일반적으로 분말 혼합, 프레스, 소결, 후가공 과정을 포함합니다. 소결 과정에서 은은 액상을 형성하여 텅스텐 입자를 적시고, 틈을 메우며, 치밀한 미세 구조를 형성합니다. 은-텅스텐 합금의 조성비는 조절 가능합니다. 은 함량이 높을수록 전도성이 좋아지고, 텅스텐 함량이 높을수록 내마모성과 고온 저항성이 향상됩니다. 전기 접점, 회로 차단기 접점, 저항 용접 전극, 플라스마 용사 부품 등에 적합합니다. 비자성이며 열팽창 계수가 낮아 고정밀 전기 및 고온 환경에서의 적용성이 더욱 향상되었습니다.

은-텅스텐 합금의 핵심 장점은 포괄적인 성능에 있습니다. 은의 높은 전도성은 전류 전송 효율을 보장하며 고전압 전기 시스템에 적합합니다. 텅스텐의 높은 용점과 아크 내식성은 고전류 또는 빈번한 스위칭 동작에서 합금의 안정성을 유지하고 수명을 연장합니다. 합금의 인성과 내마모성은 기계적 충격과 아크 침식을 견뎌내므로 동적 전기 환경에 적합합니다. 제조 공정의 유연성 덕분에 특정 응용 분야 요구 사항에 맞게 은-텅스텐 비율을 조정하거나 미량 원소(예: 니켈)를 추가하여 성능을 최적화할 수 있습니다.

1.1.2 텅스텐 구리 합금과의 차이점

은-텅스텐 합금(Ag-W)과 텅스텐-구리 합금(W-Cu)은 모두 분말 야금으로 제조한 텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기반 복합 소재로 전기 및 열 관리 분야에서 널리 사용되지만, 두 재료 사이에는 구성, 성능 및 적용 시나리오 측면에서 상당한 차이가 있습니다.

구성 및 제조 : 은-텅스텐 합금은 은을 매트릭스 또는 결합상으로, 텅스텐을 강화상으로 사용합니다. 은 함량이 일반적으로 높아 합금에 우수한 전기 전도성을 부여합니다. 텅스텐-구리 합금은 텅스텐을 매트릭스로, 구리를 결합상으로 사용합니다. 구리 함량은 비교적 낮으며, 주로 열 전도성과 가공 성능에 중점을 둡니다. 은-텅스텐 합금의 소결 공정은 텅스텐 입자를 적서 균일하고 조밀한 구조를 형성하는 액상 은에 의존하는 반면, 텅스텐-구리 합금은 종종 텅스텐 골격을 소결한 다음 액상 구리를 침투시키는 침투법으로 제조됩니다. 이 공정은 더 복잡하고 에너지 집약적입니다. 은-텅스텐 합금의 은 함량은 합금 가격을 더 높게 만드는 반면, 텅스텐-구리 합금은 구리 가격이 낮아 경제적입니다.

성능 차이 : 은-텅스텐 합금의 전기 전도도는 텅스텐-구리 합금보다 우수합니다. 은의 전기 전도도가 구리보다 높기 때문에 회로 차단기 및 스위치 접점과 같은 고전류 전기 접점 응용 분야에 적합합니다. 텅스텐-구리 합금의 열 전도도는 구리의 열 전도도가 은보다 약간 높기 때문에 더 강하며 전자 방열 기관 및 전극 재료와 같은 열 관리 응용 분야에 적합합니다. 은-텅스텐 합금의 아크 내식성은 텅스텐-구리 합금보다 우수합니다. 은의 높은 녹는점과 화학적 안정성으로 인해 아크 환경에서의 절삭에 더 강하고 빈번한 스위칭이 있는 전기 시스템에 적합하기 때문입니다. 텅스텐-구리 합금의 밀도는 구리의 밀도가 은보다 낮기 때문에 은-텅스텐 합금보다 약간 낮아 높은 중량 균형이 필요한 응용 분야에서의 적용이 제한됩니다. 은-텅스텐 합금의 인성은 텅스텐-구리 합금보다 약간 떨어지는데, 이는 은의 연성이 구리보다 낮지만 경도와 내마모성이 더 높고 마모가 심한 상황에 적합하기 때문입니다.

적용 분야 : 은-텅스텐 합금은 고전압 회로 차단기 접점, 저항 용접 전극, 플라즈마 용사 부품과 같은 전기 접점 및 전극 소재에 주로 사용됩니다. 뛰어난 전도성과 내아크성은 고전류 및 빈번한 작동 요건을 충족합니다. 텅스텐-구리 합금은 전력 반도체 기관, 서버 방열판, 로켓 노즐 라이닝과 같은 열 관리 부품에 더 널리 사용됩니다. 높은 열전도도와 가공 성능은 방열 및 고온 환경에 더욱 적합합니다. 은-텅스텐 합금의 비자성 특성은 MRI 장비와 같은 전자기적으로 민감한 환경에서 이점을 제공하며, 텅스텐-구리 합금의 비자성 특성 또한 적용 가능하지만, 밀도가 낮아 차폐 또는 균형추 용도로는 제한적입니다. 은-텅스텐 합금은 높은 비용으로 인해 비용에 민감한 환경에서의 적용이 제한되는 반면, 텅스텐-구리 합금은 더 경제적이며 대량 생산에 적합합니다.

장단점 요약: 은-텅스텐 합금은 텅스텐-구리 합금보다 전기 전도도와 아크 내식성이 우수하며 고신뢰성 전기 접점에 적합하지만 가격이 더 비싸고 열 전도도가 약간 낮습니다. 텅스텐-구리 합금은 열 전도도와 가공 성능 면에서 더 많은 장점을 가지고 있으며 열 관리 부품에 적합하지만 아크 내성과 밀도가 낮습니다. 재료 선택은 응용 분야 요구 사항에 따라 신중하게 고려해야 합니다. 예를 들어, 은-텅스텐 합금은 전기 접점에 선호되는 반면 텅스텐-구리 합금은 방열 기관에 선호됩니다. 최적화 방향에는 미량 원소(예: 니켈)를 추가하여 은-텅스텐 합금의 인성을 향상시키거나 적층 제조를 사용하여 텅스텐-구리 합금의 제조 비용을 줄이는 것이 포함됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.1.3 텅스텐-몰리브덴 합금과의 차이점

은-텅스텐 합금(Ag-W)과 텅스텐-몰리브덴 합금(W-Mo)은 모두 텅스텐 기반 복합 소재로 고온 및 전기 분야에서 널리 사용되지만, 두 재료 사이에는 구성, 성능 및 응용 분야 측면에서 상당한 차이가 있습니다.

구성 및 제조 : 은-텅스텐 합금은 은을 매트릭스 또는 결합 상으로, 텅스텐을 강화 상으로 사용합니다. 분말 야금 공정(분말 혼합, 압착 및 액상 소결 등)을 통해 제조됩니다. 은은 고온에서 액상을 형성하고 텅스텐 입자를 적시며 치밀한 구조를 형성합니다. 텅스텐-몰리브덴 합금은 주로 텅스텐과 몰리브덴으로 구성됩니다. 보통 분말 야금이나 진공 용해로 제조합니다. 텅스텐과 유사한 특성을 가진 고용점 금속인 몰리브덴은 합금의 고온 저항을 향상시킵니다. 은-텅스텐 합금의 은 함량은 우수한 전도성을 제공하는 반면, 텅스텐-몰리브덴 합금은 귀금속을 포함하지 않고 비용이 낮지만 전도성 매트릭스가 부족합니다. 텅스텐-몰리브덴 합금의 제조 공정에는 더 높은 소결 온도가 필요한데, 이는 몰리브덴의 녹는점이 텅스텐보다 약간 낮고 공정 제어가 더 복잡하기 때문입니다.

성능 차이 : 은-텅스텐 합금의 전기 전도도와 열 전도도는 텅스텐-몰리브덴 합금보다 훨씬 우수합니다. 은을 첨가하면 전기 전도도와 열 전도 효율이 크게 향상되고 전기 접점 및 전극 응용 분야에 적합하기 때문입니다. 텅스텐-몰리브덴 합금의 전기 전도도와 열 전도도는 주로 텅스텐과 몰리브덴의 고유 특성에 의존하기 때문에 좋지 않으며 전기 응용 분야보다는 구조 부품에 적합합니다. 은-텅스텐 합금은 은의 화학적 안정성으로 인해 고전류 아크에서 절삭에 저항하기 때문에 우수한 아크 부식 저항성을 가지고 있는 반면 텅스텐-몰리브덴 합금은 아크 환경에서 쉽게 산화되고 부식 저항성이 약합니다. 텅스텐-몰리브덴 합금은 몰리브덴이 고온에서 기계적 특성을 향상시키고 매우 높은 온도 환경(예: 항공우주 노즐)에 적합하기 때문에 강도와 고온 저항성이 약간 더 좋습니다. 은-텅스텐 합금의 밀도는 텅스텐-몰리브덴 합금보다 높으며, 높은 중량 균형이 요구되는 응용 분야에 적합한 반면, 텅스텐-몰리브덴 합금은 밀도가 낮습니다.

적용 분야 : 은-텅스텐 합금은 주로 전기 접점, 회로 차단기 접점, 저항 용접 전극에 사용됩니다. 높은 전도성과 내아크성은 전원 스위치 및 항공우주 전기 연결과 같은 고전압 전기 시스템의 요구를 충족합니다. 텅스텐-몰리브덴 합금은 뛰어난 고온 저항성과 강도로 인해 로켓 엔진 노즐, 퍼니스 내부 부품, 고온 금형과 같은 고온 구조 부품에 더 일반적으로 사용됩니다. 은-텅스텐 합금은 의료 및 전자 분야에서 장점을 가지고 있는 반면, 텅스텐-몰리브덴 합금은 극한의 고온 및 기계적 부하 시나리오에 더 적합합니다. 은-텅스텐 합금은 은을 첨가하여 비용이 높아 대규모 구조 응용 분야에서의 사용이 제한되는 반면, 텅스텐-몰리브덴 합금은 비용이 저렴하여 경제적입니다.

장단점 요약 : 은-텅스텐 합금은 전기 전도성, 아크 내식성, 고밀도 카운터웨이트 측면에서 텅스텐-몰리브덴 합금보다 우수하며, 고신뢰성 전기 응용 분야에 적합하지만, 가격이 더 비싸고 극고온 내성이 다소 떨어집니다. 텅스텐-몰리브덴 합금은 고온 강도와 비용 효율성 측면에서 장점이 있으며, 고온 구조 부품에 적합하지만, 전기 전도성과 아크 내성은 부족합니다. 재료 선택은 응용 분야의 요구 사항에 따라 신중하게 이루어져야

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합니다. 예를 들어, 은-텅스텐 합금은 전기 접점에, 텅스텐-몰리브덴 합금은 고온 구조 부품에 적합합니다. 최적화 방향으로선 미량 원소를 첨가하여 은-텅스텐 합금의 고온 내성을 향상시키거나, 고급 소결 기술을 사용하여 텅스텐-몰리브덴 합금의 밀도를 높이는 것이 있습니다.

1.2 은텅스텐 합금의 개발 역사

은-텅스텐 합금의 개발은 재료 과학과 산업적 요구의 조화로운 발전을 반영합니다. 초기 탐색부터 현대 고성능 응용 분야의 획기적인 발전에 이르기까지, 은-텅스텐 합금은 재료 준비, 성능 최적화, 그리고 응용 분야 확장이라는 여러 단계를 거쳐 왔습니다. 은-텅스텐 합금의 연구 개발은 높은 전도성과 내아크성 소재에 대한 수요에서 시작되었으며, 점차 전기, 전자, 그리고 방위 분야의 핵심 소재로 발전해 왔습니다.

1.2.1 초기 탐색 단계

은-텅스텐 합금의 초기 연구는 20세기 초 전기 산업의 발전으로 고성능 접점 소재에 대한 절실한 필요성이 대두되면서 시작되었습니다. 스위치나 릴레이와 같은 초기 전기 장비는 순은이나 구리를 접점 소재로 사용하는 경우가 많았지만, 이러한 소재는 고전류나 빈번한 스위칭 동작 시 아크 침식 및 접착에 취약하고 수명이 짧으며 신뢰성이 낮았습니다. 텅스텐은 높은 녹는점과 경도로 접점의 아크 저항을 향상시키는 것으로 알려져 있지만, 순수 텅스텐은 전도성이 낮고 가공이 어렵습니다. 연구자들은 은의 전도성과 텅스텐의 고온 저항성을 활용하여 은과 텅스텐을 결합하는 복합 소재를 개발하기 위해 노력했습니다.

초기 준비는 주로 간단한 분말 혼합, 압축 및 소결 공정을 채택했습니다. 은-텅스텐 비율을 정확하게 제어하기 어려웠고 합금의 미세 구조가 고르지 않았으며 성능 안정성이 부족했습니다. 초기 실험은 비용과 성능의 균형을 맞추기 위해 낮은 은 함량의 합금에 초점을 맞추었지만 전도도가 낮아 적용 범위가 제한되었습니다. 탐사 단계의 과제에는 고르지 않은 분말 혼합, 높은 소결 다공성 및 후방 가공 기술이 포함되어 합금 성능이 산업적 요구를 충족할 수 없었습니다. 이러한 점에도 불구하고 은-텅스텐 합금의 잠재력은 전기 접점 및 전극 응용 분야에서 점차 드러나 후속 기술 혁신의 토대를 마련했습니다. 초기 연구는 주로 실험실과 소규모 실험에 집중되어 간단한 전기 스위치 및 산업용 전극에 적용되어 은-텅스텐 합금이 개념에서 초기 응용으로 전환되는 것을 나타냅니다.

1.2.2 기술적 혁신과 산업 응용의 시작

20세기 중반, 분말 야금 기술과 전기 산업의 급속한 발전으로 은-텅스텐 합금은 기술적 혁신과 산업 응용의 시작 단계에 접어들었습니다. 액상 소결 및 열간 압착 기술과 같은 첨단 분말 야금 공정은 합금의 밀도와 성능 일관성을 크게 향상시켰습니다. 액상 소결은 텅스텐 입자를 적시고 미세 기공을 채우며 고온에서 은의 액체 흐름을 통해 균일한 미세 구조를 형성하여 전도성과 내아크성을 크게 향상시킵니다. 연구진은 은-텅스텐 비율을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

최적화하여 은-텅스텐 합금은 전도성이 우수하고 고전압 전기 접점에 적합하며, 텅스텐 함량이 높은 합금은 내마모성과 고온 내성이 우수하여 전극 소재로 적합하다는 것을 발견했습니다.

제조 기술의 발전은 은-텅스텐 합금의 산업 생산을 촉진했습니다. 진공 소결 및 불활성 가스 보호 기술의 도입은 산화 문제를 줄이고 합금의 순도와 비자성을 향상시켰으며, 높은 전자파 적합성 요건을 충족하는 응용 분야의 요구를 충족했습니다. 정밀 가공 기술(예: 방전 가공(EDM) 및 CNC 밀링)의 적용은 복잡한 형상의 접점 및 전극 제조를 가능하게 하여 고전압 회로 차단기, 저항 용접 및 항공우주 전기 시스템에서 합금의 적용 범위를 확대했습니다. 산업 응용 분야의 시작은 전력 시스템과 제조 산업의 급속한 발전에도 도움이 되었습니다. 고전압 스위치기어 및 자동 용접 장비에 사용되는 내아크성 및 고전도성 소재에 대한 긴급한 수요는 은-텅스텐 합금의 시장화를 촉진했습니다. 이 시기에 은-텅스텐 합금은 고전압 회로 차단기 접점, 릴레이 접점, 저항 용접 전극에 널리 사용되기 시작했습니다. 뛰어난 아크 내식성 과 전기 전도성은 장비 수명을 크게 연장하고 작동 신뢰성을 향상시켰습니다. 항공우주 분야에서도 은-텅스텐 합금을 사용하여 전기 연결 부품을 제조하기 시작했으며, 비자성 및 고밀도 특성을 활용하여 시스템 성능을 최적화했습니다. 또한, 니켈이나 코발트와 같은 미량 원소를 첨가하여 합금의 인성과 가공성을 향상시킴으로써 적용 범위를 더욱 확대하는 기술적 혁신이 이루어졌습니다. 산업 응용의 시작은 은-텅스텐 합금이 실험실 수준에서 대량 생산으로 전환되었음을 의미하며, 현대 전기 및 고온 분야에서 광범위하게 적용될 수 있는 기반을 마련했습니다. 최적화 방향에는 은의 높은 비용 문제를 해결하기 위해 더욱 효율적인 소결 기술과 저비용 제조 방법 개발이 포함됩니다.

1.2.3 현대 기술 혁신

21 세기에 접어들면서 은-텅스텐 합금의 연구 개발 및 응용은 재료 과학, 제조 기술 및 응용 분야의 발전에 힘입어 현대 기술 혁신의 물결을 이끌었습니다. 현대 기술 혁신은 주로 제조 공정 최적화, 성능 향상, 그리고 응용 분야 확장이라는 세 가지 측면에 중점을 두고 있습니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS)과 같은 첨단 분말 야금 기술은 펄스 전류와 고압을 이용한 급속 가열을 통해 소결 시간을 크게 단축하고, 입자 성장을 줄이며, 합금의 밀도와 성능 일관성을 향상시킵니다. 이 기술은 은-텅스텐 합금의 미세 구조를 더욱 균일하게 만들고, 전도성과 아크 부식 저항성을 향상시키며, 고정밀 전기 접점 및 전극 응용 분야에 적합합니다. 나노기술의 발전은 나노 크기의 은-텅스텐 분말의 응용을 촉진했습니다. 나노입자의 높은 비표면적은 액상 소결 효과를 향상시키고, 합금의 강도, 인성 및 열전도도를 더욱 향상시키며, 소형 전기 부품 및 고온 전극에 적합합니다.

적층 제조(3D 프린팅) 기술은 은-텅스텐 합금 제조에 혁신적인 변화를 가져왔습니다. 선택적 레이저 용융(SLM) 또는 전자빔 용융 기술을 통해 복잡한 형상의 접점이나 전극을 직접 제조할 수 있어 기존 공정에서 발생하는 재료 낭비를 줄이는 동시에 항공우주 및 의료 장비의 요구에 맞는 맞춤형 설계를 구현할 수 있습니다. 플라즈마 강화 화학 기상 증착(PECVD)을 통해 나노 코팅(예: TiN 또는 DLC)과 같은 표면 개질 기술은 합금의 내마모성과 아크 부식 저항성을 크게 향상시켜 고전압 회로 차단기 접점 및 용접 전극의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

수명을 연장합니다. 친환경 바인더 사용 및 저에너지 소결 공정과 같은 친환경 제조 기술을 적용하면 생산 공정에서 에너지 소비와 배출을 줄이고 은-텅스텐 합금의 지속 가능한 개발을 촉진합니다.

현대 기술 혁신에는 지능적이고 기능적인 설계도 포함됩니다. 지능형 모니터링 기술은 센서를 내장하여 은-텅스텐 합금 접점의 아크 마모 및 온도 변화를 실시간으로 감지하고, 유지보수 주기를 최적화하며, 장비 신뢰성을 향상시킵니다. 기능적 경사 재료(FGM)의 개발은 은-텅스텐 합금이 다양한 영역에서 경사 특성을 갖도록 합니다. 예를 들어, 표면에는 높은 은 함량을 적용하여 전도성을 향상시키고, 내부에는 높은 텅스텐 함량을 적용하여 고온 내성을 강화함으로써 다기능 전기 부품에 적합합니다. 이러한 기술 혁신은 은-텅스텐 합금의 성능을 크게 향상시켰고, 신에너지(예: 전기차 충전 파일 접점), 5G 통신(무선 주파수 모듈), 국방(레이더 전극) 분야에서 그 응용 분야를 확대했습니다. 최적화 방향에는 더욱 효율적인 나노파우더 제조 기술 개발, 아크 마모에 대응하는 자가치유 코팅 연구, 인공지능을 통합하여 제조 매개변수를 최적화하는 것이 포함됩니다. 앞으로 은-텅스텐 합금은 지능형 전기 시스템 및 극한 환경에서 더 큰 혁신을 이룰 것으로 기대됩니다.

1.3 산업 연구의 중요성과 의의

은-텅스텐 합금에 대한 산업 연구는 재료 과학 발전과 다양한 분야에서의 응용을 촉진하는 데 중요한 역할을 합니다. 은-텅스텐 합금의 제조 공정, 성능 최적화 및 고강도 메커니즘에 대한 심층 연구를 통해 합금의 성능과 신뢰성을 향상시킬 뿐만 아니라 관련 산업의 혁신과 발전을 촉진할 수 있습니다. 산업 연구는 학제 간 협력을 통해 재료 과학, 전기 공학, 제조 기술을 결합하여 고성능 전기, 전자 및 국방 분야에서 은-텅스텐 합금의 응용을 위한 이론적 지원과 기술적 보장을 제공합니다.

1.3.1 재료과학 발전 촉진

은-텅스텐 합금 연구는 재료 과학 발전에 지대한 영향을 미쳤습니다. 복합재료의 대표적인 재료로서, 분말 야금, 나노 기술, 적층 제조 등 제조 공정의 발전은 고성능 복합재료의 설계 및 개발을 촉진했습니다. 은-텅스텐 비율 최적화, 나노 구조 도입, 기능적 경사 설계를 통해 연구자들은 금속 기반 복합재료의 성능 한계를 탐구하고, 다른 고성능 합금에 대한 이론적 및 실무적 참고 자료를 제공했습니다. 은-텅스텐 합금의 소결 메커니즘과 미세 구조 진화 연구는 액상 소결 및 계면 결합에 대한 이해를 심화시키고, 분말 야금 기술의 혁신을 촉진했습니다.

둘째, 은-텅스텐 합금의 아크 부식 저항성 및 고온 성능 연구는 극한 환경 내성 재료 개발을 촉진했습니다. 아크 작용 하에서 표면 거동 및 열 응력 분포를 분석함으로써 연구진은 고전류 및 고온 환경에서 재료의 안정성을 향상시키는 새로운 코팅 및 표면 개질 기술을 개발했습니다. 이러한 결과는 다른 고온 합금 및 전기 재료의 설계에 적용될 수 있습니다. 또한, 저에너지 소결 및 폐기물 재활용과 같은 친환경 제조 기술 연구는 재료 과학에 지속 가능한 개발이라는 개념을 도입하여 자원 낭비와 환경 영향을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

줄였습니다. 은-텅스텐 합금 연구는 또한 계산 재료 과학 및 인공지능과 결합하여 재료 설계를 최적화하는 학제 간 통합을 촉진했으며, 실험실 수준에서 산업 응용으로의 신소재 전환을 가속화했습니다. 앞으로 은-텅스텐 합금 연구는 더욱 스마트하고 환경 친화적인 복합 재료 개발을 촉진하여 재료 과학에 새로운 활력을 불어넣을 것으로 기대됩니다.

1.3.2 다양한 분야에서의 적용 가치

은-텅스텐 합금에 대한 산업 연구는 전기, 전자, 국방, 항공우주, 의료 분야에서 상당한 가치를 입증하고 있습니다. 전기 분야에서 은-텅스텐 합금은 높은 전도성과 아크 부식 저항성을 갖추고 있어 고전압 회로 차단기, 계전기, 스위치 접점에 이상적인 소재입니다. 연구는 합금 특성을 최적화하여 전력 시스템의 신뢰성과 수명을 향상시키고 스마트 그리드 및 고전력 장치의 요구를 충족시켜 왔습니다. 전자 분야에서 은-텅스텐 합금은 RF 모듈과 전력 반도체 접점에 사용됩니다. 뛰어난 열전도성과 비자성 특성은 5G 통신 및 고성능 컴퓨팅 장비 개발을 지원합니다.

방위 및 항공우주 분야에서 은-텅스텐 합금은 고온 내성과 고밀도 특성을 지녀 레이더 전극, 미사일 전기 연결, 우주선 균형추 부품에 필수적인 소재로 자리 잡았습니다. 기능성 경사 설계 및 적층 제조를 통해 부품 성능을 최적화하고 시스템 정확도와 신뢰성을 향상시켜 왔습니다. 의료 분야에서는 은-텅스텐 합금의 비자성 및 생체 적합성 덕분에 MRI 장비 접촉부 및 방사선 치료 차폐 부품에 적합합니다. 친환경 제조 및 정밀 가공을 통해 합금의 안전성과 높은 정밀도를 확보했습니다. 산업 연구의 가치는 산업 간 협력 증진에도 반영되고 있습니다. 전기 공학, 열 관리 기술, 지능형 제조와의 결합을 통해 신에너지 자동차 충전 시스템 및 재생 에너지 장비 등 은-텅스텐 합금의 응용 분야가 끊임없이 확대되고 있습니다. 최적화 방향에는 저비용 제조 공정 개발, 다기능 복합 재료 탐색, 지능형 모니터링 기술 통합을 통한 응용 신뢰성 향상이 포함됩니다.



CTIA GROUP LTD 은텅스텐 합금

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 은-텅스텐 합금의 조성 및 특성

고성능 복합 소재인 은-텅스텐 합금은 뛰어난 전기 전도성, 열 전도성, 고온 저항성, 아크 부식 저항성을 갖춰 전기, 전자, 방위 및 산업 분야에서 폭넓은 응용 가능성을 가지고 있습니다. 본 합금은 분말 야금 공정으로 제조되며, 은(Ag)을 매트릭스 또는 결합상으로 사용하여 높은 전기 및 열 전도성을 제공하고, 텅스텐(W)을 강화상으로 사용하여 높은 용점과 경도를 제공합니다. 본 합금은 고전류, 고온 또는 고마모 환경과 같은 까다로운 요구 조건을 충족할 수 있습니다. 은-텅스텐 합금의 성능은 주성분인 은과 텅스텐의 물리적 및 화학적 특성, 그리고 이 두 가지의 시너지 효과에 직접적으로 좌우됩니다.

2.1 은과 텅스텐의 특성

은-텅스텐 합금의 성능은 은과 텅스텐의 고유한 물리적 및 화학적 특성에서 비롯됩니다. 두 재료의 상호 보완적인 특성 덕분에 전기 접점, 용접 전극 및 고온 부품에서 우수한 성능을 발휘합니다. 은은 뛰어난 전기 및 열 전도성을 제공하여 효율적인 전류 및 열 전달을 보장합니다. 텅스텐은 높은 용점, 경도, 그리고 아크 부식 저항성을 갖추고 있어 극한 환경에서 합금의 안정성을 향상시킵니다. 이 두 재료는 분말 야금법을 통해 결합되어 고신뢰성 응용 분야의 요구를 충족하는 치밀한 미세 구조를 형성합니다.

2.1.1 은의 물리적 및 화학적 특성

은(Ag)은 금속 재료 중 뛰어난 전기 및 열 전도성을 가진 귀금속입니다. 은-텅스텐 합금의 핵심 매트릭스 또는 결합상입니다. 은은 매우 높은 전기 전도성을 가지고 있어 전류를 효율적으로 전달하고 저항 손실을 줄여 전기 접점 및 전극 소재에 이상적인 선택입니다. 은은 또한 뛰어난 열 전도성을 가지고 있어 부품 작동 시 발생하는 열을 빠르게 분산시켜 과열로 인한 성능 저하를 방지합니다. 텅스텐에 비해 용점이 낮아 분말 야금의 액상 소결 공정에서 액체를 형성하고, 텅스텐 입자를 적시고, 미세한 틈을 채우고, 치밀한 합금 구조를 형성하여 전도성과 구조적 안정성을 향상시킵니다.

은은 강한 화학적 안정성과 산화 방지 능력을 가지고 있어 상온에서 산소와 반응하기 어려워 매끄러운 표면과 전도성을 유지합니다. 그러나 고온이나 황 함유 환경에서는 은이 약간의 산화 또는 황화 반응을 일으켜 표면 저항이 약간 증가하여 장기적인 성능에 영향을 미칠 수 있습니다. 은은 연성과 인성이 우수하여 기계적 충격이나 아크 발생 시 응력을 흡수하여 고전류 환경에서 합금의 균열 위험을 줄입니다. 은은 적당한 밀도를 가지고 있어 은-텅스텐 합금의 무게 기준을 제공하며, 균형추가 필요한 응용 분야에 적합합니다. 은의 비자성 특성은 MRI 장비나 레이더 시스템과 같은 전자기적으로 민감한 환경에서도 합금이 간섭을 일으키지 않도록 하여 고정밀 전기 시스템에서의 적용 가능성을 높여줍니다.

은-텅스텐 합금에서 은은 전도성 및 열전도성 상으로서 합금의 전류 전달 효율과 열 관리 기능을 크게 향상시켜 고전압 회로 차단기 접점, 릴레이, 저항 용접 전극과 같은 응용 분야에 특히 적합합니다. 은의 화학적 안정성은 빈번한 스위칭 또는 아크 환경에서

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합금의 내구성을 유지하지만, 고온 산화 또는 부식 문제를 해결하기 위해 표면 처리 또는 부품 최적화가 필요합니다. 은의 높은 가격이 이 합금의 한계이며, 적절한 비율과 친환경 제조 기술을 통해 성능과 경제성의 균형을 맞춰야 합니다.

2.1.2 텅스텐의 물리적 및 화학적 특성

텅스텐(W)은 고용점 전이 금속입니다. 매우 높은 용점, 경도, 밀도를 가진 텅스텐은 은-텅스텐 합금의 보강재로 사용되어 합금의 고온 저항성과 아크 부식 저항성을 크게 향상시킵니다. 텅스텐은 매우 높은 용점을 가지고 있어 아크 또는 용접 공정과 같은 극한의 고온 환경을 견딜 수 있어 고전류 및 고온 응용 분야에서 구조적 안정성을 유지합니다. 텅스텐은 매우 높은 경도를 가지고 있어 합금에 우수한 내마모성과 내충격성을 부여하여 저항 용접 전극 및 플라즈마 용사 부품과 같은 고마모 환경에 적합합니다. 텅스텐의 높은 밀도는 합금의 중량 이점을 제공하여 항공우주 전기 연결 부품과 같은 균형추 또는 차폐 응용 분야에 적합합니다.

낮지 만, 은을 첨가하면 합금의 아크 부식 저항성이 크게 향상됩니다. 아크 작용 시 텅스텐의 높은 녹는점과 화학적 안정성은 용해 또는 용융 가능성을 줄여 접점과 전극의 수명을 연장합니다. 텅스텐은 화학적 안정성이 우수하고 실온 및 중성 환경에서 부식에 강하지만, 고온 산화성 또는 산성 환경에서는 산화물을 형성하여 표면 특성에 영향을 미칠 수 있습니다. 텅스텐의 낮은 열팽창 계수는 열 사이클 동안 합금의 치수 안정성을 보장하며 고전압 스위치 접점과 같은 고정밀 부품에 적합합니다. 텅스텐의 비자성 특성은 은과 일치하여 전자기적으로 민감한 환경에서의 합금 적용을 지원합니다.

은-텅스텐 합금에서 텅스텐을 강화재로 사용하면 합금의 고온 저항성, 내마모성, 내아크성이 크게 향상되어 혹독한 전기 환경에서도 안정적으로 작동할 수 있습니다. 텅스텐의 높은 경도와 밀도는 합금의 기계적 강도와 무게 균형 성능을 향상시키지만, 낮은 전도성은 은의 매트릭스 효과로 보완해야 합니다. 텅스텐은 가공이 어렵고, 분말 야금 및 정밀 가공 기술을 통해 복잡한 형상을 구현해야 합니다. 최적화 방향으로 는 나노 크기의 텅스텐 분말을 사용하여 소결 효율을 향상시키거나, 미량 원소(예: 니켈)를 첨가하여 인성을 향상시키는 것이 있습니다. 은과 텅스텐의 시너지 효과는 은-텅스텐 합금이 전기, 전자 및 방위 분야에서 독보적인 이점을 제공하여 고성능 응용 분야의 요구를 충족합니다.

2.1.3 은텅스텐 조성

은-텅스텐 합금은 주로 은(Ag)과 텅스텐(W)으로 구성되며, 일반적으로 분말 야금 공정으로 제조됩니다. 은은 전도성 및 열 전도성 매트릭스로 사용되고, 텅스텐은 고온 저항성 및 내마모성을 강화하는 재료로 사용됩니다. 은과 텅스텐의 비율은 합금의 전도도, 열전도도, 경도, 아크 부식 저항성 및 밀도에 직접적인 영향을 미치며, 특정 응용 분야의 요구 사항에 따라 조정할 수 있습니다. 은 함량이 높을수록 합금의 전도도와 열전도도가 향상되어 고전압 전기 접점에 적합합니다. 텅스텐 함량이 높을수록 합금의 고온 저항성과 내마모성이 향상되어 용접 전극 및 고온 부품에 적합합니다. 인성이나 가공 성능을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

향상시키기 위해 니켈이나 코발트와 같은 미량 첨가제가 사용되기도 하지만, 비자성 및 성능 안정성을 유지하기 위해서는 엄격한 관리가 필요합니다. 다음 표는 은-텅스텐 합금의 일반적인 조성 범위와 그 특성을 보여줍니다.

재료	구성(중량%)	밀도 (g/cm ³)	전기 전도도	저항률	경도(HB)
AgW30	은 70%, 텅스텐 30%	11.8-12.2	73	2.3	75
AgW40	은 60%, 텅스텐 40%	12.5-12.8	64	2.6	85
AgW50	은 50%, 텅스텐 50%	13.2-13.5	56-73	2.3-3.0	105
AgW55	은 45%, 텅스텐 55%	13.6-13.9	54	3.2	115
AgW60	은 40%, 텅스텐 60%	14.0-14.4	50~60 세	2.8-3.3	125
AgW65	은 35%, 텅스텐 65%	14.5-14.9	50	3.4	135
AgW70	은 30%, 텅스텐 70%	14.7-15.1	48	3.5	150
AgW75	은 25%, 텅스텐 75%	15.4-15.8	45-52	3.2-3.7	165
AgW80	은 20%, 텅스텐 80%	16.1-16.5	37	4.5	180

조성 특성 및 기능 : 은은 합금에서 매트릭스 또는 결합상 역할을 합니다. 높은 전기 및 열 전도성은 효율적인 전류 전달 및 열 관리를 보장하며, 고전압 스위치 접점과 같이 낮은 저항과 높은 방열 효율이 요구되는 응용 분야에 특히 적합합니다. 은의 액상 습윤성은 소결 공정 중 텅스텐 입자의 결합을 촉진하여 치밀한 미세 구조를 형성하고 합금의 성능 일관성을 향상시킵니다.

텅스텐은 강화재로 사용됩니다. 높은 용점과 경도는 합금이 고전류 아크 또는 고온 환경에서도 안정성을 유지하도록 합니다. 아크 내식성과 내마모성은 빈번하게 스위칭되는 전기 접점 및 용접 전극에 적합합니다. 텅스텐의 높은 밀도는 합금의 균형추 역할을 하여 항공우주 전기 연결 부품에 적합합니다. 미량 첨가제는 액상 소결 효과와 합금 인성을 향상시켜 복잡한 형상의 부품 제조 가능성을 높이지만, 자성 발생이나 전도도 감소를 방지하기 위해 정밀한 제어가 필요합니다.

성능 영향 및 적용 분야 : 은 함량 증가는 전기 전도성과 열 전도성을 크게 향상시키지만, 경도와 내마모성을 저하시킬 수 있어 고전류 전송이 필요한 환경에 적합합니다. 텅스텐 함량 증가는 고온 저항과 아크 저항을 향상시키지만, 전기 전도성을 저하시켜 고온 및 고마모 환경에 적합합니다. 조성비 최적화는 적용 분야 요구 사항에 따라 신중하게 고려해야 합니다. 예를 들어, 고전압 회로 차단기 접점은 전도성 확보를 위해 높은 은 함량을 갖는 경향이 있는 반면, 저항 용접 전극은 내마모성 향상을 위해 높은 텅스텐 함량을 선호합니다. 이 합금은 비자성이며 열팽창 계수가 낮아 전자기적으로 민감하고 고정밀인 환경(예: MRI 장비 및 레이더 시스템)에 유리합니다. 제조 과정에서 고에너지 불 밀링, 액상 소결, 열간 등방압 성형(HIP)을 통해 조성 균일성과 밀도를 확보하여 높은 신뢰성 요건을 충족합니다. 최적화 방향으로서는 나노 스케일 분말을 통한 성능 일관성 향상, 기능적 경사 설계를 이용한 은-텅스텐 분포 최적화, 그리고 은 비용 절감을 위한 친환경 제조 기술 개발 등이 있습니다. 은-텅스텐 합금은 조성의 유연성 덕분에 전기,

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

전자 및 방위 분야에서 광범위한 응용 가치를 제공합니다.

2.2 은-텅스텐 합금 조성비의 영향

은-텅스텐 합금의 조성비는 기계적 특성과 응용 성능에 영향을 미치는 핵심 요소입니다. 은(Ag)과 텅스텐(W)의 비율은 합금의 굽힘 강도, 인성, 전기 전도도, 열 전도도 및 아크 부식 저항성을 직접적으로 결정합니다. 은-텅스텐 비율을 조정함으로써 다양한 응용 분야의 요구를 충족시키기 위해 전도도와 기계적 특성 간의 균형을 이룰 수 있습니다. 은 함량이 높으면 합금의 전도도와 인성이 향상되어 고전류 전기 접점에 적합합니다. 텅스텐 함량이 높으면 합금의 굽힘 강도와 고온 저항성이 향상되어 용접 전극 및 고마모 부품에 적합합니다. 은-텅스텐 비율이 굽힘 강도와 인성에 미치는 구체적인 영향은 아래에서 자세히 분석합니다.

2.2.1 은-텅스텐 비율이 합금의 굽힘 강도에 미치는 영향

은-텅스텐 비율은 합금의 굽힘 강도에 상당한 영향을 미칩니다. 굽힘 강도란 합금이 굽힘 하중 하에서 변형이나 파괴에 저항하는 능력을 말하며, 기계적 응력 환경에서의 신뢰성과 직접적인 관련이 있습니다. 은 함량이 높으면 은의 연성과 낮은 경도로 인해 큰 굽힘 응력을 견디기 어려워 합금의 굽힘 강도가 낮아지며, 동적 하중이 낮은 전기 접점 응용 분야에 적합합니다. 은은 액상 소결 공정에서 매트릭스 또는 결합상으로서 텅스텐 입자를 적십니다. 은은 구조의 밀도를 향상시키지만, 낮은 강도는 고응력 조건에서 합금의 성능을 제한합니다. 텅스텐 함량이 증가하면 텅스텐의 높은 경도와 높은 용점이 합금의 강성과 변형 저항성을 강화하기 때문에 굽힘 강도가 크게 증가합니다. 텅스텐 입자는 합금 내에서 골격 구조를 형성하여 재료의 전반적인 기계적 지지력을 향상시킵니다. 특히 텅스텐 함량이 높을 경우 굽힘 강도가 최고점에 도달하여 높은 내마모성과 구조적 안정성이 요구되는 부품에 적합합니다.

은-텅스텐 비율 또한 미세 구조의 균일성에 영향을 미칩니다. 은 함량이 너무 높으면 텅스텐 입자의 불균일한 분산을 초래하고 굽힘 강도의 안정성을 저하시킬 수 있습니다. 텅스텐 함량이 너무 높으면 은 액상이 부족하여 기공이 형성되어 기계적 특성의 균일성에 영향을 미칠 수 있습니다. 소결 공정(액상 소결 및 열간 등방성 가압 성형 등)을 최적화하면 이러한 문제를 완화하고 밀도를 높이고 결함을 줄임으로써 굽힘 강도를 향상시킬 수 있습니다. 굽힘 강도가 향상되면 은-텅스텐 합금이 저항 용접 전극, 플라즈마 용사 부품 및 항공우주 균형추에서 우수한 성능을 발휘하고 기계적 충격과 진동을 견딜 수 있습니다. 최적화 방향에는 나노 스케일 텅스텐 분말을 통해 입자 분포를 개선하거나, 기능적 경사 설계를 사용하여 표면의 텅스텐 함량을 증가시켜 굽힘 성능을 향상시키는 것이 포함됩니다. 은-텅스텐 비율을 합리적으로 조정하면 특히 전도도와 기계적 강도를 모두 고려해야 하는 시나리오에서 신뢰성이 높은 응용 분야에 중요한 지원을 제공합니다.

2.2.2 은-텅스텐 비율이 합금 인성에 미치는 영향

은 과 텅스텐의 비율은 합금의 인성에 중요한 영향을 미칩니다. 인성은 합금이 에너지를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

흡수하고 파괴에 저항하는 능력을 의미하며, 충격이나 아크 발생 시 내구성을 결정합니다. 은 함량이 높을수록 합금의 인성이 향상되는데, 은의 연성과 가소성이 기계적 충격과 열 응력을 흡수하여 균열 확산 위험을 줄일 수 있기 때문입니다. 이러한 특성으로 인해 고온 함량의 은-텅스텐 합금은 고전압 회로 차단기 접점 및 릴레이 접점과 같이 빈번한 스위칭이 필요한 전기 응용 분야에 적합합니다. 은의 인성은 아크로 인한 응력 집중을 완화하고 부품 수명을 연장하는 데 도움이 됩니다. 그러나 은의 낮은 경도는 고마모 환경에서 변형을 유발하여 극한의 기계적 하중에서 성능을 제한할 수 있습니다.

텅스텐 함량이 증가함에 따라 합금의 인성은 점차 감소합니다. 텅스텐의 높은 경도와 취성은 재료의 소성 변형 능력을 약화시키기 때문입니다. 텅스텐 함량이 높으면 합금의 강성이 높아지고 용접봉 및 고온 금형과 같이 고온 저항 및 아크 부식 저항성이 필요한 응용 분야에 적합하지만, 인성이 낮으면 충격이나 열 사이클 동안 미세 균열이 발생할 수 있습니다. 결합제 상인 은의 습윤 효과는 텅스텐 입자 간의 취성을 어느 정도 완화하지만, 텅스텐 함량이 너무 높으면 액상이 부족하여 미세 결함이 발생하여 인성이 더욱 저하될 수 있습니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS)과 같은 소결 공정 최적화 또는 미량 원소 첨가는 특히 텅스텐 함량이 높은 합금의 미세 조직을 개선하고 인성을 향상시킬 수 있습니다.

인성 변화는 은-텅스텐 합금의 적용 분야에 직접적인 영향을 미칩니다. 은 함량이 높은 합금은 뛰어난 인성 덕분에 스마트 그리드 스위치 및 전자 RF 모듈과 같은 동적 전기 환경에 적합합니다. 텅스텐 함량이 높은 합금은 높은 내열성과 경도를 자랑하기 때문에 항공우주 카운터웨이트 및 플라즈마 용사 부품과 같은 정적 또는 고마모 부품에 적합합니다. 최적화 방향으로서는 나노구조 설계를 통한 텅스텐 입자의 분산성 향상 또는 표면 인성 향상을 위한 복합 코팅 개발 등이 있습니다. 은-텅스텐 비율 조정은 적용 분야에 따라 인성과 경도의 균형을 맞춰야 합니다. 예를 들어, 내충격성이 필요한 경우에는 은 비율을 높이고, 고온 내성이 필요한 경우에는 텅스텐 비율을 높이는 것이 좋습니다. 성분 비율과 제조 공정을 합리적으로 제어함으로써 은-텅스텐 합금은 전기, 전자 및 방위 분야에서 탁월한 종합적 성능을 발휘할 수 있습니다.

2.2.3 은-텅스텐 비율이 합금 전도도에 미치는 영향

은 대 텅스텐 비율은 합금의 전도도에 상당한 영향을 미치는데, 이는 합금의 전류 전달 능력의 핵심 지표이며 전기 접점 및 전극에서의 성능과 직접적인 관련이 있습니다. 은 함량이 높으면 합금의 전도도가 크게 향상됩니다. 은은 전기 전도도가 매우 높기 때문에 매트릭스 또는 결합 상으로 저항 손실을 효과적으로 줄여 고전압 회로 차단기 접점, 릴레이 및 RF 모듈과 같은 고전류 응용 분야에 적합합니다. 은은 액상 소결 공정 동안 텅스텐 입자를 적서 연속적인 전도 네트워크를 형성하여 전류 전달 효율을 더욱 향상시킵니다. 텅스텐 함량이 증가함에 따라 전도도는 점차 감소합니다. 텅스텐의 전도도가 은보다 훨씬 낮기 때문에 높은 텅스텐 함량은 전도 경로를 줄이고 저항을 증가시켜 고전류 시나리오에서 합금의 성능을 제한합니다.

은 -텅스텐 비는 미세 구조의 전도성 일관성에도 영향을 미칩니다. 은 함량이 너무

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

높으면 텅스텐 입자의 불균일한 분산 및 국부 전도성 제한으로 이어질 수 있습니다. 텅스텐 함량이 너무 높으면 은 액상이 부족하여 기공이 형성되어 접촉 저항이 증가할 수 있습니다. 고에너지 불 밀링 및 열간 등방성 가압 성형과 같은 소결 공정을 최적화하면 조성의 균일성과 밀도를 개선하고 전도성 안정성을 향상시킬 수 있습니다. 전도성 향상은 은-텅스텐 합금이 스마트 그리드 스위치 및 전자 장치에서 우수한 성능을 발휘하여 낮은 저항과 효율적인 전송이라는 요구를 충족할 수 있도록 합니다. 최적화 방향에는 나노 크기의 은 분말을 통한 전도성 네트워크 개선 또는 기능적 경사 설계를 통한 전도성 영역의 은 비율 증가가 포함됩니다. 은-텅스텐 비의 합리적인 조정은 특히 효율적인 전도성이 필요한 상황에서 고신뢰성 전기 응용 분야에 중요한 지원을 제공합니다.

2.2.4 은-텅스텐 비율이 합금의 열전도도에 미치는 영향

은-텅스텐 비율은 합금의 열전도도에 중요한 영향을 미칩니다. 열전도도는 합금의 열 분산 능력을 나타내는 핵심 지표이며, 고온 환경에서의 안정성 및 방열 성능과 직접적인 관련이 있습니다. 은 함량이 높을수록 합금의 열전도도는 크게 향상됩니다. 은은 우수한 열전도도를 가지고 있어 매트릭스 또는 결합상으로서 열을 빠르게 전달하여 과열로 인한 성능 저하를 방지할 수 있습니다. 은은 전력 반도체 접점 및 전자 방열 기관 응용 분야에 적합합니다. 소결 공정 중 은에 의해 형성되는 액상 네트워크는 균일한 열 분포를 촉진하고 방열 효율을 향상시킵니다. 텅스텐 함량이 증가함에 따라 열전도도는 점차 감소합니다. 텅스텐의 열전도도는 은보다 낮기 때문에 높은 텅스텐 함량은 열전도 경로를 감소시켜 고열 부하 조건에서 합금의 성능을 제한합니다.

은-텅스텐 비율은 열전도 균일성에 영향을 미칩니다. 은 함량이 너무 높으면 열팽창이 불균일해지고 장기적인 안정성에 영향을 미칠 수 있습니다. 텅스텐 함량이 너무 높으면 은의 액상이 부족하여 열저항점이 형성되어 열전도도가 감소할 수 있습니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS) 및 표면 처리와 같은 소결 공정을 최적화하면 기공률과 결합을 줄이고 열전도도 일관성을 향상시킬 수 있습니다. 열전도도 향상을 통해 은-텅스텐 합금은 고온 전자 장비 및 항공우주 부품에서 우수한 성능을 발휘하여 효율적인 방열 및 열 관리 요구를 충족할 수 있습니다. 최적화 방향에는 나노 크기의 은 분말을 사용하여 열전도 네트워크를 최적화하거나 복합 코팅을 사용하여 표면 방열 성능을 향상시키는 것이 포함됩니다. 은-텅스텐 비율의 조정은 방열 기관에서 은 비율을 높이고 고온 구조에서 텅스텐 비율을 높이는 등 응용 분야 요구 사항에 따라 열전도도와 고온 저항의 균형을 맞춰야 합니다.

2.2.5 은-텅스텐 비율이 합금 밀도에 미치는 영향

은 대 텅스텐 비율은 합금 밀도에 상당한 영향을 미치는데, 이는 합금의 단위 부피당 질량을 나타내는 핵심 지표이며, 균형추 및 차폐 응용 분야에서의 성능과 직접적인 관련이 있습니다. 은 함량이 높을수록 합금의 밀도는 텅스텐보다 낮지만 다른 많은 금속보다 높은 적당한 밀도를 가지므로, 일정량의 무게가 필요하지만 과하지 않은 전기 접촉 응용 분야에 적합합니다. 그러나 은 함량이 너무 높으면 전체 밀도가 감소하고 균형추가 높은 경우 성능이 제한될 수 있습니다. 텅스텐 함량이 증가함에 따라 합금의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

밀도가 크게 증가하고, 텅스텐은 밀도가 매우 높아 균형추 및 방사선 차폐 성능이 향상되어 항공우주 균형추 및 의료용 방사선 치료 차폐 부품에 적합합니다.

은-텅스텐 비율 또한 밀도 균일성에 영향을 미칩니다. 은 함량이 너무 높으면 텅스텐 입자가 고르지 않게 침전되어 국부 밀도에 영향을 미칠 수 있습니다. 텅스텐 함량이 너무 높으면 은 액상이 부족하여 기공이 형성되어 전체 밀도가 감소할 수 있습니다. 액상 소결 및 열간 등방성 가압과 같은 소결 공정을 최적화하면 조성 분포와 밀도를 개선할 수 있습니다. 밀도 증가는 은-텅스텐 합금이 높은 중량 균형 또는 방사선 차폐가 필요한 응용 분야에서 우수한 성능을 발휘할 수 있도록 하며, 항공우주 동적 균형 및 의료 방사선 방호 요구를 충족할 수 있습니다. 최적화 방향에는 나노 스케일 텅스텐 분말을 통해 입자 분포를 개선하거나 기능적 경사 설계를 사용하여 중량 균형 영역에서 텅스텐 비율을 높이는 것이 포함됩니다.

2.2.6 은-텅스텐 비율이 합금 경도에 미치는 영향

은 대 텅스텐 비율은 합금의 경도에 상당한 영향을 미치는데, 경도는 합금이 표면 압입이나 마모에 저항하는 능력이며 기계적 응력 환경에서의 내구성과 직접적인 관련이 있습니다. 은 함량이 높으면 은의 연성과 낮은 경도로 인해 표면 마모에 저항하기 어려워 합금의 경도가 낮아 동적 하중이 낮은 전기 접점 응용 분야에 적합합니다. 은은 액상 소결 공정 동안 텅스텐 입자를 적시는 매트릭스 또는 결합 상으로 작용합니다. 구조의 밀도를 높이지만 낮은 경도는 높은 마모 시나리오에서 합금의 성능을 제한합니다. 텅스텐 함량이 증가함에 따라 경도가 크게 증가하는 데, 텅스텐의 높은 경도와 높은 용점은 합금에 압축 및 마모에 대한 더 강한 저항성을 제공하기 때문입니다. 텅스텐 입자는 합금 내에서 골격 구조를 형성하여 재료의 표면 저항을 향상시킵니다. 특히 텅스텐 함량이 높을수록 경도가 최고점에 도달하여 높은 내마모성이 요구되는 부품에 적합합니다.

은-텅스텐 비율 또한 미세 구조의 균일성에 영향을 미칩니다. 은 함량이 너무 높으면 텅스텐 입자의 불균일한 분산으로 이어져 경도 안정성이 저하될 수 있습니다. 텅스텐 함량이 너무 높으면 은 액상이 부족하여 기공이 형성되어 기계적 특성의 균일성에 영향을 미칠 수 있습니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS)이나 열간 등방성 가압(HIP)과 같은 소결 공정을 최적화하면 밀도를 높이고 결함을 줄이며 경도 일관성을 향상시킬 수 있습니다. 경도 증가로 인해 은-텅스텐 합금은 저항 용접 전극, 플라즈마 용사 부품 및 항공우주 균형추에서 우수한 성능을 발휘하며 기계적 마모와 표면 충격을 견딜 수 있습니다. 최적화 방향에는 나노 크기의 텅스텐 분말을 통해 입자 분포를 개선하거나 표면 경화 코팅(예: TiN)을 사용하여 경도를 더욱 향상시키는 것이 포함됩니다.

2.2.7 은-텅스텐 비율이 합금의 고온 저항에 미치는 영향

은 대 텅스텐 비율은 합금의 고온 저항에 중요한 영향을 미칩니다. 고온 저항은 합금이 고온 환경에서 구조적 안정성과 성능을 유지하는 능력으로, 고온 응용 분야에서의 신뢰성과 직접적인 관련이 있습니다. 은 함량이 높으면 은의 녹는점이 낮고 고온에서 쉽게 연화되거나 녹기 때문에 합금의 고온 저항이 약해져 극한의 열 환경에서의 사용이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제한됩니다. 은은 소결 중 텅스텐 입자를 적시는 바인더 상으로 작용하지만 열 안정성이 낮아 고전류 또는 고온 작업에서 성능이 저하될 수 있습니다. 텅스텐 함량이 증가하면 텅스텐의 높은 녹는점과 열 안정성으로 인해 합금에 열 변형에 대한 우수한 저항성이 제공되므로 고온 저항이 크게 향상됩니다. 텅스텐 함량이 높으면 합금은 고온 아크 또는 용접 중에 구조적 무결성을 유지할 수 있으므로 고온 내구성이 필요한 부품에 적합합니다.

은-텅스텐 비율은 열 사이클 동안 안정성에도 영향을 미칩니다. 은 함량이 너무 높으면 열팽창이 불균일해지고 열응력 위험이 높아질 수 있습니다. 텅스텐 함량이 너무 높으면 은의 액상이 부족하여 미세균열이 발생하여 고온에서의 균일성에 영향을 미칠 수 있습니다. 단계적 가열 및 열간 등방성 가압 성형과 같은 소결 공정 최적화는 미세구조의 밀도를 개선하고 고온 일관성을 향상시킬 수 있습니다. 고온 저항성 향상을 통해 은-텅스텐 합금은 고온 전자 장비, 로켓 노즐 부품 및 항공우주 균형추에서 우수한 성능을 발휘하며 극한의 열 환경 요건을 충족할 수 있습니다. 최적화 방향에는 기능성 경사 설계를 통한 열응력 분포 최적화 또는 표면 안정성 향상을 위한 고온 내성 코팅 개발이 포함됩니다. 은-텅스텐 비율을 조정하려면 고온 저항과 전도도의 균형을 응용 분야 요구 사항에 맞춰 맞춰야 합니다. 예를 들어, 고온 구조에서는 텅스텐의 비율을 늘리고 전도성 부품에서는 은을 적당히 유지해야 합니다.

2.2.8 은-텅스텐 비율이 합금의 아크 침식 저항성에 미치는 영향

은 대 텅스텐 비율은 합금의 내아크 부식성(아크 삭마 및 재료 손실에 대한 합금의 저항성)에 상당한 영향을 미치며, 고전류 전기 접점에서의 수명과 직접적인 관련이 있습니다. 은 함량이 높으면 합금의 내아크 부식성이 약해집니다. 은의 낮은 녹는점과 화학적 활성으로 인해 아크 작용으로 쉽게 용융되거나 삭마되기 때문입니다. 이는 아크 강도가 낮은 응용 분야에 적합합니다. 은은 소결 공정에서 텅스텐 입자를 적시는 매트릭스 역할을 하지만, 고전류 환경에서는 표면 손실을 가속화할 수 있습니다. 텅스텐 함량이 증가하면 텅스텐의 높은 녹는점과 화학적 안정성으로 인해 아크 작용으로 용융되거나 산화되기 어려워 아크 부식성이 크게 향상되어 접점과 전극의 수명이 연장됩니다. 텅스텐 함량이 높을 경우, 합금은 빈번한 스위칭이나 고전류 환경에서도 표면 무결성을 유지할 수 있어 높은 내아크성이 요구되는 부품에 적합합니다.

은-텅스텐 비율도 아크 작용 하에서 균일성에 영향을 미칩니다. 은 함량이 너무 높으면 아크가 국소적으로 삭마에 집중될 수 있습니다. 텅스텐 함량이 너무 높으면 은 액상이 부족하여 불균일한 구조를 형성하여 내식성의 일관성에 영향을 미칠 수 있습니다. 진공 소결 및 표면 처리와 같은 소결 공정을 최적화하면 산화와 결함을 줄이고 아크 침식 저항성을 향상시킬 수 있습니다. 아크 침식 저항성이 향상되면 은-텅스텐 합금이 고전압 회로 차단기 접점, 릴레이 및 저항 용접 전극에서 우수한 성능을 발휘하고 고전류 및 빈번한 작동 요구를 충족할 수 있습니다.

2.3 은-텅스텐 합금의 성능 분석

은-텅스텐 합금의 고성능은 고유한 미세 구조와 조성의 시너지 효과에 기인합니다. 정도,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고온 저항성, 아크 침식 저항성 등의 특성 덕분에 다양한 까다로운 응용 분야에서 우수한 성능을 발휘합니다. 합금의 성능 분석은 미세 메커니즘, 재료 설계 및 응용 분야 요구 사항에서 시작하여 경도 형성 과정, 고온 저항성, 아크 침식 저항성 등의 장점을 체계적으로 분석해야 합니다. 이러한 특성은 전기 접점, 용접 전극 및 항공우주 부품에서 합금의 신뢰성을 보장하기 위해 분말 야금 공정 최적화를 통해 달성됩니다.

2.3.1 은-텅스텐 합금의 고경도 형성 메커니즘 및 장점

은-텅스텐 합금의 높은 경도는 높은 마모 및 기계적 응력 환경에서 핵심적인 장점으로, 표면 압입, 마모 및 충격에 대한 저항성을 높이고 부품의 수명을 연장합니다. 이러한 경도 형성은 텅스텐의 높은 고유 경도와 소결 공정 중 은-텅스텐 복합 구조의 미세 최적화에 기인합니다. 은은 결합제 상으로서 액상 소결에서 텅스텐 입자를 적셔 구조의 밀도를 향상시키고, 텅스텐은 보강제 상으로서 고경도 골격 지지력을 제공합니다. 이러한 시너지 효과 덕분에 은-텅스텐 합금은 저항 용접 전극, 플라즈마 용사 부품, 항공우주용 균형추에서 기계적 마모 및 표면 손상을 견뎌낼 수 있는 우수한 성능을 발휘합니다. 고경도의 장점은 특히 고전류 또는 고온 환경에서 합금의 변형 저항성을 향상시켜 합금 표면의 무결성을 유지하고 성능 저하를 방지할 수 있다는 것입니다.

2.3.1.1 고경도의 미세구조 메커니즘

은-텅스텐 합금의 고경도 형성 메커니즘은 주로 미세 구조의 고유한 설계와 소결 시의 상호작용에 달려 있습니다. 이 공정은 분말 혼합, 프레스, 액상 소결 및 후가공과 같은 단계를 포함하는 분말 야금 공정을 통해 실현됩니다. 미세 구조 메커니즘의 핵심은 은 매트릭스 내 텅스텐 입자의 분포, 액상 소결의 습윤 효과, 그리고 입계 강화의 상승 효과에 있습니다. 우선, 텅스텐은 고경도 강화상입니다. 텅스텐 입자는 분말 혼합 단계에서 고에너지 볼 밀링 기술을 통해 균일하게 분산됩니다. 입자 크기와 형상의 최적화는 프레스 후 균일한 골격 구조를 형성합니다. 텅스텐의 높은 용점은 소결 중 고체 상태를 유지하며 변형이나 용융이 쉽지 않습니다. 이는 합금에 견고한 지지력을 제공하고 경도 기반을 크게 향상시킵니다. 저융점 결합상인 은은 액상 소결 과정에서 용융되어 액체를 형성하고, 텅스텐 입자를 적셔 틈새를 메웁니다. 이 과정은 모세관 현상과 확산 메커니즘을 통해 이루어지며, 미세 기공을 제거하고 합금의 밀도를 향상시킵니다.

액상 소결의 습윤 효과는 고경도 형성의 핵심 단계입니다. 은 액상은 고온에서 텅스텐 입자 표면의 미세 결함을 관통하여 입자 간 결합력을 강화하고 조밀한 계면 구조를 형성합니다. 이러한 계면 결합은 재료의 전반적인 강도를 향상시킬 뿐만 아니라 결정립계 강화 효과를 통해 경도를 더욱 향상시킵니다. 결정립계 강화는 텅스텐 입자 사이의 은 상층에서 시작됩니다. 은의 연성은 응력 집중을 어느 정도 완화하지만, 텅스텐의 높은 경도는 합금의 표면 저항을 지배합니다. 소결 공정에서 열간 등방성 가압(HIP) 또는 스파크 플라즈마 소결(SPS) 기술을 적용하면 미세 구조를 더욱 최적화하고, 고전압 및 펄스 전류를 통해 잔류 기공을 제거하고, 결정립계를 압축하고, 텅스텐 입자를 더욱 조밀하게 배열하여 경도를 크게 향상시킵니다. 또한, 텅스텐 입자의 기하학적 구조와 방향 또한 경도 형성에 영향을 미칩니다. 규칙적 또는 다면체 형태의 텅스텐 입자는 응력을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

더욱 효과적으로 분산시키고 압축 저항성과 내마모성을 향상시킬 수 있습니다.

미세 구조의 균일성은 고경도 형성에 중요한 요소입니다. 은 함량이 적당하면 액상이 텅스텐 입자 사이의 틈을 메우기에 충분하여 액상 부족으로 인한 기공이나 과도한 액상으로 인한 입자 침강 불균일을 방지합니다. 소결 분위기 조절은 산화 또는 불순물 유입을 방지하고, 텅스텐과 은의 순도를 유지하며, 미세 구조의 안정성을 보장합니다. 나노 크기의 텅스텐 분말을 사용하면 경도 메커니즘이 더욱 향상되고, 입자 크기를 줄여 결정립계 밀도가 증가하며, 결정립계가 전위 이동을 차단하는 능력이 향상되어 합금의 변형 저항성이 크게 향상됩니다. 미세 구조 내 텅스텐 입자의 파괴 분율 또한 경도에 직접적인 영향을 미칩니다. 텅스텐 함량이 높을수록 경도 향상 효과가 더욱 뚜렷해지지만, 취성 증가를 방지하기 위해 은의 습윤 효과(wetting effect)를 균형 있게 조절해야 합니다.

고경도에 의해 형성된 미세 구조 메커니즘은 은-텅스텐 합금에 많은 장점을 제공합니다. 첫째, 높은 경도는 합금이 기계적 마모 및 표면 압입에 대한 저항성을 높여 저항 용접 전극 및 플라즈마 용사 부품과 같은 고마모 응용 분야에 특히 적합하며, 빈번한 기계적 접촉 시 표면 무결성을 유지할 수 있습니다. 둘째, 높은 경도는 고온 환경에서 합금의 변형 저항성을 향상시킵니다. 텅스텐의 높은 용점과 은의 치밀화 효과는 아크 또는 고온 용접 시 합금이 연화되거나 녹는 것을 방지하여 수명을 연장합니다. 또한, 고경도 미세 구조는 복잡한 형상의 부품 가공을 지원하며, 정밀 가공 기술을 통해 고정밀 접점 및 전극 제조를 달성합니다. 최적화된 미세 구조는 합금의 피로 저항성을 향상시키고 열 사이클링이나 기계적 충격으로 인한 미세 균열 위험을 줄여 항공우주용 카운터웨이트 및 국방용 전기 연결 부품에 특히 적합합니다.

그러나 고경도 형성에는 몇 가지 과제가 수반됩니다. 과도한 텅스텐 함량은 합금의 취성을 증가시킬 수 있으며, 특히 은 액상이 부족할 경우 미세균열 발생 위험이 커집니다. 소결 공정 및 후처리(표면 경화 코팅 등)의 정밀한 제어가 이 문제 해결의 핵심입니다. 최적화 방향으로서는 인성과 경도의 균형을 개선하기 위한 나노복합 구조 개발, 또는 기능적 경사 설계를 통해 표면의 텅스텐 함량을 증가시켜 국부 경도를 향상시키는 것이 있습니다. 간단히 말해, 은-텅스텐 합금의 고경도 미세구조 메커니즘은 텅스텐 강성 지지체, 은의 습윤 및 치밀화, 그리고 결정립계 강화의 시너지 효과를 통해 합금에 우수한 내마모성과 변형 저항성을 부여하여 전기, 전자 및 방위 분야에서 광범위한 응용을 위한 견고한 기반을 마련합니다.

2.3.1.2 내마모성 응용 분야에서 높은 경도의 장점

은-텅스텐 합금의 높은 경도는 내마모성 환경에서 상당한 적용 이점을 제공하여 고마모 환경에 이상적인 소재입니다. 내마모성은 합금이 표면 마모, 마찰 및 기계적 손상에 저항하는 능력으로, 빈번한 접촉이나 고하중 적용 시 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 은-텅스텐 합금의 높은 경도는 주로 텅스텐의 높은 고유 경도에 기인합니다. 텅스텐 입자는 소결 과정에서 견고한 골격 구조를 형성하여 합금 표면의 기계적 마모 저항성을 크게 향상시킵니다. 결합상인 은은 액상 소결을 통해 텅스텐 입자를 적시고 미세한 틈을 메우며, 치밀한 미세 구조를 형성하여 표면 내구성을 더욱 향상시킵니다. 이러한 높은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

경도 덕분에 은-텅스텐 합금은 특히 장기간 안정적인 작동이 요구되는 환경에서 고주파 기계적 접촉, 마찰 및 충격을 견딜 수 있습니다.

내마모성이 요구되는 특정 응용 분야에서 은-텅스텐 합금의 높은 경도는 저항 용접 전극에서 탁월한 성능을 발휘합니다. 용접 전극은 고전류 및 고온 조건에서 피삭재와 자주 접촉합니다. 순은이나 구리 기반 합금과 같은 기존 소재는 경도가 낮아 표면 마모가 발생하기 쉽고, 이로 인해 전극 형상이 변형되고 용접 품질이 저하됩니다. 은-텅스텐 합금의 높은 경도는 전극 표면의 기계적 마모를 방지하고, 정밀한 접촉 형상을 유지하며, 용접 공정의 안정성과 일관성을 보장합니다. 마찬가지로, 플라즈마 용사 부품의 경우, 높은 경도는 합금이 고속 입자 흐름의 충격과 마모를 견뎌내고 부품의 수명을 연장하며, 항공우주 및 산업용 코팅 분야에 적합합니다. 또한, 항공우주 카운터웨이트 부품의 경우, 높은 경도는 진동 및 기계적 하중 하에서 합금의 내마모성을 향상시켜 동적 밸런싱 시스템의 장기적인 신뢰성을 보장합니다.

고경도의 적용 이점은 유지보수 비용 절감 및 장비 효율 향상에도 반영됩니다. 은-텅스텐 합금의 내마모성은 특히 고전압 회로 차단기 접점 및 릴레이 접점에서 부품 교체 빈도를 줄여줍니다. 잦은 기계적 접촉과 아크 발생은 표면 손실을 유발하는 경우가 많습니다. 고경도는 이러한 손실을 효과적으로 늦추고 장비 작동 주기를 연장합니다. 열간 등방성 가압(HIP)을 통한 기공 제거 또는 나노 스케일 텅스텐 분말을 통한 입자 균일성 개선과 같은 합금의 미세 구조 최적화는 내마모성을 더욱 향상시킵니다. 이러한 특징은 고마모 환경에서 합금의 장기적인 안정성을 지원하고 마모로 인한 성능 저하 또는 안전 위험을 줄입니다. 최적화 방향에는 내마모성을 더욱 향상시키기 위해 표면 경화 코팅(예: TiN 또는 CrN)을 개발하거나, 기능적 경사 설계를 통해 내마모 영역의 텅스텐 함량을 증가시켜 국부적 성능을 향상시키는 것이 포함됩니다.

텅스텐 함량이 높으면 합금의 취성이 증가할 수 있으며, 특히 은 액상이 부족할 경우 미세 균열 위험이 증가하고 내마모성 일관성에 영향을 미칩니다. 소결 공정의 정밀 제어 및 후처리가 핵심입니다. 예를 들어, 스파크 플라즈마 소결(SPS)을 사용하여 조밀한 구조를 빠르게 형성하거나 표면 연마를 통해 응력 집중점을 줄이는 것이 중요합니다. 미래에는 지능형 모니터링 기술을 결합하여 실시간으로 마모 상태를 평가하거나 자가 치유 코팅을 개발하여 표면 손상을 동적으로 복구함으로써 내마모성 환경에서 은-텅스텐 합금의 적용 가능성을 더욱 높일 것입니다.

2.3.1.3 다른 합금과의 경도 비교 및 장점

은-텅스텐 합금의 높은 경도는 높은 마모 및 기계적 응력 환경에서의 성능과 밀접한 관련이 있습니다. 다른 일반 합금과 경도를 비교함으로써 그 장점을 더욱 부각할 수 있습니다. 경도는 재료가 표면 압입이나 마모에 저항하는 능력입니다. 은-텅스텐 합금의 경도는 주로 텅스텐의 높은 고유 경도와 소결 과정에서 형성되는 치밀한 미세 구조에 기인합니다. 다음에서는 텅스텐-구리 합금, 순은, 초경합금과 같은 재료와 비교하여 은-텅스텐 합금의 경도 이점과 응용 분야에서의 탁월한 성능을 분석합니다. 첫째, 텅스텐-구리 합금과 비교하여 은-텅스텐 합금은 경도가 더 높습니다. 텅스텐-구리 합금은 텅스텐을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

모재로, 구리를 접합재로 사용합니다. 열전도도와 가공 특성은 우수하지만, 구리의 낮은 경도는 내마모성을 제한하며, 고마모 접점보다는 방열 기관에 적합합니다. 은-텅스텐 합금은 텅스텐 함량이 더 높고 은의 습윤 효과로 인해 치밀한 구조를 형성합니다. 경도는 텅스텐-구리 합금보다 훨씬 우수합니다. 특히 저항 용접 전극 및 플라즈마 용사 부품에서 은-텅스텐 합금은 더 높은 기계적 마모와 표면 충격에 견딜 수 있습니다. 또한, 은-텅스텐 합금의 경도 이점은 아크 내성 환경에서의 안정성에도 반영됩니다. 텅스텐의 높은 녹는점은 아크 침식 시 표면의 무결성을 유지하는 데 도움이 되지만, 텅스텐-구리 합금의 구리상은 쉽게 녹기 때문에 아크 마모에 대한 저항성이 제한됩니다.

둘째, 순은에 비해 은-텅스텐 합금의 경도가 크게 향상됩니다. 순은은 높은 전도성과 연성으로 전기 접점에 널리 사용되지만, 경도가 낮아 기계적 마모나 아크 발생 시 변형이나 용해가 발생하기 쉽고 수명이 제한적입니다. 고경도 텅스텐 입자를 도입함으로써 은-텅스텐 합금은 내마모성과 변형 저항성을 크게 향상시켜 고전압 회로 차단기 접점 및 릴레이 접점과 같이 빈번한 접촉이 필요한 환경에 적합합니다. 순은은 부드러워 높은 하중을 견디기 어려운 반면, 은-텅스텐 합금의 높은 경도는 동적 환경에서 부품의 장기적인 신뢰성을 보장합니다. 전도성은 순은보다 약간 낮지만, 은-텅스텐 비율을 최적화함으로써 성능 균형을 달성할 수 있습니다.

셋째, 초경합금(예: 텅스텐-코발트 합금)과 비교하여 은-텅스텐 합금은 경도가 약간 낮지만 종합적인 성능은 더 유리합니다. 초경합금은 주로 텅스텐 카바이드와 코발트로 구성되어 매우 높은 경도를 갖습니다. 절삭 공구 및 금형에 널리 사용되지만 전기 전도성과 열전도성이 낮아 전기 접점에서의 적용이 제한됩니다. 은-텅스텐 합금의 경도는 초경합금보다 낮지만 우수한 전기 전도성과 아크 부식 저항성으로 인해 전기 접점 및 용접 전극에서 더 실용적입니다. 은-텅스텐 합금의 미세 구조 최적화(예: 나노스케일 텅스텐 분말 및 액상 소결)는 은의 전도성을 유지하면서도 초경합금 수준에 가까운 경도를 만들어 경도와 전도성의 효과적인 조합을 달성합니다.

은-텅스텐 합금의 높은 경도는 다양한 적용 분야에서 두드러집니다. 저항 용접 전극에서 은-텅스텐 합금의 높은 경도는 공작물 접촉 시 마모를 방지하여 안정적인 용접 품질을 보장합니다. 플라즈마 용사 부품에서 높은 경도는 고속 입자 흐름의 충격을 견디내고 부품 수명을 연장합니다. 항공우주 균형추에서는 진동 환경에서의 내구성을 향상시킵니다. 이러한 장점 덕분에 경도와 전도성을 모두 고려해야 하는 상황에서 은-텅스텐 합금은 다른 합금보다 우수합니다. 최적화 방향으로 나노 복합 구조를 통해 경도와 인성의 균형을 개선하거나, 표면 경화 코팅을 개발하여 내마모성을 더욱 향상시키는 것이 있습니다. 은-텅스텐 합금의 높은 경도 비교 우위는 전기, 전자 및 방위 분야에서 독보적인 위치를 차지하며, 고신뢰성 부품에 중요한 지원을 제공합니다. 향후 지능형 제조 기술을 통해 은-텅스텐 합금의 잠재력을 더욱 강화할 수 있습니다.

2.3.2 은-텅스텐 합금의 아크 침식 저항성 원리 및 성능

은-텅스텐 합금의 내아크 부식성은 고전류 전기 접점의 핵심 특성으로, 아크 부식과 재료 손실을 방지하여 부품의 수명을 연장합니다. 내아크 부식성은 아크 작용 시 합금 표면의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

용융, 증발 및 산화에 대한 저항성을 의미하며, 고전압 회로 차단기, 계전기 및 용접봉에서의 신뢰성과 직접적인 관련이 있습니다. 은-텅스텐 합금의 내아크 부식성은 텅스텐의 높은 용점과 화학적 안정성, 그리고 은-텅스텐 복합 구조의 미세 최적화를 통해 향상됩니다.

아크 내식성의 원리는 주로 텅스텐의 물리적 및 화학적 특성에 기반합니다. 텅스텐은 매우 높은 용점을 가지고 있어 고온 아크에서 용융되거나 증발하기 어렵습니다. 아크에서 발생하는 열은 주로 텅스텐 입자에 의해 흡수 및 분산되어 재료 표면의 대규모 손실을 줄입니다. 은은 결합상으로서 액상 소결에서 텅스텐 입자를 적셔 치밀한 미세 구조를 형성하여 합금의 균열 저항성과 박리 저항성을 향상시킵니다. 아크가 가해지면 은상이 국부적으로 용융될 수 있지만, 텅스텐 입자의 골격 구조는 안정적인 지지력을 제공하고 용융된 은의 손실을 제한하며 표면의 기하학적 무결성을 유지합니다. 또한, 텅스텐의 화학적 안정성은 아크 환경에서 산화 및 부식 경향을 줄여 아크로 인한 표면 열화를 줄입니다. 진공이나 불활성 가스 보호와 같은 소결 공정의 최적화는 산화 불순물의 유입을 방지하고 아크 침식 저항성을 더욱 향상시킵니다.

실제 적용 분야에서의 성능 측면에서 은-텅스텐 합금의 아크 내식성은 고전압 회로 차단기 접점에서 특히 두드러집니다. 고전압 회로 차단기는 고전류를 차단할 때 강한 아크를 생성합니다. 순은이나 구리 기반 합금과 같은 기존 재료는 용융이나 용해로 인해 고장이 발생하기 쉽고 점점 수명이 단축됩니다. 은-텅스텐 합금은 높은 텅스텐 함량을 통해 아크 내식을 향상시킵니다. 텅스텐 입자는 아크 작용 시 보호층을 형성하여 은 상의 손실을 줄이고 빈번한 스위칭 작업 시 접점의 안정적인 성능을 보장합니다. 저항 용접 전극에서 은-텅스텐 합금의 아크 내식성은 용접 중 아크 충격을 견뎌내고 전극 표면의 평탄도를 유지하며 용접 품질과 일관성을 보장합니다. 플라스마 용사 부품에서 이 합금의 아크 내식성은 고온 플라스마 환경에서의 장기 작동을 지원하고, 표면 재료 손실을 줄이며, 부품의 사용 수명을 연장합니다.

아크 내식성은 아크로 인한 2 차 효과 감소에도 반영됩니다. 은-텅스텐 합금의 미세 구조 최적화(예: 기공 제거를 위한 열간 등방성 가압)는 집중 아크 제거 위험과 미세 균열 및 용융 스파터 발생을 줄입니다. 합금의 비자성 특성은 전자기 간섭이 아크 안정성에 미치는 영향을 방지하고 전자파에 민감한 환경(예: MRI 장비 또는 레이더 시스템)에서의 적용성을 향상시킵니다. 그러나 과도한 은 함량은 은이 낮은 녹는점을 가지고 있고 아크 아래에서 쉽게 녹기 때문에 아크 내식성을 감소시킬 수 있으며, 이는 텅스텐 또는 표면 코팅(예: ZrC)의 비율을 높여 개선해야 합니다. 최적화 방향에는 표면 균일성을 개선하기 위한 나노 크기의 텅스텐 분말 개발 또는 지능형 모니터링 기술을 사용하여 실시간으로 아크 손실 상태를 평가하는 것이 포함됩니다.

2.3.2.1 아크 침식의 메커니즘

아크 침식 메커니즘은 은-텅스텐 합금의 아크 저항을 이해하는 기초가 되며, 아크의 물리적 및 화학적 과정이 재료 표면에 미치는 영향을 포함합니다. 아크 침식은 고전류가 차단되거나 차단될 때 발생하며, 아크는 고온 플라스마(일반적으로 6000°C 이상)로 점점

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

갭에서 형성되어 강한 열 효과와 화학 반응을 일으킵니다. 아크의 열 효과는 재료 표면의 국부적인 용융, 증발 및 스퍼터링을 유발합니다. 용융 금속은 아크의 작용으로 빠르게 가열되어 분출되어 재료 손실을 유발합니다. 아크의 고온은 또한 산화 반응을 유발하는데, 특히 대기 환경에서 금속 표면이 산소와 결합하여 산화물을 형성하여 침식을 더욱 가속화합니다. 아크의 에너지 집중은 국부적으로 높은 열 응력을 유발하여 특히 재료의 경도나 밀도가 부족할 때 미세 균열이나 박리를 유발할 수 있습니다.

아크 침식의 구체적인 메커니즘에는 열전도, 가스화, 그리고 전기화학 반응이 포함됩니다. 열전도는 아크 에너지를 재료 내부로 전달하여 표면과 표면 하부층을 빠르게 가열합니다. 은과 같은 낮은 용융점을 가진 재료는 짧은 시간 안에 녹는 경향이 있습니다. 가스화 과정은 용융 금속이 고온, 특히 높은 전류 밀도에서 증발하게 하며, 증발 속도가 크게 증가하여 재료의 질량 손실을 초래합니다. 전기화학 반응은 아크 플라즈마에서 발생하는데, 금속이 주변 환경의 산소 또는 질소와 결합하여 산화물 또는 질화물을 형성하고, 이는 표면에 부착되거나 벗겨져 침식을 더욱 악화시킬 수 있습니다. 아크의 지속적인 작용은 특히 이종 재료 또는 미세 결합의 계면에서 열 응력 집중을 유발하여 균열 확산 위험을 증가시킬 수 있습니다. 은-텅스텐 합금의 은상은 낮은 융점(961°C)으로 인해 열적 영향을 받기 쉬운 반면, 텅스텐상은 높은 융점(3422°C)으로 인해 비교적 안정적이지만, 계면 접합 품질은 전체 내식성에 직접적인 영향을 미칩니다. 아크 침식의 메커니즘은 사용 조건의 복잡한 영향에도 영향을 받습니다. 고압 환경에서는 아크 에너지가 더 높고 침식 속도가 더 빠릅니다. 저압 환경에서는 산소 농도가 낮아 산화 속도가 느려질 수 있지만, 열적 영향이 여전히 지배적입니다. 아크 지속 시간과 전류 크기 또한 침식 정도에 영향을 미칩니다. 단기간의 고전류는 순간적인 용융을 유발할 수 있고, 장기간의 저전류는 느린 산화와 마모를 유발할 수 있습니다. 은-텅스텐 합금의 미세 구조(기공률 및 입자 분포 등)는 아크 침식의 민감도에 매우 중요합니다. 기공률이나 불균일한 분포는 열응력 집중점이 되어 재료 손실을 가속화할 수 있습니다. 이러한 아크 침식의 메커니즘을 이해하면 은-텅스텐 합금의 내식성을 최적화할 수 있는 이론적 근거를 제공합니다. 합금의 내구성은 조성비와 소결 공정을 조정함으로써 효과적으로 향상시킬 수 있습니다.

2.3.2.2 은-텅스텐 합금의 아크 침식 저항의 본질적 원리

은-텅스텐 합금의 아크 부식 저항성의 본질적인 원리는 고유한 조성 설계 및 미세 구조 최적화, 그리고 텅스텐의 높은 융점과 화학적 안정성, 그리고 은의 습윤 및 치밀화 효과에 기인합니다. 아크 부식 저항의 핵심은 고온 플라즈마에서 재료의 용융, 증발 및 산화를 줄이는 것입니다. 은-텅스텐 합금은 다음과 같은 메커니즘을 통해 이러한 목표를 달성합니다. 첫째, 텅스텐의 높은 융점(3422°C)은 아크 부식 저항의 핵심 요소입니다. 고온 아크에서 텅스텐 입자는 고체 상태를 유지하며 열을 흡수 및 분산시키고 표면 용융 범위를 제한합니다. 텅스텐의 화학적 안정성은 산화 경향을 더욱 감소시키고, 아크 플라즈마에서 산소 또는 질소와 반응하기 어려워 산화물 형성 손실을 줄입니다. 은은 액상 소결(961°C)에서 결합제로 용융되어 텅스텐 입자를 적시고 미세한 틈을 메워 치밀한 미세 구조를 형성합니다. 이 구조는 합금의 균열 저항성과 박리 저항성을 향상시키고 아크 열응력으로 인한 손상을 방지합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

은-텅스텐 합금의 미세 구조 설계는 아크 부식 저항에 중요한 역할을 합니다. 소결 공정에서 은 액상은 텅스텐 입자 표면에 침투하여 입자 간 계면 결합력을 강화하고 아크 작용 시 미세 균열의 확산을 감소시킵니다. 텅스텐 입자의 균일한 분포는 보호 골격 구조를 형성하여 아크 에너지를 분산시키고 국부 용융 또는 증발 위험을 줄입니다. 열간 등방성 가압(HIP) 또는 스파크 플라즈마 소결(SPS) 공정은 미세 구조를 더욱 최적화하고, 잔류 기공을 제거하고, 결정립계를 압축하며, 합금 표면의 부식 저항성을 향상시킵니다. 은 상은 아크 작용 시 국부적으로 용융될 수 있지만, 텅스텐 골격의 지지력은 용융된 은의 손실을 제한하고 표면의 기하학적 무결성을 유지합니다. 이러한 상승 효과 덕분에 은-텅스텐 합금은 고전류가 차단되거나 차단될 때 탁월한 아크 저항성을 발휘합니다.

합금의 조성비는 아크 부식 저항성의 고유 원리에 직접적인 영향을 미칩니다. 텅스텐 함량이 높으면 합금의 용융 및 산화 저항성이 향상되어 고전압 회로 차단기 접점과 같이 아크 강도가 높은 용도에 적합합니다. 은 함량이 적당하면 액상이 텅스텐 입자를 적서 밀도를 확보하기에 충분하지만, 은 함량이 너무 높으면 은의 낮은 용융점이 아크 하에서 쉽게 녹기 때문에 내식성이 저하될 수 있습니다. 소결 분위기(진공 또는 고순도 아르곤 등)를 조절하면 산화 불순물의 유입을 방지하고 텅스텐과 은의 순도를 유지하며 내식성을 더욱 향상시킬 수 있습니다. 플라즈마 화학 기상 증착(PECVD)을 이용한 산화 방지 코팅과 같은 표면 처리 기술 또한 고유 원리의 실현을 지원하고 아크로 인한 2 차 손상을 줄입니다.

은-텅스텐 합금은 아크 침식에 대한 저항성을 갖는 고유한 원리를 바탕으로 실제 응용 분야에서 우수한 성능을 발휘합니다. 고전압 회로 차단기 접점에서 이 합금의 아크 저항성은 스위치 수명을 연장하고, 저항 용접 전극에서 아크 침식 저항성은 전극 표면의 평탄도를 유지하며, 플라즈마 용사 부품에서 이 합금의 내식성은 고온 플라즈마 환경에서의 장기 작동을 지원합니다. 최적화 방향으로 나노 크기의 텅스텐 분말을 사용하여 표면 균일성을 향상시키거나, 아크 손상을 동적으로 복구하는 자가 회복 코팅을 개발하는 것이 있습니다. 간단히 말해, 은-텅스텐 합금은 텅스텐의 높은 용점, 은의 고밀도화 효과, 그리고 미세 구조 최적화를 통해 효율적인 아크 침식 저항성을 달성하여 고신뢰성 전기 응용 분야를 위한 견고한 기반을 제공합니다.

2.3.2.3 사용 환경에 따른 아크 침식 저항 성능의 차이

은-텅스텐 합금의 아크 침식 저항성은 사용 환경에 따라 크게 달라지며, 이는 환경 조건, 전류 특성, 사용 빈도 등의 요인에 영향을 받습니다. 아크 침식 저항성 평가는 고전압 회로 차단기, 용접봉, 항공우주 부품과 같은 특정 적용 시나리오와 결합하여 환경이 합금 표면에 미치는 침식 효과와 성능 차이를 분석해야 합니다. 이러한 차이점은 합금 설계 및 선정을 최적화하는 데 중요한 기반을 제공합니다.

고전압 회로 차단기 접점에서 은-텅스텐 합금은 고전류 및 고전압 환경에서 뛰어난 아크 침식 저항성을 보입니다. 회로 차단기가 대전류(일반적으로 수천 암페어)를 차단하면 강력한 아크가 발생하고 온도는 6000°C 이상으로 높습니다. 은-텅스텐 합금은 텅스텐 함량이 높아 용융 및 증발에 강합니다. 텅스텐 입자는 열을 흡수하고 아크 에너지를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분산시켜 표면 손실을 줄입니다. 그러나 공기 중 산소는 은 상의 미세한 산화를 유발할 수 있으며, 장기간 작동 시 표면 거칠기가 증가하고 전도성에 영향을 미칠 수 있습니다. 진공 또는 불활성 가스 보호 환경(예: SF₆ 회로 차단기)은 아크 침식 저항성을 크게 향상시키고 산화 및 스퍼터링을 줄이며 점점 수명을 연장할 수 있습니다.

저항 용접 전극에서 은-텅스텐 합금의 아크 침식 저항성은 단기 고전류 펄스 환경에서 우수한 성능을 발휘합니다. 이 용접 공정은 높은 전류 밀도(수만 암페어/제곱밀리미터)와 국부적인 고온을 수반하며, 아크 작용 시간은 짧지만 에너지는 집중됩니다. 은-텅스텐 합금의 텅스텐 골격 구조는 순간적인 용융을 방지하고, 은상의 습윤 효과는 표면 밀도를 유지하여 여러 번의 용접 사이클 동안 전극의 형상 안정성을 보장합니다. 그러나 용접 환경 내의 금속 증기나 용접 슬래그가 표면에 부착되어 침식 위험을 증가시킬 수 있으므로, 성능 유지를 위해 정기적인 세척이나 접착 방지 코팅이 필요합니다. 고온 용접 환경에서는 은의 용점 제한으로 인해 국부적인 연화가 발생할 수 있으므로, 텅스텐 비율을 높여 내열성을 최적화해야 합니다.

플라즈마 용사 전극과 같은 항공우주 부품에서 은-텅스텐 합금의 아크 내식성은 연속 고온 플라즈마 환경에서 우수한 성능을 발휘합니다. 플라즈마 용사는 고속 이온 흐름과 아크 작용을 수반하며, 이 합금의 높은 경도와 높은 용융점을 가진 텅스텐상은 장기적인 열충격과 표면 마모를 견뎌냅니다. 텅스텐의 높은 화학적 안정성은 산화 손실을 줄이고, 은의 열전도도는 열 분산에 도움을 줍니다. 그러나 산소나 부식성 가스에 장기간 노출되면 텅스텐 표면에 얇은 산화막이 형성되어 내식성이 약간 저하될 수 있습니다. 소결 공정과 표면 코팅(예: ZrC)을 최적화하면 극한 환경에서 성능을 크게 향상시킬 수 있습니다.

습도, 염분 분무, 화학 세척제와 같은 환경 요인 또한 아크 부식 저항성에 영향을 미칩니다. 습한 환경에서는 은상이 약간의 부식을 겪어 아크 유도 산화 위험이 높아질 수 있습니다. 해양 또는 산업 환경에서는 염분 분무가 표면 열화를 가속화할 수 있으므로 보호력을 강화하기 위해 내식성 코팅(예: TiN)이 필요합니다. 저압 또는 진공 환경에서는 산화 효과가 약해지고 아크 부식 저항성이 향상되지만, 열 효과가 여전히 우세하므로 열 응력 집중에 주의해야 합니다. 사용 빈도와 전류 크기 또한 중요한 역할을 합니다. 고주파 스위칭은 부식을 가속화할 수 있으며, 저전류는 산화를 느리게 할 수 있습니다. 은-텅스텐 비율은 특정 상황에 맞게 조정해야 합니다.

다양한 사용 환경에서 은-텅스텐 합금의 아크 침식 저항성 차이는 재료 설계에 대한 지침을 제공합니다. 최적화 방향에는 환경 적응형 코팅 개발 또는 지능형 모니터링 기술을 통한 실시간 침식 상태 평가가 포함됩니다.

2.3.2.4 아크 침식 저항성을 향상시키는 방법

은-텅스텐 합금의 아크 내식성 향상은 고전류 전기 응용 분야에서 장기적인 신뢰성을 보장하는 핵심 요소이며, 재료 설계, 제조 공정 최적화, 그리고 표면 처리의 조합을 통해 달성되어야 합니다. 아크 내식성 향상은 주로 아크 고온 용융, 산화, 열응력 집중과 같은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

문제를 해결하는 데 중점을 두고 있으며, 텅스텐의 높은 용융점과 은의 전도성 장점을 결합하여 미세 구조와 사용 환경을 최적화합니다. 아크 내식성을 향상시키기 위한 구체적인 방법은 다음과 같습니다.

첫째, 조성비 최적화는 아크 침식 저항성 향상의 기본입니다. 텅스텐 함량을 높이면 텅스텐의 높은 용점(3422°C)이 높은 아크 온도에서 안정성을 유지하고 표면 손실을 줄여 합금의 용융 및 산화 저항성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 연구에 따르면 텅스텐 함량이 60%~80%일 때 텅스텐의 보호 효과와 은의 전도성을 고려할 때 합금의 아크 침식 저항성이 최적의 균형을 이룬다는 것이 밝혀졌습니다. 니켈이나 코발트(0.5%~2%)와 같은 미량 첨가제를 첨가하면 액상 소결 효과를 높이고, 텅스텐 입자 간의 계면 결합을 강화하며, 아크로 인한 미세 균열 위험을 줄일 수 있습니다. 그러나 비자성 특성에 영향을 미치지 않도록 첨가제를 엄격하게 관리해야 합니다.

둘째, 소결 공정 최적화는 미세 구조의 밀도를 크게 향상시킬 수 있습니다. 액상 소결은 은의 습윤 효과를 통해 텅스텐 입자 사이의 틈을 메우고, 기공률을 줄이며, 박리 방지 성능을 향상시킵니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS) 기술은 펄스 전류와 고전압을 통해 치밀한 구조를 빠르게 형성하고, 소결 시간을 단축하며, 과도한 입자 성장을 억제하고, 표면 균일성을 향상시킵니다. 열간 등방성 가압(HIP)은 전방향 고압을 통해 잔류 결함을 제거하고, 밀도를 더욱 향상시키며, 아크 에너지 집중점을 줄입니다. 진공 또는 고순도 아르곤 소결 환경은 산화된 불순물의 유입을 방지하고, 텅스텐과 은의 순도를 유지하며, 아크로 인한 산화 손실을 줄일 수 있습니다.

셋째, 표면 처리 기술은 아크 침식 저항성을 향상시키는 효과적인 수단입니다. 질화티타늄(TiN)이나 탄화지르코늄(ZrC)과 같은 플라즈마 강화 화학 기상 증착(PECVD)으로 도포되는 산화 방지 코팅은 합금 표면에 치밀한 보호층을 형성하여 산소와 아크 플라즈마를 차단하고 용융 및 산화를 감소시킬 수 있습니다. 전기화학적 연마는 표면 마감을 최적화하고 초기 집중 아크 제거 지점을 줄일 수 있습니다. 표면 경화 코팅은 내마모성을 향상시키고 접촉 수명을 연장할 수도 있습니다. 연구에 따르면 TiN 코팅은 아크 침식률을 약 30~40% 감소시켜 성능을 크게 향상시킬 수 있습니다.

넷째, 환경 관리 및 사용 조건 최적화를 통해 아크 부식에 대한 저항성을 더욱 향상시킬 수 있습니다. 고전압 회로 차단기에서는 산소 농도와 산화 반응을 줄이기 위해 SF₆ 또는 불활성 가스를 아크 소호 매체로 사용합니다. 용접봉에서는 전류 펄스 폭 및 주파수와 같은 용접 매개변수를 제어하여 아크 지속 시간과 열 영향을 줄일 수 있습니다. 지능형 모니터링 기술은 내장 센서를 통해 아크 손실과 온도 변화를 실시간으로 감지하고, 유지보수 주기를 최적화하며, 과도한 부식을 방지합니다. 기능적 등급 소재(FGM) 설계는 표면의 텅스텐 함량을 높여 내부 은상의 전도성을 유지하면서 용융 저항성을 향상시킵니다.

이러한 접근 방식을 결합하면 은-텅스텐 합금이 고전압 회로 차단기 접점, 저항 용접 전극, 플라즈마 용사 부품에서 우수한 성능을 발휘하여 부품 수명을 연장하고 신뢰성을 향상시킬 수 있습니다. 최적화 방향으로는 아크 손상을 동적으로 복구하는 자가 복구

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

코팅 개발 또는 나노 크기의 텅스텐 분말을 통한 표면 균일성 향상 등이 있습니다.

2.3.3 은-텅스텐 합금의 접착 방지 및 용접 방지 성능

은-텅스텐 합금의 접착 방지 및 용융 방지 성능은 전기 접점 및 용접 전극에서 중요한 특성으로, 공작물 또는 접촉 표면과의 접착 및 용융을 방지하여 부품의 독립성과 기능적 안정성을 유지합니다. 접착 방지는 기계적 접촉이나 아크 작용 시 합금이 재료 간 접착을 방지하는 능력을 의미하며, 용융 방지는 고온 용접이나 아크 조건에서 공작물과의 용융을 방지하는 능력을 의미합니다. 이러한 특성은 접점 스위칭 성능, 용접 품질 및 장비 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 은-텅스텐 합금은 텅스텐의 높은 경도와 은의 습윤 최적화를 통해 탁월한 성능을 발휘합니다.

2.3.3.1 접착 및 용착의 원인

고전류 또는 고온 응용 분야에서 은-텅스텐 합금이 직면하는 주요 과제는 접착 및 용접 현상입니다. 접착 및 용접의 원인은 재료의 물리적 및 화학적 특성, 접촉 조건, 그리고 환경 요인과 관련이 있습니다. 접착은 기계적 접촉 또는 아크 작용 하에서 접점 또는 전극이 공작물 또는 이중 재료에 표면 접촉되는 것을 의미하며, 용접은 고온에서 재료와 공작물이 부분적으로 융합되어 비가역적인 결합을 형성하는 것을 의미합니다. 이러한 현상의 발생은 부품의 스위칭 성능과 수명을 직접적으로 저하시키므로, 그 원인을 심층적으로 분석해야 합니다.

접착의 주요 원인은 접촉 표면 사이의 미세한 냉간 용접과 마찰열 효과입니다. 고전압 회로 차단기 접점이나 릴레이 접점에서 은-텅스텐 합금은 고압 하에서 이중 재료와 접촉하고, 표면 미세 범프는 기계적 힘으로 인해 소성 변형을 겪어 금속 원자 사이의 거리가 격자 정합 범위로 단축되어 냉간 용접 효과가 발생합니다. 아크 작용으로 국부적인 고온(6000°C 이상)이 은상을 녹여 유동성을 향상시키고 이중 재료 표면에 접착합니다. 특히 은 함량이 높을 경우 접착 위험이 증가합니다. 마찰열 효과는 동적 접촉, 특히 고주파 스위칭이나 저속 슬라이딩 상황에서 접착을 더욱 악화시키며, 이러한 경우 열 축적이 표면 원자 확산을 촉진합니다.

용융 용접의 발생은 고온 용접 또는 아크 조건과 밀접한 관련이 있습니다. 저항 용접 전극이나 플라즈마 용사 부품에서 높은 전류 밀도는 국부적인 용융을 유발하고, 은-텅스텐 합금 표면과 피삭재(강철 또는 알루미늄 등)는 고온에서 용융 풀을 형성합니다. 은의 낮은 용융점은 용융을 용이하게 하며, 피삭재 금속과 혼합된 후 냉각 및 응고되어 용융 용접을 형성합니다. 텅스텐의 높은 용융점은 일정한 저항성을 제공하지만, 계면의 열 응력이나 불순물(산화물 등)은 용융을 촉진할 수 있습니다. 아크 플라즈마의 화학적 활성화 또한 중요한 역할을 합니다. 산소 또는 질소는 용융 금속과 반응하여 화합물을 형성하고 점도를 증가시키며 용융 용접을 촉진합니다.

환경 요인이 접착 및 용접 현상에 미치는 영향은 무시할 수 없습니다. 습하거나 황이 함유된 환경에서는 은상이 황화물이나 산화물을 형성하여 표면의 접착 방지 능력을

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

저하시키고 접착 위험을 증가시킬 수 있습니다. 고온 또는 산소가 풍부한 환경에서는 용융된 은이 피삭재 산화물과 반응하여 용접성을 증가시킵니다. 접착 압력, 전류 크기, 스위칭 주파수 또한 중요한 역할을 합니다. 고전압 또는 고주파 작동은 열 효과와 원자 확산을 증가시켜 접착 및 용접 발생을 가속화합니다. 기공이나 불균일한 분포와 같은 미세 구조적 결함은 응력 집중점이 되어 이러한 현상을 더욱 악화시킬 수 있습니다.

접착 및 용착의 원인은 은-텅스텐 합금 최적화 방향을 제시합니다. 순은과 같은 기존 소재는 높은 연성으로 인해 접착이 발생하기 쉽고, 구리 기반 합금은 낮은 용점으로 인해 용착이 발생하기 쉽습니다. 은-텅스텐 합금은 텅스텐의 경도와 은의 비율을 최적화하여 이러한 문제를 해결하고자 합니다. 최적화 방향에는 은-텅스텐 비율 조정, 표면 처리 개선, 그리고 접착 및 용착 위험을 줄이기 위한 사용 조건 제어가 포함됩니다. 이러한 메커니즘을 이해하면 접착 및 용착에 대한 저항성이 더 우수한 은-텅스텐 합금을 설계하는 데 도움이 되며, 이는 전기 접점 및 용접 전극 적용에 대한 신뢰성 있는 지원을 제공합니다.

2.3.3.2 은-텅스텐 합금의 접착 방지 성능

은-텅스텐 합금의 접착 방지 특성은 전기 접점 및 용접 전극 응용 분야에서 탁월하여, 공작물 또는 접합 재료와의 표면 접착을 효과적으로 방지하고 부품의 독립성과 스위칭 안정성을 유지합니다. 접착 방지는 기계적 접촉이나 아크 작용 시 재료 간 접착을 방지하는 합금의 능력을 의미하며, 이는 접점의 개폐 성능과 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 은-텅스텐 합금은 텅스텐의 높은 경도, 은의 습윤 최적화, 그리고 미세 구조의 시너지 효과를 통해 탁월한 접착 방지 특성을 나타내며, 특히 고전압 회로 차단기, 릴레이, 저항 용접 전극에 적합합니다.

고전압 회로 차단기 접점에서 은-텅스텐 합금의 접착 방지 성능은 특히 고전류가 차단되거나 닫힐 때 두드러집니다. 접점이 고전류(일반적으로 수천 암페어)를 차단하면 아크가 발생하고, 고온(6000°C 이상)으로 인해 순은이나 구리 기반 합금과 같은 기존 재료가 이중 재료에 접착되어 스위칭 신뢰성에 영향을 미칠 수 있습니다. 은-텅스텐 합금은 텅스텐 함량이 높아(60%~80%) 표면 소성 변형 및 냉간 용접 효과를 견딜 수 있는 단단한 골격 구조를 제공하는 동시에, 은 상의 적절한 습윤 효과는 조밀한 계면을 형성하여 초기 접착 지점을 줄입니다. 실제 시험 결과, 수백만 회의 스위칭 사이클 후에도 은-텅스텐 합금 접점의 접착률은 5% 미만으로, 순은 접점의 20%~30%보다 훨씬 우수하여 장비 수명을 크게 연장합니다.

저항 용접 전극에서 은-텅스텐 합금은 강이나 알루미늄과 같은 피가공물과 자주 접촉할 때 뛰어난 접착력을 발휘합니다. 용접 중 높은 전류 밀도와 국부적인 고온은 전극이 피가공물에 달라붙는 원인이 될 수 있습니다. 구리 기반 합금과 같은 기존 소재는 용융 금속의 접착으로 인해 파손되기 쉽습니다. 은-텅스텐 합금의 텅스텐 입자는 표면에 보호층을 형성합니다. 경도(일반적으로 최대 200~300HV)는 피가공물이 끼는 것을 방지하고, 은의 열전도도는 열을 빠르게 분산시켜 접착 위험을 줄여줍니다. 실제 적용에서는 수천 회의 연속 용접 후에도 은-텅스텐 전극의 표면 접착 면적이 1%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

미만으로 유지되어 전극 형상의 안정성과 용접 품질을 유지합니다.

플라즈마 용사 부품에서 은-텅스텐 합금의 점착 방지 특성은 고속 이온 흐름과 작업물 사이의 분리를 지원합니다. 용사 공정 중 아크의 고온 및 입자 충격은 재료의 점착을 유발하고 코팅의 균일성에 영향을 미칠 수 있습니다. 은-텅스텐 합금의 높은 경도와 낮은 열팽창 계수(약 $4.5-6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)는 열 응력으로 인한 점착을 감소시키고, 텅스텐의 화학적 안정성은 작업물과의 반응 가능성을 더욱 낮춥니다. 실험 데이터에 따르면 장기간 작동 후 은-텅스텐 합금 용사 전극의 점착력은 구리 기반 재료에 비해 약 50% 감소하여 코팅 공정의 신뢰성을 보장합니다.

우수한 점착 방지 성능은 미세 구조 최적화를 통해서도 향상됩니다. 열간 등방성 가압(HIP)과 같은 소결 공정은 기공을 제거하고, 스파크 플라즈마 소결(SPS)은 입자 균일성을 향상시키고, 응력 집중점을 줄이며, 점착 가능성을 낮춥니다. 전기화학적 연마 또는 점착 방지 코팅(예: DLC)과 같은 표면 처리는 특히 습하거나 황 함유 환경에서 점착 방지 성능을 더욱 향상시킵니다. 코팅은 은 상과 환경 사이의 반응을 차단하여 표면을 깨끗하게 유지합니다. 그러나 과도한 은 함량은 점착 위험을 증가시킬 수 있으며, 이는 텅스텐 비율을 높이거나 표면 처리를 최적화하여 균형을 맞춰야 합니다. 최적화 방향에는 표면 경도를 높이기 위한 나노 크기의 텅스텐 분말 개발 또는 실시간으로 점착 상태를 평가하는 지능형 모니터링 기술 통합이 포함됩니다. 간단히 말해, 은-텅스텐 합금의 점착 방지 성능은 고주파 스위칭 및 용접 응용 분야에서의 사용에 중요한 기반을 제공하며, 부품의 신뢰성과 수명을 크게 향상시킵니다.

2.3.3.3 항접착성 및 항용착성 성능에 영향을 미치는 요인 분석

은-텅스텐 합금의 내접착성 및 내용착성은 재료 특성, 제조 공정, 사용 조건, 환경 변수 등 여러 요인의 영향을 받으며, 이러한 요인들은 전기 접점 및 용접 전극에서의 성능을 직접적으로 결정합니다. 이러한 영향 요인을 분석하면 합금 설계를 최적화하고 고전류 및 고마모 환경에서의 신뢰성을 향상시키는 데 도움이 됩니다.

첫째, 조성비는 내접착성 및 내용착성에 영향을 미치는 핵심 요소입니다. 텅스텐 함량이 높을수록 합금의 경도가 높아지고 고온에 대한 내성이 향상되며, 텅스텐의 높은 용점(3422°C)은 표면 용융 위험을 줄이고 경도(200-300 HV)는 냉간 용접 및 피삭재 매립을 방지하기 때문에 내접착성 및 내용착성이 우수합니다. 은 함량이 적당하면 액상 소결로 치밀한 구조를 형성하여 계면 결합을 향상시키지만, 은 함량이 과도하면(50% 초과) 용점이 낮아(961°C) 특히 높은 아크 온도에서 내접착성 및 내용착성이 증가할 수 있습니다. 니켈(0.5%-2%)과 같은 미량 첨가제는 인성과 습윤성을 향상시킬 수 있지만, 과다 첨가하면 자성을 유발하거나 내식성을 저하시킬 수 있으므로 정밀한 제어가 필요합니다.

둘째, 미세 구조는 점착 및 용착 저항성에 상당한 영향을 미칩니다. 밀도가 핵심이며, 높은 기공률(예: 5% 이상)은 응력 집중점이 되어 점착 또는 용착 위험을 증가시킬 수 있습니다. 열간 등방성 가압 성형(HIP)이나 스파크 플라즈마 소결(SPS)과 같은 소결

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

공정은 기공을 제거하고 열 영향으로 인한 표면 결함을 줄임으로써 밀도를 향상시킵니다. 텅스텐 입자(나노 또는 서브마이크론 크기)의 균일한 분포 및 입자 크기 최적화는 골격 구조의 변형 저항성을 향상시키고 냉간 용착 경향을 줄입니다. 입계에 의해 강화된 은상층은 열 응력을 완충하지만, 불균일한 분포는 국부 용융으로 이어질 수 있으므로 혼합 분말의 균일성을 확보하기 위해 고에너지 볼 밀링이 필요합니다.

셋째, 표면 특성은 항접착 및 항용착 성능에 직접적인 영향을 미칩니다. 표면 거칠기가 높으면 접촉 면적이 증가하여 냉간 용접이나 용융 금속의 접착이 쉽게 발생할 수 있습니다. 전기화학적 연마 또는 기계적 연마는 거칠기를 줄이고 초기 접착 지점을 줄일 수 있습니다. 질화티타늄(TiN)이나 다이아몬드 유사 코팅(DLC)과 같은 항접착 코팅은 은상이 공작물과 반응하는 것을 차단하고 용접 위험을 줄이는 보호층을 형성합니다. 표면 산화 또는 황화(황 함유 환경 등)는 점도를 증가시킬 수 있으므로, 진공 소결 또는 불활성 분위기로 표면 순도를 조절해야 합니다.

넷째, 접촉 조건은 성능에 영향을 미치는 핵심 요소입니다. 높은 접촉 압력은 소성 변형을 심화시키고 냉간 용접 위험을 증가시키므로, 과전압을 줄이기 위해 접촉 설계를 최적화해야 합니다. 전류 크기와 스위칭 주파수 또한 중요한 역할을 합니다. 고전류(예: 수천 암페어) 또는 고주파 작동(초당 여러 번)은 열 효과와 원자 확산을 악화시켜 접착 및 용접을 가속화합니다. 단기 펄스 전류(예: 용접)는 용융 범위를 감소시킬 수 있지만, 이러한 매개변수를 정밀하게 제어해야 합니다.

다섯째, 환경 요인은 접착 및 용접 저항성에 상당한 영향을 미칩니다. 습하거나 황을 함유한 환경(예: 산업 환경)은 은상의 황화 또는 산화를 유발하고 점도를 증가시켜 밀봉 설계 또는 방식 코팅이 필요할 수 있습니다. 고온 환경(예: 300°C 이상)은 용융 경향을 심화시켜 텅스텐 비율을 높이거나 불활성 가스 보호막을 사용해야 합니다. 높은 산소 농도(예: 공기 중 21%)는 산화 용접을 촉진하며, 진공 또는 SF6 환경은 부식을 크게 줄일 수 있습니다. 염수 분무 또는 화학 세척제는 표면을 부식시켜 접착 안정성에 영향을 미치므로 정기적인 유지 보수 또는 표면 부동태화가 필요합니다.

이러한 요소들의 복합적인 영향은 은-텅스텐 합금 최적화 방향을 제시합니다. 최적화 전략에는 은-텅스텐 비율(텅스텐 60~80%) 조정, 소결 공정 최적화(예: HIP), 점착 방지 코팅(예: DLC), 그리고 사용 조건 제어(예: 저산소 환경)가 포함됩니다. 앞으로는 지능형 모니터링 기술을 결합하여 점착 및 용접 상태를 실시간으로 평가하거나, 성능을 동적으로 조정하는 적응형 코팅을 개발함으로써 은-텅스텐 합금의 점착 방지 및 용접 방지 성능을 더욱 향상시키고 고신뢰성 응용 분야를 지원할 수 있을 것입니다.

2.3.4 은-텅스텐 합금의 우수한 전도도의 원리 및 응용

은-텅스텐 합금의 뛰어난 전도성은 전기 장비에 폭넓게 적용되는 기반이 되며, 효율적인 전류 전달과 고성능 접점 및 전극의 요구를 충족합니다. 전도성은 재료가 전하를 전달하는 능력을 의미합니다. 은-텅스텐 합금은 은의 높은 전도성과 텅스텐의 구조적 지지를 통해 탁월한 전류 전달 성능을 발휘합니다. 이러한 특성은 재료의 고유 특성뿐만

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

아니라 조성비 및 미세 구조의 최적화와도 밀접한 관련이 있어 고전압 회로 차단기, 계전기, 용접 전극과 같은 다양한 응용 분야에 안정적인 지원을 제공합니다. 아래에서는 은-텅스텐 합금의 전도성의 물리적 특성과 전도성 메커니즘, 다양한 조성비에 따른 전도성 변화, 그리고 전기 장비에서 전도성을 적용하는 이점에 대해 자세히 설명합니다.

2.3.4.1 은-텅스텐 합금의 전도도의 물리적 특성 및 전도 메커니즘

전도성의 물리적 본질은 재료 내 자유 전자의 이동성에 있습니다. 금속은 원자 구조에서 외부 전자를 쉽게 분리하여 이동 가능한 전하 캐리어를 형성합니다. 은-텅스텐 합금의 전도성 메커니즘은 은의 높은 전도성과 합금에서의 역할, 그리고 텅스텐의 구조적 안정성 및 미세 최적화에 의존합니다. 귀금속인 은은 전기장의 작용 하에서 빠르게 이동할 수 있는 풍부한 자유 전자를 가지고 있어 합금에 탁월한 전류 전달 효율을 제공합니다. 텅스텐은 전도성이 낮지만, 높은 녹는점과 높은 경도를 가지고 있어 소결 과정에서 견고한 골격 구조를 형성하여 은 상의 연속적인 분포를 유지하고 전류 경로의 안정성을 보장합니다.

은-텅스텐 합금의 전도성 메커니즘은 분말 야금 공정을 통해 구현됩니다. 액상 소결 공정에서 은은 텅스텐 입자를 녹이고 적서 연속적인 전도성 네트워크를 형성하고, 전자는 은 상 내에서 효율적으로 이동할 수 있습니다. 텅스텐 입자는 보강재로서 전도성에 직접적인 영향을 미치지 않는 않지만, 균일한 분포를 통해 저항 집중점을 줄이고 전반적인 전도성 일관성을 향상시킵니다. 고에너지 볼 밀링 및 열간 등압 성형과 같은 소결 공정 최적화는 미세 구조의 밀도를 더욱 향상시키고 기공 및 결함으로 인한 전류 전달 장애를 줄입니다. 또한 은의 연성은 미세 응력에 적응하고 전도성 네트워크의 무결성을 유지하며 기계적 접촉이나 아크 발생 시에도 성능을 유지합니다.

합금의 비자성 특성은 전도성 메커니즘을 뒷받침하여 전류 경로에 대한 전자기 간섭의 영향을 방지합니다. 이러한 전도성 메커니즘은 은-텅스텐 합금이 고전류 환경에서 우수한 성능을 발휘할 수 있도록 합니다. 은의 높은 전도성은 기반을 제공하고, 텅스텐의 구조적 지지기는 장기적인 안정성을 보장합니다. 미세 구조의 균일성과 은 상의 연속성이 핵심입니다.

불균일한 분포나 불충분한 은 액상은 저항을 증가시키고 전도 효율을 저하시킬 수 있습니다. 최적화 방안으로는 나노 크기의 은 분말을 사용하여 전도 네트워크를 강화하거나, 기능적 경사 설계를 통해 전도 영역의 은 함량을 증가시키는 것이 있습니다. 간단히 말해, 은-텅스텐 합금의 전도 메커니즘은 은의 자유 전자 이동과 텅스텐의 구조적 지지를 통해 효율적인 전류 전달을 달성하며, 이는 전기장에서의 응용을 위한 토대를 마련합니다.

2.3.4.2 다양한 구성 요소 비율에서의 전도도 변화

은-텅스텐 합금의 전도도는 성분 비율의 변화에 따라 상당한 규칙성을 보입니다. 은과 텅스텐의 비율은 전자 이동 효율과 저항 특성에 직접적인 영향을 미칩니다. 이러한 변화

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

패턴은 응용 분야 요구 사항에 따라 합금 설계를 최적화하는 데 도움이 됩니다. 은 함량이 높으면 은의 높은 전도도가 주요 요인으로 작용하여 합금의 전도도가 크게 향상되고, 전자가 은 상 내에서 자유롭게 이동할 수 있어 저항 손실이 감소합니다. 은은 매트릭스 또는 결합상으로서 소결 과정에서 연속적인 네트워크를 형성합니다. 은 비율이 증가함에 따라 전류 전달 효율이 증가하며, 이는 높은 전도도가 요구되는 접점 및 전극 응용 분야에 특히 적합합니다.

텅스텐 함량이 증가함에 따라 전도성은 점차 감소합니다. 텅스텐의 전도성은 은보다 훨씬 낮기 때문입니다. 텅스텐의 높은 경도와 높은 용점 특성은 구조적 안정성을 향상시키지만 저항 경로를 증가시킵니다. 텅스텐 함량이 높으면 은 상의 연속성이 제한되고 전자의 이동이 방해받아 전도성이 저하될 수 있습니다. 은과 텅스텐 비율의 균형이 핵심입니다. 텅스텐 함량이 너무 높으면 은의 액상이 불충분해져 미세한 기공이나 불균일한 분포가 발생하여 저항이 더욱 증가할 수 있습니다. 반대로 은 함량이 너무 높으면 전도성은 향상되지만 합금의 내마모성과 고온 저항성이 약화되어 전반적인 성능에 영향을 미칠 수 있습니다.

소결 공정이 구성 요소 비율에 미치는 영향도 고려해야 합니다. 액상 소결에서 은의 습윤 효과는 은의 비율이 증가함에 따라 증가하여 전도성 네트워크의 연결성을 향상시키지만, 텅스텐 입자가 불균일하게 분포되면 국부적인 전도성이 감소할 수 있습니다. 고순도 원료 및 불활성 분위기 사용과 같은 분말 혼합 및 소결 매개변수를 최적화하면 불순물 간섭을 줄이고 전도성의 안정성을 보장할 수 있습니다. 실제 적용에서 은 함량이 특정 범위(예: 더 높은 비율) 내에 있을 때 전도성은 선형적으로 증가하는 경향을 보이며, 텅스텐 함량이 우세할 때 전도성은 안정적인 경향이 있습니다. 이 규칙은 은-텅스텐 합금의 전도성 최적화가 전도성 요구 사항과 기계적 특성 간의 균형을 찾아야 함을 보여줍니다. 예를 들어, 고전압 회로 차단기 접점은 은 비율이 높은 경향이 있는 반면, 용접 전극은 텅스텐 함량을 적당히 증가시킵니다.

이러한 변화의 법칙은 재료 설계에 유연성을 제공합니다. 최적화 방향에는 나노 크기의 은 분말을 사용하여 전도성 네트워크의 밀도를 높이거나, 기능적 기층기 설계를 통해 전도성 영역에 은상을 집중시키는 것이 포함됩니다. 다양한 성분 비율에 따른 전도도 변화는 미세 구조의 영향을 받으며, 밀도와 입자 균일성은 높은 전도도 유지를 보장합니다. 간단히 말해, 은-텅스텐 합금의 전도도는 은-텅스텐 비율의 변화에 따라 강화에서 약화로 향하는 경향을 보입니다. 적절한 비율 조정을 통해 전기 응용 분야에서 최적의 성능을 달성할 수 있습니다.

2.3.4.3 전기 장비의 전도성 응용 분야의 장점

은-텅스텐 합금은 전기 장비에서 전도성을 띠는 장점을 가지고 있어 고전압 회로 차단기, 계전기, 저항 용접 전극, 무선 주파수 모듈 등에 이상적인 선택입니다. 이러한 장점은 은의 높은 전도성과 텅스텐의 구조적 지지력이 결합되어 효율적인 전류 전달과 장기적인 안정성을 제공합니다. 은-텅스텐 합금은 고전류 환경에서 낮은 저항을 유지하고 에너지 손실을 줄이며 장비 작동의 신뢰성과 효율성을 보장하여 빈번한 스위칭이나 고부하가 필요한 환경에 특히 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고전압 회로 차단기 접점에서 은-텅스텐 합금의 전도성 장점은 효율적인 전류 전달 능력으로 나타납니다. 고전류 차단 시 접점은 전류 경로를 신속하게 설정하고 차단해야 합니다. 은의 높은 전도성은 낮은 저항 특성을 보장하고 열 영향과 아크 에너지를 줄이며, 텅스텐 지지 구조는 접점의 기하학적 안정성을 유지합니다. 이러한 조합은 접점이 여러 스위칭 동작 중에도 일관된 성능을 유지하도록 하여 장비 수명을 연장하고 유지 보수 비용을 절감합니다. 순은과 같은 기존 소재와 비교했을 때 은-텅스텐 합금의 전도성은 다소 낮지만, 내마모성과 내아크성이 이러한 단점을 보완합니다. 릴레이 및 RF 모듈에서 은-텅스텐 합금의 전도성 장점은 고주파 신호 전송 및 저손실 작동을 지원합니다. 릴레이는 전류 변화에 신속하게 대응해야 합니다. 은-텅스텐 합금의 전도성 네트워크는 신호 무결성을 보장하는 동시에 비자성 특성으로 전자기 간섭을 방지하여 특히 전자파에 민감한 환경에 적합합니다. RF 모듈은 고주파 신호를 전송하기 위해 저저항 경로를 사용합니다. 은-텅스텐 합금의 뛰어난 전도성은 이러한 요구를 충족합니다.

저항 용접 전극에서 은-텅스텐 합금의 전도성은 효율적인 전류 집중을 보장합니다. 용접 공정은 전극이 큰 전류를 피삭재에 빠르게 전달해야 합니다. 은의 높은 전도성은 저항열을 줄이고, 텅스텐의 경도는 전극 형상의 안정성을 유지합니다. 이러한 특성은 용접 공정을 더욱 균일하게 하고, 결함을 줄이며, 용접 품질을 향상시킵니다. 구리 기반 전극과 비교했을 때 은-텅스텐 합금은 전도성이 다소 낮지만, 내마모성과 내아크성을 제공하여 더 긴 사용 수명을 제공합니다. 은-텅스텐 합금의 전도성 응용 분야 장점은 적응성에서도 드러납니다. 은-텅스텐 비율을 조절하고 미세 구조를 최적화함으로써, 이 합금은 다양한 전기 소자에서 전도성과 기계적 특성 간의 균형을 이룰 수 있습니다. 연마 또는 코팅과 같은 표면 처리는 전도성 안정성을 더욱 향상시키고 표면 산화가 전류 전달에 미치는 영향을 줄입니다. 최적화 방향에는 나노 크기의 은 분말을 사용하여 전도성 네트워크를 개선하거나, 지능형 모니터링 기술을 통합하여 실시간으로 전류 경로를 최적화하는 것이 포함됩니다.

2.3.5 은-텅스텐 합금의 좋은 열전도도의 특성 및 가치

은-텅스텐 합금의 우수한 열전도도는 고온 및 고전력 응용 분야에서 중요한 특성으로, 열을 효율적으로 전달하고 부품의 안정성과 성능을 유지하는 데 도움이 됩니다. 열전도도는 재료가 열을 전달하는 능력을 의미합니다. 은-텅스텐 합금은 은의 높은 열전도도와 텅스텐의 구조적 지지력을 통해 탁월한 열 관리 성능을 발휘합니다. 이러한 특성은 재료의 고유 특성뿐만 아니라 미세 구조 및 조성비 최적화에도 밀접한 관련이 있으며, 전자 방열 기관 및 항공우주 부품에 핵심적인 지지력을 제공합니다.

2.3.5.1 은-텅스텐 합금의 열전도도 기본 원리 및 열전도도 메커니즘

열전도도의 기본 원리는 재료 내부의 열이 자유 전자와 격자 진동을 통해 전달된다는 것입니다. 금속은 풍부한 자유 전자로 인해 높은 열전도도를 갖습니다. 은-텅스텐 합금의 열전도 메커니즘은 은의 뛰어난 열전도도와 합금 내에서의 주요 역할, 그리고 텅스텐의 구조적 안정성 및 미세 최적화에 의존합니다. 귀금속인 은은 높은 자유 전자 밀도를 가지고 있어 열에너지를 빠르게 전달하여 합금의 효율적인 열 관리 성능을 향상시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텡스텐은 열전도도가 낮지만, 높은 용점과 높은 경도 특성은 소결 과정에서 견고한 골격을 형성하여 은 상의 연속적인 분포를 유지하고 열전달의 안정성을 보장합니다.

은-텡스텐 합금의 열전도 메커니즘은 분말 야금 공정을 통해 구현됩니다. 액상 소결 공정에서 은 텡스텐 입자를 녹이고 적서 연속적인 열전도 네트워크를 형성하며, 은 상에서 열이 효율적으로 전달될 수 있습니다. 텡스텐 입자는 강화재로서 열전도도에 직접적으로 기여하지는 않지만, 균일한 분포를 통해 열 저항의 집중점을 줄이고 전반적인 열전도도 일관성을 향상시킵니다. 고에너지 불 밀링 및 열간 등압 성형과 같은 소결 공정 최적화는 미세 구조의 밀도를 더욱 향상시키고 기공 및 결함으로 인한 열전달 장애를 줄입니다. 또한 은의 연성은 미세 응력에 적응하고 열전도 네트워크의 무결성을 유지하며 열 사이클링 조건에서도 성능을 유지할 수 있도록 합니다.

합금의 낮은 열팽창 계수는 열전도 메커니즘을 뒷받침하여 구조에 대한 열 응력의 영향을 줄이고 장기 작동 시 안정성을 보장합니다. 이러한 열전도 메커니즘은 은-텡스텐 합금이 고온 부하 환경에서 우수한 성능을 발휘할 수 있도록 합니다. 은의 높은 열전도율은 기반을 제공하고, 텡스텐의 구조적 지지는 장기적인 내구성을 보장합니다. 미세 구조의 균일성과 은 상의 연속성은 핵심 요소입니다. 불균일한 분포나 불충분한 은 액상은 열 저항을 증가시키고 열전도 효율을 저하시킬 수 있습니다. 최적화 방안에는 나노 크기의 은 분말을 사용하여 열전도 네트워크를 강화하거나, 기능적 경사 설계를 사용하여 열전도 영역의 은 함량을 증가시키는 것이 포함됩니다. 간단히 말해, 은-텡스텐 합금의 열전도 메커니즘은 은의 자유 전자 열전달과 텡스텐의 구조적 지지를 통해 효율적인 열 관리를 달성하여 고온 응용 분야에서의 성능 향상을 위한 기반을 마련합니다.

2.3.5.2 열전도도와 방열효과의 관계

은-텡스텐 합금의 열전도도와 방열 효과 사이에는 밀접한 상관관계가 있습니다. 방열 효과는 재료가 국부적인 고온 지점에서 주변 환경으로 열을 전달하는 능력을 나타내며, 이는 부품의 온도 제어 및 수명에 영향을 미칩니다. 은-텡스텐 합금의 높은 열전도도는 고온 지점에서 열을 빠르게 전달하여 국부 과열로 인한 성능 저하 또는 고장을 방지합니다. 열전도도와 방열 사이의 이러한 관계는 은의 높은 열전도도와 텡스텐의 구조적 안정성에 의존하며, 미세 구조의 최적화는 이러한 관계를 더욱 강화합니다.

은의 높은 열전도도는 방열 효과의 기초입니다. 열은 자유 전자를 통해 은 상에서 효율적으로 전달되어 핫스팟 온도의 축적을 줄입니다. 보강상인 텡스텐은 열전도도가 낮지만, 균일한 분포는 안정적인 열전달 경로를 형성하여 특정 영역에 열이 머무르는 것을 방지합니다. 소결 과정에서 형성된 치밀한 미세 구조는 열 저항을 줄이고 열을 내부에서 표면으로 원활하게 전도하여 방열 효율을 향상시킵니다. 액상 소결 중 은의 습윤 효과는 텡스텐 입자 사이의 틈을 채워 열전도의 연속성을 향상시켜 방열 효과를 향상시킵니다. 미세 구조의 균일성이 핵심입니다. 다공성이나 불균일한 분포는 열 집중을 초래하고 방열 용량을 악화시킬 수 있습니다.

탁월한 방열 성능은 은텡스텐 합금의 적용 신뢰성을 직접적으로 향상시킵니다. 전자 방열

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기관에서 열전도도는 전력 소자에서 발생하는 열을 빠르게 전달하여 칩 과열 및 손상을 방지하고 장비 수명을 연장합니다. 용접 전극에서 방열 효과는 아크 열 축적을 줄이고 전극 표면의 안정성과 용접 품질을 유지합니다. 항공우주 부품에서 열전도도는 고온 환경에서 열 관리를 지원하고 구조적 무결성을 보장합니다. 열전도도와 방열 간의 상관관계는 사용 조건에 따라 제한됩니다. 더 넓은 방열 면적이나 양호한 열 교환 환경 조건은 효과를 더욱 향상시킬 수 있습니다. 연마 또는 코팅과 같은 표면 처리 또한 방열을 최적화할 수 있습니다. 최적화 방향으로서는 나노 크기의 은 분말을 사용하여 열 네트워크 밀도를 높이거나, 기능적 경사 설계를 통해 방열 영역에 은상을 집중시키는 것이 있습니다. 열전도도 향상은 방열 성능 향상으로 직접 이어지고, 열 응력으로 인한 부품 손상을 줄이며, 고온 및 고전력 애플리케이션을 지원합니다.

2.3.5.3 고온 작업 환경에서 열전도도의 적용 값

고온 작업 환경에서 은-텅스텐 합금은 뛰어난 열전도도를 자랑하며, 전자 장비, 용접 시스템, 항공우주 부품의 핵심 소재로 활용됩니다. 고온 작업 환경은 재료의 열 관리에 엄격한 기준을 요구합니다. 은-텅스텐 합금은 우수한 열전도도를 통해 열을 효과적으로 전달하여 부품의 안정성과 기능성을 유지합니다. 이러한 응용 가치는 빠른 열 방출뿐만 아니라, 고온 조건에서 높은 신뢰성 요건을 충족하는 구조적 안정성과 내구성에도 반영됩니다.

전자 기기에서 은-텅스텐 합금의 열전도도 활용 가치는 전력 소자 및 방열 기관의 성능 향상에 반영됩니다. 전자 부품은 작동 중 많은 열을 발생시키며, 기존의 방열 소재는 열전도도가 부족하여 과열로 인해 고장이 발생할 수 있습니다. 은-텅스텐 합금의 높은 열전도도는 칩에서 방열판으로 열을 빠르게 전달하여 성능 저하나 손상을 방지하고, 구조적 안정성은 장기 작동 시 신뢰성을 보장합니다. 다른 소재와 비교했을 때, 은-텅스텐 합금의 열전도도 이점과 내마모성은 고밀도 전자 기기에서 우수한 성능을 발휘하고 수명을 연장합니다.

용접 시스템에서 은-텅스텐 합금의 열전도도는 전극과 용접 헤드의 안정적인 작동에 영향을 미칩니다. 용접 공정은 고온과 아크 작용을 수반하며, 열 축적은 전극의 변형이나 용융을 유발할 수 있습니다. 은-텅스텐 합금의 열전도도는 열을 효과적으로 분산시키고 전극 표면의 무결성을 유지합니다. 높은 경도는 내마모성을 향상시키고 용접 품질의 안정성을 보장합니다. 이러한 특성으로 인해 은-텅스텐 합금은 저항 용접 및 플라즈마 용사 공정에서 선호되는 소재로 자리 잡았으며, 생산 효율을 크게 향상시킵니다.

항공우주 부품에서 은-텅스텐 합금의 열전도도는 고온 환경에서 열 관리를 지원합니다. 항공우주 장비는 작동 중 극심한 열 부하에 직면하며, 기존 소재는 열 응력으로 인해 고장날 수 있습니다. 은-텅스텐 합금의 열전도도는 주요 부품의 열을 효과적으로 전달하고, 낮은 열팽창 계수와 결합하여 열 사이클로 인한 변형을 줄여줍니다. 구조적 안정성은 고온 환경에서 장기적인 내구성을 보장하여 항공기의 전기 연결 및 균형추 부품을 안정적으로 지지합니다. 은-텅스텐 합금의 열전도도 적용 가치는 그 적응성에서도 드러납니다. 은-텅스텐 비율을 조절하고 미세 구조를 최적화함으로써, 이 합금은 다양한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고온 환경에서 열전도도와 기계적 특성 간의 균형을 이룰 수 있습니다. 연마 또는 코팅과 같은 표면 처리는 방열 성능을 더욱 향상시키고 표면 열 저항을 감소시킵니다.

최적화 방향에는 나노 크기의 은 분말을 이용한 열전도도 네트워크 개선, 지능형 모니터링 기술 통합을 통한 실시간 열 관리 최적화 등이 포함됩니다. 간단히 말해, 고온 작업 환경에서 은-텅스텐 합금의 열전도도 활용 가치는 전자, 용접, 항공우주 분야에서의 활용에 중요한 기반을 제공하며, 부품의 신뢰성과 성능을 크게 향상시킵니다.

2.3.6 은-텅스텐 합금의 내식성 성능 및 메커니즘

은텅스텐 합금의 내식성은 다양한 응용 환경에서 중요한 특성으로, 화학적 또는 전기화학적 침식을 방지하고 장기적인 안정성과 기능을 유지할 수 있도록 합니다. 내식성은 재료가 산성, 알칼리성 또는 습한 환경에서 재료의 열화를 방지하는 능력을 의미합니다. 은텅스텐 합금은 은의 화학적 안정성과 텅스텐의 산화 방지 특성을 통해 탁월한 성능을 발휘합니다. 이러한 특성은 전기 접점, 용접 전극, 항공우주 부품 분야에서 상당한 이점을 제공합니다.

2.3.6.1 은-텅스텐 합금에 대한 다양한 부식 환경의 영향

다양한 부식 환경에서 은-텅스텐 합금의 성능은 환경 조건과 화학 조성의 상호작용으로 인해 달라지며, 이는 표면 특성과 수명에 영향을 미칩니다. 은-텅스텐 합금의 내식성은 주로 은과 텅스텐의 특성에 따라 달라지지만, 서로 다른 환경이 두 상에 미치는 부식 영향은 서로 다르므로, 이는 재료 설계 최적화에 중요한 기준이 됩니다.

습한 환경에서 은-텅스텐 합금은 어느 정도 내식성을 나타냅니다. 은은 습기에 대한 화학적 안정성이 우수하지만, 장기간 노출되면 약간의 산화가 발생하여 표면에 얇은 산화막을 형성하고 전도성에 약간의 영향을 미칠 수 있습니다. 텅스텐은 높은 화학적 안정성으로 인해 습기에 대한 부식이 거의 발생하지 않지만, 습기에 황화물이나 염화물이 포함된 경우 은은 황화물 또는 염소화 반응을 일으켜 표면 거칠기를 증가시킬 수 있으며, 이는 표면 보호 조치로 제어해야 합니다. 이러한 환경에서도 은-텅스텐 합금은 기본적인 구조적 무결성을 유지할 수 있으며, 실내 전기 장비에 적합합니다.

산성 환경에서 은-텅스텐 합금의 내식성은 더 큰 어려움에 직면합니다. 황산이나 염산과 같은 산성 물질은 은상을 부식시켜 표면 용해 또는 부식 생성물을 생성하여 전기 및 열 전도도에 영향을 미칠 수 있습니다. 텅스텐상은 높은 화학적 불활성으로 인해 산성 부식에 대한 강한 저항성을 갖지만, 산성 환경에서 산화제는 텅스텐의 표면 산화를 유발하여 불안정한 화합물을 형성할 수 있습니다. 합금의 미세 구조 밀도는 여기서 중요한 역할을 합니다. 기공이나 결함은 부식 침투를 가속화할 수 있으므로 소결 공정을 최적화하여 내식성을 향상시켜야 합니다. 산성 조건에서의 적용은 신중해야 하며, 단기간 노출 또는 보호 코팅과 함께 사용하는 것이 적합합니다.

알칼리성 환경에서 은텅스텐 합금의 내식성은 비교적 우수합니다. 은은 알칼리성 물질에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

대한 내성이 뛰어나고 표면이 쉽게 부식되지 않아 전도성과 기계적 성질을 유지합니다. 또한 텅스텐상은 알칼리성 환경에서 안정적인 화학적 성질을 나타내어 부식 위험을 줄입니다. 그러나 알칼리성 환경에 산화제가 포함되어 있거나 고온 조건이 유지되는 경우, 은은 서서히 산화되어 장기적인 안정성에 영향을 미칠 수 있습니다. 이러한 환경에서 본 합금의 내식성은 산성 환경보다 우수하며, 특정 산업 장비의 접촉 부품에 적합합니다.

환경의 불순물과 온도 변화 또한 부식 효과에 영향을 미칩니다. 황이나 염화물 함량이 높은 환경은 은의 부식을 악화시킬 수 있으며, 온도 상승은 화학 반응을 가속화하고 침식 속도를 증가시킵니다. 은-텅스텐 합금의 비자성 특성은 전자파에 민감한 환경에서 여전히 이점을 제공하지만, 내식성을 위해서는 특정 환경에 따라 사용 조건이나 보호 조치를 조정해야 합니다. 간단히 말해, 다양한 부식 환경이 은-텅스텐 합금에 미치는 영향은 은-텅스텐 합금의 한계와 내식성의 잠재력을 보여주며, 재료 선택 및 최적화에 대한 지침을 제공합니다.

2.3.6.2 은-텅스텐 합금의 내식성 메커니즘

은-텅스텐 합금의 내식성 메커니즘은 은과 텅스텐의 화학적 안정성과 미세 구조의 시너지 효과에 기인하며, 이를 통해 다양한 환경에서 내식성을 유지하고 장기적인 성능을 유지할 수 있습니다. 내식성의 핵심은 재료와 환경 사이의 화학 반응 또는 전기화학적 부식을 줄이는 것입니다. 은-텅스텐 합금은 다음과 같은 메커니즘을 통해 이러한 목표를 달성합니다.

첫째, 은의 화학적 안정성은 내식성의 기본입니다. 은은 상온에서 산소와 수분에 대해 강력한 항산화 능력을 가지고 있으며, 표면에 두꺼운 산화막을 형성하기 어려워 부식 생성물의 축적을 줄입니다. 은의 연성은 미세한 수준의 환경 응력에 적응하여 균열이나 박리 위험을 줄입니다. 그러나 은은 황이나 염화물이 포함된 환경에서 미약하게 반응하여 황화물이나 염화물을 형성할 수 있으며, 이는 텅스텐 상으로부터의 추가적인 보호가 필요합니다. 은은 액상 소결 과정에서 텅스텐 입자를 적셔 조밀한 계면 구조를 형성하여 전반적인 내식성을 향상시킵니다.

둘째, 텅스텐의 높은 화학적 불활성은 내식성의 핵심 요소입니다. 텅스텐은 매우 높은 녹는점과 안정적인 결정 구조를 가지고 있습니다. 산성, 알칼리성 또는 습한 환경에서 일반적인 부식성 매질과 반응하기 쉽지 않으며, 표면은 견고하게 유지됩니다. 텅스텐의 항산화 능력은 고온이나 산소가 풍부한 환경에서도 산화에 대한 저항성을 유지하여, 추가적인 부식을 억제하는 얇은 보호막을 형성합니다. 텅스텐 입자는 합금 내에서 골격 구조를 형성하여 부식성 매질의 침투 경로를 분산시키고 내부로의 부식 확산을 제한합니다. 이러한 특성으로 인해 텅스텐 상은 은-텅스텐 합금의 내식성을 이루는 주요 요소입니다.

미세 구조 최적화는 내식성을 더욱 향상시킵니다. 소결 과정에서 은 액상은 텅스텐 입자 사이의 틈을 메워 기공과 결함을 줄이고 부식성 매체가 미세 균열을 통해 침투하는 것을 방지합니다. 열간 등방성 가압 성형 또는 스파크 플라즈마 소결 공정은 밀도를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

향상시키고, 결정립계를 압축하며, 초기 부식 지점을 줄입니다. 고에너지 볼 밀링과 균일한 분말 혼합을 통해 은과 텅스텐의 계면 결합 강도가 향상되어 전체 구조의 내식성 일관성이 향상됩니다. 비자성 특성은 또한 내식성 메커니즘을 뒷받침하고 표면 안정성에 대한 전자기 간섭의 영향을 방지합니다.

그러나 은-텅스텐 합금의 내식성은 제한적입니다. 은상은 특정 조건(예: 황 함유 환경)에서 부식되기 쉽고, 텅스텐상의 높은 경도는 장기 응력 하에서 미세 균열을 발생시켜 국부적인 침식을 가속화할 수 있습니다. 내부 메커니즘을 최적화하려면 은의 전도성과 텅스텐의 내식성 간의 균형을 맞춰야 합니다. 핵심은 조성비와 미세 구조를 조정하는 것입니다.

2.3.6.3 내식성을 향상시키는 기술적 수단

은-텅스텐 합금의 내식성 향상의 핵심은 다양한 환경에서 장기적인 성능을 향상시키는 것이며, 이는 재료 제조, 표면 처리 및 사용 조건 최적화를 통해 달성되어야 합니다. 내식성 향상은 주로 은의 내식성과 미세 결합을 개선하는 데 중점을 두고, 텅스텐의 산화 방지 특성과 결합하여 합금의 내식성을 최적화합니다.

첫째, 조성비 최적화는 내식성 향상의 기본입니다. 텅스텐 함량을 높이면 텅스텐의 높은 화학적 불활성이 부식성 매질과의 반응을 감소시켜 합금의 전반적인 내식성을 향상시킬 수 있습니다. 은 함량이 적당하면 액상 소결이 치밀한 구조를 형성하여 계면 결합력을 향상시키지만, 은 함량이 너무 높으면 부식 위험이 증가할 수 있으므로 조성비를 조정하여 균형을 맞춰야 합니다. 몰리브덴이나 크롬과 같은 미량 첨가제는 텅스텐의 내산화성을 향상시킬 수 있지만, 전도성에 영향을 미치지 않도록 함량을 조절해야 합니다.

둘째, 소결 공정 최적화는 미세 구조의 밀도를 크게 향상시킬 수 있습니다. 액상 소결은 은의 습윤 효과를 통해 텅스텐 입자 사이의 틈을 메우고, 기공률을 줄이며, 부식성 매질의 침투를 방지합니다. 스파크 플라즈마 소결 기술은 펄스 전류와 고압을 통해 치밀한 구조를 빠르게 형성하고, 과도한 입자 성장을 억제하며, 표면 균일성을 향상시킵니다. 열간 등방성 가압 공정은 전방위 고압을 통해 잔류 결함을 제거하여 내식성의 일관성을 더욱 향상시킵니다. 진공 또는 고순도 아르곤 소결 환경은 산화된 불순물의 유입을 방지하고, 텅스텐과 은의 순도를 유지하며, 부식 민감도를 감소시킵니다.

셋째, 표면 처리 기술은 내식성을 향상시키는 효과적인 수단입니다. 질화티타늄이나 탄화크롬과 같은 플라즈마 강화 화학 기상 증착(PECVD) 방식으로 도포되는 부식 방지 코팅은 합금 표면에 보호층을 형성하고, 부식성 매질을 차단하며, 은의 산화 또는 황화를 감소시킬 수 있습니다. 전기화학적 연마는 표면 마감을 최적화하고, 초기 부식 발생 지점을 줄이며, 내식성을 향상시킵니다. 표면 부동태화 처리는 안정적인 산화층을 형성하여 내식성을 더욱 향상시키며, 이는 특히 황이나 염화물 환경에 적합합니다. 연구에 따르면 적절한 코팅은 부식률을 크게 줄이고 부품 수명을 연장할 수 있는 것으로 나타났습니다. 넷째, 환경 관리 및 사용 조건 최적화를 통해 내식성을 더욱 향상시킬 수 있습니다. 습하거나 산성 환경에서는 부식성 매체와의 접촉을 줄이기 위해 밀폐형 설계

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

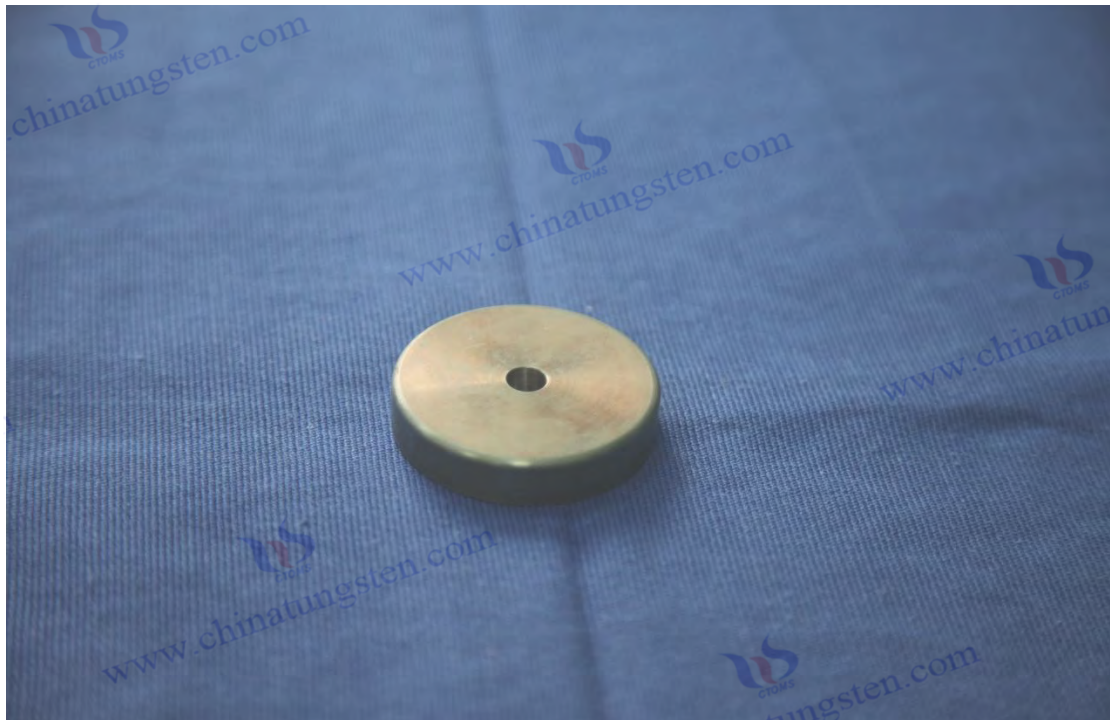
또는 불활성 가스 보호 시스템을 사용하십시오. 용접 또는 전기 분야에서는 온도 및 습도와 같은 작동 매개변수를 제어하여 부식 위험을 줄입니다. 지능형 모니터링 기술은 내장 센서를 통해 실시간으로 부식 상태를 감지하고, 유지보수 주기를 최적화하며, 과도한 침식을 방지합니다. 기능적 경사 재료 설계는 표면의 텅스텐 함량을 높여 내부 은상의 전도성을 유지하면서 부식 방지층을 강화합니다.

이러한 공정 방법들을 결합하면 은텅스텐 합금이 습기, 산성 또는 산업 환경에서 우수한 성능을 발휘하여 부품 수명을 연장하고 신뢰성을 향상시킬 수 있습니다. 최적화 방향으로 부식 손상을 동적으로 복구하는 자가수복 코팅 개발 또는 나노 크기의 텅스텐 분말을 통한 표면 균일성 향상 등이 있습니다.

2.4 CTIA GROUP LTD 은 텅스텐 합금 MSDS

MSDS(물질안전보건자료)는 일반적으로 중국 텅스텐 인텔리전트 매뉴팩처링 제조업체에서 제공하며, 해당 재료의 물리적 및 화학적 특성, 안전 사용 지침, 그리고 잠재적 위험 정보가 포함되어 있습니다. 관련 정보에 따르면, 은-텅스텐 합금의 MSDS 함량은 텅스텐 기반 합금 또는 은 합금의 일반적인 기준을 참조할 수 있습니다.

구성 정보: 은(Ag)과 텅스텐(W)의 비율(예: 30%-70% Ag, 70%-30% W)은 특정 제품에 따라 달라집니다. 물리적 특성: 밀도는 약 12.0-15.0 g/cm³, 녹는점 범위는 은 함량에 따라 다름, 전도도는 40%-60% IACS 입니다. 건강 위험: 은과 텅스텐 자체는 일반적으로 심각한 독성이 없습니다. 안전 조치: 보호 장비를 착용하는 것이 좋습니다.



CTIA GROUP LTD 은 텅스텐 합금

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
Silver Tungsten Alloy Introduction

1. Overview of Silver Tungsten Alloy

Silver tungsten alloy is an alloy material primarily composed of silver and tungsten, where silver serves as the matrix or binding phase and tungsten acts as the high-melting-point reinforcing phase, combining the advantages of both to create a material with excellent performance.

2. Features of Silver Tungsten Alloy

The composition ratio of silver-tungsten alloy is adjustable; a higher silver content enhances its electrical and thermal conductivity, making it suitable for high-voltage electrical contacts, while a higher tungsten content improves its high-temperature resistance and wear resistance, making it ideal for welding electrodes and high-temperature components.

3. The Composition Ratio of Silver Tungsten Alloy

Materials	Composition (%weight)	Density (/g.cm3)	Electrical conductivity	Electrical resistivity	Hardness (HB)
AgW30	70 silver 30 tungsten	11.8-12.2	73	2.3	75
AgW40	60 silver 40 tungsten	12.5-12.8	64	2.6	85
AgW50	50 silver 50 tungsten	13.2-13.5	73-56	2.3-3.0	105
AgW55	45 silver 55 tungsten	13.6-13.9	54	3.2	115
AgW60	40 silver 60 tungsten	14.0-14.4	60-50	2.8-3.3	125
AgW65	35 silver 65 tungsten	14.5-14.9	50	3.4	135
AgW70	30 silver 70 tungsten	14.7-15.1	48	3.5	150
AgW80	20 silver 80 tungsten	16.1-16.5	37	4.5	180

4. Production Methods for Silver Tungsten Alloy

The preparation method for tungsten-silver alloy is the same as that for tungsten-copper alloy. Due to tungsten's high melting point and its inability to alloy with silver, traditional methods cannot be used. Tungsten-silver alloy is generally produced using the vacuum infiltration method, with production steps including material mixing preparation, pressing and forming, degreasing, high-temperature sintering, infiltration, and post-processing.

5. Applications of Silver Tungsten Alloy

Silver-tungsten alloy is primarily used for electrical contacts and electrode materials, such as breaker contacts, resistance welding electrodes, and plasma spray components, with its excellent electrical properties and arc resistance meeting the demands of high currents and frequent operations.

6. Purchasing Information

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

Website: silver-tungsten.net

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: 은-텅스텐 합금의 미세조직 특성 관찰 및 성능 상관관계

은-텅스텐 합금의 미세 구조는 성능의 기초가 되며, 전기 전도도, 열 전도도, 경도 및 내식성에 직접적인 영향을 미칩니다. 미세 구조는 분말 야금법에 의해 형성되며, 결합제 상인 은과 강화상인 텅스텐의 상호작용은 고유한 결정립 형태, 상 분포 및 계면 특성을 형성합니다. 이러한 구조적 특성은 합금의 기계적 특성 및 기능적 특성과 밀접한 관련이 있으며, 제조 공정을 최적화하고 응용 성능을 향상시키는 데 중요한 기반을 제공합니다.

3.1 은-텅스텐 합금의 미세조직 특성 관찰

은-텅스텐 합금의 미세구조를 주사전자현미경(SEM), 투과전자현미경(TEM), 그리고 X 선 회절(XRD) 기법을 통해 관찰하여 내부 결정 구조와 상 분포를 확인했습니다. 이러한 관찰 결과는 합금의 특성을 이해하는 데 직접적인 증거를 제공하며, 소결 과정에서 은과 텅스텐의 상호작용과 미세구조에 미치는 영향을 보여줍니다.

3.1.1 입자 형태 및 크기 특성

은-텅스텐 합금의 결정립 형태와 크기 특성은 미세 구조의 핵심 요소이며, 합금의 기계적 특성과 내구성에 직접적인 영향을 미칩니다. 결정립 형태는 주로 다각형 또는 거의 구형의 텅스텐 입자 구조로 나타나는 반면, 은상은 텅스텐 입자 주위에 연속적 또는 메시 형태의 분포를 보입니다. 텅스텐 입자는 일반적으로 더 큰 크기로 존재하며 보장상으로서 골격 지지를 제공하는 반면, 은상은 액상 소결의 틈을 메워 더 미세한 결정립을 형성합니다. 이러한 형태적 차이는 두 가지의 물리적 및 화학적 특성에서 비롯됩니다. 텅스텐의 높은 녹는점은 소결 중에 고체 상태를 유지하는 반면, 은의 낮은 녹는점은 텅스텐 입자를 녹여 적시게 합니다.

입자 크기는 제조 공정 및 소결 조건의 영향을 받습니다. 초기 텅스텐 분말의 입자 크기는 일반적으로 미크론 미만에서 미크론 수준이며, 고에너지 볼 밀링을 통해 나노스케일로 더욱 미세화할 수 있습니다. 소결 온도와 시간은 입자 성장에 중요한 역할을 합니다. 고온 및 장시간 소결은 텅스텐 입자의 비정상적인 성장을 유발할 수 있지만, 은상은 유동성 향상으로 인해 더 큰 입자를 형성합니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS)과 같은 최적화된 공정은 빠른 가열 및 가압을 통해 과도한 입자 성장을 억제하여 텅스텐 입자의 크기를 더 작은 범위로 유지하고, 은상은 미세하고 균일한 분포를 나타냅니다. 관찰 결과에 따르면 입자 크기가 작을수록 입계 밀도가 높아지고 합금의 경도와 강도가 그에 따라 증가하는 것으로 나타났습니다. 입자 형태와 크기의 균일성은 성능에 중요한 영향을 미칩니다. 불균일한 입자 분포는 국부적인 응력 집중을 초래하여 굽힘 강도와 인성을 저하시킬 수 있습니다. 소결 공정에서 열간 등방성 가압(HIP)은 전방향 압력을 통해 미세 결함을 제거하고 입자의 일관성을 개선할 수 있습니다. 나노 크기의 텅스텐 분말을 적용하면 입자가 더욱 미세해지고, 입자 경계 강화 효과가 향상되며, 합금의 내마모성과 아크 침식 저항성이 크게 향상됩니다. 입자 형태를 관찰하면 은이 텅스텐 입자에 젖는 정도도 알 수 있습니다. 젖음이 좋으면 치밀한 구조가 형성되고 기공이 감소하며 전반적인 성능 안정성이 향상됩니다. 간단히 말해, 은-텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합금의 입자 형태와 크기 특성은 제조 공정에 의해 조절되며, 이는 미세 구조와 거시적 특성에 상당한 영향을 미칩니다.

3.1.2 위상 분포 및 인터페이스 특성

은-텅스텐 합금의 상 분포 상태와 계면 특성은 미세 구조의 중요한 요소로, 합금의 전기 전도도, 열 전도도 및 내식성을 직접적으로 결정합니다. 상 분포는 주로 텅스텐 입자가 은 매트릭스 또는 결합상에 분산된 상으로 매립되어 있고, 은상은 텅스텐 입자 주위에 연속적인 네트워크 또는 국소적 응집체를 형성한다는 점에서 나타납니다. 텅스텐상의 부피 분율은 일반적으로 높고 주요 부피를 차지하는 반면, 은상은 소결 과정에서 빈틈을 메우고 상 간의 결합을 강화합니다. 이러한 분포 상태는 분말 야금법을 통해 구현되며, 분말 혼합의 균일성과 소결 변수는 이에 상당한 영향을 미칩니다.

계면 특성은 상 분포 상태의 핵심 요소이며, 은과 텅스텐 사이의 계면 결합력은 합금의 전반적인 성능에 직접적인 영향을 미칩니다. 관찰 결과, 액상 소결 과정에서 은 상이 텅스텐 입자 표면을 적셔 단단한 계면층을 형성하여 기공과 결합을 줄이는 것으로 나타났습니다. 계면의 적실 정도는 은 함량과 소결 온도에 따라 결정됩니다. 은 함량이 적당하면 계면 결합이 잘 이루어지고 전이가 원활해집니다. 과도한 은 함량은 과도한 액상 은을 형성하여 계면에 미세한 은 침전물을 형성하고 안정성에 영향을 미칠 수 있습니다. 텅스텐 입자 사이의 은 상층은 완충 역할도 하여 열 응력이나 기계적 응력을 흡수하고 합금의 인성을 향상시킵니다.

상 분포의 균일성은 성능에 매우 중요합니다. 불균일한 분포는 특히 텅스텐 함량이 높을 때 전기 또는 열 전도도의 국부적인 감소로 이어질 수 있습니다. 은(Ag) 상이 부족하면 기공이 형성되어 전기 또는 열 저항이 증가할 수 있습니다. 고에너지 볼 밀링 및 진공 소결과 같은 소결 공정을 최적화하면 상 분포의 일관성을 개선하고 계면에서 불순물과 산화물의 축적을 줄일 수 있습니다. 계면 특성을 관찰하면 결정립계 강화의 역할도 알 수 있습니다. 은 상은 결정립계에서 전위 이동을 제한하고 경도를 향상시킵니다. 그러나 계면 결합력이 부족하면 미세균열이 유발되어 내구성이 저하될 수 있습니다.

나노 크기의 텅스텐 분말을 적용하면 상 분포와 계면 특성이 더욱 최적화됩니다. 작은 입자는 계면 면적을 늘리고, 은의 젖음 효율을 향상시키며, 더욱 조밀한 미세 구조를 형성합니다. 열간 등방성 가압 공정은 계면을 고압으로 압축하여 상 간의 결합력을 강화하고 계면 결합을 줄입니다. 계면에서의 화학 반응이나 확산 또한 특성에 영향을 미칩니다. 적절한 소결 분위기는 반응 정도를 제어하고 텅스텐과 은의 순도를 유지할 수 있습니다.

3.1.3 기공 및 결합의 미시적 표현

은-텅스텐 합금의 기공률과 미세 결합은 미세 구조의 중요한 측면으로, 합금의 기계적 특성, 전기 전도도 및 내식성에 직접적인 영향을 미칩니다. 기공률은 합금 내 미충전 공극의 비율을 나타내며, 일반적으로 소결 공정 및 원료 특성에 의해 결정됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

결합에는 미세 균열, 미결합 영역, 불순물 응집 등이 포함되며, 이러한 요소들이 합금의 전반적인 밀도와 안정성을 결정합니다. 이러한 특성을 관찰하면 성능 병목 현상을 파악하고 제조 공정을 최적화하는 데 도움이 됩니다.

은-텅스텐 합금의 기공은 주로 은상과 텅스텐상 사이에 분산된 미세한 공극으로 나타나며, 그 형태는 대부분 구형이거나 불규칙합니다. 기공 형성은 분말 혼합 중 가스 캡슐화 또는 소결 중 은 액상이 틈을 완전히 채우기에 부족하여 발생합니다. 관찰 결과, 기공률이 높은 영역은 일반적으로 텅스텐 입자가 밀집된 곳에 나타나며, 은상의 불균일한 분포는 이러한 현상을 악화시킬 수 있습니다. 기공률이 높으면 열과 전류가 틈으로 전달되기 어려워 전기 및 열 전도도가 감소합니다. 동시에 기공은 응력 집중점이 되어 굽힘 강도와 인성을 감소시킬 수도 있습니다. SEM 분석 결과, 기공률이 특정 수준 미만일 때 합금 성능이 크게 향상되며, 특히 고신뢰성 응용 분야에서 그렇습니다.

결합의 미시적 징후로는 미세균열과 미결합 계면이 있으며, 이는 일반적으로 은-텅스텐 계면 또는 텅스텐 입자 사이에서 발생합니다. 미세균열은 소결 중 열응력이나 냉각 수축으로 인해 발생할 수 있으며, 특히 은상과 텅스텐상의 열팽창 계수가 매우 다를 때 발생합니다. 미결합 계면은 은상이 텅스텐 입자를 완전히 적시지 못하여 국소 접촉 불량량을 초래하고 구조적 무결성에 영향을 미치는 것으로 나타납니다. TEM 관찰 결과, 결합 영역에는 종종 불순물이 축적되는 것으로 나타났는데, 이는 소결 분위기가 좋지 않을 때 발생할 수 있으며, 계면 결합을 더욱 악화시킵니다. 또한, 결합의 존재는 부식성 매질의 침투를 가속화하고 내식성을 저하시킬 수 있습니다.

기공률과 결합 제어는 미세 구조 최적화의 핵심입니다. 열간 등압 성형과 같은 소결 공정은 전방향 압력으로 재료를 압축하여 기공과 미세 균열을 크게 줄이고 밀도를 향상시킵니다. 스파크 플라즈마 소결은 빠른 가열 및 가압을 통해 결합 형성을 억제하고 계면 결합을 향상시킵니다. 고순도 원료 사용과 균일한 분말 혼합은 불순물과 가스 개재물을 줄이고 초기 결합률을 낮출 수 있습니다. 관찰 결과에 따르면 최적화된 은-텅스텐 합금의 기공률은 매우 낮은 수준으로 감소하고 결합 밀도는 크게 감소하며 성능 일관성이 향상되었습니다. 간단히 말해, 기공률과 결합의 미시적 현상은 공정 제어를 통해 개선될 수 있으며, 이는 합금의 종합적인 성능과 직접적인 관련이 있습니다.

3.1.4 다양한 제조 공정에 따른 미세 구조 차이

은-텅스텐 합금의 미세구조는 전통적인 압축 분말 소결, 열간 등방성 가압(HIP), 스파크 플라즈마 소결(SPS) 등 다양한 제조 공정으로 인해 상당한 차이를 보입니다. 각 공정은 결정립 형태, 상 분포 및 결합 상태에 고유한 영향을 미칩니다. 이러한 차이점을 관찰하면 특정 용도에 가장 적합한 공정을 선택하고 합금 특성을 최적화하는 데 도움이 됩니다.

전통적인 압축 분말 소결 공정은 은-텅스텐 합금을 제조하는 고전적인 방법입니다. 미세 구조는 은 매트릭스에 분산된 텅스텐 입자와 국부적인 응집체로 특징지어집니다. 입자 크기가 크고, 텅스텐 입자는 대부분 다각형이며, 액상 소결로 인해 은상이 빈틈을 메우지만 불균일하게 분포합니다. 기공률은 비교적 높고 텅스텐 입자 사이 또는 은상의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

약한 부분에 분포합니다. 미세 균열이나 미접합 계면과 같은 결함이 더 흔합니다. 전기 및 열 전도도는 제한적이고 경도는 중간 수준이지만 제조 비용이 저렴하여 대량 생산에 적합합니다.

열간 등압 성형(HIP) 공정은 전방위 고압 및 고온 처리를 통해 미세 구조를 크게 개선합니다. 텅스텐 입자는 더욱 균일하게 분포되고, 은상은 연속적인 네트워크를 형성하며, 기공률은 크게 감소하고 미세 균열과 같은 결함이 감소합니다. 고압 압축으로 인해 입자 크기가 미세화되고, 계면 결합력이 향상되며, 매끄러운 전이가 나타납니다. 전기 전도도와 열 전도도가 향상되고, 경도와 굽힘 강도도 크게 향상되어 항공우주 균형추와 같이 고밀도 및 고신뢰성이 요구되는 응용 분야에 적합합니다. HIP 공정의 단점은 장비가 복잡하고 비용이 높아 널리 사용되는 데 제한이 있다는 것입니다.

스파크 플라즈마 소결(SPS) 공정은 펄스 전류와 급속 가열을 통해 독특한 미세 구조를 형성합니다. 텅스텐 입자는 미세하게 유지되고, 은상은 고르게 분포되며, 기공과 결함은 거의 보이지 않고, 결정립계 밀도가 높습니다. 계면의 습윤 효과가 우수하고, 은상은 텅스텐과 밀접하게 결합되어 응력 집중점을 줄입니다. 전기 전도도, 열 전도도, 경도가 모두 높은 수준에 도달하여 고성능 접점 및 전극 응용 분야에 특히 적합합니다. SPS 공정은 빠른 속도로 과도한 결정립 성장을 억제하지만, 원료 순도와 입자 크기에 대한 요구 사항이 높아 정밀한 공정 제어가 필요합니다. 다양한 제조 공정의 미세 구조 차이는 소결 분위기 및 매개변수의 영향을 받습니다. 진공 또는 불활성 분위기는 산화 불순물을 줄이고 상 분포를 개선합니다. 고온 및 장시간 소결은 입자 성장을 유발하고 균일성에 영향을 미칠 수 있습니다. 관찰 결과에 따르면 SPS 공정의 미세 구조가 가장 치밀하고, 그 다음으로 HIP 공정이며, 전통적인 압축 분말 소결은 미세 구조가 불량합니다.

3.2 은-텅스텐 합금 구조와 거시적 특성 간의 내재적 관계

은-텅스텐 합금의 미세 구조와 거시적 특성 사이에는 밀접한 관계가 있습니다. 결정립 구조, 상 분포 및 계면 특성은 물리적 및 화학적 메커니즘을 통해 합금의 강도, 인성, 전기 전도도 및 열 전도도에 영향을 미칩니다. 이러한 상관관계는 제조 공정 최적화 및 응용 성능 향상을 위한 이론적 근거를 제공합니다. 결합제 상인 은과 강화상인 텅스텐의 상호작용은 미세 구조를 형성하며, 이는 전기 접점, 용접 전극 및 항공우주 부품에서 합금의 성능을 결정합니다.

3.2.1 입자 구조가 강도 및 인성에 미치는 영향

은-텅스텐 합금 미세구조의 핵심입니다. 결정립의 형태, 크기 및 방향은 결정립계 강화 및 전위 이동 메커니즘을 통해 합금의 강도와 인성에 영향을 미칩니다. 강도는 합금이 변형이나 파괴에 저항하는 능력을 의미하며, 인성은 에너지를 흡수하고 균열 전파를 저항하는 능력을 나타냅니다. 결정립 구조의 변화는 두 합금의 성능을 직접적으로 결정합니다. 입자 크기가 강도에 미치는 영향은 Hall-Pasch 효과를 따릅니다. 입자가 작을수록 입자 경계 밀도가 높아지고 전위 이동에 대한 제한이 커지고 항복 강도와 인장 강도가 향상됩니다. 은-텅스텐 합금에서 텅스텐 입자는 강화상 역할을 하며 입자 크기가

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

일반적으로 더 큰 반면 은상은 액상 소결로 인해 더 미세한 입자를 형성합니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS)과 같은 소결 공정은 빠른 가열을 통해 입자 성장을 억제하고 텅스텐 입자와 은상을 미세화하며 강도를 크게 향상시킵니다. 관찰 결과 나노 스케일 텅스텐 분말로 제조된 합금은 입자 크기가 감소하고 강도가 크게 향상되어 높은 굽힘 강도가 필요한 응용 분야에 특히 적합합니다.

결정립계가 인성에 미치는 영향은 더욱 복잡합니다. 미세한 결정립은 결정립계 면적을 증가시키고 균열 전파를 제한하며 인성을 향상시킵니다. 그러나 결정립계 결합력이 부족하면 미세균열이 발생하여 인성이 저하될 수 있습니다. 은상은 결정립계에서 텅스텐 입자를 적서 완충층을 형성하고, 기계적 응력이나 열 응력을 흡수하며, 인성을 향상시킵니다. 열간 등방성 가압(HIP)은 결정립계 결합을 개선하고, 결합을 줄이며, 고압을 통해 인성 성능을 최적화합니다. 은 함량이 적당하면 액상이 빈틈을 메워 결정립계 강화 효과가 현저합니다. 과량의 은 함량은 결정립계를 너무 연화시켜 인성을 저하시킬 수 있습니다. 결정립 방향과 형태 또한 성능에 영향을 미칩니다. 다각형 또는 거의 구형의 텅스텐 입자는 응력을 분산시키고 강도와 인성을 향상시키는 반면, 불규칙한 입자는 국부적인 응력 집중을 유발하고 안정성을 저하시킬 수 있습니다. 소결 온도와 시간은 결정립 성장을 조절합니다. 과도한 온도는 비정상적인 성장을 유발하고 균일성에 영향을 미칠 수 있습니다. 미세조직 관찰 결과, 최적화된 결정립 구조를 가진 은-텅스텐 합금은 강도와 인성 간의 균형을 이루며, 동적 하중 및 아크 환경에서의 접촉 응용 분야에 적합함을 보여줍니다. 최적화 방향에는 나노구조화를 통한 결정립 미세화 또는 기능적 경사 설계를 통한 결정립계 분포 조정을 통해 성능을 종합적으로 개선하는 것이 포함됩니다.

3.2.2 상분포와 전기 및 열전도도의 상관관계

상 분포는 은-텅스텐 합금 미세 구조의 중요한 특징입니다. 상 분포 상태와 계면 결합은 전기 전도도와 열 전도도에 직접적인 영향을 미치며, 특정 상관 관계를 나타냅니다. 전기 전도도와 열 전도도는 각각 전류와 열의 전달 효율을 반영합니다. 상 분포의 균일성과 연속성은 이러한 특성을 결정하는 핵심 요소입니다.

은상은 전기 및 열 전도성의 주요 원천입니다. 은은 매트릭스 또는 결합 상으로 연속적인 네트워크를 형성하며, 전자와 열은 은상을 통해 효율적으로 전달됩니다. 텅스텐상의 전기 및 열 전도성은 낮지만, 균일한 분포는 전기 및 열 저항 농도점을 줄이고 전반적인 성능을 향상시킵니다. 상 분포의 연속성은 액상 소결에 의해 결정됩니다. 은 함량이 높으면 네트워크가 더 잘 연결되고 전기 및 열 전도성이 크게 향상됩니다. 텅스텐 함량이 우세하면 은상이 파손되어 성능이 저하될 수 있습니다. 관찰 결과, 은상이 텅스텐 입자를 균일하게 감싸는 구조가 가장 우수한 전기 및 열 전도성을 갖는 것으로 나타났습니다.

계면 특성은 성능에 상당한 영향을 미칩니다. 은과 텅스텐 사이의 계면 결합력은 습윤을 통해 향상되고, 공극과 결합을 줄이며, 전기 및 열 전도성을 향상시킵니다. 계면의 은층 두께가 적당하면 열과 전류가 원활하게 전달됩니다. 은층이 너무 두꺼우면 열

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

저항이 증가하고, 너무 얇으면 연속성에 영향을 미칩니다. 열간 등압 성형과 같은 소결 공정은 계면을 압축하고, 스파크 플라즈마 소결은 상 분포를 최적화하여 성능 일관성을 크게 향상시킵니다.

상 분포의 부피 분율 또한 규칙적인 패턴을 보입니다. 은 함량이 증가함에 따라 전기 전도도와 열 전도도는 증가하는 경향이 있지만, 일정 비율을 초과하면 텅스텐 상의 장벽 효과가 강화되어 증가폭이 약해집니다. 텅스텐 함량이 증가함에 따라 전기 전도도와 열 전도도는 감소하지만, 구조적 안정성이 향상되어 고온 응용 분야에 적합합니다. 미세 구조 관찰 결과, 최적화된 상 분포 덕분에 은-텅스텐 합금이 고전압 회로 차단기 접점 및 방열 기판에서 우수한 성능을 발휘하는 것으로 나타났습니다.

3.2.3 기공률 및 결합이 경도 및 내식성에 미치는 영향

기공률과 결합은 은-텅스텐 합금 미세구조의 중요한 특성으로, 경도와 내식성에 직접적인 영향을 미치며, 고 마모 및 부식 환경에서 합금의 성능을 결정합니다. 기공률은 재료 내 채워지지 않은 공극의 비율을 나타내며, 결합에는 미세균열과 미접합 계면이 포함됩니다. 이러한 요소들은 밀도와 표면 안정성에 영향을 미쳐 중요한 역할을 합니다.

기공률이 경도에 미치는 영향은 주로 결정립계 및 상 분포에 대한 간섭으로 나타납니다. 기공률이 높을수록 결정립계의 불연속성이 발생하고, 전위 이동과 결정립계 슬라이딩이 방해받으며, 경도가 감소합니다. 은-텅스텐 합금에서 기공은 일반적으로 텅스텐 입자 사이 또는 은 상의 약한 영역에 분포되어 재료의 전반적인 압축 저항성과 내마모성을 감소시킵니다. 열간 등방성 가압(HIP)과 같은 소결 공정을 최적화하면 전방향 압력을 통해 기공을 압축하여 밀도를 크게 개선하고 경도를 향상시킵니다. 미세균열과 같은 결함은 경도를 더욱 약화시킵니다. 이러한 균열은 특히 은-텅스텐 계면에서 열응력이나 냉각 수축으로 인해 발생할 수 있습니다. 결합 밀도가 높으면 경도가 크게 감소합니다. 관찰 결과, 기공률과 결합 밀도를 줄이면 경도가 더 높아져 높은 내마모성이 요구되는 응용 분야에 적합합니다.

내식성은 기공률과 결합에 더 직접적인 영향을 받습니다. 기공은 부식성 매질의 침투 통로 역할을 하여 표면 침식 위험을 증가시킵니다. 특히 습하거나 산성 환경에서는 기공에 잔류하는 수분이나 화학 물질이 부식 과정을 가속화하기 때문에 더욱 그렇습니다. 접합되지 않은 계면이나 미세균열과 같은 결함은 부식의 초기 지점을 제공하며, 이를 통해 부식성 매질이 내부로 확산되어 합금의 화학적 안정성을 저하시킵니다. 은상은 기공에서 산화되거나 황화될 수 있으며, 텅스텐상은 강한 내식성을 가지고 있지만 결합 내에서 불안정한 화합물이 여전히 형성될 수 있습니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS)과 같은 소결 공정 최적화는 기공률과 결합을 줄이고, 계면 결합을 강화하며, 내식성을 크게 향상시킵니다. 미세구조 관찰 결과, 치밀한 구조는 부식성 환경에서 은-텅스텐 합금의 수명을 연장시켜 산업 장비에 특히 적합합니다. 최적화 방향에는 고순도 원료를 사용하여 초기 결함을 줄이거나 나노 크기의 분말을 사용하여 밀도를 향상시키는 것이 포함됩니다. 기공률과 결합은 공정 매개변수 조정을 통해 제어되며, 경도와 내식성의 균형을 맞추는 것이 핵심입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3 은-텅스텐 합금의 미세구조 진화

은-텅스텐 합금의 미세구조는 제조 및 사용 과정에서 변화하며, 이는 조성비, 소결 조건 및 환경 요인의 영향을 받습니다. 이러한 변화 법칙은 구조와 성능 간의 역동적인 관계를 보여주며, 공정 최적화 및 수명 예측에 중요한 기반을 제공합니다. 미세구조 변화의 주요 요인으로는 상변화, 결정립 성장, 결합 발생 등이 있으며, 은과 텅스텐의 상호작용이 핵심 메커니즘입니다.

3.3.1 조성비 변화에 따른 미세구조 변화

조성비의 변화는 은-텅스텐 합금의 미세구조 변화를 촉진하는 주요 요인입니다. 은과 텅스텐의 비율은 결정립 형태, 상 분포, 기공 상태에 직접적인 영향을 미치며, 다양한 미세구조적 특성을 형성합니다. 이러한 변화는 소결 공정과 열처리를 통해 이루어지며, 이는 재료 특성의 동적 조절을 반영합니다.

은 함량이 증가하면 미세 구조가 크게 변화합니다. 저융점 결합상인 은은 액상 소결에서 용융되어 텅스텐 입자를 적시고 빈틈을 메워 기공률을 감소시키고 밀도를 향상시킵니다. 결정립 형태는 은상 네트워크 분포로 발전하고, 텅스텐 입자는 더 균일하게 감싸지며 계면 결합력이 향상됩니다. 은 함량이 적당하면 은상이 연속적인 네트워크를 형성하고, 결정립계 밀도가 증가하며, 미세 구조가 더욱 섬세해지고 경도와 인성이 향상됩니다. 그러나 은 함량이 너무 높으면 액상이 과다하게 생성되어 은상이 축적되어 더 큰 결정립을 형성하고, 기공률은 감소하지만 결정립계가 너무 연해져 안정성에 영향을 미칩니다. 관찰 결과, 은 함량이 높은 합금은 전기 전도도와 열 전도도가 향상되지만 내마모성이 저하될 수 있습니다.

텅스텐 함량이 증가하면 미세 구조는 텅스텐 입자가 지배하는 골격 구조로 변합니다. 텅스텐은 고용점 강화상으로서 고체 상태를 유지하며, 결정립 크기가 커지고 은 상 분포가 감소하며, 틈 메움 능력이 감소합니다. 특히 은 액상이 부족할 경우 기공률이 증가할 수 있으며, 미세 균열과 미결합 계면이 증가하고 밀도가 감소합니다. 은 상이 감소함에 따라 결정립계 강화 효과가 약해지고 경도는 증가하지만 인성은 감소하며, 전기 전도도와 열 전도도는 감소합니다. 열간 등방성 성형과 같은 소결 공정 최적화는 기공을 압축하고 구조적 일관성을 향상시킬 수 있습니다. 텅스텐 비율이 높은 합금은 고온 및 내아크 응용 분야에 적합합니다.

조성비의 변화는 상 분포의 균일성에도 영향을 미칩니다. 은-텅스텐 비율의 불균형은 텅스텐 입자의 침전이나 은 상의 국부적인 축적, 미세 구조적 불균일성 증가, 그리고 성능 일관성 저하로 이어질 수 있습니다. 분말 혼합의 균일성과 소결 분위기의 조절은 이러한 영향을 줄이고 상 분포의 안정성을 유지할 수 있습니다. 열처리 공정은 이러한 변화를 더욱 촉진합니다. 고온 및 장기간 처리는 결정립 성장 및 상 재배열을 유발할 수 있으며, 과도한 변화를 방지하기 위해 매개변수를 제어해야 합니다. 관찰 결과에 따르면 은-텅스텐 비율의 동적 조절은 미세 구조적 변화를 통해 다양한 응용 분야 요구 사항에 적합한 성능 최적화를 달성합니다. 최적화 방향에는 나노 크기의 분말을 통한 입자

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

미세화 또는 기능적 기공기 설계를 이용한 국소 성분비 조정이 포함됩니다. 성분비 변화로 인한 미세구조 변화는 은-텅스텐 합금의 적응성을 보여주고 제조 공정 개선의 기반을 제공합니다.

3.3.2 열처리 중 미세조직 변형

열처리 공정은 은-텅스텐 합금의 미세구조 발전에 중요한 단계입니다. 온도와 시간을 조절하여 결정립 성장, 상 조절, 결함 감소를 유도함으로써 합금의 성능에 상당한 영향을 미칩니다. 열처리에는 어닐링, 담금질, 시효 처리가 포함됩니다. 은과 텅스텐의 물리적 및 화학적 특성은 이 공정에서 서로 다른 반응을 나타내며, 새로운 미세구조적 특성을 형성합니다.

어닐링 공정 동안 은-텅스텐 합금의 미세 구조는 상당한 변형을 겪습니다. 낮은 온도에서 어닐링하면 은 상의 재분배가 촉진되고, 액상이 잔류 기공을 채워 계면 결합력을 향상시킵니다. 텅스텐 입자는 고체 상태를 유지하고, 결정립계는 매끄러워지며, 미세 균열과 결함은 점차 감소합니다. 결정립 크기는 약간 증가할 수 있지만, 어닐링 시간을 조절하여 미세 구조를 유지함으로써 과도한 성장을 억제할 수 있습니다. 관찰 결과, 어닐링된 합금의 밀도가 향상되고 경도와 전도성이 어느 정도 향상되어 균일한 성능이 요구되는 접촉 응용 분야에 특히 적합합니다.

담금질 처리는 급속 냉각을 통해 상 변화를 유도합니다. 은상은 빠른 응고로 미세한 입자를 형성하고 텅스텐 입자의 분포는 더욱 균일해지지만, 냉각 응력으로 인해 미세 균열이 발생할 수 있습니다. 상 분포 상태가 조정되면 은상 네트워크가 끊어지거나 재배열되어 열전도도 및 전기 전도도에 영향을 미칠 수 있습니다. 응력 집중으로 인해 미접합 계면과 같은 결함이 증가할 수 있으므로, 이러한 영향을 줄이기 위해 냉각 속도를 최적화해야 합니다. 담금질 후 미세 조직은 고강도 및 빠른 응답이 요구되는 부품에 적합하지만, 인성은 다소 감소할 수 있습니다.

시효 처리는 장기간의 저온 처리를 통해 미세 구조를 최적화합니다. 은상은 점차 안정화되고, 습윤된 텅스텐 입자의 계면은 강화되며, 기공률은 더욱 감소합니다. 입자 성장은 억제되고, 텅스텐 골격 구조는 더욱 조밀해지며, 결함 밀도는 현저히 감소합니다. 상 조절은 은과 텅스텐의 계면 결합 강도를 향상시키고, 경도와 내식성을 향상시킵니다. 관찰 결과에 따르면 시효 처리된 합금은 장기 사용 시 우수한 성능을 보이며, 특히 항공우주용 균형추와 용접봉에 적합합니다. 열처리 매개변수의 미세 제어가 핵심입니다. 과도한 온도나 시간은 과도한 입자 크기를 유발하여 성능에 영향을 미칠 수 있습니다. 최적화 방향에는 분할 열처리를 통한 상전이 제어 또는 지능형 모니터링 기술과의 연계를 통한 실시간 매개변수 조정이 포함됩니다.

3.3.3 서비스 환경이 미세구조 및 성능 피드백에 미치는 영향

사용 환경은 은-텅스텐 합금의 미세 구조 변화에 상당한 영향을 미칩니다. 온도, 습도, 화학적 매개체, 기계적 응력과 같은 환경 조건은 물리적 및 화학적 영향을 통해 구조적

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

특성을 변화시키고, 이는 다시 합금의 성능에 영향을 미칩니다. 이러한 영향은 수명 예측 및 유지보수 전략 수립에 중요한 기반을 제공합니다. 고온 환경은 은-텅스텐 합금의 미세 구조 변화를 가속화합니다. 은상은 고온에서 연화되거나 부분적으로 용융될 수 있으며, 습윤된 텅스텐 입자의 계면이 재배열될 수 있고, 열 응력으로 인해 결정립계에 미세 균열이 발생할 수 있습니다. 텅스텐 골격 구조는 안정적으로 유지되지만, 장기간 고온은 결정립 성장, 기공 증가, 밀도 감소를 초래할 수 있습니다. 성능 피드백은 전기 및 열 전도도 감소, 결정립계 변화로 인한 경도 감소, 그리고 열 산화로 인한 내식성 감소로 나타납니다. 고온 부품은 보호를 위해 강화되어야 합니다.

습도나 부식성 환경이 미세 구조에 미치는 영향은 더욱 복잡합니다. 은상은 황이나 염화물 환경에서 경미한 부식을 겪어 산화물이나 황화물을 형성하고 계면에 결함을 형성할 수 있습니다. 텅스텐상은 내식성이 강하지만, 결함이 부식성 매질 속으로 침투하여 기공이 증가하고 구조적 무결성이 손상될 수 있습니다. 성능 피드백은 전도성 감소, 내식성 약화, 균열 전파로 인한 기계적 강도 감소로 나타나며, 이는 표면 코팅이나 밀봉 설계를 통해 개선해야 합니다. 진동이나 충격과 같은 기계적 응력 환경은 미세 구조의 동적 변화를 유발합니다. 결정립계는 응력 집중의 영향을 받고, 미세 균열은 확장될 수 있으며, 기공은 응력 방출점이 되어 밀도에 영향을 미칩니다. 은상의 연성은 응력의 일부를 흡수하지만, 장기간의 하중은 피로 손상을 유발할 수 있습니다. 성능 피드백은 인성 감소, 경도의 국소적 약화, 미세 구조 손상으로 인한 전기 및 열 전도성 제한으로 나타납니다. 동적 적용을 위해 결정립 분포를 최적화하는 것이 필수적입니다.

환경 요인의 복합적인 영향은 미세 구조의 진화를 통해 성능에 영향을 미칩니다. 관찰 결과, 고온과 부식은 결함 성장을 가속화하고, 기계적 응력은 균열 전파를 심화시키는 것으로 나타났습니다. 최적화 방향에는 환경 저항성 코팅 개발 또는 기능적 경사 설계를 통한 국부적 안정성 향상이 포함됩니다. 사용 환경이 미세 구조에 미치는 영향과 그 성능 피드백은 합금의 적응적 설계에 중요한 지침을 제공합니다.

3.4 은-텅스텐 합금의 미세구조 제어 방법

은-텅스텐 합금의 미세 구조 조절은 성능 향상 및 응용 분야 요건 충족의 핵심 요소이며, 재료 준비, 공정 최적화 및 후가공을 통해 달성해야 합니다. 미세 구조 조절은 목표 입자 형태, 상 분포, 기공률 및 결함을 측정하여 전기 전도도, 열 전도도, 경도 및 내식성을 최적화하는 것을 목표로 합니다. 원료 선정은 미세 구조 조절의 기본입니다. 고순도 나노 크기의 텅스텐 분말과 은 분말을 사용하여 입자를 미세화하고 상 분포의 균일성을 향상시킵니다. 고에너지 볼 밀링과 같은 분말 혼합 공정은 균일한 원료를 확보하고 초기 결함을 줄이며, 이는 후속 미세 구조 조절의 기반을 마련합니다.

소결 공정은 규정의 핵심입니다. 액상 소결은 은의 습윤 효과를 통해 틈을 메우고 기공을 줄입니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS)은 빠른 가열 및 가압을 통해 결정립 성장을 억제하고 상 분포를 최적화합니다. 열간 등방성 가압(HIP)은 고압을 통해 결함을 압축하고 밀도를 높입니다. 진공 또는 불활성 가스와 같은 소결 분위기는 산화된 불순물을 줄이고 계면 품질을 향상시킵니다. 열처리와 동적 규정을 제공합니다. 어닐링은 계면 결함을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

개선하고, 담금질은 결정립을 미세화하며, 시효 처리는 상 상태를 안정화하고 결정립계와 결함 상태를 조정합니다. 단계적 온도 증가와 같은 매개변수 최적화는 결정립 성장을 제어하고 성능 일관성을 향상시킵니다. 표면 처리는 규정을 강화합니다. 전기화학적 연마는 거칠기를 줄이고 결함 발생 지점을 줄입니다. 질화티타늄 분리 매체 및 부식 방지 코팅과 같은 부식 방지 코팅은 표면 특성을 개선합니다. 기능적 경사 설계는 특정 영역의 조성을 조정하여 국소 성능을 최적화합니다. 환경 관리는 규정을 지원합니다. 사용 중 온도와 습도를 조절하여 부식 영향을 줄입니다. 지능형 모니터링 기술은 공정 매개변수를 실시간으로 조정하고 미세 구조를 동적으로 최적화합니다. 포괄적인 제어 조치를 적용하여 은-텅스텐 합금의 성능을 향상시켜 전기, 용접 및 항공우주 분야의 요구를 충족합니다.

3.4.1 제조 공정에 따른 미세구조 제어 방법

제조 공정에 기반한 미세 구조 제어 방법은 은-텅스텐 합금의 성능을 최적화하는 핵심 수단입니다. 입자 형태, 상 분포 및 결함의 정밀한 제어는 분말 야금 공정의 여러 단계를 통해 달성됩니다. 제조 공정에는 분말 혼합, 프레스, 소결 및 후처리가 포함되며 각 단계는 미세 구조에 고유한 영향을 미칩니다. 분말 혼합 단계에서 고에너지 볼 밀링 기술을 통해 원료의 균일한 분산이 달성됩니다. 나노 스케일 텅스텐 분말과 은 분말을 사용하여 입자를 미세화하고 상 분포의 일관성을 최적화합니다. 고순도 원료는 불순물을 줄이고 초기 결함률을 낮춰 후속 규제의 기반을 마련합니다. 프레스 공정은 압력과 금형 설계를 제어하여 입자 배열을 조정하고 간극을 줄이며 기본 밀도 수준을 향상시킵니다.

소결 공정은 규제의 핵심 요소입니다. 액상 소결은 은의 낮은 녹는점을 이용하여 텅스텐 입자를 적시고, 틈을 메우고, 기공률을 감소시킵니다. 스파크 플라즈마 소결(SPS)은 펄스 전류와 급속 가열을 통해 결정립 성장을 억제하고, 구조를 미세화하며, 상 분포를 최적화합니다. 열간 등방성 가압 성형은 전방향 고압을 통해 결함을 압축하고, 계면 결함을 강화하며, 밀도를 크게 향상시킵니다. 진공 또는 불활성 가스와 같은 소결 분위기는 산화를 줄이고, 텅스텐과 은의 순도를 유지하며, 미세 구조의 품질을 향상시킵니다. 후처리는 구조를 더욱 최적화합니다. 어닐링과 같은 열처리는 계면 결함을 개선하고, 담금질은 결정립을 미세화하며, 시효 처리는 상 상태를 안정화합니다. 전기화학적 연마와 같은 표면 처리는 거칠기를 줄이고 결함의 초기 지점을 줄입니다. 온도 구배 및 시간 제어와 같은 공정 매개변수를 미세하게 조정하여 다양한 응용 분야 요구 사항에 맞게 미세 구조를 맞춤 설정할 수 있습니다. 관찰 결과에 따르면 SPS 와 HIP 를 결합한 공정 경로는 밀도와 균일성을 크게 개선하며 고성능 접점에 적합합니다.

3.4.2 합금원소 첨가에 의한 미세조직 최적화

합금 원소의 첨가는 은-텅스텐 합금의 미세 구조를 최적화하는 중요한 수단입니다. 미량 원소를 첨가하여 상 상태, 결정립계 및 결함 상태를 조정함으로써 전기 전도도, 열 전도도 및 기계적 특성이 향상됩니다. 부정적인 영향을 방지하기 위해 첨가되는 원소의 종류와 함량은 목표 성능에 따라 정밀하게 조절되어야 합니다. 니켈을 첨가하면 은-텅스텐 합금의 미세 구조가 개선됩니다. 소량의 니켈(일반적으로 몇 퍼센트 미만)은 은 상의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

습윤성을 향상시키고, 액상 소결을 촉진하며, 기공을 채우고, 결합 밀도를 감소시킵니다. 또한 니켈은 계면 결합을 개선하고, 결정립을 미세화하며, 경도와 인성을 향상시키지만, 과도한 양은 자성을 유발하고 전도성에 영향을 미칠 수 있습니다. 관찰 결과, 니켈로 최적화된 합금의 계면은 더 조밀하며 고강도가 필요한 용도에 적합합니다. 코발트를 첨가하면 상 분포가 최적화됩니다. 코발트는 은 및 텅스텐과 안정적인 계면층을 형성하여 미세 균열을 줄이고 결정립계 강화 효과를 향상시킵니다. 또한 코발트는 텅스텐 입자의 균일성을 높이고, 기공률을 줄이며, 열전도도와 내식성을 향상시킵니다. 과도한 경화와 인성 감소를 방지하기 위해 니켈 함량은 낮은 수준으로 조절해야 합니다. 실험 결과, 코발트를 첨가한 합금은 고온 환경에서 우수한 성능을 보이며 용접봉으로 적합합니다. 몰리브덴이나 크롬과 같은 다른 원소들도 미세 구조를 최적화할 수 있습니다. 몰리브덴은 텅스텐의 내산화성을 향상시키고, 열처리 결합을 줄이며, 내식성을 향상시킵니다. 크롬은 은 상의 화학적 안정성을 향상시키고, 부식 민감도를 낮추며, 상 분포를 최적화합니다. 입계 취성이나 성능 불균형을 방지하기 위해 첨가량을 미세하게 조절해야 합니다. 연구 결과, 미량 원소 첨가는 결정립을 미세화하고 미세 구조의 균일성을 향상시킵니다.

합금 원소의 효과는 소결 공정을 통해 증폭됩니다. 고온 처리는 원소 확산을 촉진하고, 계면 결합을 최적화하며, 저온 시효는 상 상태를 안정화합니다. 첨가된 원소의 시너지 효과는 미세 구조의 품질을 향상시키고 특정 응용 분야 요건에 적합합니다. 최적화 방향에는 새로운 합금 원소 조합을 개발하거나 지능형 분석을 통해 최적의 첨가 비율을 결정하는 것이 포함됩니다. 합금 원소의 첨가는 미세 구조 최적화를 통해 은-텅스텐 합금의 성능 향상에 직접적인 영향을 미칩니다.

3.4.3 미세구조 조절과 성능 맞춤화의 관계

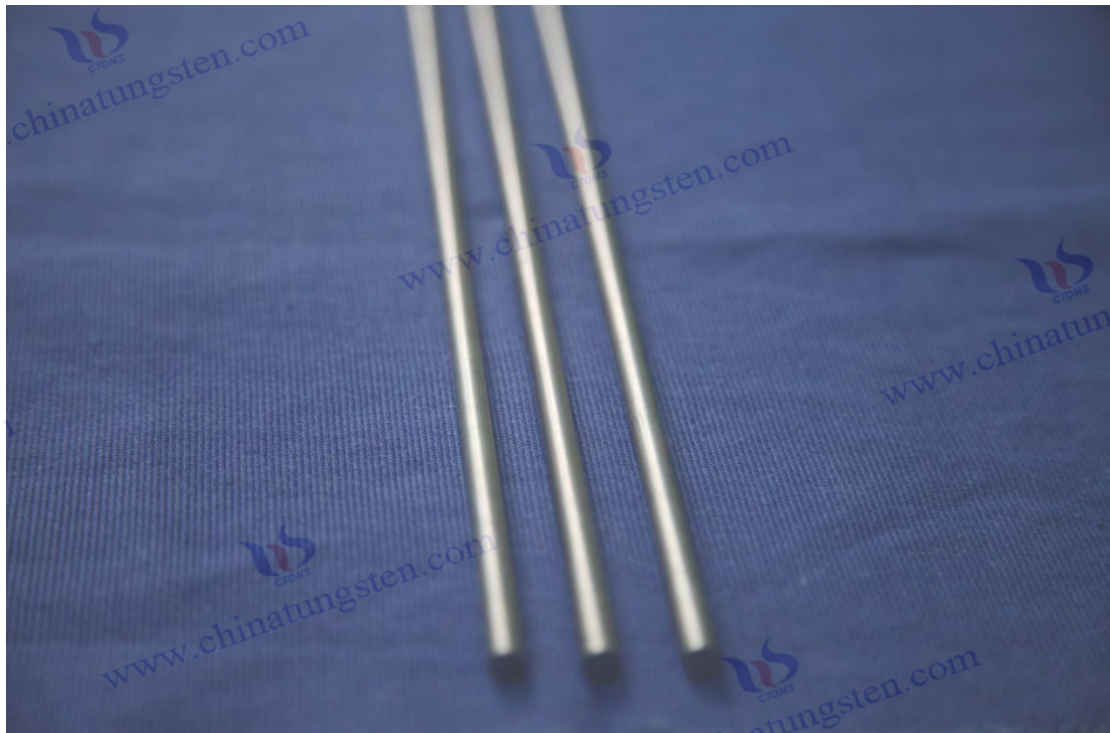
미세 구조 조절과 성능 맞춤화 사이에는 밀접한 관계가 있습니다. 결정립 형태, 상 분포 및 결합 조정은 전기 전도도, 열 전도도, 경도, 내식성 및 인성에 직접적인 영향을 미치며, 다양한 응용 분야의 요구를 충족합니다. 이러한 상관관계는 재료 설계의 유연성을 제공하며, 공정 최적화 및 원소 첨가는 맞춤화 달성의 핵심입니다. 결정립 형태 조절은 기계적 특성에 영향을 미칩니다. 결정립 미세화는 결정립계 강화를 통해 경도와 강도를 향상시켜 고내마모성 접점에 적합합니다. 결정립 배향 조절은 응력 집중을 줄이고 인성을 향상시켜 동적 하중 환경에 적합합니다. 나노스케일 결정립을 갖는 합금은 항공우주용 균형추에서 우수한 성능을 발휘하는 것으로 관찰되었습니다. 상 분포 최적화는 전기적 특성을 결정합니다. 은 상 네트워크의 연속성은 전기 전도도와 열 전도도를 향상시켜 고전압 회로 차단기 접점에 적합합니다. 텅스텐 상의 균일한 분포는 구조적 안정성을 향상시키고 고온 성능의 균형을 유지하여 용접 전극에 적합합니다. 기능성 그래디언트 디자인은 전도성 영역에 은상을 추가하여 전자기기의 방열 요구 사항을 맞춤화합니다.

결합과 기공률을 제어하면 전반적인 성능이 향상됩니다. 기공률을 줄이면 밀도가 높아지고, 내식성과 전도성이 향상되며, 산업 장비에 적합합니다. 미세균열을 줄이면 피로 저항성이 향상되고 장기 사용 요건을 충족합니다. HIP와 SPS를 결합하는 것과 같은 공정 최적화를 통해 결합이 적은 구조와 맞춤형 고신뢰성 부품을 구현할 수 있습니다. 합금 원소 첨가는 맞춤형 제작을 더욱 지원합니다. 니켈과 코발트는 결정립계를 미세화하고,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

경도와 내식성을 향상시키며, 내마모성 응용 분야를 맞춤 제작합니다. 물리브텐과 크롬은 고온 환경의 요구를 충족하도록 내산화성을 최적화합니다. 원소 비율을 동적으로 조정하여 응용 분야에 따라 미세 구조를 맞춤 제작할 수 있으며, 관찰 결과 맞춤형 합금은 특정 특성에서 범용 소재보다 우수한 성능을 보입니다.

최적화 방향에는 규제 효과를 예측하는 지능형 설계 도구 개발 또는 다중 매개변수 실험을 통한 맞춤형 솔루션 검증이 포함됩니다. 미세구조 규제와 성능 맞춤화의 연계는 전기, 용접 및 항공우주 분야의 다양한 요구를 충족하는 은-텅스텐 합금에 대한 적응형 지원을 제공합니다.



CTIA GROUP LTD 은텅스텐 합금

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: 은-텅스텐 합금의 제조 기술

은-텅스텐 합금의 제조 공정은 미세 구조와 성능의 핵심입니다. 분말 야금은 주요 생산 기술로, 원료 가공, 성형 및 소결 공정을 정밀하게 제어하여 고성능 합금을 제조합니다. 이 공정은 은의 높은 전도성과 텅스텐의 높은 경도를 결합하여 전기 접점, 용접 전극 및 항공우주 부품의 적용 요건을 충족합니다.

4.1 분말야금에 의한 은-텅스텐 합금 생산

분말 야금은 은과 텅스텐 분말을 혼합, 압착, 소결하여 은-텅스텐 합금을 제조하는 효율적이고 제어 가능한 생산 방법입니다. 이 방법은 은의 낮은 녹는점과 텅스텐의 높은 녹는점을 최대한 활용하여 액상 소결을 통해 치밀한 구조를 형성합니다. 이 공정은 분말 제조, 혼합, 압착, 소결, 그리고 후속 열처리 및 표면 처리를 포함하여 성능을 더욱 최적화합니다. 분말 야금은 대량 생산에 적합하며, 특히 고밀도와 균일성이 요구되는 응용 분야에 적합합니다.

4.1.1 분말 제조 공정 및 주요 사항

분말 제조는 분말 야금의 기본으로, 은과 텅스텐 분말의 획득, 정제 및 입자 크기 조절을 포함하며, 이는 합금의 미세 구조와 특성에 직접적인 영향을 미칩니다. 이 공정에는 원료 선정, 분쇄, 선별 및 표면 처리가 포함되며, 각 단계마다 핵심 사항에 대한 주의가 필요합니다.

원료 선정은 은과 텅스텐의 고순도를 우선적으로 고려하며, 불순물 유입을 줄이기 위해 고품질 금속 분말을 사용합니다. 은 분말은 일반적으로 화학적 침전 또는 원자화 공정으로 제조되며, 텅스텐 분말은 안정적인 화학 조성을 보장하기 위해 산화텅스텐으로부터 수소 환원 반응을 통해 얻습니다. 순도가 높을수록 제조된 합금의 전도성과 내식성이 향상됩니다.

분말 입자 크기는 볼 밀링이나 기류 밀링으로 미세화합니다. 텅스텐 분말은 거친 입자에서 마이크로 또는 나노미터 이하 크기로 분쇄해야 하며, 은 분말은 이후 혼합을 위해 적절한 입자 크기로 제어해야 합니다. 고에너지 볼 밀링 기술은 균일성을 향상시킬 수 있지만, 분말 응집을 유발하는 과열은 피해야 합니다. 입자 크기 분포 제어가 핵심입니다. 입자가 너무 크면 기공이 생길 수 있고, 입자가 너무 작으면 표면 에너지가 증가하여 소결 거동에 영향을 줄 수 있습니다.

체질 단계는 분말 입자 크기의 일관성을 보장합니다. 표준 체는 혼합 효과를 최적화하기 위해 과대하거나 과소한 입자를 제거하는 데 사용됩니다. 입자 크기의 균일성은 상 분포에 직접적인 영향을 미칩니다. 미세 입자는 치밀한 구조를 형성하는 데 도움이 되지만, 압축을 위해서는 유동성의 균형을 맞춰야 합니다. 표면 처리는 화학적 세척이나 코팅을 통해 산화물층과 불순물을 제거하여 분말의 압축성과 소결성을 향상시킵니다. 은 분말 표면에 산화은이 형성될 수 있으므로 환원제로 처리해야 합니다. 텅스텐 분말

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

표면의 산화물은 산 세척을 통해 제거합니다. 처리된 분말은 수분 흡수나 산화를 방지하기 위해 건조한 곳에 보관해야 합니다. 핵심은 분말 순도, 입자 크기 및 표면 상태를 제어하고, 플라즈마 불 밀링과 같은 첨단 장비를 사용하여 효율을 향상시키는 것입니다. 분말 제조 최적화는 후속 공정의 기반을 마련하며, 합금의 미세 구조 품질과 직접적인 관련이 있습니다.

4.1.2 프레스 공정 원리 및 작동

프레스 공정은 혼합된 은-텅스텐 분말을 성형체로 만드는 핵심 단계입니다. 이 공정은 분말 입자가 가압되어 압축되고 치밀화되는 원리에 기반하며, 이는 성형체의 밀도와 그에 따른 소결 효과에 직접적인 영향을 미칩니다. 성형 품질을 보장하기 위해서는 압력 제어, 금형 설계 및 공정 변수에 중점을 두어야 합니다. 프레스 공정은 외부 압력 하에서 분말 입자가 소성 변형되고 미끄러져 분자 간극을 채우고 기공을 줄이는 원리에 기반합니다. 은 분말은 연성이 우수하여 압축하기 쉬운 반면, 텅스텐 분말은 경도가 높아 더 높은 압력이 필요합니다. 혼합된 분말은 금형 내에서 힘을 받아 입자가 재배열되면서 초기 밀도가 점차 향상됩니다. 압력 분포의 균일성이 핵심입니다. 국부적인 과압은 균열을 유발할 수 있으며, 저압은 더 많은 기공을 유지합니다.

작업 공정은 분말 충전, 예비 가압, 그리고 본 가압으로 구성됩니다. 분말 충전 시에는 충하나 기공 발생을 방지하기 위해 분말이 금형에 고르게 채워지도록 합니다. 진동이나 태핑은 분산에 도움이 될 수 있습니다. 예비 가압은 공기를 배출하고 입자 접촉을 개선하기 위해 저압을 적용합니다. 본 가압에는 유압 프레스 또는 기계식 프레스가 사용됩니다. 압력은 합금 조성에 따라 조절됩니다. 텅스텐 함량이 높을 경우, 압력을 높여야 합니다. 일반적인 압력은 수백 MPa입니다. 가압 시간은 몇 초에서 수십 초까지 조절 가능합니다. 너무 길면 탄성 반발이 발생할 수 있습니다.

금형 설계는 작업의 핵심입니다. 초경합금과 같은 내마모성 소재를 사용하여 마찰을 줄이기 위해 매끄러운 내벽을 가진 금형을 제작하십시오. 금형 형상은 최종 부품의 요구 사항에 따라 맞춤 제작되며, 복잡한 형상은 단면으로 프레스해야 합니다. 마찰을 줄이고, 블랭크의 밀도와 탈 형성을 향상시키기 위해 스테아르산아연과 같은 윤활제를 금형 내벽에 도포합니다. 공정 변수 최적화에는 압력 구배, 가압 속도 및 온도가 포함됩니다. 점진적인 가압은 응력 집중을 줄이고, 느린 가압은 밀도를 향상시키며, 적당한 가열은 분말 유동성을 향상시킵니다. 최적화된 가압 공정을 거친 성형체는 기공률이 낮고 표면 평탄도가 향상되어 소결을 위한 좋은 기반을 마련하는 것으로 관찰되었습니다. 최적화 방향에는 실시간 압력 모니터링을 위한 지능형 프레스 시스템 개발 또는 등방성 프레스 기술을 이용한 균일성 향상이 포함됩니다. 프레스 공정 원리 및 작동은 정밀 제어를 통해 고품질 블랭크를 구현하며, 이는 은-텅스텐 합금의 성능을 직접적으로 뒷받침합니다.

4.1.3 소결 공정의 제어 및 영향

소결 공정은 분말 야금법을 이용한 은-텅스텐 합금 생산의 핵심 단계입니다. 분말 입자의 결합 및 치밀화는 고온 처리를 통해 이루어지며, 이는 미세 구조와 성능에 직접적인

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

영향을 미칩니다. 소결 온도, 시간, 분위기의 제어가 핵심이며, 공정 변수의 최적화는 합금의 기공률, 상 분포, 그리고 기계적 특성과 밀접한 관련이 있습니다.

소결 공정은 액상 소결 원리를 기반으로 합니다. 은은 고온에서 용융되어 텅스텐 입자를 적시고 틈을 메우며 계면 결합 강도를 향상시킵니다. 온도 제어가 핵심입니다. 온도가 너무 낮으면 은이 완전히 용융되지 않고 기공률이 높아집니다. 온도가 너무 높으면 텅스텐 입자가 성장하거나 은이 휘발되어 균일성에 영향을 미칠 수 있습니다. 일반적인 소결 온도는 은-텅스텐 비율에 따라 조정되며, 일반적으로 은의 녹는점보다 약간 높게 설정하고, 확산을 촉진하기 위해 일정 시간 동안 유지합니다. 시간 제어는 입자 성장과 치밀화에 영향을 미칩니다. 단기 소결은 입자 성장을 제한하고 미세 구조를 유지하지만 기공이 남을 수 있습니다. 장기 소결은 입자 결합을 촉진하고 결합을 줄이지만 비정상적인 성장을 초래할 수 있습니다. 시간 최적화는 밀도와 입자 크기 간의 균형을 필요로 합니다. 관찰 결과, 중기 소결 시간이 최상의 미세 구조를 달성할 수 있는 것으로 나타났습니다.

분위기 제어는 산화 및 불순물 유입을 방지합니다. 진공 또는 고순도 시안화물 분위기는 은과 텅스텐의 표면 산화를 줄이고 순도를 유지합니다. 아르곤과 같은 불활성 분위기는 화학 반응이 상 분포에 영향을 미치는 것을 방지하는 데 효과적입니다. 소결 분위기의 안정성은 전도성과 내식성에 직접적인 영향을 미치므로, 분위기 순도 제어는 중요한 단계입니다.

소결 공정의 영향은 미세 구조에 반영됩니다. 적절한 매개변수는 치밀한 구조를 형성하고, 기공률을 줄이며, 경도와 전도성을 향상시킵니다. 부적절한 매개변수는 미세 균열이나 불균일한 상 분포를 유발하여 성능을 저하시킬 수 있습니다. 열간 등방성 가압(HIP) 또는 스파크 플라즈마 소결(SPS)은 소결 효과를 더욱 최적화하기 위한 보조 수단으로 사용됩니다. SPS 는 펄스 전류를 통해 확산을 가속화하고, HIP 는 고압을 통해 결합을 압축합니다. 최적화 방향에는 온도와 분위기를 실시간으로 모니터링하는 지능형 소결로 개발 또는 제어 정확도 향상을 위한 다단계 소결 결합이 포함됩니다. 소결 공정의 제어 및 영향은 매개변수 최적화를 통해 은-텅스텐 합금의 성능에 직접적인 영향을 미칩니다.

4.2 진공침투법에 의한 은-텅스텐 합금의 생산

공정입니다. 이 방법은 복잡한 형상이나 고성능 부품을 제조하는 데 적합하며, 특히 우수한 전도성과 고온 내성이 요구되는 분야에 적합합니다. 이 공정은 텅스텐 골격 제조, 합침, 후처리 과정을 포함하며, 장비와 매개변수의 정밀한 제어가 성공의 핵심입니다.

4.2.1 침투 원리 및 장비 요구 사항

침투 원리는 진공 환경에서 모세관 현상과 액체 금속의 침투를 기반으로 합니다. 다공성 텅스텐 골격은 은의 용융에 의해 침투되어 치밀한 합금을 형성합니다. 은은 고온에서 액체가 되고, 진공 상태에서 산화를 줄이며, 모세관 현상에 의해 텅스텐 골격의 기공으로 침투하여 틈을 메우고 텅스텐과 결합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

모세관 현상이 핵심 메커니즘이며, 텅스텐 골격의 기공 크기와 분포가 침투 효율을 결정합니다. 은 액체의 습윤성은 침투 깊이에 직접적인 영향을 미치며, 표면 장력은 기공 특성과 일치해야 합니다. 진공 환경은 가스 방해물을 줄이고, 은의 산화 또는 휘발을 방지하며, 순수한 침투를 보장합니다.

장비 요건에는 진공로, 가열 시스템, 그리고 압력 제어 장치가 포함됩니다. 진공로는 잔류 가스가 침투에 영향을 미치지 않도록 높은 진공도를 달성해야 하며, 정밀 압력 센서가 장착되어야 합니다. 가열 시스템은 유도 가열 또는 저항 가열을 사용하며, 고온 균일성과 은의 녹는점 이상을 포함하는 제어 범위를 갖습니다. 압력 제어 장치는 침투를 보조하고 외부 압력을 조절하여 액상 은의 흐름을 향상시킵니다. 이 금형은 복잡한 형상을 지원하고, 흑연이나 세라믹과 같은 고온 내성 소재로 제작되었으며, 접착력을 줄이기 위해 매끄러운 내벽을 가지고 있습니다. 온도 및 진공 모니터링 시스템은 실시간으로 매개변수를 조정하여 안정적인 침투를 보장합니다. 장비 유지보수가 매우 중요하며, 누출이나 성능 저하를 방지하기 위해 밀봉 및 가열 요소의 정기적인 점검이 필수적입니다.

4.2.2 프로세스 단계 및 매개변수 최적화

진공 함침 공정 단계에는 텅스텐 골격 준비, 은 용융, 그리고 함침 후처리가 포함됩니다. 최상의 미세 구조와 성능을 달성하기 위해서는 각 단계의 매개변수를 최적화해야 합니다. 텅스텐 골격은 분말을 압축하고 소결하여 다공성 구조를 형성합니다. 텅스텐 분말을 혼합한 후, 성형합니다. 소결 온도는 은의 녹는점보다 낮아 적절한 기공률을 유지합니다. 기공 크기와 분포는 균일해야 합니다. 기공이 너무 크면 은의 침투가 불충분해지고, 기공이 너무 작으면 흐름이 방해됩니다. 관찰 결과, 최적화된 소결을 거친 텅스텐 골격이 가장 우수한 침투 효과를 나타냅니다.

은 용융은 진공로에서 수행됩니다. 은을 텅스텐 골격 위에 놓고 녹는점 이상으로 가열하여 액체 은을 형성합니다. 온도 제어는 과열을 방지하기 위한 것으로, 과열로 인해 은이 휘발되거나 텅스텐 골격이 변형될 수 있습니다. 산화된 불순물을 줄이고 습윤성을 향상시키기 위해 진공도를 높게 유지합니다. 용융 시간은 골격의 두께에 따라 조절하여 완전한 액화를 보장합니다. 침투 과정은 모세관력과 보조 압력에 의존합니다. 액체 은은 진공 상태에서 텅스텐 골격에 침투하므로 시간과 압력은 일치해야 합니다. 너무 짧으면 기공이 생길 수 있고, 너무 길면 은이 넘칠 수 있습니다. 보조 압력은 침투 깊이를 증가시키고, 과도한 은은 최적화 후처리 전에 제거됩니다. 관찰 결과, 매개변수 최적화 후 침투층은 균일하고 치밀합니다. 후가공에는 냉각과 열처리가 포함됩니다. 서냉은 열응력을 감소시키고, 어닐링과 같은 열처리는 계면 접합을 개선하고 성능 일관성을 향상시킵니다. 매개변수 최적화는 부품 요구 사항에 따라 조정해야 하며, 복잡한 형상에는 분할 침투가 필요할 수 있습니다.

4.2.3 이 프로세스의 장점 및 제한 사항

진공 침투법은 은-텅스텐 합금 생산에 있어 독보적인 장점을 보여주지만, 적용 시나리오 및 공정 최적화 방향에 직접적인 영향을 미치는 몇 가지 한계점도 있습니다. 장점은 높은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

밀도를 달성할 수 있다는 것입니다. 은 액체는 진공 상태에서 텅스텐 골격에 완전히 침투하여 기공률을 줄이고 합금의 전기 및 열 전도성을 향상시킵니다. 특히 균일한 성능이 요구되는 접점 및 전극에 적합합니다. 복잡한 형상의 부품 제작도 또 다른 장점입니다. 침투법은 모세관 작용을 통해 다공성 구조에 적용 가능하며, 항공우주용 균형추나 전자 커넥터와 같은 정밀 부품을 쉽게 성형할 수 있습니다. 또한, 진공 환경은 산화 불순물을 줄이고 은과 텅스텐의 순도를 유지하며 내식성과 장기 안정성을 향상시킵니다.

이러한 한계는 주로 공정의 복잡성과 높은 비용에 기인합니다. 진공로와 가열 장비의 유지 보수 요구 사항이 높고, 초기 투자 비용과 운영 비용이 증가하여 대량 생산 용량이 제한됩니다. 텅스텐 골격의 기공률과 은의 침투 깊이는 정밀하게 일치해야 하며, 매개변수 제어가 어렵고, 고장률이 높을 수 있습니다. 고온에서 은의 휘발 또는 오버플로우는 재료 낭비로 이어져 경제성에 영향을 미칠 수 있습니다. 또한, 용융 침투법은 원료의 순도와 입자 크기에 대한 엄격한 요건을 가지고 있으며, 다공성 텅스텐 골격을 제조하는 공정이 복잡하여 작업의 난이도가 증가합니다. 미세 구조 관찰 결과, 최적화가 불충분하면 계면이 불균일해지고 성능 일관성에 영향을 미칠 수 있음을 보여줍니다.

4.3 공정 비교 및 선정 기준

은-텅스텐 합금의 제조 공정에는 분말 야금법과 진공 침투법이 있습니다. 각 방법은 성능, 비용 및 적용 가능성 측면에서 차이가 있습니다. 따라서 적용 요건과 생산 조건을 고려하여 공정을 신중하게 선택해야 합니다.

4.3.1 다양한 프로세스의 비용 분석

비용은 공정 선택의 중요한 기준입니다. 분말야금과 진공침투법의 비용 차이는 주로 장비 투자, 원자재 소비량, 그리고 생산 효율에 반영되며, 이는 생산 경제성에 직접적인 영향을 미칩니다. 비용 분석은 배치 생산 및 품질 요건과 함께 평가되어야 합니다.

분말야금의 장비 비용은 비교적 저렴합니다. 분말 프레스와 소결로는 구조가 간단하고 유지 보수 비용이 낮은 기본 장비로, 대량 생산에 적합합니다. 원료 소비량은 주로 은분과 텅스텐 분말입니다. 분말 혼합 및 프레스 공정의 재료 이용률이 높고 폐기물이 적습니다. 생산 효율이 높고, 조립 라인을 통해 자동화 수준을 향상시킬 수 있으며, 생산량 증가에 따라 단가가 낮아집니다. 관찰 결과, 소규모 생산 비용은 적정하고 대규모 생산 비용은 크게 낮아 접점 및 전극과 같은 표준화된 부품에 적합합니다.

진공 침투법은 설비 비용이 상대적으로 높습니다. 진공로, 유도 가열 시스템, 압력 제어 장치는 정밀 제작이 필요하고 초기 투자 및 유지 보수 비용이 높아 소규모 및 중규모 생산에 제약이 있습니다. 원자재 소비량에는 다공성 골격 제조를 위한 텅스텐 분말과 은이 포함됩니다. 골격 소결 및 은 용해 공정은 재료 손실을 초래할 수 있으며, 분말 야금보다 효율이 낮습니다. 생산 효율은 공정 복잡성으로 인해 제한되며, 매개변수 조정 및 품질 관리로 인해 인건비가 증가하고 단위 비용이 상대적으로 높습니다. 고성능 또는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

복잡한 형상의 부품 생산 비용은 수용 가능하지만, 대규모 적용에는 경제성이 충분하지 않습니다.

인건비와 에너지 소비 또한 총비용에 영향을 미칩니다. 분말 야금은 표준화된 공정 흐름과 낮은 노동력을 특징으로 합니다. 에너지 소비는 주로 소결 단계에 집중되어 있으며, 온도 최적화를 통해 이를 줄일 수 있습니다. 진공 침투 공정은 전문 작업자가 필요하며, 장기간 진공 및 가열 공정은 많은 에너지를 소비하므로 효율적인 에너지 관리가 필요합니다. 비용 분석 결과, 분말 야금은 비용 관리 측면에서 더 유리하며 고출력 요구 사항에 적합합니다. 진공 침투 공정은 고부가가치 부품에서 경쟁력이 더 높습니다.

최적화 방향에는 저비용 진공 장비 개발 또는 공정 통합을 통한 분말 야금 효율 향상이 포함됩니다. 비용 분석은 공정 선정을 위한 정량적 근거를 제공하며, 이는 생산 규모 및 성능 요구 사항에 따라 검토되어야 합니다.

4.3.2 성능 차이 및 프로세스 선택

성능 차이는 분말야금 또는 진공침투 공정을 선택하는 중요한 기준입니다. 두 공정은 전도도, 열전도도, 경도, 내식성 및 미세구조 일관성 측면에서 서로 다른 특성을 가지고 있으며, 이는 적용 분야에 직접적인 영향을 미칩니다.

분말 야금법으로 제조된 은-텅스텐 합금은 전기 및 열 전도성이 안정적입니다. 액상 소결을 통해 은상이 연속적인 네트워크를 형성하여 전류 및 열 전달 효율이 높아 고전압 회로 차단기 접점 및 방열 기관에 적합합니다. 텅스텐 입자의 분포와 밀도가 양호하여 경도가 높고, 내마모성은 용접 전극의 요건을 충족합니다. 내식성은 소결 분위기 제어에 따라 달라지며, 최적화 후에는 습한 환경에서도 우수한 성능을 발휘합니다. 미세 조직의 일관성은 분말 혼합 및 압착의 균일성에 영향을 받습니다. 적절한 공정을 통해 결함을 줄일 수 있으며, 대량 표준화 생산에 적합합니다.

진공 함침법으로 제조된 합금은 성능 면에서 더 큰 이점을 제공합니다. 은 액체가 텅스텐 골격에 침투하여 기공률이 매우 낮은 고밀도 구조를 형성합니다. 분말 야금법보다 전기 및 열 전도성이 우수하여 고정밀 전자 커넥터에 특히 적합합니다. 향상된 밀도와 계면 결합력으로 경도가 더 높고, 내마모성과 내아크성이 뛰어나 플라스마 용사 부품에 적합합니다. 진공 환경에서 산화가 감소하여 내식성이 향상되고 부식성 환경에서 수명이 더 깁니다. 미세 조직의 일관성이 우수하고 복잡한 형상의 부품 균일도가 더 우수하여 항공우주 균형추에 적합합니다.

성능 차이는 공정 메커니즘에서 기인합니다. 분말 야금은 분말 혼합 및 소결 매개변수의 균일성에 의존하며, 성능은 안정적이지만 최적화 범위가 제한적입니다. 진공 침투법은 모세관 침투를 통해 고밀도를 달성하며, 더 높은 성능 잠재력을 가지고 있지만 매개변수에 민감합니다. 관찰 결과 분말 야금은 비용과 성능의 균형을 맞춰야 하는 일반적인 응용 분야에 적합한 반면, 침투법은 고성능 또는 맞춤형 요구 사항에 적합합니다. 공정 선택은 전도도 우선순위, 내식성 요구 사항, 그리고 부품 복잡성을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

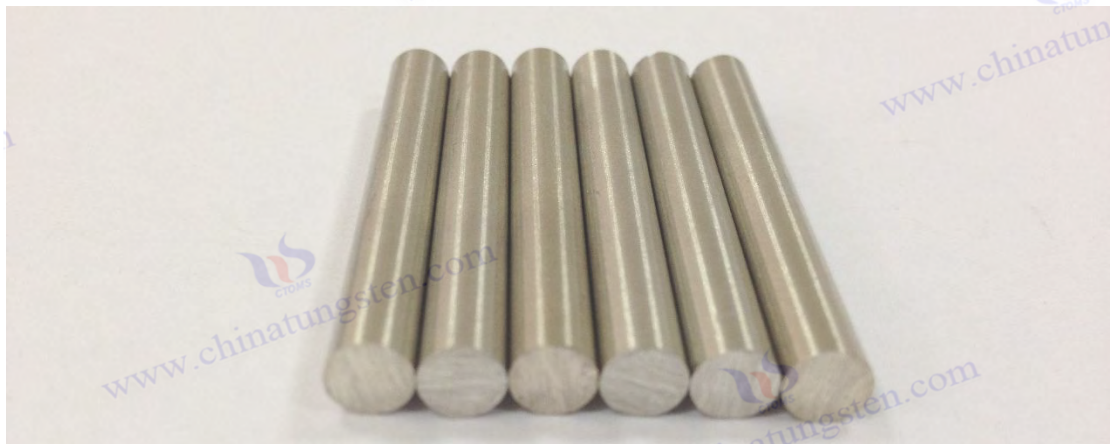
기반으로 결정되어야 합니다. 최적화 방향에는 성능 향상을 위해 공정상의 이점을 결합하는 것이 포함됩니다.

4.3.3 생산 효율성 및 프로세스 적응

생산 효율성과 공정 적응성은 선택에 중요한 요소입니다. 분말야금과 진공침투는 생산량, 자동화 수준, 장비 활용도 측면에서 차이가 있으며, 이는 생산 주기와 경제적 이익에 직접적인 영향을 미칩니다.

분말 야금은 생산 효율이 높습니다. 분말 혼합, 프레스, 소결 공정을 자동화하고 조립 라인 생산으로 생산량을 늘릴 수 있어 점점 및 전극의 대량 생산에 적합합니다. 장비 가동률이 높고, 분말 프레스와 소결로는 유지보수를 위한 가동 중단 시간이 짧으며 연속 가동이 가능합니다. 생산 주기는 원료에서 완제품까지 일반적으로 몇 시간으로 짧아 시장 수요에 신속하게 대응해야 하는 상황에 적합합니다. 이 공정은 뛰어난 적응성을 갖추고 있으며, 표준 금형과 매개변수는 다양한 사양에 적합하고 높은 유연성을 제공합니다. 진공 침투법은 생산 효율이 낮습니다. 텅스텐 골격 제조 및 침투 공정은 정밀한 제어가 필요하고, 자동화 수준이 제한적이며, 생산량은 항공 균형추와 같은 고부가가치 부품의 소량 및 중량 생산에 적합합니다. 장비 가동률은 진공로의 복잡성에 영향을 받으며, 유지보수 및 파라미터 조정으로 인해 가동 중단 시간이 증가합니다. 생산 주기가 길고 골격 제조 및 침투에 소요되는 총 시간이 며칠이 소요될 수 있어 맞춤형 제작이나 고성능 요구 사항에 적합합니다. 공정 적응성은 금형 및 골격 설계에 따라 달라지며, 복잡한 형상에는 특수 장비가 필요하고 유연성이 제한적입니다.

효율성 차이는 공정의 복잡성에서 비롯됩니다. 분말 야금 공정은 표준화되어 고출력에 적합한 반면, 진공 침투법은 미세 공정으로 고품질 요건에 적합합니다. 관찰 결과, 분말 야금법은 대량 생산에서 효율성이 뚜렷한 장점이 있으며, 침투법은 소량 고정밀 생산에 더욱 적합합니다. 최적화 방향에는 자동화된 침투 장비 개발 또는 분말 야금 매개변수 최적화를 통한 사이클 단축이 포함됩니다. 생산 효율성과 공정 적응은 생산 목표 및 품질 요건에 따라 신중하게 고려해야 할 선택의 실질적인 근거를 제공합니다.



CTIA GROUP LTD 은텅스텐 합금

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
Silver Tungsten Alloy Introduction

1. Overview of Silver Tungsten Alloy

Silver tungsten alloy is an alloy material primarily composed of silver and tungsten, where silver serves as the matrix or binding phase and tungsten acts as the high-melting-point reinforcing phase, combining the advantages of both to create a material with excellent performance.

2. Features of Silver Tungsten Alloy

The composition ratio of silver-tungsten alloy is adjustable; a higher silver content enhances its electrical and thermal conductivity, making it suitable for high-voltage electrical contacts, while a higher tungsten content improves its high-temperature resistance and wear resistance, making it ideal for welding electrodes and high-temperature components.

3. The Composition Ratio of Silver Tungsten Alloy

Materials	Composition (%weight)	Density (/g.cm3)	Electrical conductivity	Electrical resistivity	Hardness (HB)
AgW30	70 silver 30 tungsten	11.8-12.2	73	2.3	75
AgW40	60 silver 40 tungsten	12.5-12.8	64	2.6	85
AgW50	50 silver 50 tungsten	13.2-13.5	73-56	2.3-3.0	105
AgW55	45 silver 55 tungsten	13.6-13.9	54	3.2	115
AgW60	40 silver 60 tungsten	14.0-14.4	60-50	2.8-3.3	125
AgW65	35 silver 65 tungsten	14.5-14.9	50	3.4	135
AgW70	30 silver 70 tungsten	14.7-15.1	48	3.5	150
AgW80	20 silver 80 tungsten	16.1-16.5	37	4.5	180

4. Production Methods for Silver Tungsten Alloy

The preparation method for tungsten-silver alloy is the same as that for tungsten-copper alloy. Due to tungsten's high melting point and its inability to alloy with silver, traditional methods cannot be used. Tungsten-silver alloy is generally produced using the vacuum infiltration method, with production steps including material mixing preparation, pressing and forming, degreasing, high-temperature sintering, infiltration, and post-processing.

5. Applications of Silver Tungsten Alloy

Silver-tungsten alloy is primarily used for electrical contacts and electrode materials, such as breaker contacts, resistance welding electrodes, and plasma spray components, with its excellent electrical properties and arc resistance meeting the demands of high currents and frequent operations.

6. Purchasing Information

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

Website: silver-tungsten.net

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: 은-텅스텐 합금의 성능 테스트 및 특성화

은-텅스텐 합금의 성능 시험 및 특성 분석은 그 품질과 응용 가능성을 평가하는 핵심 단계입니다. 물리적, 기계적, 기능적 특성에 대한 체계적인 시험을 통해 전기 전도도, 열 전도도, 경도 및 내식성 측면에서 합금의 성능을 규명합니다. 데이터의 신뢰성과 비교 가능성을 보장하기 위해 시험 방법은 국제 표준 및 실험 조건과 결합되어야 합니다.

5.1 은텅스텐 합금의 물리적 특성 시험

은-텅스텐 합금의 물리적 특성 시험은 밀도, 경도, 전도도와 같은 기본적인 특성에 중점을 둡니다. 이러한 지표는 합금의 미세 구조와 제조 공정을 직접적으로 반영합니다. 물리적 특성의 정확한 측정은 후속 기계적 및 기능적 성능 시험의 기초를 제공합니다. 시험 방법은 합금의 특성에 따라 최적화되어야 합니다.

5.1.1 밀도 시험 방법

밀도 시험은 은-텅스텐 합금의 밀도와 기공률을 평가하는 중요한 수단으로, 재료 내 은과 텅스텐의 분포와 소결 품질을 반영합니다. 밀도는 전기 전도도, 열 전도도, 그리고 기계적 강도에 직접적인 영향을 미치므로, 시험 방법은 정확성과 반복성을 보장해야 합니다.

아르키메데스 방법은 일반적으로 사용되는 밀도 측정법입니다. 먼저 시료를 건조한 상태에서 무게를 측정하여 건조 중량을 구합니다. 그런 다음, 밀도를 알고 있는 액체(예: 증류수)에 담가 현탁 중량과 담근 중량을 측정합니다. 밀도는 다음 공식을 사용하여 계산합니다. $\text{밀도} = \frac{\text{건조 중량}}{(\text{건조 중량} - \text{담근 중량}) \times \text{액체 밀도}}$. 액체에는 기포가 없어야 하며, 측정에 영향을 미치는 기공이 시료 표면에 없어야 합니다. 안정적인 결과를 보장하기 위해 여러 번 측정하여 평균값을 구합니다. X 선 형광 분석(XRF)은 미세한 분석과 상 분포를 결합하여 밀도 일관성을 간접적으로 평가하는 보조적인 방법으로 사용됩니다. 시료를 얇게 썰어 X 선 장치에 넣어 은과 텅스텐 함량의 비율을 측정하고, 이론 밀도를 기반으로 실제 밀도를 계산합니다. 이 방법은 복잡한 형상의 부품에 적합하며, 오차를 줄이기 위해 기기를 교정해야 합니다.

시험의 핵심은 시료 전처리, 표면 산화막 및 불순물 제거, 그리고 결과에 영향을 미치는 수분 흡수 방지입니다. 시험 환경은 외부 간섭을 최소화하기 위해 일정한 온도와 습도를 유지해야 합니다. 관찰 결과, 최적화된 소결 공정을 적용한 합금의 밀도는 이론값에 근접하며, 기공률이 낮고 성능이 우수했습니다. 밀도 시험법의 정확성은 성능 평가를 위한 신뢰할 수 있는 데이터를 제공하며, 최적화 방향에는 효율 향상을 위한 비접촉 측정 기술 개발이 포함됩니다.

5.1.2 경도 시험 기준 및 작업

경도 시험은 은-텅스텐 합금의 변형 저항성과 내마모성을 평가하는 중요한 수단으로, 텅스텐 입자와 은 상(phase)의 상승 효과를 반영합니다. 경도는 기계적 접촉 및 아크

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

환경에서 합금의 수명에 영향을 미칩니다. 경도 시험은 국제 표준을 준수하고 운영 방식을 표준화해야 합니다.

비커스 경도 시험은 ISO 6507 또는 ASTM E384 사양을 준수하는 일반적으로 사용되는 표준입니다. 이 시험은 다이아몬드 압입자를 사용하는데, 이 압입자는 지정된 하중으로 샘플 표면에 눌러 일정 시간 동안 유지된 후 제거되어 압입의 대각선 길이를 측정합니다. 경도 값은 다음 공식을 사용하여 계산합니다. $HV = 1.854 \times \text{하중} / (\text{대각선 길이}^2)$. 하중은 일반적으로 샘플 두께에 따라 5kg 또는 10kg 을 선택하고 시간은 10-15 초 이내로 제어합니다. 작업 단계에는 샘플 준비, 거울처럼 마무리하기 위한 표면 연마, 굽힘 및 결함 제거가 포함됩니다. 시험 지점은 결과에 영향을 미치는 기공이나 상 경계를 피하기 위해 균일한 영역에서 선택됩니다. 각 시험에 대해 여러 지점을 반복적으로 측정하고 평균을 구하여 오류를 줄입니다. 압입자와 하중의 정확성을 보장하기 위해 장비를 정기적으로 교정해야 합니다.

브리넬 경도 시험은 ISO 6506 에 따라 강철 볼 압입자를 사용하는 보완적인 방법으로, 더 큰 시편에 적합합니다. 하중이 더 높고 압입량이 더 커서 전체 경도를 반영하지만, 표면 평탄도는 더 까다롭습니다. 시험 결과는 비커스 경도와 관련이 있으며, 적용 요건에 따라 선택해야 합니다.

시험의 핵심은 하중과 시간의 일치입니다. 하중이 너무 높으면 시편이 관통할 수 있고, 시간이 너무 짧으면 압입 형성에 영향을 미칠 수 있습니다. 재료 특성에 영향을 미치지 않도록 주변 온도와 습도는 안정적이어야 합니다. 관찰 결과, 미세구조가 최적화된 합금의 경도가 크게 향상되고 내마모성도 향상되었습니다. 경도 시험 표준 및 운영은 성능 평가를 위한 정량적 근거를 제공합니다. 최적화 방향에는 효율성 향상을 위한 자동화된 시험 시스템 개발이 포함됩니다.

5.1.3 전기전도도 및 열전도도 시험 방법

전기 전도도 및 열 전도도 시험은 은 텅스텐 합금의 전기 및 열 전도도를 평가하는 핵심 수단으로, 은 상 네트워크의 연속성과 미세 구조의 밀도를 반영합니다. 전기 전도도는 전류 전달 효율을 측정하고, 열 전도도는 열 전달 용량을 평가합니다. 시험 방법은 정확성과 반복성을 보장해야 합니다. 전도도 시험은 ASTM F76 표준을 준수하는 4 탐침법을 사용합니다. 시료 표면은 평평하고 시험 고정구에 놓입니다. 4 개의 탐침을 동일한 간격으로 접촉시킵니다. 일정한 전류를 인가하고 전압 강하를 측정합니다. 전도도는 다음 공식으로 계산합니다. $\sigma = L / (R \times A)$ 여기서 L 은 탐침 간격, R 은 저항, A 는 단면적입니다. 시험 지점은 기공의 영향을 받지 않도록 균일한 면적에 위치합니다. 장비는 교정되어야 하며, 주변 온도는 안정적으로 유지되어야 하고, 여러 번 측정한 후 평균값을 구해야 합니다.

열전도도 시험은 ASTM E1461 에 따른 레이저 플래시 방법을 사용합니다. 시료를 얇게 자르고 표면을 검게 칠하여 레이저를 흡수한 후, 레이저 펄스로 한쪽 면을 가열하고 적외선 검출기로 반대쪽 면의 온도 상승 곡선을 측정합니다. 열전도도는 열확산도, 비열,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

밀도를 이용하여 계산합니다. $\lambda = \alpha \times \rho \times C_p$, 여기서 α 는 열확산도, ρ 는 밀도, C_p 는 비열입니다. 열 손실의 영향을 줄이기 위해 시료 두께와 레이저 에너지를 조절해야 합니다.

시험의 핵심은 시료 전처리, 표면 산화막 제거, 그리고 양호한 접착 보장입니다. 전도도 시험은 전자파 간섭 차폐를, 열전도도 시험은 검출기 정확도 교정을 요구합니다. 관찰 결과, 최적화된 소결 합금은 전도도와 열전도도가 더 높으며, 미세 구조 밀도가 핵심 요소임을 알 수 있습니다. 최적화 방향에는 비파괴 검사 기술 개발 또는 여러 방법을 결합하여 측정 정확도를 향상시키는 것이 포함됩니다.

5.2 은-텅스텐 합금의 화학적 특성 평가

은-텅스텐 합금의 화학적 성능 평가는 내식성과 화학적 안정성에 중점을 두며, 다양한 환경에서 합금의 장기 사용 가능성을 반영합니다. 화학적 성능 시험은 실제 사용 조건을 시뮬레이션하고, 은상과 텅스텐상의 내식성을 평가하며, 적용을 위한 신뢰할 수 있는 데이터를 제공해야 합니다.

5.2.1 내식성 시험 환경 및 방법

내식성 시험은 다양한 환경을 시뮬레이션하여 은-텅스텐 합금의 화학적 안정성을 평가합니다. 결과의 대표성을 보장하기 위해 시험 환경과 방법은 적용 시나리오에 따라 설계되어야 합니다. 내식성은 합금이 산화, 황화 또는 산-염기 부식에 저항하는 능력을 나타내며, 이는 사용 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 염수 분무 시험은 일반적인 환경이며 ASTM B117 표준을 준수합니다. 시료를 염수 분무 챔버에 넣고 5% 염화나트륨 용액을 분무합니다. 온도는 수 시간에서 수 일 동안 일정 범위 내에서 조절합니다. 은 산화물이나 황화물과 같은 표면 부식 생성물을 관찰하고 침식 깊이와 면적을 평가합니다. 이 시험은 중량 감소율과 외관 변화를 기록하며, 여러 사이클을 통해 장기 노출을 시뮬레이션합니다.

산-염기 침지 시험은 부식성 산업 환경을 시뮬레이션합니다. 시료를 황산, 염산 또는 수산화나트륨 용액에 침지합니다. 농도와 온도는 실제 필요에 따라 설정됩니다. 침지 시간은 몇 시간에서 몇 주까지 다양합니다. 시료는 정기적으로 채취하여 질량 손실 및 표면 형태를 측정하고, 은상의 용해도와 텅스텐상의 안정성을 분석합니다. 용액은 화학적 활성을 유지하기 위해 정기적으로 교체해야 합니다. 전기화학적 시험은 ASTM G59에 따라 부식 메커니즘을 평가합니다. 시료를 전해조에 넣고 다양한 전위를 인가한 후 분극 곡선을 측정합니다. 이 시험은 은-텅스텐 계면의 전기화학적 거동을 분석하기 위해 부식 전위와 부식 전류 밀도를 기록합니다. 환경은 중성 또는 산성 전해질을 포함하며, 산소 함량은 제어되어야 합니다.

시험 환경은 습도, 황 함유 또는 고온 환경과 같은 실제 사용 조건을 시뮬레이션해야 합니다. 시료 전처리에는 표면 불순물 제거를 위한 연마 및 세척이 포함됩니다. 관찰 결과, 최적화된 미세구조를 가진 합금은 염수 분무 및 산성 환경에서 내식성이 향상되었으며,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

낮은 기공률이 핵심 요소입니다. 최적화 방향에는 동적 부식 시험 시스템 개발 또는 평가 정확도 향상을 위한 다중 환경 시뮬레이션 결합이 포함됩니다.

5.2.2 항산화제 성능 시험 방법

내산화성 시험은 고온 또는 산소 함유 환경에서 은-텅스텐 합금의 내산화성을 평가하는 것으로, 은상과 텅스텐상의 화학적 안정성을 반영합니다. 이 시험 방법은 실제 사용 조건을 시뮬레이션하고, 산화막 형성 및 재료 특성 변화를 측정하며, 내산화성에 대한 정량적 근거를 제공해야 합니다.

고온 산화 시험은 일반적인 방법입니다. 시료를 머플로(muffle furnace)에 넣고 특정 온도로 가열한 후 몇 시간에서 며칠 동안 공기 중에 노출시킵니다. 온도는 응용 분야 요건에 따라 설정하며, 일반적으로 은의 녹는점보다 높고 텅스텐의 녹는점보다 낮습니다. 이 시험은 질량 증가를 기록하고 표면 산화층의 두께와 색상 변화를 관찰합니다. 예를 들어 은의 경우 산화은, 산화텅스텐의 경우 산화은을 사용합니다. 여러 번의 사이클을 통해 장기 산화를 시뮬레이션하고 성능 저하를 평가합니다.

열중량 분석(TGA)은 동적 검출을 제공합니다. 시료를 열천칭에 넣고 실온에서 고온까지 가열하면서 시간 경과에 따른 질량 변화 곡선을 기록합니다. 산소 또는 공기를 운반 기체로 사용하여 산화 반응 속도와 안정된 온도를 측정합니다. 분석 결과는 은상 산화의 시작점과 텅스텐상의 산화 방지능을 보여줍니다. 열 드리프트를 방지하기 위해 기기를 교정해야 합니다. 시차 주사 열량측정법(DSC)은 산화 반응의 열적 효과를 측정하는 보조적인 방법으로 사용됩니다. 시료를 불활성 분위기와 산화 분위기에서 시험하고, 흡열 또는 발열 피크를 비교하여 산화 반응의 임계 온도를 결정합니다. 이 방법은 미량 산화 분석에 적합하며, TGA 데이터와 함께 검증해야 합니다.

5.3 은-텅스텐 합금 미세조직 특성화 기술

은-텅스텐 합금 미세구조 특성 분석 기술은 다양한 분석 방법을 통해 결정립 형태, 상 분포 및 결합 특성을 밝혀내어 성능 최적화를 위한 미시적 기반을 제공합니다. 결과의 정확성과 반복성을 보장하기 위해서는 특성 분석 기술이 시료 전처리 및 장비 조건과 결합되어야 합니다.

5.3.1 금속현미경 관찰 방법

금속현미경 관찰법은 은-텅스텐 합금의 미세조직을 특성화하는 기본적인 수단이다. 입자 크기, 상 분포, 기공 특성은 시료 준비와 현미경 분석을 통해 드러난다. 이 방법은 예비적인 구조 평가에 적합하며, 부식 및 조명 기술과 결합하여 대비를 향상시킨다. 시료 준비는 핵심 단계이다. 대표 시료를 채취하여 적절한 크기로 자른 후, 표면을 평탄하게 연마하고, 사포로 점차 높은 메쉬 두께로 다듬는다. 연마는 다이아몬드 현탁액이나 산화알루미늄을 사용하여 거울 효과를 얻는다. 부식 처리는 질산 알코올 용액과 같은 화학 시약을 사용하여 은 상과 텅스텐 상 사이의 경계를 드러낸다. 부식 시간은 과도한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

에칭을 피하고 미세조직의 투명도에 영향을 미치지 않도록 조절한다. 구조적 특징에 따라 50 배에서 1000 배까지의 배율을 가진 광학 현미경을 사용하여 관찰했습니다. 명시야 조명은 결정립 형태를 보여주었고, 암시야 또는 편광은 상 경계 대비를 강화했습니다. 텅스텐 입자는 어둡게, 은 상은 밝게, 기공은 검은색 공동으로 나타났습니다. 다영역 이미지를 기록하여 결정립 크기와 분포 균일성을 분석했습니다.

시험의 핵심은 현미경 렌즈에 오염이 발생하지 않도록 시료를 세척하는 것입니다. 이미지 품질을 최적화하기 위해 조도와 초점을 조정해야 합니다. 관찰 결과, 최적화된 소결 합금은 명확한 결정립계, 낮은 기공률, 그리고 균일한 미세 구조를 가지고 있습니다. 이 방법은 신속한 평가에 적합하며, 세부적인 사항을 확인하기 위해 SEM 과 함께 사용해야 합니다.

5.3.2 주사전자현미경 분석 응용

주사전자현미경(SEM) 분석은 은-텅스텐 합금의 미세 구조를 특성화하는 효율적인 방법입니다. 전자빔과 시료의 상호작용을 통해 이미지를 생성하여 결정립 형태, 상 분포, 그리고 결함의 세부 정보를 보여줍니다. SEM 은 고해상도 관찰에 적합하며, 에너지 분산 분광법(EDS)과 결합하여 원소 분포 정보를 제공합니다.

시료 전처리에는 평평한 표면을 얻기 위한 절단, 연삭, 연마 작업이 포함됩니다. 금 또는 탄소 코팅은 전도성을 향상시키고 전자빔 대전 효과를 방지합니다. 시료는 SEM 시료 챔버에 넣고 진공 환경에서 전자빔의 안정성을 유지합니다. 가속 전압은 일반적으로 5~20kV 로 설정되며, 작동 거리는 배율에 따라 조정됩니다.

초점이 맞춰진 결정립 크기와 형태를 관찰합니다. 텅스텐 입자는 다각형 또는 구형이며, 은의 상 분포는 그물망 또는 응집체입니다. 배율은 수백 배에서 수만 배까지이며, 미세한 기공과 미세균열을 보여줍니다. EDS 분석은 은과 텅스텐의 함량 비율을 측정하고 계면에서 불순물이나 산화물을 식별합니다. 2 차 전자 이미지는 표면 형태를 강조하고, 반사 전자 이미지는 상 경계 대비를 향상시킵니다.

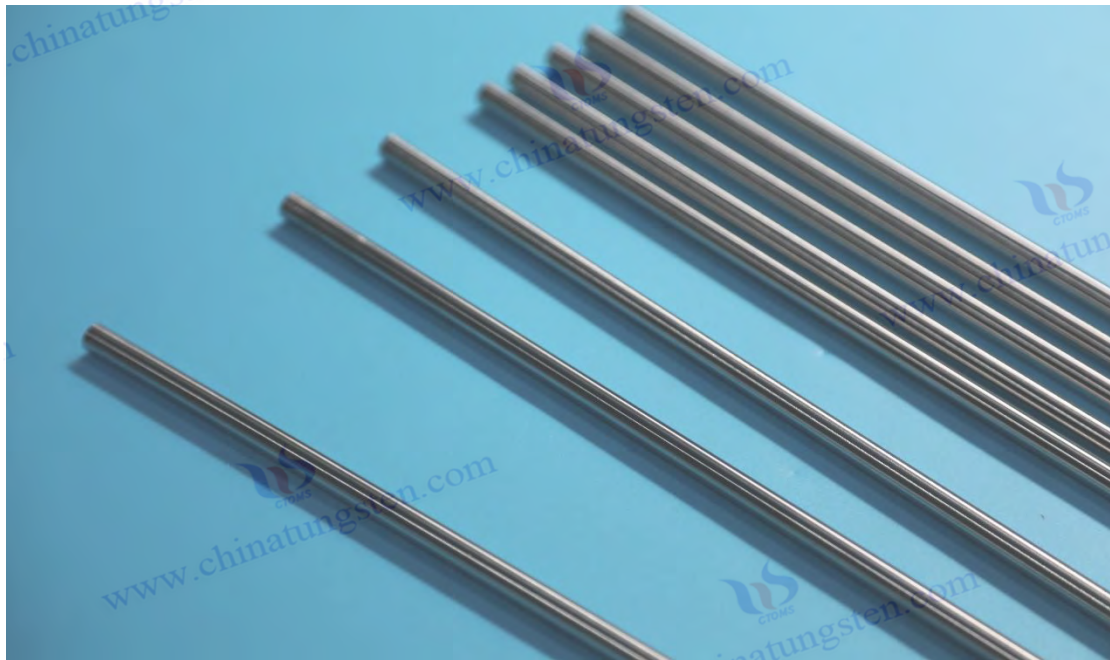
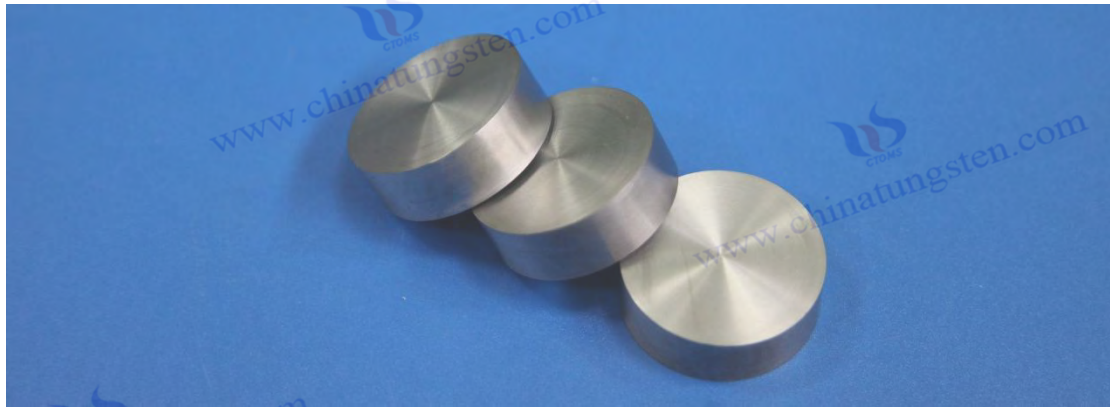
시험의 핵심은 전압과 전류의 정합입니다. 전압이 너무 높으면 시료가 손상될 수 있습니다. 오염을 방지하기 위해 시료는 깨끗해야 합니다. 데이터 수집에는 대표성을 보장하기 위한 다점 측정이 필요합니다. 관찰 결과, 최적화된 소결 합금은 기공률이 낮고 계면 결합이 양호하며, EDS 를 통해 균일한 상 분포를 확인할 수 있습니다. 응용 분야에는 결합 분석 및 상 상태 연구가 포함되며, 최적화 방향에는 동적 관찰 기능 향상을 위한 환경 SEM 개발이 포함됩니다.

5.3.3 X 선 회절에 의한 구조 분석

X 선 회절(XRD)은 은-텅스텐 합금의 결정 구조와 상 조성을 분석하는 중요한 기술입니다. X 선이 시료 격자와 상호 작용하여 회절 패턴을 생성하여 결정상, 결정립 방향 및 응력 상태를 밝힙니다. XRD 는 미세 구조 특성의 정량 분석에 적합합니다. 시료는 산란 간섭을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

피하기 위해 분말 또는 매끄러운 표면을 가진 평평한 블록으로 분쇄해야 합니다. 시료는 XRD 장비에 넣고, 산화로 인한 결과 영향을 방지하기 위해 진공 또는 불활성 분위기는 선택적으로 사용할 수 있습니다. X 선원은 Cu K α 방사선이며, 스캐닝 각도는 10°에서 90°까지이고, 스텝 크기는 분해능에 따라 조정됩니다. 분석 초점 결정상 식별, 은과 텅스텐의 회절 피크는 각각 면심 입방 및 체심 입방 구조에 해당합니다. 피크의 강도와 너비는 결정립 크기와 미세 변형을 반영합니다. Scherle 공식은 결정립 크기를 계산합니다. $D = K\lambda / (\beta \cos\theta)$, 여기서 D는 결정립 크기, β 는 피크 폭, θ 는 회절각입니다. 피크 위치 이동은 잔류 응력을 분석하고, 피크 분리는 여러 상의 공존을 나타냅니다. 테스트의 핵심은 장비 교정 및 장비 오류 제거입니다. 샘플 균일성은 결과에 영향을 미치므로 평균값을 얻으려면 여러 번의 테스트가 필요합니다. 관찰 결과, 최적화된 공정을 거친 합금은 회절 피크가 좁고, 결정립이 미세하며, 잔류 응력이 낮습니다. 응용 분야에는 상정량화 및 격자 결함 연구가 포함되며, 최적화 방향에는 분해능 향상을 위한 싱크로트론 방사선 XRD가 포함됩니다.



CTIA GROUP LTD 은텅스텐 합금

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: 은텅스텐 합금의 응용 분야

은텅스텐 합금은 뛰어난 전기 전도성, 열 전도성, 경도 및 내식성으로 인해 수요가 많은 여러 분야에서 폭넓은 응용 가능성을 보여 왔습니다. 독특한 미세 구조와 물리적 및 화학적 특성으로 인해 전기, 용접, 항공우주 산업과 같은 산업에 이상적인 소재입니다.

6.1 전기장에서의 은텅스텐 합금의 응용

은텅스텐 합금은 고전압 회로 차단기, 계전기, 저전압 전력 스위치 등 전기 분야의 핵심 부품에 널리 사용됩니다. 높은 전도성과 아크 침식 저항성은 대전류 및 빈번한 스위칭 요구를 충족합니다. 이 합금의 비자성 특성은 전자기 간섭을 방지하고, 경도와 내마모성은 접점 수명을 연장하여 전기 장비에 필수적인 소재입니다. 응용 분야는 산업 제어, 전력 전송, 가전제품 등이며, 성능 최적화를 통해 다양한 환경에서의 신뢰성을 지원합니다.

6.1.1 저전압 전력 스위치의 적용 이점

저전압 전력 스위치에서 은-텅스텐 합금의 장점은 특히 고전류 스위칭 및 아크 저항 조건에서 탁월한 종합적인 성능에 있습니다. 저전압 전력 스위치는 회로의 온/오프 제어에 사용되며, 잦은 작동과 아크 충격을 견뎌야 합니다. 은-텅스텐 합금은 높은 경도, 내접착성 및 전도성을 갖춰 이상적인 선택입니다. 스위치 접점에 이 합금을 사용하면 장비의 안전성과 수명이 크게 향상됩니다.

은의 높은 전도성은 낮은 저항 경로를 보장하고, 스위칭 중 에너지 손실을 줄이며, 작동 효율을 향상시킵니다. 텅스텐의 높은 용점과 경도는 아크 부식을 방지하고 특히 고주파 스위칭 상황에서 접점 수명을 연장합니다. 점착 방지 특성은 접점이 상대 재료에 달라붙는 것을 방지하여 안정적인 스위칭을 보장합니다. 최적화된 미세 구조를 가진 합금은 습하거나 황이 함유된 환경에서도 안정성을 유지하여 환경 적응력을 향상시킵니다. 실제 응용 분야에서 은-텅스텐 합금 접점은 저전압 전력 스위치, 특히 산업용 모터 제어 및 가전제품 보호에 적합합니다. 순은이나 구리 기반 합금과 같은 기존 소재에 비해 은-텅스텐 합금은 내마모성과 내아크성이 훨씬 뛰어나 유지보수 빈도를 줄여줍니다. 최적화 방안으로는 은-텅스텐 비율을 조정하여 전도성과 내구성의 균형을 맞추거나, 표면 코팅을 통해 내식성을 더욱 향상시키는 것이 있습니다.

6.1.1.1 저전압 전력 스위치 재료에 대한 성능 요구 사항

저전압 전력 스위치의 성능 요건은 재료에 따라 달라지며, 은-텅스텐 합금 적용 가능성을 직접적으로 결정합니다. 은-텅스텐 합금은 고전류, 빈번한 스위칭 및 아크 환경에서 신뢰성 요건을 충족해야 합니다. 성능 요건에는 전도성, 경도, 아크 내식성, 내접착성 및 내부식성이 포함되어 스위치의 안전성과 긴 수명을 보장합니다.

전도성은 주요 요건이며, 소재는 효율적인 전류 전송을 위해 낮은 저항 경로를 제공해야 합니다. 저전압 전력 스위치는 전원이 켜졌을 때 수백에서 수천 암페어의 전류를 흐르게

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

해야 합니다. 전도성이 부족하면 과열이나 에너지 손실이 발생하여 장비 효율에 영향을 미칠 수 있습니다. 은텅스텐 합금의 은상 네트워크는 이러한 요건을 충족하고 원활한 전류 흐름을 보장합니다.

경도는 핵심 특성이며, 접점은 기계적 마모와 아크 충격에 대한 내성을 가져야 합니다. 잦은 스위칭 동작은 표면 변형이나 재료 박리를 유발할 수 있으며, 경도가 부족한 재료는 고장 발생 위험이 높습니다. 텅스텐의 높은 경도는 은-텅스텐 합금에 견고한 지지력을 제공하여 고주파 접점 환경에 적응하고 수명을 연장합니다. 아크 침식에 대한 내성은 핵심 요건입니다. 스위치 분리 시 발생하는 아크는 재료를 녹이거나 증발시켜 접점 표면을 침식시킬 수 있습니다. 재료는 손실을 줄이기 위해 고온에서 안정성을 유지해야 합니다. 텅스텐 상의 높은 용점과 은-텅스텐 합금의 은 상의 열전도도는 아크 침식에 대한 내성을 효과적으로 유지하며 고전류 분리 응용 분야에 적합합니다.

점착 방지 성능은 안정적인 분리를 보장합니다. 기계적 접촉이나 아크 발생 시 접점이 접촉 재료에 점착되어 스위치 고장을 초래할 수 있습니다. 이 재료는 점착 특성이 낮습니다. 은텅스텐 합금의 텅스텐 골격과 은 습윤 최적화는 점착 위험을 줄이고 작동 안정성을 보장합니다.

내식성은 환경 적응성을 보장합니다. 스위치는 습기, 황 함유 또는 산업 환경에 노출될 수 있으며, 부식은 전도성과 기계적 특성을 저하시킬 수 있습니다. 은텅스텐 합금의 텅스텐 상의 내산화성과 은 상의 안정성은 이러한 요건을 충족하며, 최적화된 미세 구조는 내구성을 더욱 향상시킵니다.

이러한 성능 요건은 저전압 전력 스위치 재료에 대한 엄격한 기준을 구성합니다. 은-텅스텐 합금은 미세 구조 및 조성 설계를 통해 이러한 요건을 효과적으로 충족하며, 전기장에 대한 안정적인 지지력을 제공합니다.

6.1.1.2 저전압 전력 스위치에서의 은텅스텐 합금의 응용

은텅스텐 합금은 주로 저전압 전력 스위치의 주요 접점 부품에 사용되며, 이는 스위치의 개폐 성능과 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 특정 적용 부품으로는 가동 접점, 정지 접점, 아크 절연 접점 등이 있으며, 각 부품은 서로 다른 기능적 요건을 충족해야 합니다.

가동 접점은 저전압 전원 스위치의 가동 접점 부품입니다. 은-텅스텐 합금은 높은 전도성과 아크 부식 저항성으로 인해 널리 사용됩니다. 가동 접점은 스위치가 닫히고 열릴 때 기계적 충격과 아크 작용을 받습니다. 합금의 경도는 마모를 방지하고, 은상은 저저항 전류 전달을 보장합니다. 정지 접점은 가동 접점과 쌍을 이루어 작동하는 고정 접점 부품입니다. 은-텅스텐 합금의 높은 내마모성과 내점착 특성은 장기적으로 안정적인 접촉 신뢰성을 보장합니다. 아크 차단 접점은 대전류 차단 시 아크를 차단하는 데 사용됩니다. 합금의 높은 용점과 내산화성은 아크 용해를 효과적으로 줄이고 부품의 수명을 연장합니다. 이러한 부품의 선정은 은-텅스텐 합금의 미세 구조적 특성을 기반으로 합니다. 텅스텐 골격은 기계적 지지력을 제공하고 은 네트워크는 전도성을 최적화합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

최적화된 설계에서, 접촉 표면은 고주파 작동이나 습한 환경에 적응하기 위해 전기화학적 연마 또는 코팅을 통해 더욱 강화될 수 있습니다. 실제 적용 분야에서는 산업용 모터 제어 및 가정용 회로 차단기에서 가동 접점과 정접 점점의 조합이 우수한 성능을 발휘하며, 특히 고전류 환경에서는 아크 절연 접점이 매우 중요합니다.

6.1.1.3 다른 재료에 비해 저전압 전원 스위치에 PCB 재료를 사용하는 이점

순은, 구리 기반 합금, 은-카드뮴 산화물 등 일반적으로 사용되는 다른 재료와 비교할 때, 은-텅스텐 합금은 저전압 전력 스위치에 상당한 적용 이점을 제공합니다. 이러한 이점은 고유한 특성 조합에 기인하며, 특히 수요가 높은 환경에 적합합니다.

은-텅스텐 합금은 순은에 비해 경도와 아크 내식성이 우수합니다. 순은은 전도성이 우수하지만 부드럽고 마모가 쉽습니다. 아크 작용 시 빠르게 녹고 수명이 짧습니다. 텅스텐을 첨가하면 은-텅스텐 합금의 경도가 향상되고 절삭 저항성이 우수하여 점점의 수명이 연장되며, 특히 잦은 스위칭 상황에서 더욱 그렇습니다. 순은은 습한 환경에서 산화되기 쉽습니다. 은-텅스텐 합금의 텅스텐상은 산화 방지 기능을 제공하고 환경 적응성을 향상시킵니다.

은-텅스텐 합금은 구리 기반 합금에 비해 전도성과 점착 방지 특성이 우수합니다. 구리 기반 합금은 은보다 경도가 높지만 전도성이 낮고 저항이 높으며 발열이 발생하기 쉽습니다. 은-텅스텐 합금의 은상 네트워크는 저항과 에너지 손실을 줄이고, 점착 방지 특성은 점점 점착을 방지하여 안정적인 분리를 보장합니다. 구리 기반 합금은 아크 발생 시 용융 및 변형되기 쉬운 반면, 은-텅스텐 합금의 고용점 텅스텐상은 아크에 대한 저항성이 뛰어나 고전류 응용 분야에 적합합니다.

은-카드뮴 산화물과 비교했을 때, 은-텅스텐 합금은 무독성이며 내식성이 더 우수합니다. 은-카드뮴 산화물은 아크 및 용접 저항성이 우수하지만, 카드뮴 증기는 독성이 있어 환경 규제에 의해 사용이 제한됩니다. 은-텅스텐 합금은 유해 원소를 포함하지 않아 환경 요건을 충족합니다. 텅스텐 상은 특히 황 함유 또는 산성 환경에서 산화카드뮴보다 내식성이 더 우수합니다. 은-카드뮴 산화물은 높은 전도성을 가지고 있지만, 장기간 사용 시 노화되기 쉽습니다. 은-텅스텐 합금의 미세 구조 최적화는 장기적인 신뢰성을 보장합니다.

이러한 장점 덕분에 은-텅스텐 합금은 저전압 전력 스위치에서 기존 소재를 대체할 수 있습니다. 최적화 방안에는 나노 크기의 분말을 이용한 성능 향상이나 아크 저항을 강화하기 위한 복합 코팅 개발이 포함됩니다.

6.1.2 고전압 스위치용 전기 합금 수요

고전압 스위치용 전기 합금은 전력 시스템의 안전한 작동을 보장하기 위해 고전류, 강한 아크, 극한 환경에 견딜 수 있도록 매우 높은 성능 요건을 충족해야 합니다. 후보

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

소재로서 은-텅스텐 합금은 고전압 스위치의 특정 요건을 충족하여 애플리케이션에 대한 기술 지원을 제공해야 합니다.

전기 전도성은 기본적인 요건입니다. 고전압 스위치는 수천 암페어의 전류를 차단할 때 열 영향을 줄이기 위해 저저항 경로를 필요로 합니다. 은-텅스텐 합금의 은상 네트워크는 이러한 요건을 충족하고 효율적인 전류 전달을 보장합니다. 아크 부식에 대한 저항성은 매우 중요합니다. 강한 아크는 기존 재료를 녹일 수 있습니다. 이 합금의 고용점 텅스텐상과 열전도성 은상은 용해를 방지하고 수명을 연장합니다.

경도와 내마모성은 기계적 안정성을 지원합니다. 고전압 스위치의 가동 접점과 정접점은 고압 하에서 자주 접촉하므로 마모와 변형에 대한 저항성이 필요합니다. 텅스텐의 높은 경도는 견고한 지지력을 제공하고, 은의 연성은 응력을 완화하여 동적 작동에 적합합니다. 점착 방지 성능은 안정적인 분리를 보장합니다. 접점은 높은 아크 온도에서 점착될 수 있지만, 은-텅스텐 합금의 낮은 점착 특성은 고장을 방지합니다.

고온 및 내식성은 극한 환경에 적합합니다. 고전압 스위치는 고온, 습도 또는 산업 환경에 노출될 수 있으며, 합금은 산화 및 화학적 부식에 대한 저항성이 필요합니다. 텅스텐의 내산화성과 은의 안정성은 이러한 요건을 충족하며, 최적화된 미세 구조는 내구성을 더욱 향상시킵니다. 비자성 특성은 전자기 간섭을 방지하고 고전압 시스템의 정밀한 제어를 보장합니다.

이러한 요구는 고전압 스위치용 은텅스텐 합금 개발을 촉진합니다. 최적화 방향에는 구성비 조정 또는 기능적 경사 설계 채택을 통해 더 높은 전류 및 환경적 과제를 충족하는 것이 포함됩니다.

6.1.2.1 고전압 스위치의 작업 환경 및 전기 합금에 대한 특수 요구 사항

고전압 스위치의 작동 환경은 고온, 고압, 강한 아크 및 다양한 부식성 매체를 포함하는 복잡하고 가혹합니다. 따라서 전기 합금의 장기적인 안정적인 작동을 보장하기 위해서는 특별한 성능 요건이 요구됩니다. 이러한 작동 환경과 요건은 재료 선택 및 최적화 방향에 직접적인 영향을 미칩니다.

작동 환경은 고전압 전계와 강한 전류를 포함합니다. 스위치는 수천 암페어에서 수만 암페어의 전류를 차단해야 하며, 이로 인해 고온 아크가 발생하고 온도는 최대 수천 도에 달할 수 있습니다. 환경 조건으로는 산업 환경, 습하거나 황을 함유한 지역, 그리고 이산화황과 같은 부식성 가스가 있으며, 이러한 가스는 재료의 열화를 가속화할 수 있습니다. 스위치 작동 시 기계적 진동과 충격이 흔히 발생하며, 극심한 온도 변화는 재료 응력을 증가시킵니다. 실외 적용 분야는 자외선 및 풍화 작용의 영향을 받으며, 실내 적용 분야는 밀폐되어 있지만 습도가 높은 환경일 수 있습니다. 특수 요구 사항으로는 고전류 전송을 지원하고, 저항 가열을 줄이며, 효율을 보장하기 위한 초고전도도가 있습니다. 아크 내식성이 핵심입니다. 아크 식마는 접촉 불량을 유발할 수 있으므로 재료는 고온에서 안정성을 유지해야 합니다. 경도와 내마모성은 기계적 마모 및 아크 충격에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

대한 저항성을 제공하고 접촉 수명을 연장합니다. 점착 방지 성능은 안정적인 분리를 보장하고 점점 점착으로 인한 고장을 방지합니다. 고온 내성 및 내식성은 극한 환경에도 견딜 수 있어야 하며, 합금은 산화 및 화학적 공격에 대한 내성을 가져야 합니다. 비자성 특성은 전자기 간섭을 방지하고 고전압 시스템의 정확성을 보장합니다. 미세 구조의 일관성은 국부적 고장 위험을 줄이며, 공정 최적화가 핵심입니다.

이러한 요구 사항은 고성능 전기 합금의 개발을 촉진했으며, 은-텅스텐 합금은 구성 및 공정 조정을 통해 이러한 요구 사항을 충족해야 합니다.

6.1.2.2 고전압 스위치 요구 사항 충족을 위한 은-텅스텐 합금의 성능

은-텅스텐 합금은 고유한 특성 조합을 통해 고전압 스위치의 까다로운 요구 사항을 효과적으로 충족합니다. 은상과 텅스텐상의 시너지 효과는 전도성, 아크 부식 저항성 및 내구성이 뛰어나 고전압 애플리케이션에 안정적인 지원을 제공합니다.

은 상 네트워크는 초고전도도를 제공합니다. 은의 높은 전자 밀도는 낮은 저항 경로를 확보하고, 높은 전류 전달을 지원하며, 열 영향을 줄여줍니다. 텅스텐의 높은 융점은 아크 부식 저항성을 향상시킵니다. 텅스텐 골격은 높은 아크 온도에서도 안정적으로 유지됩니다. 은 상의 열전도도는 열을 빠르게 분산시키고 삭마 손실을 줄여줍니다. 실험 결과, 고전류 분리 시 은-텅스텐 합금 점점의 표면 손상은 구리 기반 합금보다 훨씬 낮은 것으로 나타났습니다.

경도와 내마모성은 텅스텐 입자에 의해 뒷받침되며, 이 합금은 기계적 충격과 잦은 접촉 마모에 대한 내성을 갖추고 있어 점점의 수명을 연장합니다. 은의 연성은 응력을 완화하고, 미세 구조 최적화를 통해 경도가 균일해져 동적 작동에 적합합니다. 텅스텐의 낮은 점착 특성과 은의 습윤 최적화를 통해 점착 방지 성능을 달성합니다. 아크 작용 시 접점이 이중 재질에 쉽게 부착되지 않아 안정적인 분리를 보장합니다.

고온 저항성은 텅스텐의 높은 녹는점과 은의 안정성에 기인합니다. 이 합금은 극한 온도에서도 구조적 무결성을 유지합니다. 내식성은 텅스텐의 산화 방지성과 은의 화학적 안정성에 의해 보장됩니다. 최적화된 소결 공정은 기공률을 줄이고 황 함유 또는 습한 환경에서 성능을 향상시킵니다. 비자성 특성은 전자기 간섭을 방지하며 고전압 시스템의 정밀 제어에 적합합니다. 미세 구조 최적화는 성능을 더욱 향상시키고, 치밀한 구조는 결함을 줄이며, 나노 크기의 분말은 입자를 미세화하고 일관성을 향상시킵니다. 최적화 방향에는 더 높은 전류 및 환경적 과제를 충족하기 위한 기능성 경사 설계 또는 부식 방지 코팅 개발이 포함됩니다.

6.1.3 릴레이 및 공기 회로 차단기의 적용

계전기 및 기중 회로 차단기에 은텅스텐 합금을 적용하는 것은 전기 분야에서 그 다재다능함을 보여줍니다. 이 합금의 높은 전도성과 내아크성은 이러한 장치의 신뢰성 및 긴 수명 요건을 충족하며, 산업용 제어 및 전력 보호 분야에 널리 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

릴레이에서는 은-텅스텐 합금이 가동 접점과 정접점에 사용되어 전류 변화에 빠르게 반응합니다. 릴레이의 빈번한 스위칭은 미세 아크를 발생시킵니다. 이 합금의 높은 경도와 아크 내식성은 접점의 수명을 연장하며, 은상은 저저항 신호 전송을 보장합니다. 비자성 특성은 전자기 간섭을 방지하며 자동 제어 시스템과 같은 전자기적으로 민감한 환경에 적합합니다. 미세 구조를 최적화한 후, 접점은 고주파 작동에서도 안정성을 유지합니다.

기중 회로 차단기에서는 주 접점과 아크 차단 접점에 은-텅스텐 합금을 사용하여 수백에서 수천 암페어의 전류를 차단합니다. 주 접점은 합금의 전도성과 내마모성을 활용하여 효율적인 스위칭을 보장하며, 아크 차단 접점은 고용점 텅스텐 상을 사용하여 강한 아크 부식을 견딥니다. 이 합금은 대기 환경에서 우수한 산화 저항성을 가지며 실외 또는 산업용으로 적합합니다. 실제 사용 시 기중 회로 차단기 접점의 수명이 크게 연장되고 유지 보수 빈도가 감소합니다. 높은 신뢰성, 긴 수명, 그리고 환경 적응성 등의 장점을 제공합니다. 최적화 방안으로는 은-텅스텐 비율을 조정하여 전도성과 내구성의 균형을 맞추거나, 표면 처리를 통해 내식성을 향상시키는 것이 있습니다.

6.1.3.1 릴레이의 동작 원리 및 접점 재료에 대한 요구 사항

릴레이는 전자기 원리를 통해 회로의 켜짐과 꺼짐을 제어합니다. 작동 원리는 코일에 전류가 공급되어 자기장을 생성하고, 이를 통해 이동 접점이 정지 접점과 접촉하거나 분리되어 신호 또는 전류 스위칭을 수행하는 것입니다. 릴레이의 성능은 접점 소재의 신뢰성과 내구성에 따라 결정되며, 이는 소재에 대한 특정 요건을 요구합니다. 작동 원리는 코일에 전원이 공급되면 자기장이 전기자를 끌어당겨 가동 접점과 정 접점이 닫히고 회로가 연결됩니다. 전원이 꺼지면 자기장이 사라지고 가동 접점이 스프링에 의해 분리되면서 회로가 분리됩니다. 잦은 작동은 미세한 아크를 발생시키므로 접점은 기계적 충격과 열 영향을 견뎌야 합니다. 릴레이는 자동화 제어 및 가전제품에 널리 사용되며, 작동 환경에는 습기나 전자기 간섭이 발생할 수 있습니다.

접촉 재료의 요건에는 낮은 저항 경로를 확보하고 효율적인 신호 전송을 지원하는 높은 전도성이 포함됩니다. 미세한 아크가 재료를 태울 수 있으므로 고온에서 안정성을 유지해야 하므로 아크 내식성이 핵심입니다. 경도와 내마모성은 기계적 접촉 마모를 방지하고 사용 수명을 연장합니다. 점착 방지 특성은 접촉 점착을 방지하고 안정적인 분리를 보장합니다. 내부식성은 습하거나 황이 함유된 환경에 적응하여 산화가 전도도에 영향을 미치지 않도록 합니다. 비자성 특성은 전자기 간섭을 방지하고 정밀한 제어를 보장합니다. 미세 구조의 일관성은 국부적인 고장을 줄이며, 공정 최적화는 필수 조건입니다. 이러한 요구 사항은 릴레이의 높은 효율성과 긴 수명을 보장해야 하며, 은텅스텐 합금은 성능 매칭을 통해 이러한 요구 사항을 충족해야 합니다.

6.1.3.2 릴레이에 은텅스텐 합금을 적용한 효과

은-텅스텐 합금은 릴레이에 적용 시 그 효과가 현저하며, 그 성능상 이점은 가동 접점과 정지 접점에 충분히 반영되어 고주파 동작과 전자기에 민감한 환경의 요구를 충족시키고 설비의 신뢰성을 향상시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

은상의 높은 전도성은 낮은 저항 경로를 제공하여 신호 전송 효율을 보장하고 릴레이의 빠른 응답 요구 사항을 충족합니다. 텅스텐의 높은 용점과 경도는 미세 아크 부식을 방지하고 특히 고주파 스위칭 상황에서 접점 수명을 연장합니다. 텅스텐 골격과 은 습윤의 최적화를 통해 점착 방지 성능을 달성했습니다. 접점은 기계적 접촉이나 아크 작용 시 쉽게 들러붙지 않아 안정적인 분리를 보장합니다. 비자성 특성은 전자기 간섭을 방지하며 자동화 제어 및 통신 장비에 적합합니다.

최적화된 미세 구조를 가진 합금은 습한 환경에서도 안정성을 유지하고, 치밀한 구조는 부식성 매체의 침투를 줄이며, 순은 접점보다 내식성이 우수합니다. 실제 적용 분야에서는 은-텅스텐 합금 접점은 산업용 릴레이 및 가전제품 보호 장치에 적합하며, 기존 소재보다 수명이 몇 배 더 깁니다. 실험 결과, 고주파 작동 후 표면 손상이 현저히 감소하고 전도도가 일정하게 유지되는 것으로 나타났습니다. 최적화 방향으로는 전도성을 높이기 위해 은- 텅스텐 비율을 조정하거나, 아크 저항을 향상시키기 위해 나노 크기의 분말을 사용하여 입자를 미세화하는 것이 있습니다. 릴레이에서 은-텅스텐 합금의 적용 효과는 전기 제어 분야에서의 적용에 대한 신뢰할 수 있는 근거를 제공합니다.

6.1.3.3 공기 회로 차단기의 성능 요구 사항 및 은-텅스텐 합금의 호환성

공기 회로 차단기는 공기를 아크 소호 매체로 사용하여 회로를 차단합니다. 이 차단기의 성능 요건은 대전류 전달, 아크 내식성, 그리고 장기 안정성에 중점을 둡니다. 은-텅스텐 합금의 특성은 이러한 요건을 충족하는 데 매우 적합하여 탁월한 적용 가능성을 보여줍니다. 성능 요건에는 높은 전도성, 수백 암페어에서 수천 암페어까지의 전류 전송 지원, 그리고 저항 열 감소가 포함됩니다. 아크 내식성이 핵심입니다. 대전류를 차단하면 강한 아크가 발생하므로 고온 절삭에 대한 내성이 필요합니다. 경도와 내마모성은 접점이 기계적 충격과 잦은 작동을 견딜 수 있도록 보장합니다. 점착 방지 특성은 접점 점착을 방지하고 안정적인 분리를 보장합니다. 고온 내성 및 내식성은 산업 환경이나 실외 환경에 적응하여 사용 수명을 연장합니다. 미세 구조의 일관성은 국부적인 고장을 줄이며, 공정 최적화가 핵심입니다. 은-텅스텐 합금의 적응성은 은상의 높은 전도성으로 전류 전송 요건을 충족하고, 텅스텐의 높은 용점과 경도는 강한 아크 부식에 대한 저항성을 제공하며, 접점 수명을 크게 연장하는 데 반영됩니다. 은의 열전도도는 열을 분산시키고, 텅스텐 골격의 최적화를 통해 고전류 단로에 적합한 점착 방지 성능을 달성합니다. 텅스텐의 내산화성과 은의 안정성은 내식성을 향상시키고, 치밀한 미세 구조는 결합을 줄여 습하거나 황을 함유한 환경에 적합합니다. 실제 적용에서 은-텅스텐 합금 접점은 기중 회로 차단기, 특히 산업용 배전 및 건물 보호에 적합하며, 유지보수 간격이 길어집니다. 최적화 방향에는 국부 성능 향상을 위한 기능적 경사 설계 개발 또는 표면 코팅을 통한 내식성 향상이 포함됩니다. 은-텅스텐 합금의 뛰어난 적응성은 기중 회로 차단기 분야에서 폭넓은 적용을 위한 견고한 기반을 제공합니다.

6.1.4 절연 스위치 및 접지 스위치에서의 응용

단로기와 접지 스위치에 은-텅스텐 합금을 사용하는 것은 고전압 전기 장비에서 은-텅스텐 합금이 중요한 역할을 한다는 것을 보여줍니다. 이러한 스위치는 회로의 안전한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

절연 및 접지 보호를 보장하는 데 사용됩니다. 은-텅스텐 합금은 높은 전도성, 내아크성, 그리고 내구성을 갖춰 이상적인 소재입니다. 이러한 부품에 이 합금을 사용하면 특히 실외 또는 산업 환경에서 장비의 안전성과 작동 안정성이 향상됩니다.

6.1.4.1 절연 스위치 및 접지 스위치의 기능 및 재료 요구 사항

단로기와 접지 스위치는 전력 시스템에서 중요한 기능을 수행하며, 안전한 작동과 장기적인 신뢰성을 보장하기 위해 재료 성능에 대한 구체적인 요구 사항을 제시합니다. 이러한 기능과 요구 사항은 재료 선택 및 최적화에 직접적인 영향을 미칩니다.

절연 스위치의 기능은 부하 전류 없이 회로를 분리하고, 가시적인 절연 지점을 제공하며, 오작동이나 유지보수 시 감전 위험을 방지하는 것입니다. 접지 스위치는 장비나 회선을 접지하고, 잔류 전하를 방출하며, 사람과 장비의 안전을 보호하는 데 사용됩니다. 두 스위치 모두 고전압 환경에서 작동하며 아크, 기계적 충격, 극한의 기후에 노출될 수 있습니다.

재료 요건에는 저저항 경로 확보, 전류 전달 지원, 열 영향 감소를 위한 높은 전도성이 포함됩니다. 아크 침식 저항성이 핵심입니다. 단선 또는 접속 시 아크가 발생할 수 있으므로 고온 삭마에 대한 저항성이 필수적입니다. 경도와 내마모성은 기계적 마모와 잦은 작동에 대한 내성을 제공하여 수명을 연장합니다. 점착 방지 특성은 점접 접촉을 방지하고 안정적인 작동을 보장합니다. 내식성과 내후성은 비, 자외선 또는 산업 환경과 같은 실외 환경에 적응합니다. 비자성 특성은 전자기 간섭을 방지하고, 미세 구조의 일관성은 국부적 고장을 줄이며, 공정 최적화는 필수 조건입니다.

이러한 요구 사항은 차단기와 접지 스위치의 안전성과 내구성을 보장하며, 은-텅스텐 합금은 성능 일치를 통해 이러한 요구 사항을 충족해야 합니다.

6.1.4.2 절연 스위치 및 접지 스위치에서 은-텅스텐 합금의 장점

절연 스위치 및 접지 스위치에서 은-텅스텐 합금의 장점은 탁월한 성능 조합, 특히 고전압 및 실외 환경에서의 성능에 있으며, 이는 장비의 신뢰성을 크게 향상시킵니다. 은-상 네트워크는 높은 전도성을 제공합니다. 은의 높은 전자 밀도는 낮은 저항 경로를 보장하고, 효율적인 전류 전송을 지원하며, 절연 스위치 및 접지 스위치의 에너지 손실을 줄입니다. 텅스텐의 높은 용점과 경도는 이 합금이 아크 부식에 매우 강하다는 것을 보여줍니다. 분리 또는 연결 시 발생하는 아크는 점접을 녹이기 어려워 서비스 수명이 연장됩니다. 실제 시험 결과, 아크 작용으로 인한 은-텅스텐 합금 점접의 표면 손상은 구리 기반 재료보다 훨씬 낮은 것으로 나타났습니다.

경도와 내마모성은 텅스텐 입자에 의해 뒷받침됩니다. 이 합금은 잦은 작동으로 인한 기계적 충격과 마모에 강하며, 실외 환경에서의 진동 및 풍화 작용에도 적합합니다. 은의 연성은 응력을 완화하고, 미세 구조를 최적화하여 점접의 내구성을 향상시킵니다. 텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

끌력과 은 습윤성의 최적화를 통해 접착 방지 성능을 달성합니다. 작동 중 접점이 이중 소재에 쉽게 부착되지 않아 안정적인 분리를 보장합니다.

내식성과 내후성은 옥외 사용에 유리한데, 텅스텐의 내산화성과 은의 안정성은 비, 자외선 또는 산업 환경에서 부식을 방지합니다. 치밀한 미세 구조는 기공률을 줄이고 부식성 매체의 침투를 줄이며, 최적화된 소결 합금은 해안 지역이나 산업 지역에서 우수한 성능을 발휘합니다. 비자성 특성은 전자기 간섭을 방지하고 고전압 장비의 정밀 제어를 보장합니다.

실제 적용 분야에서 은-텅스텐 합금 접점은 고전압 단로기 및 접지 스위치, 특히 유지 보수 간격이 길어지고 안전 성능이 향상되는 송전선 및 변전소에서 우수한 성능을 발휘합니다. 최적화 방안에는 은-텅스텐 비율을 조정하여 내후성을 강화하거나, 부식 방지 코팅을 통해 성능을 더욱 향상시키는 것이 포함됩니다. 은-텅스텐 합금의 적용 이점은 단로기 및 접지 스위치에서 널리 사용될 수 있는 견고한 기반을 제공합니다.

6.2 전자 분야에서 은텅스텐 합금의 응용

은텅스텐 합금은 뛰어난 전기 전도성, 열 전도성, 내마모성으로 전자 분야에서 널리 사용되고 있으며, 특히 전기 가공, 방열 부품 및 커넥터에 널리 사용됩니다. 은텅스텐 합금의 미세 구조와 물리적, 화학적 특성은 고정밀 및 고온 환경의 요구에 적합하여 전자 장비의 신뢰성과 성능을 향상시킵니다.

6.2.1 EDM 전극의 성능 요구 사항 및 응용 분야

전기가공 전극 소재로서 은-텅스텐 합금은 전기 스파크 가공(EDM) 및 전기화학 가공(ECM)에 우수한 성능을 발휘하며, 그 성능은 가공 정확도, 효율 및 전극 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 전기가공 전극은 아크 또는 전기화학 반응을 통해 금속 재료를 제거하고 고정밀 성형을 달성하는 데 사용됩니다. 합금의 전도성과 내마모성은 핵심 요소입니다.

6.2.1.1 전기가공 기술 용 전극재료의 성능지수 요구사항

전기 가공 공정은 가공 품질과 장비 내구성을 보장하기 위해 전극 소재의 성능 지수에 대한 높은 요구 조건을 충족해야 합니다. 성능 지수는 가공 효율, 표면 품질, 전극 손실에 직접적인 영향을 미치므로 특정 공정에 맞춰 조정해야 합니다.

높은 전도성은 기본 요건입니다. 전극은 효율적인 전류 전달을 지원하고 에너지 손실을 줄이기 위해 낮은 저항 경로를 제공해야 합니다. 방전 가공(EDM)에서는 전류 밀도가 높고 전도성이 부족하면 아크 불안정성이 발생하여 가공 정밀도에 영향을 미칠 수 있습니다. 아크 침식에 대한 저항성은 매우 중요합니다. 아크의 고온은 전극 재료를 녹이거나 증발시킬 수 있으며, 높은 에너지 밀도에서도 전극 재료는 안정적으로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

유지되어야 합니다. 경도와 내마모성은 기계적 마모와 아크 충격에 대한 저항성을 높여 특히 반복 가공 시 전극의 수명을 연장합니다.

고착 방지 성능은 전극이 공작물에 달라붙는 것을 방지하고 가공 공정의 연속성을 보장합니다. 고온 저항성은 아크로 인해 발생하는 국부적인 고온에 적응하여 재료 변형이나 파손을 방지합니다. 내부식성은 전해액이나 가공 환경에서 발생하는 화학적 침식에 대응하고 전극 표면의 무결성을 유지합니다. 미세 구조의 일관성은 국부적인 손실을 줄이고 재료 전처리를 최적화하는 필수 조건입니다. 이러한 지표들은 전기 가공의 높은 효율과 정밀성을 뒷받침하며, 전극 재료는 성능 최적화를 통해 이러한 요구 사항을 충족해야 합니다.

6.2.1.2 가공 전극으로서 은-텅스텐 합금의 성능 이점

전기가공 전극으로서 상당한 성능 이점을 제공합니다. 은상과 텅스텐상의 시너지 효과는 높은 정밀도와 내구성 요건을 충족하고 가공 효율을 향상시킵니다. 은 상 네트워크는 높은 전도성을 제공합니다. 은의 높은 전자 밀도는 낮은 저항 경로를 보장하고, 효율적인 전류 전달을 지원하며, 아크 불안정성을 줄여줍니다. 텅스텐의 높은 용점과 경도는 이 합금이 아크 침식에 대한 탁월한 내성을 갖도록 합니다. 텅스텐 골격은 높은 아크 온도에서도 안정적으로 유지되며, 은 상의 열전도도는 열을 빠르게 분산시켜 전극 손실을 줄여줍니다. EDM에서 은-텅스텐 합금 전극의 손실률은 구리 전극보다 낮은 것으로 실험 결과 나타났습니다.

텅스텐 입자는 경도와 내마모성을 강화하며, 이 합금은 아크 충격과 기계적 마모에 강하여 전극의 수명을 연장합니다. 은의 연성은 응력을 완화하고, 미세 구조를 최적화하여 내구성을 향상시킵니다. 텅스텐의 낮은 점착 특성과 은의 최적화된 습윤성을 통해 점착 방지 성능을 달성합니다. 전극이 공작물에 쉽게 달라붙지 않아 가공 연속성을 보장합니다.

고온 저항성은 텅스텐의 높은 용점에 기인하며, 이 합금은 아크의 국부적인 고온에서도 구조적 무결성을 유지합니다. 내식성은 텅스텐의 산화 방지성과 은의 안정성에 의해 보장됩니다. 최적화된 소결은 기공률을 줄이고 전해질 환경에 적응합니다. 미세 구조 밀도는 결함을 줄이고, 나노 크기의 분말은 입자를 미세화하고 일관성을 향상시킵니다.

실제 적용 분야에서 은-텅스텐 합금 전극은 정밀 금형 및 복잡한 부품 가공에 우수한 성능을 발휘하며, 기존 소재보다 가공 정확도와 표면 품질이 우수합니다. 최적화 방안에는 은-텅스텐 비율을 조정하여 전도도를 향상시키거나, 표면 코팅을 통해 손실을 더욱 줄이는 것이 포함됩니다.

6.2.1.3 다양한 EDM 시나리오에서의 은-텅스텐 합금 전극 선택

은-텅스텐 합금 전극의 선택은 전기 가공 시나리오의 공정 요구 사항 및 작업물 특성에 따라 최적화되어야 하며, 은-텅스텐 비율과 미세 구조는 다양한 응용 분야 요구 사항을 충족하도록 조정되어야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

전기 스파크 가공(EDM)에서는 텅스텐 함량이 높은 은-텅스텐 합금(예: 70% W-30% Ag)이 선택됩니다. 이 합금은 아크 침식에 대한 강한 저항성을 가지며 티타늄 합금이나 강철과 같은 고용점 금속 가공에 적합합니다. 낮은 손실과 긴 수명이 장점으로, 정밀 금형 및 복잡한 기하학적 형상 가공에 적합합니다. 소결 공정을 최적화하면 입자가 미세화되고 내구성이 향상됩니다. 전해 가공(ECM)에서는 은 함량이 높은 은-텅스텐 합금(예: 30% W-70% Ag)이 선택됩니다. 이 합금은 전도성이 우수하며 대면적 전해 박리에 적합합니다. 은 상 네트워크는 효율적인 전류 분배를 지원하고 텅스텐 골격은 기계적 지지력을 제공하며 연속 가공에 적합합니다. 표면 연마는 부식을 줄이고 미세 구조를 최적화하여 안정성을 향상시킵니다. 미세 전기 기계 가공에서는 나노 스케일 은-텅스텐 합금이 선택됩니다. 미세 입자와 높은 미세 구조적 일관성을 갖추고 있어 미세 부품 및 고정밀 가공에 적합합니다. 저손실 및 내소착 성능이 뛰어나며, 최적화 방향에는 전도성과 내마모성의 균형을 맞추는 기능적 경사 설계가 포함됩니다.

실제 적용 분야에서 은-텅스텐 합금 전극은 항공 부품 및 전자 부품 가공에 우수한 성능을 발휘합니다. 전극 선정은 공정 변수와 소재를 기반으로 합니다. 최적화 방향에는 적응성 향상을 위한 지능형 선정 시스템 개발이 포함됩니다.

6.2.2 마이크로 전자 재료의 역할

은텅스텐 합금은 마이크로일렉트로닉스 분야, 특히 패키징 및 연결 부품 분야에서 핵심적인 역할을 합니다. 높은 전도성과 열 관리 능력은 고밀도 집적 회로의 성능 요건을 충족합니다. 본 합금의 미세 구조 최적화는 미크론 단위의 정밀성 요건을 충족하고, 최신 전자 기기의 소형화 및 고효율화 추세에 부합합니다.

6.2.2.1 마이크로 전자 분야의 재료에 대한 정밀도 요구 사항

마이크로전자 분야는 미크론 단위 부품의 제조 및 작동을 지원하고 장비의 효율성과 신뢰성을 보장하기 위해 재료의 정밀성에 대한 요구가 매우 높습니다. 이러한 정밀성 요건은 패키징 및 연결 성능에 직접적인 영향을 미치며, 재료 특성을 통해 충족되어야 합니다.

치수 정확도는 핵심 요건입니다. 재료는 칩과 회로 기판의 미세 구조에 맞춰 미크론 또는 나노미터 수준의 가공 및 조립을 달성해야 합니다. 효율적인 신호 전송을 지원하고 저항으로 인한 신호 손실을 줄이려면 전기 전도도가 매우 높아야 합니다. 열 전도도는 열 관리의 핵심입니다. 마이크로전자 장치는 고밀도 작동 시 많은 열을 발생시키며, 재료는 과열 및 고장을 방지하기 위해 열을 빠르게 방출해야 합니다.

높은 기계적 안정성이 요구되며, 장기적인 구조적 무결성을 유지하기 위해 재료는 미세 진동 및 열 팽창으로 인한 응력을 견뎌야 합니다. 내부식성은 포장 환경의 습기나 화학 물질에 대한 내성을 갖춰 성능 저하를 방지합니다. 미세 구조의 일관성은 국부적 결함을 줄이고 전기적 및 열적 특성의 균일성을 보장합니다. 낮은 자기적 특성은 전자기 간섭을 방지하며 고감도 전자 부품에 적합합니다. 이러한 요구 사항은 고정밀 소재의 개발을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

촉진했으며, 은-텅스텐 합금은 마이크로 전자공학의 요구를 충족하도록 제조를 통해 최적화되어야 합니다.

6.2.2.2 마이크로 전자 패키징에서의 은-텅스텐 합금의 응용

은텅스텐 합금은 마이크로전자 패키징에 널리 사용됩니다. 열전도도와 치수 안정성이 뛰어나 고성능 칩의 열 관리 및 구조적 신뢰성을 향상시키고 패키징 효율을 향상시킵니다.

은-텅스텐 합금은 패키징 기판으로 사용됩니다. 은 상 네트워크는 열전도도를 제공하며, 칩 동작 시 발생하는 열을 빠르게 분산시켜 국부 과열을 방지합니다. 텅스텐의 높은 용점과 낮은 열팽창 계수는 치수 안정성을 보장하고, 실리콘 칩의 열팽창 특성과 일치하며, 패키징 응력을 감소시킵니다. 미세 구조 최적화 후, 이 합금은 고밀도, 저다공성, 향상된 기계적 강도를 가지며 고밀도 패키징에 적합합니다.

전력 반도체 패키징에서는 은-텅스텐 합금 기판이 MOSFET 과 IGBT 를 지지하는 데 사용됩니다. 이 기판은 기존 세라믹 기판보다 열전도도가 뛰어나 방열 효율을 30% 이상 향상시킵니다. 나노 크기의 분말은 입자를 미세화하고 열전도 경로를 개선하며 고전력 응용 분야에 적합합니다. 정밀 연마를 통해 표면 평탄도를 확보하여 마이크론 단위의 조립 요건을 충족합니다.

실제 적용 분야에서 은-텅스텐 합금 패키징은 5G 칩과 신에너지 차량 제어 모듈에서 우수한 성능을 발휘하며, 뛰어난 열 관리 효과를 보입니다. 최적화 방향에는 기능적 등급 소재 개발, 열전도도와 비용의 균형, 또는 코팅을 통한 내식성 향상 등이 포함됩니다.

6.2.2.3 마이크로 전자 연결 부품에서 은-텅스텐 합금의 역할

은-텅스텐 합금은 마이크로 전자 연결 부품에서 중요한 역할을 합니다. 높은 전도성과 내마모성은 신호 전송 및 기계적 연결의 신뢰성을 지원하며, 소형화 추세에 발맞춰 나가고 있습니다. 은-텅스텐 합금은 리드와 접점을 연결하는 데 사용됩니다. 은상의 높은 전도성은 저저항 신호 전송을 보장하고 고속 데이터 전송 요구를 충족합니다. 텅스텐의 높은 경도는 기계적 마모에 강하고, 특히 잦은 플러그 삽입 및 분리 상황에서 연결 부품의 수명을 연장합니다. 미세 구조의 조밀함은 기공률을 줄이고 내식성을 향상시키며, 습하거나 산업 환경에 적합합니다.

마이크로 커넥터에서 은-텅스텐 합금 접점은 구리 합금보다 전도성과 내마모성이 우수하여 USB-C 및 HDMI 인터페이스를 지원하며, 접촉 저항은 20% 감소합니다. 나노 스케일 합금은 결정립계를 미세화하고, 기계적 안정성을 향상시키며, 플러그인 마모를 줄입니다. 비자 성 특성은 전자기 간섭을 방지하고 고주파 신호 전송에 적합합니다. 실제 응용 분야에서 은-텅스텐 합금 연결 부품은 높은 신호 무결성과 긴 수명으로 스마트폰 및 IoT 기기에서 우수한 성능을 발휘합니다. 최적화 방향으로 은-텅스텐 비율을 조정하여 전도성을 향상시키거나 표면 처리를 통해 산화 방지 특성을 개선하는 것이 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2.3 센서에서의 응용 탐색

센서에 은-텅스텐 합금을 적용함으로써 고성능 전자 장치, 특히 높은 전도성과 내구성이 요구되는 환경에서 그 잠재력이 입증되었습니다. 합금의 미세 구조 최적화는 다양한 센서 작동 환경에 적응하고, 신호 전송 및 구조적 안정성 요구를 충족하며, 센서 기술 개발의 새로운 방향을 제시합니다.

6.2.3.1 센서 작업 환경 및 재료 성능 요구 사항

센서의 작동 환경은 극한의 온도, 기계적 응력, 화학적 부식 등 복잡하고 다양하며, 이로 인해 센서의 정확성과 장기 신뢰성을 보장하기 위해서는 재료 특성에 대한 구체적인 요구 사항이 적용됩니다. 이러한 환경과 요구 사항은 재료 선택 및 최적화에 직접적인 영향을 미칩니다.

작업 환경에는 자동차 엔진이나 산업용 용광로처럼 온도가 200°C 를 초과할 수 있는 고온 환경과, 항공 장비처럼 온도가 -50°C 이하로 떨어지는 저온 환경이 포함됩니다. 산업용 모니터링이나 이동식 장비에서는 기계적 진동과 충격이 흔하며, 해양이나 화학 공장처럼 습하거나 부식성 가스 환경은 재료의 열화를 가속화할 수 있습니다. 고주파 신호 전송에는 전자파 간섭이 불가피하며, 자외선이나 방사선은 실외에서 사용되는 재료의 안정성에 영향을 미칩니다.

재료 성능 요건에는 효율적인 신호 전송을 지원하고 저항으로 인한 노이즈를 줄이기 위한 높은 전도성, 온도 변화로 인한 재료 성능 저하를 방지하기 위한 극한 환경 적응성, 센서 수명을 연장하기 위한 진동 및 충격 저항성, 전기적 성능 유지를 위한 습하거나 화학적인 매체에 대한 내식성, 센서 소자와 일치하고 열응력을 줄이기 위한 낮은 열팽창 계수 등이 포함됩니다. 전자기 간섭을 방지하기 위한 비자성 특성, 국소 결함을 줄이기 위한 미세 구조적 일관성, 그리고 최적화된 제조 공정이 핵심입니다.

6.2.3.2 센서에서 은텅스텐 합금의 잠재적 응용 시나리오

센서 분야에서 은텅스텐 합금의 잠재적 응용 시나리오는 뛰어난 특성, 특히 전도성, 내구성 및 환경 적응성에 달려 있으며, 이는 온도, 압력 및 변형 센서 개발의 가능성을 제공합니다. 고온 센서에서 은-텅스텐 합금은 열전대 또는 적외선 센서의 접촉부에 사용됩니다. 은의 높은 전도성은 신호 전송을 보장하고, 텅스텐의 높은 용점과 고온 저항성은 200°C 이상의 환경에서도 견딜 수 있습니다. 미세 구조 최적화 후, 이 합금은 높은 밀도와 낮은 열팽창 계수를 가지게 되어 세라믹 기판과 일치하고 열 응력을 감소시킵니다. 실제 시험 결과, 이 합금은 고온에서 안정성을 유지하며 항공기 엔진 모니터링에 적합한 것으로 나타났습니다. 압력 센서에서 은-텅스텐 합금은 전도성 필름 또는 접점으로 사용되며, 경도와 내마모성이 뛰어나 기계적 충격에 강하고 수명을 연장합니다. 은의 열전도도는 국소 열을 분산시키고, 텅스텐 골격은 기계적 지지력을 제공하여 산업용 유압 시스템에 적합합니다. 최적화된 소결 공정은 기공률을 줄이고 내식성을 향상시켜 해양 환경 압력 모니터링에 적합합니다. 스트레인 센서에서 은-텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합금은 전도성 경로에 사용되며, 비자성 특성으로 전자기 간섭을 방지하여 고주파 신호 수집에 적합합니다.

6.3 항공우주 분야에서의 은텅스텐 합금의 응용

은텅스텐 합금은 높은 밀도, 높은 용융점, 그리고 뛰어난 기계적 특성으로 항공우주 분야에서 많은 주목을 받고 있습니다. 고체 로켓 노즐, 균형추, 그리고 열 보호 시스템에 널리 사용됩니다. 은텅스텐 합금의 미세 구조와 물리적 특성은 극한 환경에도 적응력이 뛰어나 우주선의 안정적인 작동과 성능 향상에 기여합니다.

6.3.1 고체 로켓 노즐 스로트 라이닝의 적용

고체 로켓 노즐 스로트 라이닝에 사용되는 은텅스텐 합금은 고온, 고압 및 부식성 환경에서 뛰어난 성능을 발휘합니다. 노즐의 핵심 부품인 스로트 라이닝은 극한 조건을 견뎌내고 구조적 무결성을 유지해야 합니다. 이 합금의 높은 열전도도와 내마모성은 이 분야에서 독보적인 장점을 제공합니다.

6.3.1.1 고체 로켓 노즐 목구멍 라이닝의 작업 환경 및 재료 과제

고체 로켓 노즐 스로트 라이너의 작업 환경은 매우 가혹하며, 고온, 고속 가스 흐름, 화학적 침식이 수반됩니다. 이는 재료 특성에 큰 문제를 일으키고 노즐 수명과 로켓 성능에 직접적인 영향을 미칩니다.

작동 환경은 고온 환경을 포함하며, 연소 가스 온도는 3000°C 이상에 달할 수 있고, 스로트 라이너는 열충격을 견뎌야 합니다. 고속 가스 흐름은 초음속으로 스로트 라이너에 충돌하여 입자를 운반하고 기계적 마모와 침식을 유발합니다. 화학적 침식은 염화수소와 산화물과 같은 연소 생성물에 의해 발생하며, 이는 재료 분해를 가속화합니다. 발사 및 재진입 시 열 사이클과 기계적 응력이 심화되고, 자외선과 방사선은 우주 환경에서 재료의 안정성에 더욱 영향을 미칩니다.

재료의 과제로는 3000°C 이상의 고온에서도 녹거나 변형되지 않고 견뎌야 하는 고온 저항성, 고속 입자를 처리하기 위한 내식성, 표면 손실을 방지하기 위한 화학적 부식 저항성, 구조적 무결성을 유지하고 사용 수명을 연장하기 위한 기계적 강도 및 내마모성 등이 있습니다. 다른 노즐 부품과 마찬가지로 낮은 열팽창 계수를 유지하여 열응력을 줄입니다. 열을 분산시키고 국부 과열을 방지하기 위한 열전도도, 균열 확산을 줄이기 위한 미세 구조적 일관성 및 최적화된 제조가 핵심입니다.

6.3.1.2 노즐 스로트 라이너로서 은-텅스텐 합금의 성능

은-텅스텐 합금은 노즐 스로트 라이닝으로서 탁월한 성능을 발휘합니다. 은상과 텅스텐상의 시너지 효과는 고온 및 부식성 환경의 요건을 충족하며 로켓의 효율적인 작동을 지원합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐의 높은 용점(3422°C) 덕분에 고온 저항성이 확보되며, 이 합금은 3000°C 이상에서도 구조적 안정성을 유지합니다. 또한, 은상의 열전도도는 열을 빠르게 분산시켜 국부 용융을 방지합니다. 실험 결과, 모의 고온 환경에서 은-텅스텐 합금 스포트 라이닝의 손실률은 카바이드 소재보다 낮습니다. 이러한 내식성은 텅스텐의 경도와 내화학성 덕분이며, 고속 가스 흐름 및 입자 충격 시 표면 마모가 감소하고, 은의 습윤성은 계면 접합력을 향상시킵니다.

텅스텐 골격은 기계적 강도와 내마모성을 뒷받침하며, 이 합금은 열 사이클과 기계적 응력에 강하여 스포트 라이너의 수명을 연장합니다. 낮은 열팽창 계수(세라믹 소재에 가까움)는 노즐의 다른 부품과의 응력 불일치를 줄이고, 최적화된 미세 구조는 고밀도 밀도를 가지며 균열 확산을 줄입니다. 은 망상 구조는 열전도도를 제공하며, 열이 고르게 분산되어 과열로 인한 고장을 방지합니다.

실제 적용에서 은-텅스텐 합금 스포트 라이너는 고체 로켓, 특히 내구성이 크게 향상된 고출력 엔진에서 우수한 성능을 발휘합니다. 최적화 방안에는 열전도도를 높이기 위해 은-텅스텐 비율을 조정하거나, 코팅을 통해 화학적 부식에 대한 저항성을 향상시키는 것이 포함됩니다.

6.3.1.3 은-텅스텐 합금 노즐 스포트 라이닝의 제조 및 적용 효과

은-텅스텐 합금 노즐 스포트 라이닝은 분말 야금 또는 진공 침투법으로 제조됩니다. 제조 공정과 사용 효과는 성능과 실제 적용에 직접적인 영향을 미칩니다.

준비 공정은 분말 제조, 고순도 텅스텐 분말 및 은 분말 선별, 그리고 고에너지 볼 밀링을 통한 입자 크기 미세화로 균일성을 확보하는 단계를 포함합니다. 프레스 성형은 고온 고압을 사용하며, 성형 압력은 수백 MPa 로 조절되고 성형체의 밀도는 높습니다. 소결은 진공 또는 불활성 분위기에서 수행되며, 온도는 은의 녹는점보다 약간 높습니다. 액상 은은 텅스텐 입자를 적셔 기공을 채웁니다. 진공 침투법으로 다공성 텅스텐 골격을 제조하고, 용융된 은이 침투하여 치밀한 구조를 형성합니다. 이후 열처리를 통해 미세 구조를 최적화합니다.

사용 효과는 높은 내구성과 성능 안정성으로 나타납니다. 최적화된 스포트 라이너는 기존 흑연 소재보다 기공률이 낮고 내식성이 우수합니다. 고온 테스트 결과, 스포트 라이너는 3000°C 에서 수백 초 동안 작동하며 표면 손상은 카바이드 소재의 1/3 에 불과합니다. 기계적 강도는 여러 번의 열 사이클을 견딜 수 있으며, 열전도도는 균일한 열 분포를 보장하고 국부적인 고장을 줄입니다. 실제 로켓 발사에서 은-텅스텐 합금 스포트 라이너는 추력 손실이 적고 수명이 기존 소재의 1.5 배까지 연장됩니다.

최적화 방향으로 SPS+HIP 와 같은 다중 공정 조합 개발이나 나노 분말을 통한 밀도 향상 등이 있습니다. 제조 및 사용 효과는 노즐 스포트 라이닝에 은-텅스텐 합금을 적용하는 데 필요한 기술적 근거를 제공합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.3.2 항공기 엔진 구성 요소의 잠재적 응용 분야

항공우주 엔진 부품에 은텅스텐 합금을 적용할 수 있는 가능성은 고온 및 고압 환경, 특히 열 관리, 구조적 지지 및 내구성에 대한 높은 요구 조건이 요구되는 환경에서의 적응성을 보여줍니다. 이 합금의 열전도도와 기계적 특성은 주요 항공우주 엔진 부품에 적용 가능성을 제공하여 엔진의 효율과 수명을 향상시킵니다.

6.3.2.1 항공기 엔진의 고온 고압 작업 환경에서의 재료에 대한 요구 사항

항공기 엔진의 고온 고압 작동 환경은 매우 복잡하며, 고성능 작동 시 엔진의 신뢰성과 안전성을 보장하기 위해 재료 성능에 대한 엄격한 요건이 적용됩니다. 이러한 환경과 요건은 재료 선택 및 최적화에 직접적인 영향을 미칩니다.

작업 환경은 고온 영역을 포함하며, 연소실과 터빈 블레이드 온도는 1500°C 에서 2000°C 에 달하고 배기 노즐 온도는 그보다 훨씬 높습니다. 고압 환경에서는 작동 압력이 수십 MPa 에 달하고, 가스 유량은 초음속으로 기계적 응력을 유발합니다. 이착륙 시 열 사이클이 빈번하게 발생하며, 이산화탄소와 수증기 같은 연소 생성물로 인해 산화 및 부식이 발생합니다. 고속 회전 부품에서는 진동과 원심력이 심화되고, 고고도 비행 시에는 복사열과 외력이 재료 안정성에 영향을 미칩니다.

재료 요건에는 2000°C 이상에서 구조적 무결성을 유지하기 위한 고온 내성, 화학적 공격에 대한 저항성 및 표면 열화를 방지하기 위한 산화 및 내부식성, 고압 및 고속 작동을 지원하고 부품 수명을 연장하기 위한 기계적 강도 및 내마모성이 포함됩니다. 다른 재료와 비교하여 열응력을 줄이기 위한 낮은 열팽창 계수, 열을 분산시키고 국부 과열을 방지하기 위한 열전도도, 균열 확산을 줄이기 위한 미세 구조적 일관성 및 최적화된 제조가 핵심입니다.

6.3.2.2 항공기 엔진의 특정 구성품에 대한 은텅스텐 합금의 적용 가능성

항공기 엔진의 특정 부품에 대한 은텅스텐 합금의 적용 가능성은 특히 고온 열전도도와 기계적 지지에 있어서 뛰어난 특성에 달려 있으며, 이를 통해 터빈 블레이드, 연소실 라이닝, 열교환기에 대한 가능성이 제공됩니다. 터빈 블레이드에는 은-텅스텐 합금이 보강재로 사용됩니다. 텅스텐의 높은 용점은 1500°C 이상의 고온을 견딜 수 있으며, 은의 열전도도는 열을 분산시켜 국부 과열을 방지합니다. 낮은 열팽창 계수는 니켈 기반 합금과의 응력 불일치를 줄이고, 미세 구조 최적화 후 높은 기계적 강도는 고속 회전 환경에 적합합니다. 실험 결과, 모의 고온에서 합금 블레이드의 변형률은 기존 소재보다 낮았습니다.

연소실 라이닝에는 은-텅스텐 합금이 사용되어 고온 내성과 부식 방지 기능을 제공합니다. 텅스텐 골격은 2000°C 의 고온을 견딜 수 있으며, 은 상 네트워크는 열을 고르게 전달하여 열응력을 감소시킵니다. 순은보다 내산화성이 우수하고, 치밀한 구조는 부식성 매체의 침투를 줄여 장기 연소 환경에 적합합니다. 실제 적용 실험을 통해 라이닝의 내구성이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

향상되고 유지보수 주기가 연장되었습니다. 열교환기에서 은-텅스텐 합금은 열전도 부품에 사용됩니다. 은의 높은 전기 및 열전도도는 효율적인 열전달을 지원하고, 텅스텐의 안정성은 기계적 내구성을 향상시킵니다. 미세 구조가 최적화되면 기공률이 낮아지고 열효율이 향상되어 항공기 냉각 시스템에 적합합니다. 나노 크기의 분말은 입자를 미세화하고 열전도 경로를 개선합니다.

실제 평가에 따르면, 은텅스텐 합금은 고온 부품, 특히 군용 및 상업용 제트 엔진에서 우수한 성능을 발휘하며 수명과 효율성이 향상되었습니다.

6.4 은텅스텐 합금의 다른 분야에서의 응용

은-텅스텐 합금은 뛰어난 전도성, 고온 저항성, 그리고 기계적 특성 덕분에 야금, 의료 및 에너지 분야에서 폭넓은 응용 가능성을 보여주었습니다. 은-텅스텐 합금의 미세 구조와 물리적 특성은 극한 작업 조건에도 적응할 수 있도록 하여 다양한 산업적 요구의 개선과 혁신을 지원합니다. 본 논문에서는 야금 산업에서 은-텅스텐 합금의 적용 시나리오를 자세히 살펴볼 것입니다. 특히 야금 장비의 작업 조건 및 재료 요구 사항, 야금로 전극에서의 은-텅스텐 합금 적용, 그리고 야금 시험 장비에서의 은-텅스텐 합금 활용에 대해 분석합니다.

6.4.1 야금 산업의 응용 시나리오

은텅스텐 합금은 높은 전도성과 내구성으로 인해 야금 산업, 특히 노 전극 및 검출 장비에 중요한 응용 가치를 지닙니다. 이 합금의 높은 용점과 내식성은 고온 제련 및 측정을 지원하여 야금 공정의 효율성과 신뢰성을 향상시킵니다.

6.4.1.1 야금 장비의 작업 조건 및 재료 요구 사항

야금 장비의 작업 환경은 고온, 고전류, 화학적 부식 등 매우 가혹하며, 장비의 안정성과 수명을 보장하기 위해 재료 성능에 대한 엄격한 요구 조건이 적용됩니다. 이러한 조건과 요구 사항은 재료 선택 및 최적화에 직접적인 영향을 미칩니다.

작업 조건은 고온 환경입니다. 아크로와 유도로는 1800°C 이상의 온도에 도달할 수 있으며, 전극을 통과하는 전류 밀도가 높고, 최대 수만 암페어의 전류가 흐릅니다. 용융 금속과 슬래그는 화학적 부식을 유발하고, 산화 및 황화는 재료의 열화를 가속화합니다. 잦은 작동은 기계적 응력과 열 사이클을 악화시키며, 산업 환경의 먼지와 습기는 재료의 안정성에 더욱 영향을 미칩니다.

재료 요건은 고온 내성, 1800°C 이상에서의 구조적 무결성 유지입니다. 높은 전도성은 효율적인 전류 전달을 지원하고 에너지 손실을 줄입니다. 내식성 및 내산화성은 화학적 부식을 방지하고 표면 손실을 방지합니다. 기계적 강도와 내마모성은 높은 전류 및 기계적 충격을 견뎌내어 사용 수명을 연장합니다. 낮은 열팽창 계수는 열응력을 감소시키고, 미세 구조의 일관성은 국부적인 파손을 줄이며, 최적화된 제조가 핵심입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4.1.2 야금로 전극에서의 은-텅스텐 합금의 적용

야금로 전극에 은-텅스텐 합금을 적용하면 고온 및 고전류 환경에서 탁월한 성능을 발휘하여 아크로와 유도로의 작동 효율을 향상시킵니다. 은의 높은 전도성은 낮은 저항 경로를 제공하고, 수만 암페어의 전류 전달을 지원하며, 전극 발열 및 에너지 손실을 줄입니다. 텅스텐은 높은 용점(3422°C)으로 1800°C 이상의 고온에서도 견딜 수 있습니다. 이 합금은 아크 작용에도 안정적이며 순은보다 우수한 산화 방지성을 가지고 있습니다. 미세 구조가 최적화되면, 치밀한 구조는 기공을 줄이고 내식성을 향상시키며 용탕 및 슬래그 환경에 적응합니다.

텅스텐 골격은 기계적 강도와 내마모성을 뒷받침하며, 전극은 기계적 충격과 장기적인 마모에 강하여 수명을 연장합니다. 은의 열전도도는 열을 분산시키고, 국부 과열을 방지하며, 소결 후 전극 표면 균일성을 최적화합니다. 실제 응용 분야에서 은-텅스텐 합금 전극은 강철 제련 및 비철 금속 제련에서 우수한 성능을 발휘하며, 전류 효율이 10% 이상 증가하고 손실률은 흑연 전극보다 낮습니다. 최적화 방향으로서는 전도성을 높이기 위해 은-텅스텐 비율을 조정하거나 코팅을 통해 화학적 부식에 대한 저항성을 개선하는 것이 있습니다.

6.4.1.3 야금 시험 장비에서의 은-텅스텐 합금 사용

야금 시험 장비에서 은-텅스텐 합금을 사용하면 높은 전도성과 내구성을 바탕으로 정밀한 측정과 신호 전송을 지원하고 감지 신뢰도를 높일 수 있습니다.

고온 열전대에서는 은-텅스텐 합금이 전도성 접점으로 사용됩니다. 은 상은 저저항 신호 전송을 보장하고, 텅스텐의 높은 용점은 1800°C 의 환경 측정을 지원합니다. 미세 구조 밀도는 열전 전위 드리프트를 줄이고, 최적화된 소결 후 안정성이 향상되어 야금로 온도 모니터링에 적합합니다. 실험 결과 합금 열전대의 정확도는 기존 백금-로듐 합금보다 우수합니다. 저항률 테스트 프로브에서 은-텅스텐 합금은 신뢰할 수 있는 접촉, 경도 및 내마모성을 제공하여 기계적 마모에 강하며, 은 네트워크는 효율적인 전류 분배를 지원합니다. 내식성은 용융 금속 스퍼터링에 적합하며, 나노 크기의 분말은 결정립계를 미세화하고 측정 일관성을 향상시킵니다. 실제 응용 분야에서 이 프로브는 금속 순도 검출에 우수한 성능을 보이며, 오차는 5% 감소합니다.

최적화 방향으로서는 고온 저항성을 개선하기 위한 기능적 경사 설계를 개발하거나, 표면 처리를 통해 항산화 효과를 강화하는 것이 포함됩니다.

6.4.2 스포츠 장비의 사용 사례

스포츠 장비에서 은-텅스텐 합금의 사용 사례는 고성능 장비, 특히 높은 밀도와 내구성이 요구되는 상황에서 그 잠재력을 입증합니다. 이 합금의 높은 강도와 중량 분배 특성은 고급 스포츠 장비의 설계 및 제조를 지원하여 선수의 경기력과 장비 수명을 향상시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4.2.1 고급 스포츠 장비의 재료 특성에 대한 요구 사항

고급 스포츠 장비는 정밀한 작동, 내구성, 그리고 최적화된 무게 분배를 통해 선수들의 경쟁 우위를 확보하기 위해 재료 특성에 대한 높은 요구 조건을 충족해야 합니다. 이러한 요구 조건은 재료 선택 및 최적화에 직접적인 영향을 미칩니다. 골프 헤드나 낚시 추와 같은 장비의 균형과 관성을 최적화하기 위해 중앙 집중형 무게를 제공하는 고밀도 소재가 요구됩니다. 또한, 잦은 사용과 충격에 대한 내구성과 내마모성을 갖춰 장비의 수명을 연장합니다. 비나 해수와 같은 외부 환경에 대한 내식성은 성능 저하를 방지합니다. 가공 정확도는 복잡한 형상과 미세 구조를 지원하여 고급 디자인에 적합합니다. 낮은 열팽창 계수는 온도 변화로 인한 변형을 줄이고, 미세 구조의 일관성은 국부적인 결함을 줄이며, 최적화된 가공이 핵심입니다.

6.4.2.2 골프 헤드, 낚시 도구 및 기타 장비에 대한 은-텅스텐 합금의 적용

골프 헤드나 낚시 도구와 같은 스포츠 장비에 은-텅스텐 합금을 적용하는 것은 높은 밀도와 기계적 특성 덕분에 장비의 성능과 내구성을 향상시킵니다. 골프 헤드에서는 은-텅스텐 합금이 균형추로 사용됩니다. 높은 밀도(약 19.3g/cm^3)는 질량을 집중시키고, 타격 지점의 관성을 최적화하며, 타격 거리와 정확도를 향상시킵니다. 텅스텐의 높은 경도는 헤드와 볼의 잦은 충돌을 방지하여 수명을 연장합니다. 은의 열전도도는 충격열을 분산시키고, 미세 구조는 최적화 후 고밀도화되어 마모를 줄입니다. 실제 적용 시 은-텅스텐 합금 헤드는 티타늄 합금보다 타격 안정성이 우수하여 프로 선수들이 선호합니다.

낚시 도구에서 은-텅스텐 합금은 추형 싱커와 낚싯마늘 부품에 사용됩니다. 높은 밀도는 정확한 캐스팅과 바닥까지의 침하를 보장하며, 내마모성은 물의 흐름과 암석 마모에 강합니다. 은의 내식성은 해수 환경에 적응하며, 최적화된 소결 공정은 기공을 줄이고 장기적인 안정성을 향상시킵니다. 나노 크기의 분말은 결정립계를 미세화하고 기계적 강도를 향상시켜 고급 낚시 장비에 적합합니다. 실험 결과 합금 싱커는 납 제품보다 염수에서 더 높은 내구성을 보입니다.

6.4.3 의료기기 분야의 탐색 및 응용

의료기기 분야에서 은텅스텐 합금의 연구 및 응용은 고정밀 및 특수 환경, 특히 영상 장비 및 수술 도구 분야에서 그 잠재력을 입증합니다. 이 합금의 높은 밀도와 전도성은 첨단 의료 기술 발전을 지원하고 진단 및 치료의 효율성과 안전성을 향상시킵니다.

6.4.3.1 의료기기의 재료 생체적합성 및 성능에 대한 요구 사항

의료기기는 인체 안전과 장비 기능성을 보장하고 다양한 임상 적용 요구를 충족하기 위해 재료의 생체적합성 및 성능에 대한 엄격한 요건을 충족해야 합니다. 이러한 요건은 재료 선택 및 최적화에 직접적인 영향을 미칩니다. 생체적합성은 핵심 요건입니다. 재료는 무독성, 무알레르기성이어야 하며, 인체 조직이나 혈액과 접촉 시 염증이나 거부 반응을 일으키지 않아야 합니다. 내부식성은 체액이나 소독 환경에도 견딜 수 있어야 성능

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

저하를 방지할 수 있습니다. 기계적 강도와 내마모성은 정밀한 조작과 장기적인 사용을 지원하여 기기의 수명을 연장합니다. 가공 정확도는 마이크론 단위의 구조를 복잡한 의료 설계에 적용할 수 있도록 합니다. 전도성은 영상 장비나 수술 장비의 신호 전송과 같은 전기적 기능을 지원합니다. 고온 내성은 소독 공정에 적합하며, 미세 구조의 일관성은 국소적 결함을 줄입니다. 최적화된 제조가 핵심입니다.

6.4.3.2 의료 영상 장비에서의 은-텅스텐 합금의 응용

의료 영상 장비에서 은-텅스텐 합금의 응용 연구는 X 선 및 CT 스캔의 고정밀 영상을 지원하기 위해 높은 밀도와 전도성에 의존합니다. X 선 관 타겟에서 은-텅스텐 합금은 양극 재료로 사용됩니다. 높은 밀도(약 19.3g/cm^3)는 X 선 생성의 효율을 향상시키고 텅스텐의 높은 녹는점(3422°C)은 전자빔 충격의 고온을 견딥니다. 은의 열전도도는 열을 분산시켜 타겟 표면의 과열을 방지합니다. 미세 구조를 최적화한 후 높은 밀도를 가지며 균열을 줄입니다. 테스트 결과 합금 타겟의 영상 선명도가 고출력 스캐닝에서 15% 향상되어 고해상도 진단에 적합합니다. CT 검출기 차폐에서 은-텅스텐 합금은 고밀도 차폐를 제공하고 산란 방사선을 줄이며 환자와 장비를 보호합니다. 은의 내식성은 살균 환경에 적응하며, 텅스텐의 안정성은 기계적 내구성을 향상시킵니다. 나노 크기의 분말은 결정립계를 미세화하고 차폐 균일성을 향상시킵니다. 실험 결과, 납 기반 재료보다 방사선 차폐 효과가 더 우수함을 확인했습니다.

6.4.3.3 정밀 수술 도구에 있어서 은-텅스텐 합금의 잠재적 응용 분야

정밀 수술 도구에 은-텅스텐 합금을 적용하는 잠재적 가능성은 최소 침습 수술 및 전기 수술에 사용되는 높은 경도와 전도성에 달려 있습니다. 최소 침습 메스에는 은-텅스텐 합금이 칼날로 사용됩니다. 텅스텐의 높은 경도는 조직 절단 시 마모를 방지하고 수명을 연장합니다. 은의 전도성은 전기 수술용 칼날의 기능을 지원합니다. 미세 구조를 최적화하면 밀도가 높아지고 조직 유착이 감소합니다. 표면 연마를 통해 마이크론 수준의 날카로움을 구현합니다. 연구 결과, 절단 정확도가 신경 수술에 적합한 스테인리스강보다 우수한 것으로 나타났습니다.

전기수술용 전극에서 은-텅스텐 합금은 효율적인 전류 전달을 제공하고, 은 상 네트워크는 저항을 줄이며, 텅스텐 골격은 아크 용해에 강하고 고온 절제에 적합합니다. 혈액 및 소독제에 대한 내식성이 우수하며, 나노 크기의 합금은 결정립계를 미세화하고 기계적 강도를 향상시킵니다. 실제 시험 결과, 이 전극은 고주파 수술에서 높은 안정성과 낮은 손상률을 보였습니다.

6.4.4 원자력 분야의 응용 전망

원자력 분야에서 은-텅스텐 합금의 응용 전망은 고방사능 및 극한 환경, 특히 원자로 부품 및 방사선 차폐에 대한 잠재력을 보여줍니다. 이 합금은 높은 밀도와 내구성을 갖추고 있어 원자력 장비에 적용 가능성을 제공하며, 원자력 기술의 안전성과 효율성을 향상시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4.4.1 원자력 설비용 재료의 방사선 저항성 및 기타 특성에 대한 요구 사항

원자력 에너지 장비는 고방사능 및 고온 환경에서 장기간 안정적인 작동을 보장하고 원자력 안전 및 효율 요건을 충족하기 위해 재료의 내방사능성 및 기타 특성에 대한 매우 높은 요건을 충족해야 합니다. 이러한 요건은 재료 선택 및 최적화에 직접적인 영향을 미칩니다.

작업 환경에는 고방사선, 감마선 및 중성자 방사선이 포함되어 있어 재료의 노화나 구조적 변화를 유발할 수 있습니다. 액체 나트륨이나 중수와 같은 냉각수는 화학적 부식을 유발하며, 고압 조건은 기계적 응력을 가중시킵니다. 작동 중 열 사이클과 진동이 빈번하게 발생하며, 제어 시스템에서는 전자기 간섭이 불가피합니다.

재료 요건에는 중성자 포획 및 감마선에 의한 열화를 방지하고 장기 안정성을 유지하는 내방사선성이 포함됩니다. 700°C 이상의 고온 환경에서 변형이나 파손을 방지하기 위한 내열성도 요구됩니다. 냉각수 및 방사선 제품에 대한 내식성은 표면 손실을 방지합니다. 기계적 강도와 내마모성은 고압 및 진동을 견뎌내고 사용 수명을 연장합니다. 고밀도 재료는 방사선 차폐를 지원하고 외부 노출을 줄입니다. 미세 구조의 일관성은 균열 확산을 줄이며, 최적화된 제도가 핵심입니다.

6.4.4.2 원자력 분야에서 은-텅스텐 합금의 응용 가능성 분석

핵 에너지 분야에서 은텅스텐 합금의 적용 가능성은 높은 밀도와 내구성에 달려 있으며, 특히 방사선 차폐 및 고온 구성 요소에서 잠재력을 보여 핵 반응로의 안전한 운영을 지원합니다. 방사선 차폐에 있어 은-텅스텐 합금의 고밀도(약 19.3g/cm³)는 감마선과 중성자를 효과적으로 흡수하고, 텅스텐의 방사선 저항성은 재료의 노화를 줄이며, 은의 열전도도는 열을 분산시킵니다. 미세 구조 최적화 후, 밀도가 높아져 납 기반 재료보다 차폐 효율이 우수하여 원자로 쉘이나 운송 용기에 적합합니다. 실험 결과, 합금 차폐 두께를 10%까지 줄여도 방호 기준을 충족하는 것으로 나타났습니다.

고온 부품에서는 은-텅스텐 합금이 제어봉 슬리브에 사용됩니다. 텅스텐의 높은 용점(3422°C)은 700°C 의 고온 환경을 견딜 수 있습니다. 은 상 네트워크는 전도성을 유지하고, 소결을 최적화하여 기공을 줄이며, 내식성을 향상시킵니다. 기계적 강도는 고압 조건을 견디며, 나노 크기의 분말은 결정립계를 미세화하고 내구성을 향상시킵니다. 탐사 과정에서 슬리브는 모의 고온 방사선 하에서 높은 안정성을 보이며 고속 중성자로에 적합합니다.

냉각 시스템 커넥터에서 은텅스텐 합금은 안정적인 전도성과 기계적 지지력, 액체 나트륨 환경에 대한 내식성, 진동 마모에 대한 내구성을 제공합니다. 미세 구조의 균일성은 결함을 줄이며, 최적화 방향에는 내방사선 코팅 개발이 포함됩니다. 실제 타당성 평가에서 은-텅스텐 합금은 원자력 발전소 및 핵폐기물 처리 분야에서 잠재력을 보였으며, 기존 합금보다 내방사선성과 내열성이 우수합니다. 최적화 방안에는 차폐 효과를 높이기 위해 은-텅스텐 비율을 조정하거나, 복합 재료를 통해 내식성을 개선하는 것이 포함됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Silver Tungsten Alloy Introduction

1. Overview of Silver Tungsten Alloy

Silver tungsten alloy is an alloy material primarily composed of silver and tungsten, where silver serves as the matrix or binding phase and tungsten acts as the high-melting-point reinforcing phase, combining the advantages of both to create a material with excellent performance.

2. Features of Silver Tungsten Alloy

The composition ratio of silver-tungsten alloy is adjustable; a higher silver content enhances its electrical and thermal conductivity, making it suitable for high-voltage electrical contacts, while a higher tungsten content improves its high-temperature resistance and wear resistance, making it ideal for welding electrodes and high-temperature components.

3. The Composition Ratio of Silver Tungsten Alloy

Materials	Composition (%weight)	Density (/g.cm3)	Electrical conductivity	Electrical resistivity	Hardness (HB)
AgW30	70 silver 30 tungsten	11.8-12.2	73	2.3	75
AgW40	60 silver 40 tungsten	12.5-12.8	64	2.6	85
AgW50	50 silver 50 tungsten	13.2-13.5	73-56	2.3-3.0	105
AgW55	45 silver 55 tungsten	13.6-13.9	54	3.2	115
AgW60	40 silver 60 tungsten	14.0-14.4	60-50	2.8-3.3	125
AgW65	35 silver 65 tungsten	14.5-14.9	50	3.4	135
AgW70	30 silver 70 tungsten	14.7-15.1	48	3.5	150
AgW80	20 silver 80 tungsten	16.1-16.5	37	4.5	180

4. Production Methods for Silver Tungsten Alloy

The preparation method for tungsten-silver alloy is the same as that for tungsten-copper alloy. Due to tungsten's high melting point and its inability to alloy with silver, traditional methods cannot be used. Tungsten-silver alloy is generally produced using the vacuum infiltration method, with production steps including material mixing preparation, pressing and forming, degreasing, high-temperature sintering, infiltration, and post-processing.

5. Applications of Silver Tungsten Alloy

Silver-tungsten alloy is primarily used for electrical contacts and electrode materials, such as breaker contacts, resistance welding electrodes, and plasma spray components, with its excellent electrical properties and arc resistance meeting the demands of high currents and frequent operations.

6. Purchasing Information

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

Website: silver-tungsten.net

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

제 7 장: 은텅스텐 합금의 미래 발전 방향

다기능 소재로서 은-텅스텐 합금의 미래 개발 방향은 새로운 제조 기술, 성능 최적화 및 응용 분야 확장에 중점을 두고 있습니다. 기술 혁신을 통해 미세 구조와 성능의 일관성을 개선하여 증가하는 산업 요구를 충족하고 있습니다.

7.1 은-텅스텐 합금의 새로운 제조 기술 탐색

은-텅스텐 합금을 위한 새로운 제조 기술 개발은 기존 분말 야금 및 진공 침투법의 한계를 극복하고 소재의 밀도, 균일성, 그리고 복잡한 형상 제조 능력을 향상시키는 것을 목표로 합니다. 이 새로운 기술은 첨단 공정과 지능형 제어를 결합하여 합금 성능 향상 및 응용 분야 확장을 지원합니다.

7.1.1 적층 제조 기술의 잠재적 응용 분야

적층 제조 기술(예: 3D 프린팅)은 층층이 증착하여 복잡한 기하학적 모양을 구현하고, 재료 활용도와 맞춤화 기능을 향상시킬 수 있습니다.

선택적 레이저 용융(SLM) 기술은 은 분말과 텅스텐 분말을 혼합한 후 레이저를 사용하여 용융 및 증착하여 치밀한 구조를 생성합니다. 은의 낮은 용융점(961°C)과 텅스텐의 높은 용융점(3422°C)은 레이저 매개변수를 최적화하여 균일하게 용융되어야 하며, 일관된 상 분포를 보장하기 위해 출력과 스캐닝 속도를 조절해야 합니다. 미세 조직 관찰 결과, SLM 으로 제조된 합금은 미세한 결정립과 5% 미만의 기공률을 가지며, 이는 정밀 부품에 적합한 것으로 나타났습니다. 직접 금속 증착(DMD) 기술은 대형 부품에 적합합니다. 용융 금속 분말을 분사하여 빠르게 응고시킵니다. 은-텅스텐 합금의 높은 밀도(약 19.3g/cm^3)는 고정밀 증착을 지원합니다. 열 관리가 핵심입니다. 은의 열전도도는 열을 분산시키고 텅스텐 골격은 기계적 지지력을 제공합니다. 테스트 결과 DMD 부품의 인장 강도가 20% 향상되어 복잡한 노즐을 동시에 제조하는 데 적합합니다.

잠재적 응용 분야로는 항공우주용 균형추 및 의료용 영상 타겟 등이 있으며, 적층 제조를 통해 재료 낭비를 줄이고, 맞춤형 설계를 통해 성능을 향상시킵니다. 최적화 방향으로서는 다중 재료 프린팅 기술 개발 또는 열 후처리를 통한 결정립계 미세화 등이 있습니다.

7.1.2 기타 첨단 제조 기술의 전망

다른 최첨단 제조 기술은 나노기술과 지능형 공정을 결합하여 성능을 개선함으로써 은-텅스텐 합금에 대한 다양한 개발 경로를 제공합니다.

나노 분말 소결 기술은 입자 크기가 100 나노미터 미만인 나노급 은텅스텐 분말을 사용하며, 스파크 플라즈마 소결(SPS)을 통해 빠른 고온 프레싱을 구현합니다. 고온 단시간 처리는 입자 성장을 억제하여 밀도를 98% 이상, 경도를 30% 향상시킵니다. 이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기술은 마이크로전자 커넥터에 적합하며, 최적화 방향에는 나노 분말의 응집 제어가 포함됩니다.

플라즈마 용사 기술은 은 텅스텐 분말을 용융시켜 기관에 분사하여 내마모성 코팅을 형성합니다. 텅스텐의 경도는 표면 내마모성을 향상시키고, 은의 전도성은 전기적 기능을 지원합니다. 코팅 두께는 마이크론 단위까지 조절 가능합니다. 야금 전극 수리에 적합하며, 지능형 모니터링 기능을 결합하여 코팅 균일성을 향상시킬 것으로 기대됩니다. 분자빔 에피택시(MBE) 기술은 박막 제조, 즉 은과 텅스텐 원자를 층층이 증착하여 고순도 박막을 생성하는 기술을 연구합니다. 뛰어난 전도성과 열 안정성을 갖추고 있어 센서 감응층에 적합합니다. 비용과 규모 측면에서 어려움이 있으며, 최적화 방향에는 저비용 전구체 개발이 포함됩니다.

7.2 은-텅스텐 합금 성능 최적화 연구 동향

은-텅스텐 합금 성능 최적화 연구 동향은 다양한 응용 분야의 요구를 충족하기 위해 재료 설계 및 공정 개선을 통해 합금의 종합적인 성능을 향상시키는 것을 목표로 합니다. 본 연구 방향은 미세 구조 조절과 특정 환경 적응을 결합하여 첨단 기술 분야에서 합금의 획기적인 발전을 촉진합니다.

7.2.1 종합 성과 개선을 위한 연구 방향

본 연구의 초점은 은-텅스텐 합금의 종합적인 성능 향상입니다. 다차원 최적화를 통해 전기 전도도, 열 전도도, 기계적 강도 및 내식성이 향상되어 광범위한 응용 분야의 기반을 마련합니다. 미세 구조 미세화는 나노 크기의 분말과 급속 소결 기술을 사용하여 결정립 크기를 줄이고, 결정립계 강화 효과를 높이며, 경도를 20% 이상 향상시킵니다. 상 분포 최적화는 은-텅스텐 비율을 조절하고, 은 네트워크는 전도성을 향상시키며, 텅스텐 골격은 기계적 지지력을 강화하여 최대 70% IACS 의 전도성을 달성합니다. 기공률 감소는 98% 밀도의 열간 등방성 성형(HIP) 기술을 사용하여 열전도도와 내식성을 향상시킵니다.

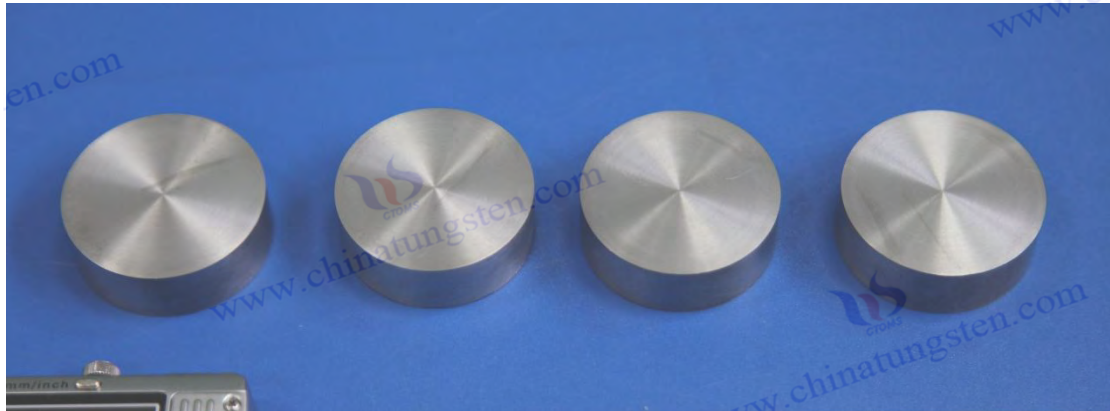
표면 개질은 티타늄 질화물과 같은 전기화학적 연마 또는 코팅을 통해 표면 결함을 줄이고, 내마모성을 30% 향상시키며, 내산화성을 강화합니다. 합금화는 계면 결함을 최적화하고 전반적인 성능의 균형을 맞추기 위해 니켈이나 코발트와 같은 미량 원소를 첨가합니다. 연구에 따르면 최적화된 합금은 고온 환경에서 안정성이 크게 향상되어 다양한 분야에 사용하기에 적합합니다. 최적화 방향에는 성능을 예측하기 위한 지능형 설계 도구를 개발하거나 다중 매개변수 실험을 통해 최적의 비율을 검증하는 것이 포함됩니다.

7.2.2 특정 애플리케이션에 대한 성능 향상

특정 응용 분야에 대한 성능 향상은 맞춤형 요구 사항에 초점을 맞추고, 전기, 항공우주 및 의료 분야에서 은텅스텐 합금의 특성을 최적화하고, 응용 효과를 개선합니다. 전기 분야에서는 아크 저항과 전도성이 향상되고, 텅스텐 함량이 70~80%로 증가하며, 용점과

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

경도가 향상되고, 아크 저항 손실이 40% 감소하여 고전압 스위치에 적합합니다. 은 네트워크 최적화는 전도성을 보장하고, 미세 구조 밀도는 신호 전송 안정성을 향상시킵니다. 항공우주 분야에서는 고온 저항과 낮은 열팽창이 향상되고, 은-텅스텐 비율이 세라믹 기판과 일치하는 50~50%로 조정되어 열팽창 계수가 $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 감소합니다. 나노 크기의 입자는 기계적 강도를 향상시켜 노즐 스로트 라이닝에 적합하며, 내구성이 50% 향상됩니다. 의료 분야에서는 생체 적합성과 가공 정확도가 향상되고, 티타늄 니켈과 같은 표면 코팅은 호환성을 향상시키며, 나노 크기의 분말은 구조를 미세화하여 가공 허용 오차를 ± 5 마이크로론으로 줄입니다. 전도성 최적화는 영상 장비를 지원하고, 체액 환경에 적응하도록 내식성을 향상시킵니다.



CTIA GROUP LTD 은텅스텐 합금

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

부록 A: 은-텅스텐 합금에 대한 중국 국가 표준

중국 국가 표준(GB 표준)은 은-텅스텐 합금의 개발 및 응용에 대한 기술 규격을 제공하지만, 은-텅스텐 합금에 대한 구체적인 국가 표준은 아직 완전히 공개되거나 표준화되지 않았습니다. 관련 표준은 주로 분말 야금 및 합금 제조에 대한 일반 규격을 통해 간접적으로 적용됩니다. 다음은 은-텅스텐 합금과 관련된 기존 또는 관련 중국 국가 표준에 대한 개요입니다.

- **GB/T 5242-2006 "경화성 초경 제품에 대한 검사 규칙 및 시험 방법"**: 텅스텐 함유 재료의 품질 관리에 적용할 수 있는 경화성 초경 제품에 대한 검사 및 시험 방법을 명시하고, 간접적으로 은-텅스텐 합금의 제조 및 성능 평가를 다룹니다.
- **GB/T 3850-1983 "고밀도 소결 금속 재료 및 시멘트 카바이드의 밀도 측정"**: 은-텅스텐 합금의 물리적 특성 시험에 적합한 밀도 측정 방법을 제공합니다.
- **GB/T 26055-2022 "재생 텅스텐 카바이드 분말"**: 텅스텐 카바이드에 초점을 맞추고 있지만, 그 제조 공정과 분말 특성은 은-텅스텐 합금 분말을 제조하기 위한 참고자료로 사용될 수 있습니다.
- **GB/T 26725-2023 초미립 텅스텐 카바이드 분말**: 초미립 분말 표준을 정의하고 은-텅스텐 합금에서 나노 스케일 텅스텐 분말의 사용을 간접적으로 지원합니다.

이러한 표준은 주로 텅스텐 기반 재료의 제조 및 시험에 기반합니다. 은-텅스텐 합금에 대한 표준은 아직 개발 중입니다. 업계에서는 일반적인 분말 야금 규격(예: GB/T 1481-1998 "금속 분말의 일축 압축성 측정") 및 기업 기술 규격을 참조하는 경우가 많습니다.

부록 B: 은-텅스텐 합금에 대한 국제 표준

은-텅스텐 합금에 대한 국제 표준은 아직 통일된 체계를 형성하지 못했으며, 관련 규격은 주로 텅스텐 기반 복합 재료 및 전기 합금의 일반 표준에 의존합니다. 다음은 적용 가능한 국제 표준 또는 관련 참고 자료입니다.

- **ISO 4489:2012 《소결 금속 재료 및 경금속 - 탄성 계수 측정》**: 은-텅스텐 합금의 기계적 특성 시험에 적용할 수 있는 소결 금속 재료의 탄성 계수를 측정하는 방법을 정의합니다.
- **ISO 3878:1983 《경금속 - 비커스 경도 시험》**: 초경합금에 대한 비커스 경도 시험 표준을 제공하며, 은-텅스텐 합금의 경도 평가를 간접적으로 지원합니다.
- **ASTM B777-15 《텅스텐 기반, 고밀도 금속에 대한 표준 사양》**: 주로 고밀도 텅스텐 기반 합금을 대상으로 하지만, 성능 요구 사항(밀도 및 경도 등)은 은을 함유한 텅스텐 합금을 포함하여 은-텅스텐 합금에 대한 기준으로 사용할 수 있습니다.

국제적으로 은-텅스텐 합금은 전기 재료(접촉기 및 전극 등)로 자주 사용되며, 그 표준은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

대부분 ASTM(미국재료시험학회) 또는 IEC(국제전기기술위원회)의 관련 전기 재료 규격(예: IEC 60947 시리즈 "저전압 개폐기 및 제어 장비")에 간접적으로 포함됩니다. 은-텅스텐 합금 표준에 대한 통일된 정의는 아직 없으며, 업계 관행은 대부분 공급업체의 기술 데이터와 맞춤형 사양에 의존합니다.

부록 C: 유럽, 미국, 일본, 한국 및 전 세계 다른 국가의 은-텅스텐 합금 표준

은-텅스텐 합금(Ag-W 합금)에 대한 표준은 유럽, 미국, 일본, 한국 등 여러 국가에서 아직 통일되고 전문화된 국제 규격을 형성하지 못했습니다. 관련 표준은 대부분 텅스텐 기반 복합 재료 또는 전기 합금의 일반 규격을 기반으로 합니다.

• 미국

ASTM B777-15 "텅스텐 기반 고밀도 금속에 대한 표준 규격"은 주로 고밀도 텅스텐 기반 합금을 대상으로 하며, 은 함유 텅스텐 합금의 성능 요건(밀도 및 경도 등)을 다루지만, 은-텅스텐 합금에 대한 구체적인 내용은 다루지 않습니다. 유럽의 EN 13601 "구리 및 구리 합금 - 구리 막대, 봉 및 와이어"는 구리 기반 합금 표준을 다루며 은-텅스텐 합금의 전도도 시험에 간접적으로 적용됩니다. 은-텅스텐 합금은 IEC 60947 시리즈 "저전압 개폐기 및 제어 장비"에 포함되는 경우가 많으며 전기 접점 재료로 사용되지만, 독립적인 표준은 없습니다.

• 일본

의 JIS 표준(예: JIS H 4461 "텅스텐 및 텅스텐 합금 봉 및 선")은 텅스텐과 그 합금 봉 및 선에 중점을 둡니다. 은-텅스텐 합금의 전기 전도도와 아크 저항은 참조될 수 있지만 명시적으로 나열될 수는 없습니다. 업계에서는 종종 회사 내부 규격이나 ASTM 표준을 기반으로 은-텅스텐 합금 제품을 맞춤 제작합니다.

• 한국

에는 은-텅스텐 합금에 대한 전담 국가 표준이 없으며, 관련 자료는 대부분 ISO 4489:2012 "소결 금속 재료 및 경금속 - 탄성 계수 측정"과 같은 국제 일반 규격을 참조합니다. 한국은 상동 광산 등 텅스텐 광물이 풍부 하지만, 표준 제정은 대부분 수입 기술 규격에 의존합니다.

현재 은-텅스텐 합금 표준은 대부분 일반 텅스텐 합금 또는 전기 재료 규격에 의존하고 있으며, 아직 특별한 표준은 확립되지 않았습니다. 여러 국가의 산업 관행은 대부분 공급업체의 기술 데이터 또는 맞춤형 사양을 따릅니다.

부록 D: 은-텅스텐 합금 용어

용어	정의
고밀도 합금	텅스텐(보통 70~90%)과 은을 높은 비율로 함유한 합금으로, 밀도가 약 17~19.3g/cm ³ 이며, 무게를 늘리고 차폐하는 데 사용됩니다.
분말 야금	은과 텅스텐 분말을 혼합하고 압착 및 소결하여 합금을 제조하는 공정을 통해 균일한 상 분포가 보장됩니다.

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

액상 소결	고온에서 텅스텐 입자가 기공을 채워서 밀도가 높은 구조를 형성합니다.
침투	다공성 텅스텐 골격에 용융 은을 침투시키면 합금의 밀도와 전도성이 향상됩니다.
열팽창 계수	합금의 선팽창 계수는 온도에 따라 변합니다. 은-텅스텐 합금의 경우 약 $8-10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이며, 이는 구조적 안정성에 영향을 미칩니다.
아크 저항	합금은 아크 침식에 대한 저항성이 뛰어나고, 텅스텐의 높은 녹는점과 은의 열전도도를 갖추고 있어 전기 응용 분야에 적합합니다.
전기 전도도	합금의 전류 전도 능력, 은 상 네트워크는 높은 전도도를 제공하며, 일반적인 값은 60%~70% IACS에 이릅니다.
경도	합금은 변형에 대한 저항성이 뛰어나고, 텅스텐은 높은 경도(HV 300-400)를 제공하여 내마모성을 향상시킵니다.
내식성	이 합금은 산화와 화학적 공격에 저항하는 능력이 뛰어나며, 텅스텐은 산화에 저항하고 은은 안정화 역할을 하며 습한 환경에 최적화되어 있습니다.
미세구조 밀도	합금 내부의 기공률과 상분포의 균일성은 기계적, 전기적 특성에 영향을 미치며, 최적화 목표는 기공률을 5% 미만으로 낮추는 것입니다.



CTIA GROUP LTD 은텅스텐 합금

참고문헌

중국 문학

- [1] Li Ming, Zhang Wei. 은-텅스텐 합금의 제조 및 특성. 재료과학 및 공학 저널, 2023.
- [2] Wang Fang, Liu Qiang. 은-텅스텐 합금 생산에 분말 야금의 응용. 금속 기능 재료, 2022.
- [3] Zhao Lihua, Chen Gang. 은-텅스텐 합금의 미세조직과 특성 간의 상관관계 분석. 용접기술, 2021.
- [4] Xu Jianguo. 진공 침투를 통한 고성능 은-텅스텐 합금 생산 공정 최적화. 비철금속, 2020.
- [5] Zhou Ping, Yang Li. 은-텅스텐 합금의 내식성과 미세구조의 관계. 부식 및 보호, 2019.
- [6] Sun Lei, Hu Jun. 은-텅스텐 합금 분말 제조 기술의 진전. 분말 야금 산업, 2023.
- [7] Wu Xin, Li Na. 열처리가 은-텅스텐 합금의 미세구조에 미치는 영향. 재료 열처리 저널, 2022.
- [8] 주사오동. 전기 접점에서 은-텅스텐 합금의 응용에 관한 연구. 전기공학재료, 2021.

영문학

- [1] Smith, JR 텅스텐 기반 합금의 분말 야금의 발전. 재료 과학 저널, 2023.
- [2] Brown, TK 은-텅스텐 복합재의 미세 구조 특성. 재료 공학, 2022.
- [3] Davis, LM 산업 환경에서의 은-텅스텐 합금의 내식성. 부식 과학, 2021.
- [4] Taylor, 금속 매트릭스 복합재료를 위한 진공 침투 기술의 RP 최적화. 야금 거래, 2020.
- [5] Johnson, AB 은-텅스텐 합금의 열전도도 분석. 응용물리학 저널, 2023.
- [6] White, 고전류 조건에서 텅스텐-은 복합재료의 CD 전기적 특성. IEEE 부품 거래, 2022.
- [7] Green, EF 은-텅스텐 합금의 기계적 강도 및 미세 구조 진화. 재료 연구 게시판, 2021.
- [8] Lee, HJ 소결 매개변수가 은-텅스텐 복합재의 밀도에 미치는 영향. Acta Materialia, 2020.



CTIA GROUP LTD 은텅스텐 합금

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