

# 절단 방지 텅스텐 백과사전

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Global Leader in Intelligent Manufacturing for Tungsten, Molybdenum, and Rare Earth Industries

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## CTIA GROUP 소개

CTIA GROUP LTD 는 CHINATUNGSTEN ONLINE 이 설립한 독립 법인격을 가진 완전 자회사로, 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능화, 통합화, 유연한 설계 및 제조를 추진하는 데 전념하고 있습니다. CHINATUNGSTEN ONLINE 은 1997 년에 설립되었으며, 중국 최초의 텅스텐 제품 전문 사이트인 [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) 시작으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업에 특화된 중국 최초의 전자상거래 기업입니다. CTIA GROUP 은 텅스텐 및 몰리브덴 분야에서 30 년 가까운 깊은 경험을 바탕으로 모회사의 뛰어난 설계 및 제조 능력, 우수한 서비스, 글로벌 비즈니스 평판을 계승하여 텅스텐 화학제품, 텅스텐 금속, 초경합금, 고밀도 합금, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 분야의 종합적인 애플리케이션 솔루션 제공자가 되었습니다.

지난 30 년간 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 20 개 이상의 언어로 된 200 개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹사이트를 구축했으며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 뉴스, 가격, 시장 분석 페이지가 100 만 페이지 이상에 달합니다. 2013 년 이후 WeChat 공식 계정 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 4 만 건 이상의 정보를 발행하여 거의 10 만 명의 팔로워에게 서비스를 제공하고 있으며, 전 세계 수십만 명의 업계 종사자에게 매일 무료 정보를 제공하고 있습니다. 웹사이트 클러스터와 공식 계정의 누적 방문 수는 수십억 회에 달하며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업의 글로벌하고 권위 있는 정보 허브로 인정받고 있으며, 연중무휴 다국어 뉴스, 제품 성능, 시장 가격, 시장 동향 서비스를 제공하고 있습니다.

CHINATUNGSTEN ONLINE 의 기술과 경험을 바탕으로 CTIA GROUP 은 고객의 개인화된 요구를 충족하는 데 중점을 두고 있으며, AI 기술을 활용하여 특정 화학 조성 및 물리적 특성(입자 크기, 밀도, 경도, 강도, 치수, 공차 등)을 가진 텅스텐 및 몰리브덴 제품을 고객과 공동으로 설계 및 제조하며, 금형 개발, 시제품 제작, 마무리, 포장, 물류에 이르는 전 과정 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30 년간 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 전 세계 13 만 개 이상의 고객에게 50 만 종류 이상의 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 연구개발, 설계, 제조 서비스를 제공하여 맞춤형, 유연하고 지능적인 제조의 기초를 마련했습니다. 이 기초를 바탕으로 CTIA GROUP 은 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능형 제조와 통합 혁신을 더욱 심화하고 있습니다.

CTIA GROUP 의 한스 박사와 그의 팀은 30 년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류에 관한 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 집필하여 텅스텐 산업과 무료로 공유하고 있습니다. 한스 박사는 1990 년대부터 30 년 이상 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조에 종사한 경험이 있으며, 국내외에서 유명한 텅스텐 및 몰리브덴 제품 전문가입니다. 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하며, CTIA GROUP 의 팀은 생산 실무와 시장 고객의 요구를 바탕으로 기술 연구 논문, 기사, 업계 보고서를 지속적으로 작성하여 업계 내에서 광범위한 찬사를 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA GROUP 의 기술 혁신, 제품 홍보, 업계 교류에 견고한 지원을 제공하며, 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조 및 정보 서비스 분야에서 리더가 되도록 추진하고 있습니다.



### CTIA 전자저작권 및 법적 책임 성명서

## 디렉토리

### 1 장 소개 및 개요

- 1.1 소개
  - 1.1.1 절단 방지 텅스텐 와이어의 정의와 중요성
  - 1.1.2 책의 목적과 대상 독자
- 1.2 절단에 강한 텅스텐 와이어의 역사적 발전
  - 1.2.1 텅스텐 필라멘트의 발견 및 초기 적용
  - 1.2.2 절단 저항 텅스텐 와이어 기술의 진화
  - 1.2.3 주요 이정표 및 기술 혁신

### 2 장 : 절단 방지 텅스텐 필라멘트 재료의 과학적 기초

- 2.1 텅스텐 필라멘트의 기본 특성
  - 2.1.1 텅스텐 필라멘트의 물리적 특성
  - 2.1.2 텅스텐 필라멘트의 화학적 성질
  - 2.1.3 텅스텐 필라멘트의 기계적 성질
- 2.2 절단에 강한 텅스텐 와이어의 구성 및 구조
  - 2.2.1 순수 텅스텐 와이어와 합금 텅스텐 와이어의 차이점
  - 2.2.2 미세구조와 결정구조
  - 2.2.3 도핑 및 합금이 성능에 미치는 영향
- 2.3 절단 방지 텅스텐 와이어와 다른 재료의 비교
  - 2.3.1 텅스텐 와이어, 강선, 탄소 섬유 등의 성능 비교
  - 2.3.2 특정 응용 분야에서 절단 방지 텅스텐 와이어의 장점

### 3 장 : CTIA GROUP 내절단 텅스텐 와이어 제조 공정

- 3.1 원료 선택
  - 3.1.1 텅스텐 광석의 정제 및 정제
  - 3.1.2 도핑 원소의 선택과 기능
- 3.2 CTIA GROUP 텅스텐 필라멘트 생산 공정
  - 3.2.1 분말 야금
  - 3.2.2 철사 그림 과정과 장비
  - 3.2.3 열처리 및 어닐링 공정
- 3.3 절단에 강한 텅스텐 와이어의 품질 관리 및 테스트
  - 3.3.1 생산 공정의 품질 관리
  - 3.3.2 완성 된 텅스텐 와이어에 대한 테스트 표준 및 방법

### 4 장 : 텅스텐 와이어 절삭 저항의 성능 및 테스트

- 4.1 절단에 강한 텅스텐 와이어의 기계적 특성 시험
  - 4.1.1 인장 강도 및 파괴 인성
  - 4.1.2 경도 시험
  - 4.1.3 피로 성능 및 내구성
- 4.2 절단 저항 텅스텐 와이어 내마모성 및 내식성

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 4.2.1 마모 메커니즘 및 테스트 방법
- 4.2.2 부식성 환경에서의 성능 평가
- 4.3 텅스텐 와이어 절단의 고온 저항
- 4.3.1 열 안정성 및 내 산화성
- 4.3.2 고온에서 기계적 특성의 변화

## 5 장 : 텅스텐 와이어 절단 저항 관련 규격

- 5.1 국제 표준
- 5.1.1 ISO 표준
- 5.1.2 ASTM 및 기타 국제 표준
- 5.2 중국 국가 표준 및 산업 규범
- 5.2.1 GB/T 표준
- 5.2.2 업계 규범 및 인증
- 5.3 절단에 강한 텅스텐 와이어의 표준 요약표
- 5.4 기준의 신청 그리고 전망

## 6 장 : 절단 방지 텅스텐 와이어의 적용

- 6.1 와이어 커팅
- 6.1.1 电火花线切割(EDM)
- 6.1.1.1 절단 방지 텅스텐 와이어는 EDM 에서 중심적인 역할을 합니다.
- 6.1.1.2 고정밀 금형 제작의 장점
- 6.1.1.3 복잡한 형상의 금속 부품 가공 사례
- 6.1.2 다이아몬드 와이어 톱 절단
- 6.1.2.1 다이아몬드 와이어 톱의 기본 재료로 텅스텐 와이어
- 6.1.2.2 반도체 웨이퍼 및 태양광 실리콘 웨이퍼의 고정밀 절단
- 6.1.2.3 석재 및 도자기와 같은 단단한 재료의 절단 응용 프로그램
- 6.2 고온 환경에서의 기능성 부품
- 6.2.1 고온로의 발열체
- 6.2.1.1 진공 또는 불활성 가스로에서의 텅스텐 와이어 적용
- 6.2.1.2 고온 어닐링 및 소결시 내구성
- 6.2.2 열 분무 및 용접 지원
- 6.2.2.1 플라즈마 분무의 텅스텐 필라멘트 부품
- 6.2.2.2 텅스텐 불활성 가스 차폐 용접 (TIG 용접)의 전극선.
- 6.2.3 항공우주 고온 부품
- 6.2.3.1 로켓 엔진 노즐의 텅스텐 와이어 보강
- 6.2.3.2 전기 추진기의 텅스텐 와이어 음극
- 6.3 전자 및 전기 응용 프로그램
- 6.3.1 전자빔 및 X-ray 장비
- 6.3.1.1 전자 현미경, X 선관의 텅스텐 필라멘트
- 6.3.1.2 전자빔 용접의 고온 소스
- 6.3.2 진공 장비
- 6.3.2.1 진공 증발에서 텅스텐 와이어 증발 보트

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 6.3.2.2 질량 분석기의 텅스텐 필라멘트 소스
- 6.3.3 조명 및 디스플레이
  - 6.3.3.1 고강도 방전 램프 (HID 램프)의 텅스텐 전극.
  - 6.3.3.2 백열등 및 할로겐 램프의 텅스텐 필라멘트
- 6.4 의료 및 과학 기기
  - 6.4.1 수술 도구
    - 6.4.1.1 전기 수술의 텅스텐 전극
    - 6.4.1.2 최소침습수술에서의 고정밀 절단선
  - 6.4.2 분석 기기
    - 6.4.2.1 질량 분석기의 텅스텐 와이어 검출기
    - 6.4.2.2 열중량 분석기의 고온 텅스텐 와이어 샘플 홀더
  - 6.4.3 생물 의학 연구
    - 6.4.3.1 세포 electroporation 에 있는 텅스텐 전극
    - 6.4.3.2 신경과학의 미세전극 어레이
- 6.5 산업 제조 및 가공 지원
  - 6.5.1 직물 및 종이
    - 6.5.1.1 섬유 기계의 내마모성 텅스텐 와이어 가이드
    - 6.5.1.2 제지 기계의 텅스텐 와이어 액세서리
  - 6.5.2 가공 식품
    - 6.5.2.1 식품 절단 라인의 부식 방지 텅스텐 와이어
    - 6.5.2.2 고온 베이킹 장비의 텅스텐 와이어 발열체
  - 6.5.3 유리 및 세라믹 가공
    - 6.5.3.1 유리 절단의 고강도 텅스텐 와이어
    - 6.5.3.2 세라믹 기관 절단 및 천공용 텅스텐 와이어
- 6.6 에너지 및 환경 보호
  - 6.6.1 원자력 에너지
    - 6.6.1.1 원자로의 텅스텐 와이어 제어 부품
    - 6.6.1.2 방사선 차폐의 텅스텐 와이어 메쉬
  - 6.6.2 재생 가능 에너지
    - 6.6.2.1 태양 전지 제조시 텅스텐 와이어 절단
    - 6.6.2.2 풍력 터빈의 내마모성 텅스텐 와이어 구성 요소
  - 6.6.3 폐기물 처리
    - 6.6.3.1 고온 소각로의 텅스텐 와이어 발열체
    - 6.6.3.2 폐수 처리의 전해 텅스텐 전극
- 6.7 국방 및 안보
  - 6.7.1 철갑 소재
    - 6.7.1.1 텅스텐 강화 복합 갑옷
    - 6.7.1.1 텅스텐 기반 철갑 코어
  - 6.7.2 감지 및 감지
    - 6.7.2.1 고온 센서의 텅스텐 와이어 요소
    - 6.7.2.2 폭발물 탐지 장비의 텅스텐 와이어 방아쇠
  - 6.7.3 통신 장비

6.7.3.1 군용 통신 안테나의 고온 텅스텐 와이어

6.7.3.2 위성 통신에서 텅스텐 반사 그물

## 7 장: 절단 방지 텅스텐 와이어의 고급 주제 및 향후 동향

7.1 나노 기술과 텅스텐 필라멘트

7.1.1 나노 스케일 텅스텐 와이어의 준비 및 특성

7.1.2 잠재적인 응용 프로그램 및 과제

7.2 복합재 및 코팅 기술

7.2.1 텅스텐 와이어 강화 복합재

7.2.2 표면 코팅의 성능 향상

7.3 미래 동향

7.3.1 새로운 텅스텐 필라멘트 재료의 연구 개발

7.3.2 지속 가능성 및 환경 고려 사항

7.3.3 학제 간 응용 탐구

## 8 장 : 절단 방지 텅스텐 와이어의 경제 및 산업 분석

8.1 절단 방지 텅스텐 와이어의 실제 적용 사례

8.1.1 절단 방지 텅스텐 와이어의 성공적인 적용에 대한 업계 사례

8.1.2 실패와 교훈

8.2 절단 방지 텅스텐 와이어의 선택 및 사용에 대한 지침

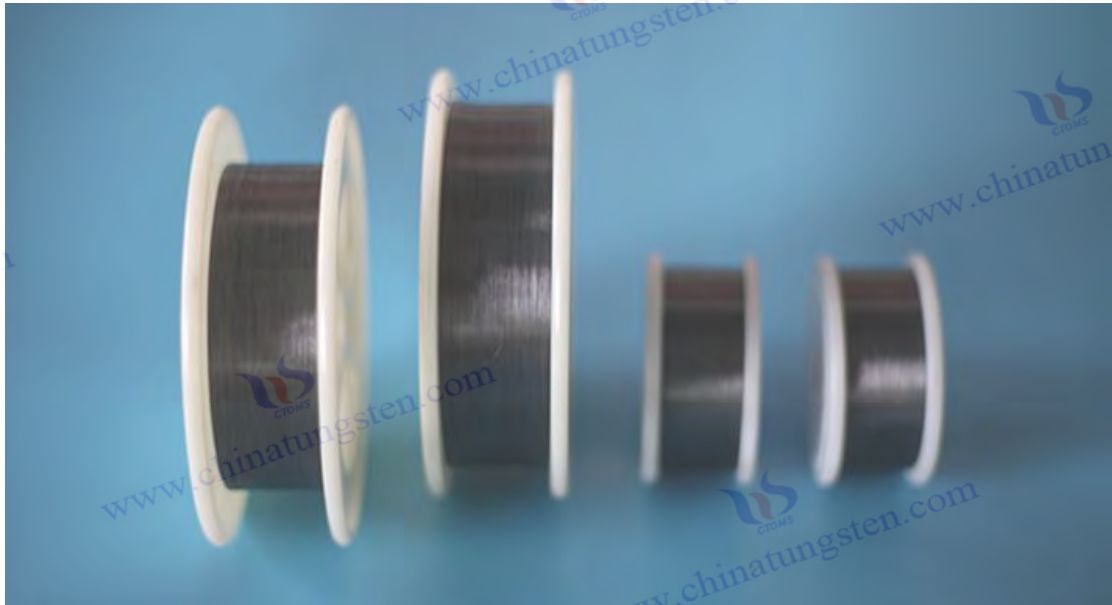
8.2.1 올바른 절단 방지 텅스텐 와이어를 선택하는 방법

8.2.2 설치, 유지 보수 및 안전 예방 조치

## 9 장 부록

9.1 용어집

9.2 참조



### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 1 장 소개 및 개요

### 1.1 소개

고성능 엔지니어링 재료로서 Cut Resistant Tungsten Wire 는 독특한 물리적 및 화학적 특성으로 인해 현대 산업 및 과학 연구 분야에서 중요한 위치를 차지합니다. 이는 재료 과학과 엔지니어링의 교차점을 보여주는 예일 뿐만 아니라 여러 산업에 중요한 지원을 제공합니다.

#### 1.1.1 절단 방지 텅스텐 와이어의 정의와 중요성

절단 방지 텅스텐 와이어는 텅스텐 (W, 원자 번호 74)을 주성분으로 한 얇은 와이어로 도핑 또는 합금 공정에 의해 최적화되었으며 초 고 인장 강도 (최대 4000 MPa 이상), 우수한 내마모성 및 고온 안정성 (약 3422 °C 의 용점)을 갖는다. 일반적으로 마이크론에서 밀리미터 직경의 이 제품은 극한의 기계적 응력과 열 부하를 견딜 수 있어 고온 환경에서 정밀 절단 및 기능 응용 분야에 이상적입니다. 일반 텅스텐 와이어와 비교하여 절단 방지 텅스텐 와이어는 와이어 EDM 의 전극 와이어 또는 다이아몬드 와이어 튜브의 고강도 기관과 같은 절단 응용 분야의 성능을 최적화하도록 설계되었습니다.

그 중요성은 다각적입니다. 제조 산업에서 절단 방지 텅스텐 와이어의 높은 내구성은 서브 마이크론 허용 오차 (1 $\mu$ m 미만)를 달성 할 수 있는 반도체 웨이퍼 다이싱과 같은 가공 정확도와 효율성을 크게 향상시킵니다. 고온 저항성과 내산화성으로 인해 항공 우주(예: 로켓 노즐 보강재) 및 전자 산업(예: X 선관 필라멘트)에서 대체할 수 없습니다. 또한 텅스텐의 높은 밀도(19.25g/cm<sup>3</sup>)와 내식성은 방위(예: 갑옷 관통 재료) 및 에너지 부문(예: 원자로 부품)에서 사용할 수 있는 잠재력을 더욱 확대합니다. 재료 과학과 공학 기술의 교차점에서 대표적인 업적으로서, 텅스텐 와이어는 현대 기술의 진보를 촉진하고 복잡한 엔지니어링 문제를 해결하기 위한 중요한 도구가 되었습니다.

#### 1.1.2 책의 목적과 대상 독자

이 책의 목적은 절단 방지 텅스텐 와이어의 과학적 원리, 생산 공정, 성능 테스트 및 광범위한 응용을 포괄적이고 체계적으로 소개하고 기존 문헌에서 전문 자료의 체계적인 연구의 격차를 메우는 것입니다. 이 책은 최신 학술 연구 결과와 산업 실무 경험을 통합함으로써 절단 저항 텅스텐 와이어의 기술적 현황을 분류할 뿐만 아니라 향후 발전 방향을 내다보고 재료 혁신 및 응용 프로그램 확장을 촉진하기 위한 이론적 지원 및 실용적인 지침을 제공합니다.

대상 고객에는 재료 과학, 기계 공학 및 제조 기술 분야의 학자 및 엔지니어, 특히 고성능 재료 설계, 프로세스 최적화 및 응용 프로그램 개발에 중점을 둔 엔지니어가 포함됩니다. 동시에 이 책은 반도체 제조, 항공 우주 및 의료 기기 분야의 숙련자와 같은 관련 산업 종사자와 첨단 재료에 관심이 있는 대학 및 대학원생을 대상으로 합니다. 독자가 이론적 통찰력을 찾고 있는 실용적인 솔루션을 찾고 있는 이 책은 학계와 업계에서 돌파구를 마련하는 데 도움이 되는 권위 있고 유익한 콘텐츠를

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

제공하고자 합니다.

## 1.2 절단에 강한 텅스텐 와이어의 역사적 발전

절단 방지 텅스텐 와이어의 진화는 텅스텐 기반 재료의 기술 개발의 축소판이며, 이는 초기 금속 발견에서 현대 고성능 응용 프로그램에 이르기까지 기술 혁신의 여러 단계를 거쳤습니다. 이 과정은 그것이 어떻게 기본 재료에서 현대 산업의 핵심 구성 요소로 성장했는지 보여줍니다.

### 1.2.1 텅스텐 필라멘트의 발견 및 초기 적용

텅스텐의 발견은 18 세기 말로 거슬러 올라갑니다. 1781 년 스웨덴의 화학자 칼 빌헬름 셸레(Carl Wilhelm Scheele)는 텅스텐 광석을 분석하여 텅스텐 광석의 존재를 처음으로 추측했고, 1783 년에는 스페인의 후안 호세 엘후야르(Juan José Elhuyar)와 파우스토 엘후야르(Fausto Elhuyar)가 텅스텐 광석을 성공적으로 분리했습니다. 텅스텐 금속. 그러나 당시 야금 기술의 한계로 인해 텅스텐의 산업적 응용은 19 세기 말까지 실현되지 않았습니다.

텅스텐 필라멘트의 초기 적용은 20 세기 초에 시작되었습니다. 1904 년 헝가리 과학자 Justus von Liebig 와 Hans Kuzel 은 분말 야금 및 와이어 드로잉 기술을 통해 미세 텅스텐 필라멘트를 생산하기 위해 텅스텐 필라멘트 제조 공정을 개발했으며, 이는 백열 램프 필라멘트에 처음 적용되었습니다. 텅스텐의 높은 용점과 전기 전도성(저항률 약  $5.6\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )으로 인해 조명 산업의 표준 재료가 되었습니다. 1909 년, 제너럴 일렉트릭의 윌리엄 브라운. 윌리엄 D. 쿨리지 (William D. Coolidge)는 연성 텅스텐의 인발 방법을 사용하여 텅스텐 와이어 생산 공정을 더욱 개선하여 전자관 및 발열체에 널리 사용되었습니다. 이 단계의 텅스텐 필라멘트는 순수한 텅스텐에 의해 지배되며, 이는 제한된 연성에도 불구하고 고성능 재료로 사용하기 위한 토대를 마련합니다 (과단 연신율은 일반적으로 5 % 미만).

### 1.2.2 절단 저항 텅스텐 와이어 기술의 진화

산업 기술의 발전과 함께, 순수 텅스텐 와이어의 한계는 특히 더 높은 강도와 내구성을 요구하는 응용 분야에서 분명 해지고 있습니다. 20 세기 초, 도핑 기술의 도입은 텅스텐 와이어의 성능을 크게 향상 시켰습니다. 1913 년 미국 제너럴 일렉트릭 컴퍼니 (General Electric Company)는 칼륨의 미세한 분포를 제어하여 고온 처짐 방지 성능을 향상시키기 위해 텅스텐 필라멘트에 칼륨 (K)을 처음으로 도핑했으며, 이 공정은 원래 백열 램프 필라멘트의 수명을 연장하는 데 사용되었지만 절단 방지 텅스텐 필라멘트의 개발을 위한 기술적 기반을 제공했습니다. 그 후, 텅스텐-레늄(W-Re) 합금의 연구 개발은 텅스텐 와이어의 인성과 고온 안정성을 더욱 향상시켜 더 넓은 응용을 위한 길을 열었습니다.

특수 재료로서의 절단 방지 텅스텐 와이어의 개념은 20 세기 중반에 형성되었습니다. 1950 년대에는 EDM(Electrical Discharge Machining) 기술이 부상하면서 고강도, 내마모성 전극 와이어에 대한 수요가 급증하고 절단 방지 텅스텐 와이어가 기존의 필라멘트 제조 공정과 차별화되기 시작했습니다. 복잡한 인발 및 열처리 단계가 생산 공정에



추가되어 미세한 직경에서 높은 인장 강도와 표면 품질을 보장합니다. 20 세기의 70 년대까지 다이아몬드 와이어 톱 기술의 상업화는 다이아몬드 입자의 기관으로 사용되었으며 반도체 및 태양광 산업에서 널리 사용된 절단 저항 텅스텐 와이어의 개발을 더욱 촉진했습니다. 이러한 진화 단계는 절단 방지 텅스텐 와이어가 범용 재료에서 특수 고성능 와이어로의 변화를 반영합니다.

### 1.2.3 주요 이정표 및 기술 혁신

절단 방지 텅스텐 와이어의 역사에서 몇 가지 주요 이정표와 기술 혁신이 현대적인 형태를 형성했습니다. 1927 년에는 초미세 텅스텐 와이어(직경 0.01mm 미만)의 인발 기술이 발전하여 향상된 인발 다이 정확도(허용 오차 0.5 $\mu$ m)± 최적화된 어닐링 공정(1200°C 에서 1500°C 사이의 온도 제어) 덕분에 고정밀 가공으로 두각을 나타냈습니다. 1950 년대에 텅스텐 - 레늄 합금의 산업 생산은 텅스텐 와이어의 고온 강도 (최대 3000MPa 이상)와 피로 저항을 크게 향상시켜 항공 우주 (예 : 로켓 엔진 부품) 및 전자 산업 (예 : X 선관)에서 새로운 용도를 얻었습니다.

20 세기의 70 년대에, 와이어 EDM 기술의 대중화는 절단에 강한 텅스텐 와이어의 적용에서 분수령이되었습니다. EDM 전극 와이어로서 텅스텐 와이어는 우수한 방전 안정성 (최대 10<sup>6</sup> A / m<sup>2</sup>의 전류 밀도)과 내마모성을 나타내어 금형 제작 및 정밀 부품 가공의 혁명을 주도합니다. 21 세기에는 나노 기술 및 표면 공학의 발전으로 나노 스케일 텅스텐 와이어 (직경 20-50 nm)의 준비 및 내마모성 코팅 (예 : 텅스텐 질화물 코팅)의 적용과 같은 절단 방지 텅스텐 와이어에 새로운 돌파구가 생겼습니다. 이러한 이정표는 절단 방지 텅스텐 와이어의 기능 범위를 확장할 뿐만 아니라 재료 과학과 산업 요구 간의 긴밀한 상호 작용을 반영하여 하이테크 분야에서 핵심 위치를 강화합니다.



#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 2 장 : 절단 방지 텅스텐 필라멘트 재료의 과학적 기초

### 2.1 텅스텐 필라멘트의 기본 특성

텅스텐 와이어의 성능은 텅스텐의 독특한 특성에서 파생되며, 높은 용점, 고밀도 및 우수한 기계적 강도는 극한 환경에서 절단 방지 텅스텐 와이어의 적용을 위한 토대를 마련합니다. 이 섹션에서는 텅스텐 필라멘트의 기본 특성을 물리적, 화학적 및 기계적의 세 가지 측면에서 설명합니다.

#### 2.1.1 텅스텐 필라멘트의 물리적 특성

텅스텐(W, 원자 번호 74)은 몸체 중심 입방체(BCC) 구조와 매우 높은 용점(3422°C)을 가진 전이 금속으로 모든 순수 금속 중 1 위를 차지합니다. 끓는점이 약 5555°C 이며 우수한 열 안정성을 나타냅니다. 텅스텐의 밀도는 19.25g/cm<sup>3</sup>로 금 및 우라늄과 유사하여 고품질 밀도가 필요한 응용 분야에 유리합니다.

텅스텐 필라멘트의 열전도율은 173 W/(m·K) (실온에서)이고 전기 전도도는 상대적으로 낮으며 저항은 5.6 μΩ·cm(20°C)이며 온도가 증가함에 따라 증가합니다(2000°C 에서 약 45μΩ·cm). 낮은 열팽창 계수(실온에서 4.5×10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>)는 고온에서 치수 안정성에 기여합니다. 이러한 물리적 특성으로 인해 텅스텐 필라멘트는 절단 방지 와이어 또는 고온 발열체와 같은 고온 및 고정밀 환경에서 우수합니다.

표 2.1.1 텅스텐 와이어의 물리적 특성

속성	숫자 값	말
녹는점	3422°C	순수 금속 중 가장 높음
끓는점	5555°C	우수한 열 안정성
밀도	19.25g/cm <sup>3</sup> 의	금과 우라늄에 가깝습니다.
열전도율	173 W/(m·K)	실온에서
저항력	5.6 μΩ·cm (20°C)	2000°C 时升至 45 μΩ·cm
열팽창 계수	4.5×10 <sup>-6</sup> 케이 <sup>-1</sup>	강력한 치수 안정성

#### 2.1.2 텅스텐 필라멘트의 화학적 성질

텅스텐은 실온에서 화학적 안정성이 높으며 대부분의 산 (예 : 염산, 황산) 및 염기에 대해 우수한 내식성을 나타냅니다. 그러나 고온(>400°C)에서 텅스텐은 산소와 반응하여 쉽게 형성됩니다. 삼산화 텅스텐 (WO<sub>3</sub>) 이 산화물은 약 800°C 에서 승화되기 시작하여 재료 손실을 초래합니다. 따라서 고온 응용 분야에서 텅스텐 필라멘트는 산화를 방지하기 위해 진공 또는 불활성 가스 (예 : 아르곤, 질소)에서 자주 사용됩니다.

텅스텐은 할로젠 (예 : 불소, 염소)에 대한 내성이 낮고 고온에서 휘발성 할로젠화물 (예 : WF<sub>6</sub>)을 형성 할 수 있습니다. 또한, 텅스텐은 고온에서 탄소와 반응하여 텅스텐 카바이드 (WC)를 형성하며, 이는 절삭 방지 텅스텐 와이어의 표면 개질에 잠재적으로

응용됩니다. 이러한 화학적 특성은 텅스텐 필라멘트의 환경 적 적응성과 특정 조건에서의 한계를 결정합니다.

표 2.1.2 텅스텐 필라멘트의 화학적 성질

반응 조건	특성	제품 또는 효과
실내 온도	산 및 알칼리 부식에 강합니다.	높은 화학적 안정성
高温 (>400°C)	산소와(과) 반응	WO <sub>3</sub> 는 생성되어 800°C 에서 승화됩니다.
고온 할로젠 환경	휘발성 할로젠화물의 형성	WF <sub>6</sub> 와 같이 저항이 약합니다.
고온 탄소 환경	텅스텐 카바이드 (WC)의 생성	표면 개질에 사용할 수 있습니다.

### 2.1.3 텅스텐 필라멘트의 기계적 성질

텅스텐 와이어의 기계적 특성은 절단 방지 재료로서의 핵심 장점입니다. 순수 텅스텐의 인장 강도는 실온에서 약 550-1000 MPa 이며 직경 및 가공 공정에 따라 와이어 드로잉 후 3000-4000 MPa 까지 증가 할 수 있습니다. 텅스텐은 비커스 스케일에서 높은 경도 (약 350-450 HV)를 갖지만 연성이 낮고 일반적으로 파단 연신율이 5% 미만이며 약간의 취성을 나타냅니다.

고온(>1000°C)에서는 텅스텐의 강도가 점차 감소하지만 도핑 또는 합금(예: 칼륨 도핑 또는 텅스텐-레늄 합금), 고온 강도와 피로 저항이 크게 향상됩니다. 예를 들어, 텅스텐-레늄 합금의 인장 강도는 2000°C 에서 500MPa 이상으로 여전히 유지될 수 있습니다. 이러한 기계적 특성으로 인해 텅스텐 와이어는 높은 응력과 마모를 견딜 수 있으므로 절단 방지 응용 분야에 이상적입니다.

표 2.1.3 텅스텐 필라멘트의 기계적 성질

속성	숫자 값	조건 또는 비고
인장 강도	550-1000 MPa 의	순수 텅스텐, 실온
	3000-4000 MPa 의	와이어 드로잉 후
	500 MPa (2000°C)	텅스텐-레늄 합금
경도	350-450 마력	비커스 경도
파단 신율	<5%	덜 가단성

## 2.2 절단에 강한 텅스텐 와이어의 구성 및 구조

텅스텐 와이어 절단 저항의 성능은 텅스텐 자체뿐만 아니라 그 조성 및 미세 구조에 따라 달라집니다. 이 섹션에서는 순수 텅스텐 와이어와 합금 텅스텐 와이어의 차이점을 분석하고 미세 구조에 대해 논의하며 도핑 및 합금의 역할을 명확히 합니다.

### 2.2.1 순수 텅스텐 와이어와 합금 텅스텐 와이어의 차이점

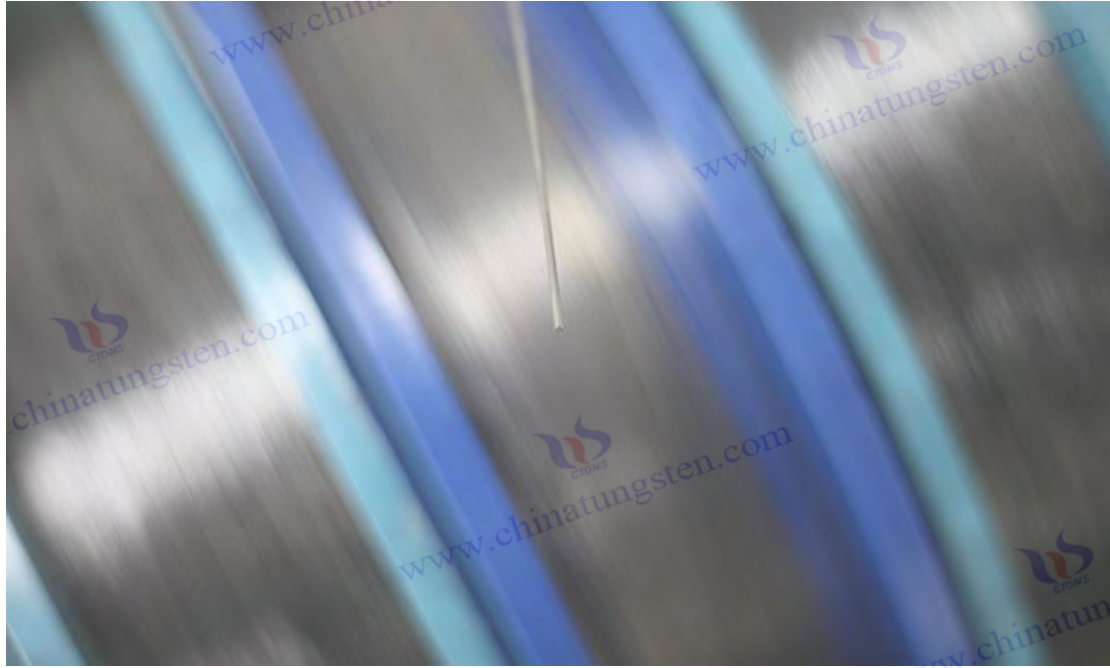
순수 텅스텐 와이어는 99.95% 이상의 텅스텐으로 구성되며 용점과 밀도가 가장 높지만 고온 처짐 저항 및 연성이 좋지 않으며 고온에서 재결정이 용이하여 입자 성장 및 강도 손실이 발생합니다. 대조적으로, 합금 텅스텐 와이어는 다른 요소를 추가하여 성능을 최적화합니다. 예를 들어, 텅스텐-레늄 합금(W-Re, 레늄 함량 3%-

26%)은 인성과 고온 강도를 향상시키고 항공 우주 부품에 일반적으로 사용됩니다. 텅스텐-몰리브덴 합금(W-Mo)은 내식성이 향상되어 특정 화학 환경에 적합합니다.

절단 방지 텅스텐 와이어는 일반적으로 강도와 가공성의 균형을 맞추기 위해 도핑 또는 가볍게 합금됩니다. 순수 텅스텐 와이어는 정밀 절단에 적용이 제한적인 반면, 합금 텅스텐 와이어는 조성 조정을 통한 고하중 및 극한 조건의 요구에 더 적합합니다.

표 2.2.1 순수 텅스텐 와이어와 합금 텅스텐 와이어의 비교

형	재료	이점	제한
순수 텅스텐 필라멘트	>99.95% W	높은 용점, 높은 밀도	고온에서 낮은 연성 및 재결정화
텅스텐-레늄 합금	승 + 3%-26% 다시	높은 인성, 고온 강도	비용이 더 높습니다.
텅스텐-몰리브덴 합금	승 + 모	내식성 향상	강도는 텅스텐-레늄 합금보다 약간 낮습니다.



### 2.2.2 미세구조와 결정구조

텅스텐 필라멘트의 미세 구조는 생산 공정의 영향을 크게 받습니다. 순수한 텅스텐은 격자 상수가 3.165 Å 인 몸체 중심 입방 (BCC) 결정 구조를 가지고 있습니다. 드로잉 과정에서 텅스텐 필라멘트는 일반적으로 0.1 μm 에서 10 μm 크기의 길쭉한 섬유질 입자를 형성하며 인장 방향으로 배열됩니다. 이 섬유 구조는 인장 강도를 향상시키지만 이방성도 증가시킵니다.

도핑 된 텅스텐 필라멘트 (예 : 칼륨 함유)는 고온에서 안정된 미세 칼륨 액포 (직경 약 10-100 nm)를 형성하며, 이는 입자 경계에 분포되어 입자 성장 및 재결정화를

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

억제하여 고온 안정성을 향상시킵니다. 합금 텅스텐 와이어의 미세 구조는 첨가 된 원소에 따라 달라지며, 예를 들어, 텅스텐-레늄 합금에서 레늄의 용액 강화는 결정 격자를 왜곡시키고 재료의 인성을 향상시킵니다. 이러한 구조적 특성은 절단 방지 텅스텐 와이어의 성능과 수명에 직접적인 영향을 미칩니다.

표 2.2.2 텅스텐 필라멘트의 미세 구조 특성

형	결정 구조	곡물 특성	특수 구조
순수 텅스텐 필라멘트	숨은 참조, 3.165 Å	纤维状, 0.1-10 μm	특별한 구조 없음
도핑 된 텅스텐 와이어 (칼륨)	숨은 참조	섬유	포탈 칼륨, 10-100 nm
텅스텐-레늄 합금	숨은 참조	결을 다듬습니다	크리스탈 왜곡(고용성 강화)

### 2.2.3 도핑 및 합금이 성능에 미치는 영향

도핑 및 합금은 절단에 강한 텅스텐 와이어의 성능을 향상시키는 핵심 수단입니다. 칼륨 도핑 (함량 0.01 % -0.05 %)은 칼륨 기포를 형성하여 입계 이동을 억제하므로 텅스텐 필라멘트는 2000 °C 이상에서 여전히 높은 처짐 방지 능력을 유지하며 고온 절단 또는 발열체에 자주 사용됩니다. 실리콘 및 알루미늄 도핑(미량)은 표면 경도와 내마모성을 향상시켜 심한 마모가 있는 응용 분야에 적합합니다.

합금에서 레늄(3%-26%)을 첨가하면 입자의 용액 강화 및 정제를 통해 인성과 인장 강도가 향상되고 텅스텐-레늄 합금의 강도는 2500°C 에서 700MPa 에 도달할 수 있습니다. 또한 토륨(Th) 또는 란타늄(La) 도핑(1%-2%)은 전자 방출 성능을 향상시킬 수 있으며 전극 와이어에 적합합니다. 이러한 수정을 통해 절단 방지 텅스텐 와이어는 특정 응용 분야의 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

표 2.2.3 도핑 및 합금의 성능 효과

요소	콘텐츠	주요 역할	적용 사례
칼륨(K)	0.01%-0.05%	처짐 방지 및 재결정화 억제	고온 절단, 발열체
실리콘(Si), 알루미늄(Al)	자취	경도와 내마모성 향상	내마모성 절단 와이어
铼(Re)	3%-26%	향상된 인성 및 고온 강도	항공우주 부품
토륨(Th), 란타늄(La)	1%-2%	전자 방출 성능 향상	EDM 전극 와이어

## 2.3 절단 방지 텅스텐 와이어와 다른 재료의 비교

절단에 강한 텅스텐 와이어의 독특한 특성으로 인해 군중에서 눈에 띕니다. 이 섹션에서는 텅스텐 와이어의 특성을 강선 및 탄소 섬유와 같은 일반적인 재료와 비교하고 특정 응용 분야에서의 장점을 분석합니다.

### 2.3.1 텅스텐 와이어, 강선, 탄소 섬유 등의 성능 비교

강선에 비해 텅스텐 와이어는 인장 강도 (4000 MPa 대 고강도 강철의 경우 2000 MPa)와 용점 (3422 °C 대 강철의 경우 약 1500 °C)이지만 연성이 낮습니다 (<5 % 대 강철의 경우 20 % -30 %). 강선은 실온에서 가공하기가 더 쉽고 텅스텐 와이어는 고온 및

응력에서 더 잘 작동합니다.

탄소 함유는 비강도(인장 강도 약 3500MPa, 밀도 1.8g/cm<sup>3</sup>)가 매우 높고 텅스텐 와이어보다 훨씬 가볍지만 내열성이 좋지 않으므로(약 500°C 에서 분해되기 시작함) 고온 절단에 사용할 수 없습니다. 텅스텐 와이어의 전도성은 탄소 함유의 전도성보다 우수하여 EDM 에서 유리합니다.

구리선 (인장 강도 약 200-400 MPa, 용점 1085 °C)과 비교할 때 텅스텐 와이어는 강도와 온도 저항이 훨씬 앞서 있지만 전도도는 약간 떨어집니다 (구리 저항 1.7 μΩ·cm). 이러한 차이에 따라 재료의 사용이 결정됩니다.

표 2.3.1 텅스텐 필라멘트와 다른 재료의 특성 비교

재료	인장 강도 (MPa)	녹는점(°C)	밀도 (g / cm <sup>3</sup> )	저항률 (μΩ·cm)	연성
텅스텐	4000	3422	19.25	5.6	<5%
고강도 강철	2000	~1500년	7.8	~15	20%-30%
탄소 함유	3500	~500(분해)	1.8	부도체 없음	높다
구리선	200-400	1085	8.96	1.7	>30%

### 2.3.2 특정 응용 분야에서 절단 방지 텅스텐 와이어의 장점

와이어 EDM 에서 절단에 저항하는 텅스텐 와이어의 높은 강도와 내마모성으로 인해 높은 전류 밀도와 방전 마모를 견딜 수 있으며 절단 정확도는 구리 및 강선보다 우수합니다. 다이아몬드 와이어 톱에서 기관으로서의 텅스텐 와이어의 내구성은 스틸 와이어의 내구성을 훨씬 증가하여 반도체 웨이퍼 및 석재 절단의 안정성을 보장합니다.

고온 환경 (예 : 항공 우주 노즐, 온도 > 2000 °C)에서 텅스텐 와이어는 탄소 함유 및 강선을 증가하여 열 안정성을 선택하는 재료로 사용됩니다. 그것의 높은 밀도는 또한 갑옷 관통 코어와 같은 방어 분야에서 대체할 수 없는 품질 이점을 제공합니다. 이러한 특성으로 인해 절단 방지 텅스텐 와이어는 고정밀, 고온 및 고부하 응용 분야에 고유하게 배치됩니다.

표 2.3.2 절단 방지 텅스텐 와이어의 적용 이점

응용 프로그램 시나리오	중요한 요구 사항	텅스텐 와이어 장점	대비되는 재료의 한계
EDM 와이어 커팅	고강도 및 내마모성	10 <sup>6</sup> A/m <sup>2</sup> 전류 밀도를 견딤	구리선은 강도가 낮고 강선이 빨리 마모됩니다.
다이아몬드 와이어 톱	내구성	고강도 기관	강선은 수명이 짧습니다.
高温部件 (>2000°C)	열 안정성	녹는점: 3422 °C	탄소 함유가 분해되고 강철이 녹습니다.
철갑 관통 총알 코어	고밀도	19.25g/cm <sup>3</sup> 의	강철은 밀도가 낮습니다.

### 3 장 : CTIA GROUP 내절단 텅스텐 와이어 제조 공정

#### 3.1 원료 선택

CTIA GROUP 의 내절단 텅스텐 와이어 제조는 고품질 원료를 선택하는 것으로 시작되며, 그 성능은 텅스텐의 순도와 도핑 원소의 최적 비율에 달려 있습니다. 텅스텐 광석의 정제 및 정제뿐만 아니라 도핑 원소의 선택 및 작용이 이 과정의 핵심입니다.

##### 3.1.1 텅스텐 광석의 정제 및 정제

CTIA GROUP 은 고품질을 선택합니다. 텅스텐 황철광( $Fe, MnWO_4$ ) 그리고 솔라이트( $CaWO_4$ ) 주요 원료로. 추출은 광석 채굴로 시작하여 노천광 또는 지하에서 얻은 다음 중력, 자기 및 부유선광과 같은 선광 과정을 통해 폐암에서 텅스텐 광물을 분리하고 지그 및 무거운 매체 분리를 포함한 선광 장비를 사용하여 효율적인 분리를 보장합니다. 화학적 추출은 광석과 탄산나트륨( $Na_2CO_3$ ) 또는 수산화나트륨( $NaOH$ )을  $800-1000^{\circ}C$  에서 반응 텅스텐 산 나트륨 ( $Na_2WO_4$ ), 또는 염산(HCl) 또는 황산( $H_2SO_4$ )을 사용하여 텅스텐을 침출하는 산성 침출.

정제 공정은 불순물(예: 몰리브덴, 인, 비소)을 제거하기 위해 다단계 침전 및 여과에 의해 생성됩니다. 파라텅스텐 산 암모늄 (APT,  $(NH_4)_{10}(H_2W_{12}O_{42}) \cdot 4H_2O$ ). APT 는  $600-800^{\circ}C$  에서 소성되어 다음과 같이 변환됩니다. 삼산화 텅스텐 ( $WO_3$ ) 이후 수소 환원로( $900-1100^{\circ}C$ ,  $H_2$  유량  $20-50 m^3/h$ )에서 만들어집니다. 고순도 텅스텐 분말(순도 > 99.97 %, 입자 크기  $1-3 \mu m$ ). 이 공정은 고순도 원료에 대한 CTIA GROUP 의 엄격한 요구 사항을 반영하고 절단 방지 텅스텐 와이어에 대한 고품질 기본 재료를 제공합니다.

표 3.1.1 텅스텐 광석 정제 및 정제 공정

단계	방법/조건	제품	주요 매개 변수
선광	중력, 자기, 부유 선광	텅스텐 미네랄 농축액	지그, 헤비 미디어
화학적 추출	碱熔法, $800-1000^{\circ}C$	$Na_2WO_4$	$Na_2CO_3$ 或 $NaOH$
	산성 침출 방법	텅스텐 산	HCl 或 $H_2SO_4$
정화	강우, 여과	APT	Mo, P, A 가 제거되었습니다.
소성	$600-800^{\circ}C$	$W_3$	-
수소 환원	$900-1100^{\circ}C$	텅스텐 분말 (>99.97 %)	$H_2$ 流量 $20-50 m^3/h$

##### 3.1.2 도핑 원소의 선택과 기능

절단 방지 텅스텐 와이어의 고성능 요구 사항에 따라 CTIA GROUP 은 특성을 최적화하기 위해 도핑 요소를 선택합니다. 칼륨(K, 0.01%-0.03%)은 칼륨 vapples(직경  $10-50nm$ )를 형성하여 고온 재결정을 억제하고 처짐 저항성을 향상시켜 고온 절단 시나리오에 적합합니다. 실리콘(Si) 및 알루미늄(Al, 함량 < 0.005%)은 표면 경도와 내마모성을 향상시켜 고정밀 절단에 적합합니다. 레늄(Re, 5%-20%)은 용액 강화로

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

강화되어 인성과 고온 강도를 향상시켜 항공우주 응용 분야의 요구 사항을 충족합니다. 토륨(Th, 1%-1.5%) 또는 란타늄(La, 1%-1.5%)은 전자 방출을 최적화하고 EDM(전기 방전 가공) 와이어에 사용됩니다.

도판은 균일 한 분포를 보장하기 위해 고정밀 혼합 장비 (예 : 유성 밀)에 의해 텅스텐 분말 준비 단계에서 첨가됩니다. 이 프로세스는 재료 특성을 정확하게 제어하는 CTIA GROUP 의 능력을 반영합니다.

표 3.1.2 도핑 원소와 그 효과

요소	콘텐츠	기능	응용 프로그램 시나리오
칼륨(K)	0.01%-0.03%	재결정화 및 처짐 방지 억제	와이어의 고온 절단
실리콘(Si)	<0.005%	경도와 내마모성 향상	내마모성 절단 와이어
알루미늄(Al)	<0.005%	표면 특성 향상	고정밀 절단
렉(Re)	5%-20%	인성 및 고온 강도 향상	항공우주 부품
토륨(Th)	1%-1.5%	전자 방출 성능 향상	EDM 전극 와이어
란타 (La)	1%-1.5%	배기가스 배출 성능 및 내구성 향상	고성능 전극

### 3.2 CTIA GROUP 텅스텐 필라멘트 생산 공정

CTIA GROUP 의 텅스텐 와이어 생산 공정은 절단에 강한 텅스텐 와이어의 까다로운 요구 사항을 충족하는 고정밀 및 고성능을 지향합니다. 분말 야금, 와이어 드로잉, 열처리, 표면 처리 및 공정 최적화는 함께 이 공정의 핵심 연결 고리를 형성합니다.

#### 3.2.1 분말 야금

CTIA GROUP 은 분말 야금법을 사용하여 텅스텐 분말을 변환합니다 (입자 크기 1-3  $\mu\text{m}$ )입니다. 텅스텐 막대. 텅스텐 분말을 고속 믹서에서 바인더 (예 : 폴리 비닐 알코올)와 혼합 한 다음 500-600 MPa 에서 정밀 유압 프레스를 사용하여 바 (직경 8-15mm 및 길이 150-300mm)로 압착합니다. 사전 소결은 수소 분위기 (1000-1200 °C, 1-2 시간)에서 수행하여 바인더 및 예비 고밀도화를 제거합니다. 완전한 소결은 고온 소결로(2300-2500°C, H<sub>2</sub> 유량 40-60m<sup>3</sup>/h, 5-6 시간), 바 밀도이론 값의 95%-97%.

도핑된 원소는 미세한 균질성을 보장하기 위해 분무 건조 기술에 의해 혼합 단계에서 추가됩니다. 이 공정은 후속 와이어 드로잉을 위한 고강도, 고연성 바 베이스를 제공합니다.

표 3.2.1 분말 야금 공정 매개 변수

단계	조건	목표	주요 매개 변수
섞다	텅스텐 분말 + 바인더	고름	입자 크기 : 1-3 $\mu\text{m}$
억압하다	500-600 MPa 의	포밍 바	지름 8-15 mm
사전 소결	1000-1200°C, 수직류	바인더 제거	1-2 시간
완전 소결	2300-2500°C, 수직류	치밀화	밀도 95%-97%, 5-6 시간

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



### 3.2.2 철사 그립 과정과 장비

필라멘트는 중텅스텐 지조 내절단 텅스텐 필라멘트 제조의 핵심 단계이다. 텅스텐의 고경도 (비씨경도 400-450HV) 와 아삭아삭함은 여러 차례의 스트레칭이 점차 지름 (밀리미터급에서 15 $\mu$ m) 을 줄이고 한 차례의 지름은 10~15% 감소해야 한다. 매번 스트레칭한 후 수소나 아르곤에서 퇴화(1300-1500 $^{\circ}$ C, 10-20 초)하여 연전성을 회복하고 응력을 방출한다.

CTIA GROUP 은 고정밀 다이아몬드 다이 (공차  $\pm 0.3 \mu$ m) 또는 초경합금 다이 (거친 드로잉 단계)를 갖춘 단일 모드 와이어 드로잉 기계 (거친 드로잉, 1-5mm) 및 다중 모드 연속 와이어 드로잉 머신 (미세 드로잉, < 0.3 mm)을 채택합니다. 드로잉 속도는 5-15m/min 이며 흑연 에멀전 윤활제를 사용하여 마찰을 줄입니다. 절단 저항성 텅스텐 필라멘트는 인발력(<40N), 다이 마모 및 와이어 온도(<250 $^{\circ}$ C)를 모니터링해야 합니다. 최적화 조치에는 2-3 회 통과마다 어닐링과 직경 일관성(허용 오차 0.1 $\mu$ m)을 보장하기  $\pm$  레이저 캘리퍼가 포함됩니다. 다음 목록은 CTIA GROUP 의 일반적으로 사용되는 와이어 드로잉 장비를 나열합니다.

표 3.2.2a 드로잉 프로세스 매개변수

매개 변수	레인지	기능	장비/조건
직경 감소	밀리미터 - 15 $\mu$ m	단계별 성형	패스당 10%-15% 감소
어닐링 온도	1300-1500 $^{\circ}$ C	연성 복원	H <sub>2</sub> 또는 아르곤, 10-20 초
드로잉 속도	5-15m/분	품질 관리	싱글모드/멀티모드 철사 그립 기계
금형 정확도	허용 오차 $\pm 0.3 \mu$ m	표면 품질 보장	다이아몬드 또는 카바이드 다이
인발력	<40 이복수	파손 방지	인라인 힘 트랜스듀서
윤활 유	흑연 우유	마찰 감소	-

표 3.2.2b 와이어 드로잉 장비 목록

장치의 이름입니다	함수에 대한 설명	적용 가능한 단계
단일 모드 텅스텐 와이어 기본 드로잉 머신	굵은 직경의 텅스텐 막대 (1-5 mm) 취급, 1 차 성형	거친 당기기
다중 모드 텅스텐 와이어 미세 드로잉 머신	초극세 와이어(<0.3mm)를 위한 다중 패스 연속 스트레칭	셀라
초정밀 다이아몬드 몰드	최적화된 표면 품질을 위한 고정밀 스트레칭(허용 오차 $\pm 0.3 \mu$ m)	필라멘트 성형
내마모성이 뛰어난 초경 금형	거친 인발을 위한 높은 내마모성(>1mm)	굵게, 가운데
인발력의 실시간 모니터링	파손 방지를 위한 인발력(<40 N)의 실시간 모니터링	부르다
고정밀 레이저 캘리퍼스	정확한 직경 측정(공차 $\pm 0.1 \mu$ m)으로 일관성 보장	셀라
그라파이트 에멀전 자동 스프레이 시스템	마찰과 열을 줄이기 위해 윤활제를 고르게 바르십시오.	부르다

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 3.2.3 열처리 및 어닐링 공정

열처리는 절단에 강한 텅스텐 와이어의 성능을 최적화합니다. 어닐링은 1300-1800°C의 수소 분위기에서 5-15초(필라멘트) 또는 1분(굵은 필라멘트) 동안 수행하여 응력을 완화하고 입자 구조를 조정합니다. 노화 처리(1600-2000°C, 15-30분)는 미세 구조를 더욱 안정화하고 고온에서 강도를 향상시킵니다.

도핑된 텅스텐 필라멘트의 열처리는 칼륨 기포(10-50 nm)의 크기를 제어해야 하며, CTIA GROUP은 내산화성을 보장하기 위해 고정밀 관로(H<sub>2</sub> 산소 함량 <5 ppm)를 사용합니다. 이 공정은 텅스텐 와이어의 내구성과 절단 성능에 직접적인 영향을 미칩니다.

표 3.2.3 열처리 공정 매개 변수

형	온도	목표	조건
어닐링	1300-1800°C	스트레스 해소 및 결 조정	H <sub>2</sub> 대기, 5초-1분
적시성	1600-2000°C	안정적인 구조, 고온 강도를 높인다	H <sub>2</sub> 분위기, 15-30분

### 3.2.4 표면처리 및 후가공

CTIA GROUP은 표면 처리를 통해 텅스텐 와이어의 내마모성 및 내식성을 향상시킵니다. 전해 연마(NaOH 용액, 전류 밀도 60-100A/m<sup>2</sup>)는 Ra<0.05μm의 마감 처리로 미세 결함을 제거합니다. 높은 내마모성을 위해 텅스텐 카바이드(WC) 코팅(2-4 μm 두께)을 CVD 기술을 사용하여 증착합니다.

후처리에는 사양 일관성을 보장하기 위해 정밀 절단(길이 공차±0.3mm) 및 자동 와인딩(인장 15-25N)이 포함됩니다. 이 단계는 텅스텐 필라멘트의 유용성을 향상시킵니다.

표 3.2.4 표면 처리 및 후처리 매개 변수

직업	조건	목표	주요 매개 변수
전해 연마	NaOH, 60-100 A / m <sup>2</sup>	표면 마감 개선	라<0.05μm
코팅(CVD)	WC, 2-4 μm	경도와 내마모성을 향상시킵니다.	-
멀떼구니	길이 공차 ±0.3mm	사양 일관성	정밀 절단기
감기	장력 15-25 N	간편한 운반 및 사용	와인딩 머신

### 3.2.5 절단에 강한 텅스텐 와이어의 공정 최적화

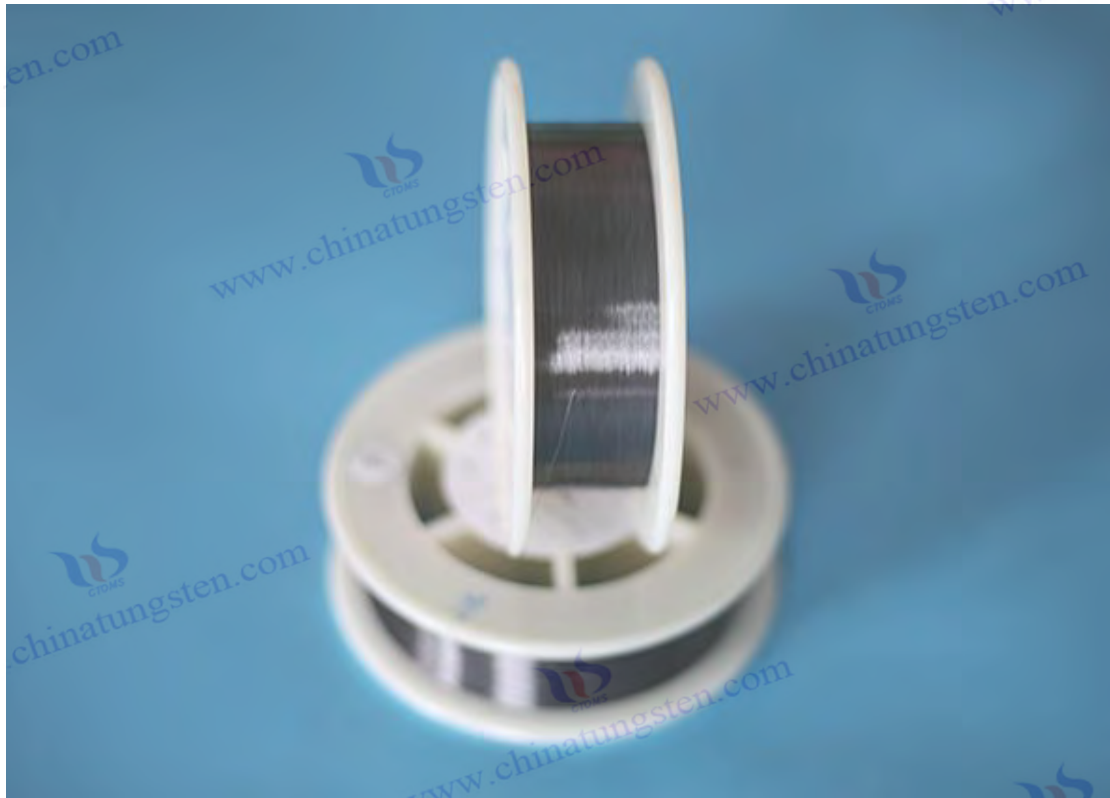
CTIA GROUP은 절삭 저항에 대한 프로세스를 최적화합니다. 칼륨 도핑 비율은 0.02%±0.002%로 정확하며 와이어 드로잉 패스 횟수는 25-35회로 증가하여 ±0.1μm의 직경 허용 오차를 보장합니다. 열처리는 입자 안정성을 향상시키기 위해 구배 온도 상승(1300°C에서 1800°C)을 사용합니다.

또한 스파크 플라즈마 소결(SPS, 2300°C, 60MPa)을 사용하여 바의 밀도(>98%)를

높이고 내부 결함을 줄입니다. 이러한 최적화는 절단 방지 텅스텐 와이어의 강도와 신뢰성을 크게 향상시킵니다.

표 3.2.5 절단에 강한 텅스텐 와이어의 공정 최적화

최적화 측정값	조건	목표	효과
도핑 비율 조정	칼륨 0.02% ± 0.002%	강도와 연성의 균형	처짐 방지 리프팅
당기기 횟수 증가	25-35 패스	향상된 직경 균일성	허용 오차 ± 0.1 μm
온도 구배 열처리	1300-1800°C	향상된 입자 안정성	고온에서 강도 증가
스파크 플라즈마 소결	2300°C, 60 MPa	결함 감소	조밀도 > 98%



### 3.3 절단에 강한 텅스텐 와이어의 품질 관리 및 테스트

CTIA GROUP의 품질 관리는 텅스텐 와이어 절단 저항의 높은 수준을 보장하기 위해 전체 생산 공정을 통해 실행됩니다. 생산 공정 중 모니터링과 완제품 테스트 방법은 함께 작동하여 제품 품질을 보장합니다.

#### 3.3.1 생산 공정의 품질 관리

텅스텐 분말의 입자 크기 (1-3 μm) 및 순도 (>99.97%)는 레이저 입자 크기 분석 및 ICP 분광법에 의해 확인되었다. 소결은 온도(±5°C)와 H<sub>2</sub> 유량(40-60m<sup>3</sup>/h)을 제어합니다. 도면은 현미경과 힘 변환기를 사용하여 인발력(<40N)과 표면 품질(균열 없음)을 모니터링합니다. 이러한 조치는 중간 제품의 안정성을 보장합니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

표 3.3.1 생산 공정의 품질 관리

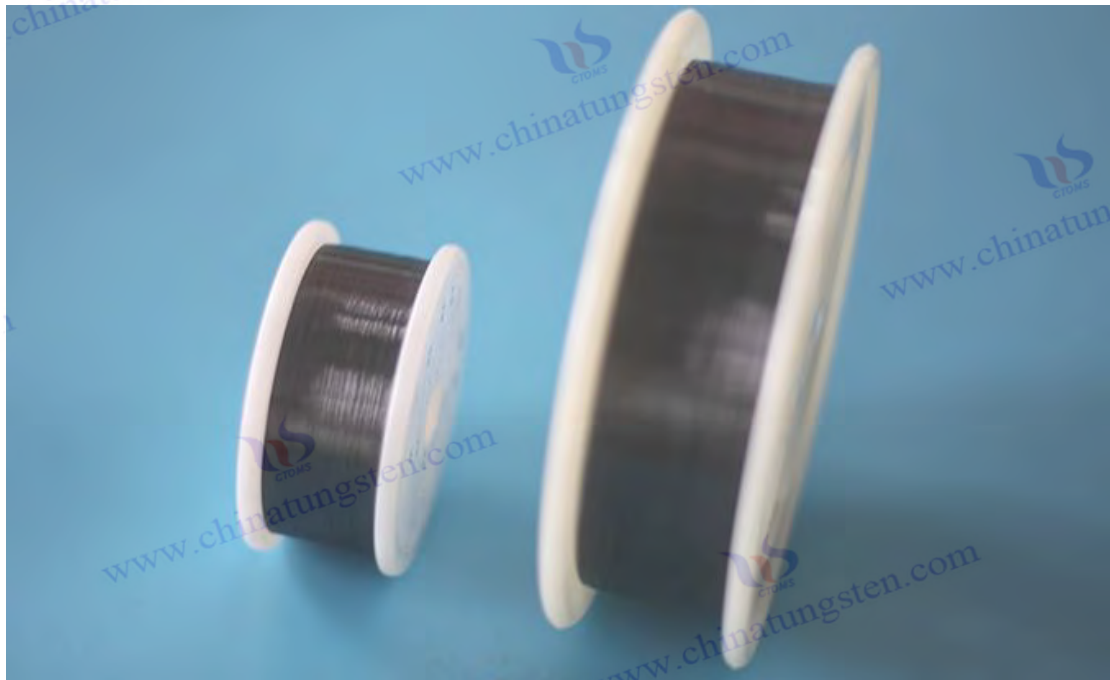
타체	모니터링 매개 변수	과녁	검출 방법
텅스텐 분말	粒径 1-3 $\mu\text{m}$ , >99.97%	균일성과 순도 보장	레이저 입자 크기, ICP 분광법
온천 침전 물	2300-2500°C, 40-60m <sup>3</sup> /h	결함이 없고 밀도가 높습니다.	온도계, 유량계
그림	인발력 < 40 N	표면에 균열이 없습니다.	포스 트랜스듀서, 현미경

3.3.2 완성 된 텅스텐 와이어에 대한 테스트 표준 및 방법

완제품은 화학적 조성(ICP 스펙트럼, 순도 > 99.97%), 기계적 특성(인장 강도 3500-4500 MPa, 경도 400-450 HV), 치수 정확도(허용 오차± 0.5  $\mu\text{m}$ , 레이저 캘리퍼스) 및 표면 품질(균열 없음, SEM 검사)에 대해 테스트되었습니다. 절삭 저항은 마모 테스트(마모율 <0.05mm<sup>3</sup>/N·m)로 검증됩니다. 이러한 표준은 텅스텐 필라멘트가 고급 응용 분야의 요구 사항을 충족하도록 보장합니다.

표 3.3.2 완제품에 대한 테스트 표준 및 방법

테스트 항목	표준	메서드	과녁
화학 성분	순도>99.97%	ICP 분광법	불순물 함량 확인
인장 강도	3500-4500 MPa 의	인장 시험	강도는 표준에 부합합니다.
경도	400-450 마력	비커스 경도 시험	내마모성
치수 정확도	허용 오차 ± 0.5 $\mu\text{m}$	레이저 캘리퍼스	일관성
표면	균열 없음	없어	사용의 신뢰성
절단 저항	방<0.05 mm <sup>3</sup> /N·m	마모 시험	절단 내구성



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Introduction

### 1. Overview of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

Cut-Resistant Tungsten Wire is a high-performance industrial material made from high-purity tungsten powder through advanced powder metallurgy and precision wire-drawing processes. With outstanding high strength, wear resistance, and high-temperature stability, it is widely used in photovoltaic, semiconductor, aerospace, and electronic equipment industries. It excels particularly in high-precision wire-cutting applications.

### 3. Production Process of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

**Raw Material Selection:** Uses high-purity tungsten powder.

**Powder Metallurgy:** High-temperature sintering and multiple forging processes produce dense tungsten rod billets.

**Precision Wire Drawing:** Multi-stage wire drawing with diamond dies ensures high-precision dimensional control.

**Heat Treatment:** Optimized grain structure through precise annealing processes enhances tungsten wire toughness and strength.

**Surface Treatment:** Electrolytic polishing technology ensures a defect-free, highly smooth tungsten wire surface.

### 4. CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Specifications

Item	Standard
Diameter ( $\mu\text{m}$ )	15-35 (Customizable)
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	19.3
Tensile Strength ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	3600-4000
Vickers Hardness (HV)	800-850
Elongation	1%-3%
Tensile Force (N)	0.67-3.65

### 5. Procurement Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com) Tel.: +86 592 5129595, 5129696

For more information on cut-resistant tungsten wire, please visit website: [www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn).

For market updates and real-time information, scan the following QR code to follow our WeChat official account: "chinatungsten".



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 4 장 : 텅스텐 와이어 절삭 저항의 성능 및 테스트

### 4.1 절단에 강한 텅스텐 와이어의 기계적 특성 시험

절단 방지 텅스텐 와이어의 기계적 특성은 높은 응력 환경에서 탁월한 지지력을 제공합니다. 인장 강도 및 파괴 인성, 경도, 피로 특성 및 내구성은 기계적 성능을 측정하는 핵심 지표입니다.

#### 4.1.1 인장 강도 및 파괴 인성

인장 강도는 인장 하중에 저항하는 텅스텐 와이어의 능력을 반영하며, 일반적으로 일반 강선 (약 2000 MPa)을 크게 초과하는 3000-4500 MPa 에 도달하기 위해 미세 와이어 드로잉 공정 및 열처리에 의해 최적화됩니다. 이 시험은 만능 재료 물성시험기(ASTM E8 표준에 따른 하중 속도 0.5mm/min)에서 수행되었으며, 시료 직경은 20 $\mu$ m 에서 300 $\mu$ m 사이이고 파단 신율은 2%-5%로 유지되어 균형 잡힌 인성을 보여주었습니다.

파괴 인성(K<sub>IC</sub>)은 일반적인 값이 5-10 MPa·m<sup>1/2</sup> 사이인 단면 노치 인장 시험(SENB)에 의해 결정됩니다. 칼륨 또는 레늄과 같은 도핑 된 원소는 미세 구조 (예 : 칼륨 기포 형성 또는 용액 강화)를 조작하여 입자 경계에서 균열 전파를 효과적으로 억제하여 고 응력 절단 시나리오에서 텅스텐 와이어의 신뢰성을 보장 할 수 있습니다.

표 4.1.1 인장 강도 및 파괴 인성 시험

매개 변수	숫자 값	시험 방법:	성능 이점
인장 강도	3000-4500 MPa 의	ASTM E8, 인장 시험	우수한 적재 능력
파단 신율	2%-5%	만능재료시험기	균형 잡힌 가단성
파괴 인성 (K <sub>IC</sub> )	5-10 MPa·m <sup>1/2</sup>	SENB 테스트	균열 방지 확장성

#### 4.1.2 경도 시험

경도는 마모 및 변형에 대한 절단 방지 텅스텐 와이어의 기본 특성입니다. 일반적으로 350 및 450 HV 사이의 비커스 경도 (HV)로 브러시 처리 및 표면 처리 (예 : 코팅)된 텅스텐 필라멘트는 비커스 경도 시험기(ISO 6507 에 따라 하중 500g, 압입 시간 10 초)에 의해 결정됩니다. 입자 미세화에 따라 경도가 증가하고 필라멘트(<50 $\mu$ m)는 450HV 의 상한에 접근할 수 있습니다. 이 특성은 텅스텐 와이어에 세라믹 및 실리콘 웨이퍼와 같은 단단한 재료를 절단 할 때 우수한 내구성과 안정성을 제공합니다.

표 4.1.2 경도 시험

매개 변수	숫자 값	시험 방법:	성능 이점
비커스 경도	350-450 마력	ISO 6507, 载荷 500 g	마모에 대한 우수한 내성
경도 변경	직경 감소로 상승	미세경도 시험기	필라멘트의 고강도 요구 사항에 적응

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 4.1.3 피로 성능 및 내구성

피로 특성은 반복 된 하중 하에서 텅스텐 필라멘트의 내구성을 반영합니다. 피로 한계는 일반적으로 1200-1800 MPa 사이이며 회전 굽힘 피로 시험(주파수 50Hz, ASTM E466 에 따른 응력비 0.1)에 의해 사이클 수는 최대  $10^7$  사이클이 될 수 있습니다. 레늄 및 기타 원소를 도핑하면 용액 강화를 통해 미세 균열의 시작을 줄이고 피로 수명을 향상시킬 수 있습니다.

내구성 테스트는 실제 절삭 조건(예: EDM 방전 주기)을 시뮬레이션하고 직경 및 도핑 함량에 따라 300-600 시간의 수명 범위를 보여주며 장기 고하중 작업에 적합합니다.

표 4.1.3 피로 성능 및 내구성 시험

매개 변수	숫자 값	시험 방법:	성능 이점
피로 한계	1200-1800 MPa 의	ASTM E466.50 헤르츠	뛰어난 사이클 내구성
서비스 수명	300-600 시간	절삭 조건 시뮬레이션	오래 지속되는 작동 안정성



## 4.2 절단 저항 텅스텐 와이어 내마모성 및 내식성

내마모성 및 내식성은 연마 및 화학적 공격 환경에서 텅스텐 와이어의 성능을 결정하며 신뢰성에 대한 중요한 보증입니다.

### 4.2.1 마모 메커니즘 및 테스트 방법

텅스텐 와이어의 마모는 주로 연마 마모 및 접착 마모로 인해 발생하며, 특히 단단한 재료를 절단 할 때 발생합니다. 핀 디스크 마찰 마모 테스트(ASTM G99 에 따라 하중 10N, 속도 200rpm)는 마모율이 0.05 에서  $0.1\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$  사이임을 보여주며, 이는 강선(약  $0.2\text{-}0.3\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ )보다 훨씬 낮습니다. 표면 코팅(예: 텅스텐 카바이드, WC,

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

두께 1-5 $\mu$ m)은 마모 깊이를 <1 $\mu$ m/1000m 로 줄입니다.

마모 메커니즘 연구에 따르면 결정립 미세화 및 코팅 보호는 재료 흠림 및 표면 접촉을 효과적으로 줄이고 높은 마찰 조건에서 텅스텐 와이어의 내구성을 향상시킬 수 있습니다.

표 4.2.1 마모 성능 테스트

매개 변수	숫자 값	시험 방법:	성능 이점
마모율	0.05-0.1 mm <sup>3</sup> / N · m	ASTM G99, 핀 디스크 테스트	우수한 내마모성
마모 깊이	<1 $\mu$ m/1000 미터	표면 프로파일러	현저히 더 긴 서비스 수명

#### 4.2.2 부식성 환경에서의 성능 평가

내식성 테스트는 중성 염수 분무(ASTM B117 에 따른 5% NaCl, 35°C) 및 산성 환경(pH 2, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액)에서 수행됩니다. 염수 분무에서 코팅되지 않은 텅스텐 와이어의 72 시간 중량 손실률은 약 0.2-0.5 mg / cm<sup>2</sup>이며, 표면 처리 (예 : 질화 텅스텐, WN, 두께 1-3  $\mu$ m)가있는 텅스텐 와이어의 중량 손실률은 <0.1 mg / cm<sup>2</sup>로 감소합니다. 산성 환경에서 부식 속도 범위는 0.02 에서 0.05mm/년으로 처리되지 않은 샘플(0.1-0.2mm/년)보다 우수합니다.

이러한 성능 덕분에 습하거나 화학적으로 공격적인 환경에서 안정성을 유지할 수 있어 의료 기기 및 산업 응용 분야에 적합합니다.

표 4.2.2 내식성 시험

매개 변수	숫자 값	시험 방법:	성능 이점
염수 분무 체중 감량률	<0.1 mg/cm <sup>2</sup> (72 시간)	ASTM B117,5% 염화나트륨	우수한 내식성
산성 부식 비율	0.02-0.05mm/년	pH 2, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 침지	우수한 화학적 안정성

#### 4.3 텅스텐 와이어 절단의 고온 저항

절단에 강한 텅스텐 와이어의 고온 성능은 극한 조건에서 사용하기 위한 토대를 마련합니다. 열 안정성과 내산화성, 고온 기계적 특성의 변화는 고온 성능을 평가하기 위한 중요한 기반입니다.

##### 4.3.1 열 안정성 및 내산화성

열 안정성 테스트는 진공 또는 불활성 분위기(Ar, 10<sup>-5</sup> Pa)에서 수행되며, 텅스텐 필라멘트는 일반적으로 입자 성장 및 재결정화를 억제하는 칼륨과 같은 도핑 원소 덕분에 2500°C 에서 100 시간 작동 후 15% 미만의 강도를 잃습니다. 내산화성은 고온 노출 시험 (1000 °C, 공기)에 의해 평가되었으며, 코팅되지 않은 텅스텐 필라멘트의 중량 손실률은 WO<sub>3</sub> 휘발의 형성으로 인해 약 5-10 mg / cm<sup>2</sup> / h 인 반면, 코팅 된 텅스텐 필라멘트 (예 : WN, 1-3  $\mu$ m)의 중량 손실률은 <0.5-1 mg / cm<sup>2</sup> / h 로 감소했다.



이러한 특성으로 인해 고온 용광로 및 항공 우주 부품에서 탁월한 성능을 발휘합니다.

표 4.3.1 열 안정성 및 내 산화성 테스트

매개 변수	숫자 값	시험 방법:	성능 이점
고온에서 강도 손실	<15% (2500°C, 100 시간)	진공 고온 테스트	우수한 열 안정성
항산화 체중 감량률	<0.5-1 mg/cm <sup>2</sup> /h (1000°C)	공기 노출 테스트	뛰어난 항산화 능력

### 4.3.2 고온에서 기계적 특성의 변화

고온 기계적 특성은 인장 시험(ASTM E21 표준에 따라 1000-2000°C, Ar 대기)에 의해 결정됩니다. 레늄 (3% -26%)으로 도핑된 텅스텐 와이어의 인장 강도는 2000°C에서 500-700 MPa로 유지되며, 이는 순수한 텅스텐 와이어 (약 300-400 MPa)보다 유리합니다. 경도는 1500°C에서 300-400HV로 떨어지며 이는 여전히 고온 절단 요구 사항에 대처하기에 충분합니다.

고온 크리프 테스트(50MPa에서 1800°C)는 크리프 속도가 10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup> 미만인 것으로 나타났으며, 입자 안정화 처리(예: 구배 열처리)는 고온에서 변형을 더욱 줄이고 구조적 무결성을 보장했습니다.

표 4.3.2 고온 기계적 물성 시험

매개 변수	숫자 값	시험 방법:	성능 이점
고온 인장 강도	500-700 MPa(2000°C)	ASTM E21, 拉伸试验	우수한 강도 유지
고온 경도	300-400 비커스 (1500°C)	고온 경도 시험기	오래 지속되는 내구성
크리프 속도	<10 <sup>-6</sup> s <sup>-1</sup> (1800°C)	크리프 시험	변형에 대한 저항성이 우수합니다.



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 5 장 : 텅스텐 와이어 절단 저항 관련 규격

고성능 재료로서 절단 방지 텅스텐 와이어의 생산, 품질 관리 및 적용은 일관된 성능, 산업 규정 준수 및 시장 경쟁력을 보장하기 위해 일련의 국제 및 국내 표준을 따라야 합니다. 이 장에서는 ISO(International Organization for Standardization), ASTM(American Society for Testing and Materials), GB/T(Chinese National Standard) 및 산업별 사양을 포함하여 절단 방지 텅스텐 와이어와 관련된 표준 시스템을 체계적으로 검토하고 텅스텐 와이어 산업에서의 역할과 적용에 대해 자세히 설명합니다.

### 5.1 국제 표준

국제 표준은 품질 관리 시스템, 재료 성능 테스트, 환경 안전 및 응용 분야별 요구 사항을 포괄하는 절단 방지 텅스텐 와이어의 글로벌 무역, 기술 교류 및 품질 관리를 위한 통일된 프레임워크를 제공합니다.

#### 5.1.1 ISO 표준

ISO 표준은 품질, 환경, 안전 및 성능 테스트를 다루는 텅스텐 와이어 생산에 널리 사용됩니다.

- **ISO 9001:2015 인증**

한국 이름 : 품질 경영 시스템

中文名称: 质量管理体系

英文名称: Quality Management Systems

출시/개정 연도: 2015

적용 범위: 생산 공정 관리

특정 요구 사항: 기업은 생산 프로세스를 추적할 수 있도록 원자재 조달에서 완제품 배송에 이르기까지 전체 프로세스 관리 시스템을 구축해야 합니다. 텅스텐 필라멘트 제조업체는 연간 감사를 통과해야 하며 인증 비용은 약 20-500,000 위안이고 주기는 6-12 개월입니다.

적용 시나리오: 유럽 및 북미 시장에 수출되는 절단 방지 텅스텐 와이어는 일반적으로 고객의 신뢰를 높이기 위해 ISO 9001 인증을 동반합니다.

- **ISO 14001:2015 인증**

한국 이름 : 환경 경영 시스템

中文名称: 环境管理体系

英文名称: Environmental Management Systems

출시/개정 연도: 2015

적용 범위: 환경 보호 요구 사항

특정 요구 사항 : 녹색 생산을 촉진하기 위해 기업은 이산화탄소 배출을 텅스텐 와이어 1 톤당 500kg 이하로 제어해야 하며 폐수의 중금속 함량은 0.1mg/L 로 <해야 하는 등 소결 및 와이어 드로잉 공정에서 배기 가스 배출을 모니터링하고 줄여야 합니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

적용 시나리오: 지속 가능성 추세, 특히 태양광 및 전자 산업.

• **ISO 45001:2018 인증**

한국 이름 : 산업 보건 및 안전 관리 시스템

中文名称: 职业健康安全管理体系

英文名称: 산업 안전 보건 경영 시스템

출시/개정 연도: 2018 년

적용 범위: 생산 안전

특정 요구 사항: 고온 소결(2200-2500°C), 와이어 드로잉 및 기타 고위험 작업을 표준화하고 사고율을 30% 줄이도록 요구하며 정기적으로 안전 교육 및 장비 유지 보수를 수행합니다. 인증 수수료는 약 10-300,000 RMB 입니다.

적용 시나리오: 작업자의 안전을 보장하고 기업 생산의 안정성을 향상시킵니다.

• **ISO 6892-1:2019 인증**

한국 이름 : 금속 재료의 인장 시험

中文名称: 金属材料拉伸试验

英文名称: 금속 재료 - 인장 시험

출시/개정 연도: 2019 년

적용 범위: 기계적 성질 시험

특정 요구 사항 : 텅스텐 와이어의 인장 강도 및 연성을 테스트하는 데 적합하며 기계적 특성이 표준을 충족하는지 확인하기 위해 실온 및 고온 (예 : 2000 °C)에서 측정해야 합니다. 텅스텐 와이어의 인장 강도는 2000-2500 MPa 에 도달해야 합니다.

적용 시나리오: 태양광 절단 및 항공 우주 분야는 텅스텐 필라멘트 강도에 대한 요구 사항이 높습니다.

• **ISO 22489:2016 인증**

한국 이름 : 마이크로 빔 분석 - 전자 프로브 현미경 분석

中文名称: 微束分析 - 电子探针显微分析

英文名称: Microbeam Analysis - Electron Probe Microanalysis

출시/개정 연도: 2016

적용 범위: 성분 테스트

특정 요구 사항 : 텅스텐 필라멘트의 표면과 내부에서 미세한 조성을 검출하려면 불순물 (예 : 산소, 질소)이 20ppm <이어야 합니다.

응용 시나리오: 고급 전자 제품 및 의료 응용 분야에서 일관된 제품 품질이 보장되어야 합니다.

• **ISO 10993-1:2018 인증**

중국어명: 의료기기 생체 적합성 평가

中文名称: 医疗器械生物相容性评价

英文名称: Biological Evaluation of Medical Devices

출시/개정 연도: 2018 년

적용 범위 : 의료 텅스텐 와이어

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

**특정 요구 사항:** 의료용 코팅 텅스텐 와이어의 경우 독성, 자극 및 알레르기 유발성을 평가하여 유해 물질이 방출되지 않도록 해야 합니다. 인증 수수료는 약 40-800,000 위안입니다.

**응용 시나리오:** 이식형 의료 기기에 적합합니다.

• **ISO/AWI 24370-2**

**한국 이름 :** Fine Wire Tungsten Wire Part 2 (연구중).

**中文名称:** 细线钨丝第2部分 (在研)

**英文名称:** Fine Wire of Tungsten - Part 2 (Under Development)

**릴리스/개정 연도:** 2026 년 예상

**적용 범위:** 나노 텅스텐 와이어

**특정 요구 사항 :** 나노 스케일 텅스텐 와이어 (직경  $<1 \mu\text{m}$ )의 경우  $0.2 \mu\text{m} \pm$  치수 공차와  $Ra < 0.05 \mu\text{m}$  의 표면 마감이 필요합니다.

**응용 시나리오:** 차세대 반도체 및 센서.

**5.1.2 ASTM 및 기타 국제 표준**

ASTM 표준은 북미 시장에서 널리 사용되는 텅스텐 와이어의 재료 특성 및 생산 공정에 대한 자세한 사양을 제공합니다.

• **ASTM B760-07(2019 修订)**

**한국 이름 :** 텅스텐 플레이트, 시트 및 호일

**中文名称:** 钨板、片和箔

**英文名称:** Standard Specification for Tungsten Plate, Sheet, and Foil

**출시/개정 연도:** 2019 년

**적용 범위:** 순도, 성능 요구 사항

**특정 요구 사항 :** 텅스텐 재료의 순도는  $> 99.95 \%$ 이고 불순물 함량 (예 : Fe 및 Mo)은  $< 50\text{ppm}$  이며 이는 종종 텅스텐 와이어 생산으로 확장됩니다.

**적용 시나리오:** 절단 방지 텅스텐 와이어 생산에 적합한 원료의 품질을 보장합니다.

• **ASTM B777-20**

**한국 이름 :** 텅스텐 기반 고밀도 합금

**中文名称:** 钨基高密度合金

**英文名称:** Standard Specification for Tungsten Base, High-Density Metal

**발행 연도/개정 연도:** 2020

**적용 범위 :** 복합 텅스텐 와이어

**특정 요구 사항:** 밀도  $> 17\text{g/cm}^3$ 이고 인장 강도  $> 1500\text{MPa}$  입니다.

**응용 시나리오 :** 텅스텐 필라멘트는 항공 우주 및 군사 응용 분야에서 복합 재료를 강화했습니다.

• **ASTM E8/E8M-21**

**한국 이름 :** 금속 재료의 인장 시험 방법

**CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서**

中文名称: 金属材料拉伸试验方法

英文名称: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

발행 연도/개정 연도: 2021

적용 범위: 고온 성능

특정 요구 사항: 다양한 온도에서 텅스텐 와이어의 변형률 및 파괴 인성 시험이 정련되고 고온 (1000 °C)에서 0.005 %/h< 크리프 변형률이 필요합니다.

적용 시나리오: 가스 터빈 블레이드와 같은 고온 환경.

• **ASTM F1925-17**

한국 이름: 반도체용 텅스텐 재료 사양

中文名称: 半导体用钨材料规范

英文名称: Standard Specification for Semiconductor Tungsten Materials

출시/개정 연도: 2017년

적용 범위: 반도체 절단

특정 요구 사항: 순도는 > 99.999%, 직경 일관성은  $\pm 0.5\mu\text{m}$ , 저항률은  $< 5.0\mu\Omega\cdot\text{cm}$  입니다.

적용 시나리오: 칩 제조의 마이크로 다이싱(Micro-dicing).

• **AMS 7880**

한국 이름: 텅스텐 필라멘트 고온 성능 사양

中文名称: 钨丝高温性能规范

英文名称: Tungsten Wire High-Temperature Properties

릴리스/개정 연도: 특정 연도가 지정되지 않았습니다.

응용 분야: 항공 우주 고온 응용 분야

특정 요구 사항: 텅스텐 와이어의 크리프 속도는 2500 °C 에서  $< 0.01\% / \text{h}$  이어야하며 인증 기간은 1-2 년이며 비용은 50-100 만 위안입니다.

적용 시나리오: 로켓 노즐 및 터빈 블레이드.

• **JIS H 4461:2002 (영문)**

한국 이름: 텅스텐 와이어 (일본 산업 표준).

中文名称: 钨丝 (日本工业标准)

英文名称: Tungsten Wire (Japanese Industrial Standard)

출시/개정 연도: 2002

적용 범위: 정밀 기기

특정 요구 사항: 표면에 균열 없음, 인장 강도  $> 2200\text{MPa}$ .

응용 시나리오: ISO 표준을 보완하는 정밀 기기 및 조명 기구.

• **EN 10204:2004**

한국 이름: 금속 제품 검사 서류

中文名称: 金属产品检验文件

英文名称: Metallic Products - Types of Inspection Documents

출시/개정 연도: 2004

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

적용 범위: 품질 인증

특정 요구 사항 : 텅스텐 와이어는 품질 추적 성능을 보장하기 위해 유형 3.1 재료 인증서와 함께 제공되어야 합니다.

적용 시나리오: EU 시장에 수출.



## 5.2 중국 국가 표준 및 산업 규범

현지 산업의 요구에 따라 중국 표준은 텅스텐 필라멘트 원료, 생산, 성능 테스트 및 새로운 응용 분야를 다룹니다.

### 5.2.1 GB/T 표준

GB/T 표준은 대규모 생산 및 품질 관리에 적합한 절단 방지 텅스텐 와이어에 대한 기본 사양을 제공합니다.

- **GB/T 3459-2017 년**

한국 이름 : 텅스텐 분말

中文名称: 钨粉

英文名称: Tungsten Powder

출시/개정 연도: 2017 년

적용 범위: 원료 순수성

특정 요구 사항 : 텅스텐 분말의 순도는 > 99.95 %이고 입자 크기는 10-50  $\mu\text{m}$  입니다.

적용 시나리오: 생산 비용(RMB 450-1,100/kg)에 직접적인 영향을 미치는 텅스텐 와이어 소결 원료.

- **GB/T 4181-2017 년**

한국 이름 : 텅스텐 막대

中文名称: 钨棒

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

英文名称: Tungsten Bars

출시/개정 연도: 2017 년

적용 범위: 지상 질, 순수성

특정 요구 사항: 산화물 없음, 표면 균열, 순도 >99.95%.

적용 시나리오: 텅스텐 와이어 생산으로 확장되어 태양광 절단에 적합합니다.

• **GB/T 4197-2017 년**

한국 이름 : 텅스텐 필라멘트

中文名称: 钨丝

英文名称: Tungsten Wire

출시/개정 연도: 2017 년

적용 범위: 철사 절단, 전자공학

특정 요구 사항: 직경 허용 오차  $\pm 1\mu\text{m}$ , 인장 강도 2000-2500 MPa, 과단 신율 >2%.

응용 프로그램 시나리오: 와이어 EDM 및 전자 산업.

• **GB/T 17492-2019 년**

한국 이름 : 텅스텐 및 텅스텐 합금의 화학 분석 방법

中文名称: 钨及钨合金化学分析方法

英文名称: Chemical Analysis Methods for Tungsten and Tungsten Alloys

출시/개정 연도: 2019 년

적용 범위: 불순물 제어

具体要求: 铁含量<30 ppm, 钨<10 ppm.

응용 시나리오 : 고순도 응용 분야에서 텅스텐 와이어 안정성.

• **GB/T 43293-2023 년**

한국 이름 : 텅스텐 필라멘트 고온 성능 시험 방법

中文名称: 钨丝高温性能测试方法

英文名称: Test Method for High-Temperature Properties of Tungsten Wire

출시/개정 연도: 2023 년

적용 범위: 핵융합 응용 분야

특정 요구 사항: 내산화성 및 크리프 특성은 2000-2500°C 에서 테스트되었으며  
증량 손실률은  $0.5\text{mg}/\text{cm}^2/\text{h}$  <였습니다.

응용 시나리오: 핵융합 장치의 텅스텐 기반 구성 요소.

• **GB/T 41319-2022 년**

한국 이름 : 태양 광을위한 텅스텐 와이어 사양

中文名称: 光伏用钨丝规范

英文名称: Specification for Tungsten Wire in Photovoltaic Applications

발행 연도/개정 연도: 2022

적용 범위: 광전지 절단

具体要求: 直径 20-50  $\mu\text{m}$ , 断丝率<0.8%, 表面粗糙度  $R_a$ <0.08  $\mu\text{m}$ .

적용 시나리오: 태양광 실리콘 웨이퍼의 절단 효율을 10% 향상시킵니다.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 5.2.2 업계 규범 및 인증

산업 규범은 중국 비철금속 산업 협회, 군사 산업 및 원자력 산업에 의해 공식화되었으며, 국가 표준 규칙이 보완됩니다.

- **YS/T 1356-2020 년**

한국 이름 : 텅스텐 와이어 기술 조건

中文名称: 钨丝技术条件

英文名称: Technical Conditions for Tungsten Wire

발행 연도/개정 연도: 2020

적용 범위: 태양광, 유리 가공

특정 요구 사항: 내마모성은 > 120 시간의 절단 수명과 0.5μm < 표면 결함 깊이를 충족합니다.

적용 시나리오: 태양광 및 유리 가공.

- **GJB 9001C-2017 년**

한국 이름 : 군사 제품 품질 경영 시스템

中文名称: 军用产品质量管理体系

英文名称: Quality Management System Requirements for Military Products

출시/개정 연도: 2017 년

적용 범위: 군사 응용 프로그램

특정 요구 사항 : 텅스텐 와이어 제조업체는 엄격한 품질 관리 시스템을 구축해야하며 완제품에는 군사 검사 인증서가 수반됩니다.

응용 프로그램 시나리오: 미사일 및 장갑 구성 요소.

### 5.3 절단에 강한 텅스텐 와이어의 표준 요약표

참조의 편의를 위해 다음 표는 절단 방지 텅스텐 와이어에 대한 관련 표준에 대한 포괄적인 요약을 제공하며 영어와 중국어로 된 이름, 발행/개정 연도, 적용 범위 및 특정 요구 사항을 제공합니다.

표 5.1: 저항성 텅스텐 와이어 절단을위한 관련 표준

규격 번호	중국어 이름	영문 이름	출판/개정 연도	적용 범위	특정 요구 사항:
ISO 9001:2015	품질 경영 시스템	Quality Management Systems	2015	생산 공정 관리	전체 프로세스 기록 및 추적성
ISO 14001:2015	환경경영시스템	Environmental Management Systems	2015	환경 요구 사항	CO <sub>2</sub> 排放<500 kg/吨
ISO 45001:2018	안전보건경영시스템	Occupational Health and Safety Management Systems	2018	생산 안전	사고율 30% 감소
ISO 6892-1:2019	금속 재료의 인장 시험	Metallic Materials - Tensile Testing	2019	기계적 성질 테스트	인장 강도 : 2000-2500MPa

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



ISO 22489:2016	마이크로빔 분석 - 전자 프로브 현미경 분석	Microbeam Analysis - Electron Probe Microanalysis	2016	성분 테스트	불순물 <20ppm
ISO 10993-1:2018	의료기기의 생체 적합성 평가	Biological Evaluation of Medical Devices	2018	의료용 텅스텐 와이어	무독성, 자극성
ASTM B760-07	텅스텐 플레이트, 시트 및 호일	Standard Specification for Tungsten Plate, Sheet, and Foil	2019	순도, 성능 요구 사항	순도는 99.95%> 불순물은 50ppm<
ASTM B777-20	텅스텐 기반 고밀도 합금	Standard Specification for Tungsten Base, High-Density Metal	2020	복합 텅스텐 와이어	밀도 > 17g/cm <sup>3</sup>
ASTM E8/E8M-21	금속 재료의 인장 시험 방법	Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials	2021	고온 성능	蠕变率 <0.005%/h
ASTM F1925-17	반도체용 텅스텐 재료의 사양	Standard Specification for Semiconductor Tungsten Materials	2017	반도체 다이싱	순도 > 99.999 %, 저항 < 5.0
AMS 7880	텅스텐 필라멘트 고온 성능 사양	Tungsten Wire High-Temperature Properties	-	항공우주 고온 응용 분야	2500°C 蠕变率 <0.01%/h
JIS H 4461:2002	텅스텐	Tungsten Wire (Japanese Industrial Standard)	2002	정밀 기기	인장 강도 >2200MPa 의
EN 10204:2004	금속 제품 검사 문서	Metallic Products - Types of Inspection Documents	2004	품질 증명	Type 3.1 재료 인증서와 함께 제공
GB/T 3459-2017	텅스텐 분말	Tungsten Powder	2017	원료 순수성	순도 >99.95 % 입자 크기는 10-50 μm 입니다.
GB/T 4181-2017	텅스텐 막대	Tungsten Bars	2017	표면 품질, 순도	산화물 프리, 순도 >99.95 %
GB/T 4197-2017	텅스텐	Tungsten Wire	2017	와이어 절단, 전자 장치	인장 강도 2000-2500MPa 의
GB/T 17492-2019	텅스텐 및 텅스텐 합금의 화학 분석 방법	Chemical Analysis Methods for Tungsten and Tungsten Alloys	2019	불순물 제어	铁<30 ppm, 钨<10 ppm
GB/T 43293-2023	텅스텐 필라멘트의 고온 성능에 대한 시험 방법	Test Method for High-Temperature Properties of Tungsten Wire	2023	핵융합 응용 분야	失重率 <0.5 mg/cm <sup>2</sup> /h
GB/T 41319-2022	태양광을 위한 텅스텐 필라멘트 사양	Specification for Tungsten Wire in Photovoltaic Applications	2022	광전지 절단	直径 20-50μm, 断丝率<0.8%
YS/T	텅스텐 필라멘트의	Technical Conditions for	2020	태양광, 유리	切割寿命>120h, 每

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

1356-2020	기술적 조건	Tungsten Wire		가공	陷<0.5μm
GJB 9001C-2017	군용 제품 품질 관리 시스템	Quality Management System Requirements for Military Products	2017	군용 응용 분야	군사 검사 증명서와 함께 제공

#### 5.4 기준의 신청 그리고 전망

이러한 표준은 절단 방지 텅스텐 와이어 산업에서 여러 역할을 합니다. ISO 9001 및 GB/T 4197 은 생산 일관성을 보장하고, AMS 7880 및 ISO 10993 은 항공우주 및 의료와 같은 고급 요구 사항을 충족하며, EN 10204 및 YS/T 1356 은 시장 신뢰를 강화합니다. 앞으로 기술 발전(예: 3D 프린팅 텅스텐 필라멘트, 나노 규모 응용 분야) 및 학제 간 확장(예: 양자 컴퓨팅, 심우주 탐사)으로 인해 새로운 표준은 초미세 크기 제어(직경 <math><0.5\mu\text{m}</math>), 저온 취성에 대한 내성, 초고진공 성능 및 탄소 발자국 관리에 중점을 둘 것입니다.

- 미래 트렌드:

나노 텅스텐 필라멘트에 대한 국제 표준은 2027 년에 도입될 수 있으며,  $\pm 0.1\mu\text{m}$  의 직경 허용 오차와 표면의 원자 수준 평활화를 요구하여 양자 장치에서의 적용을 촉진합니다.

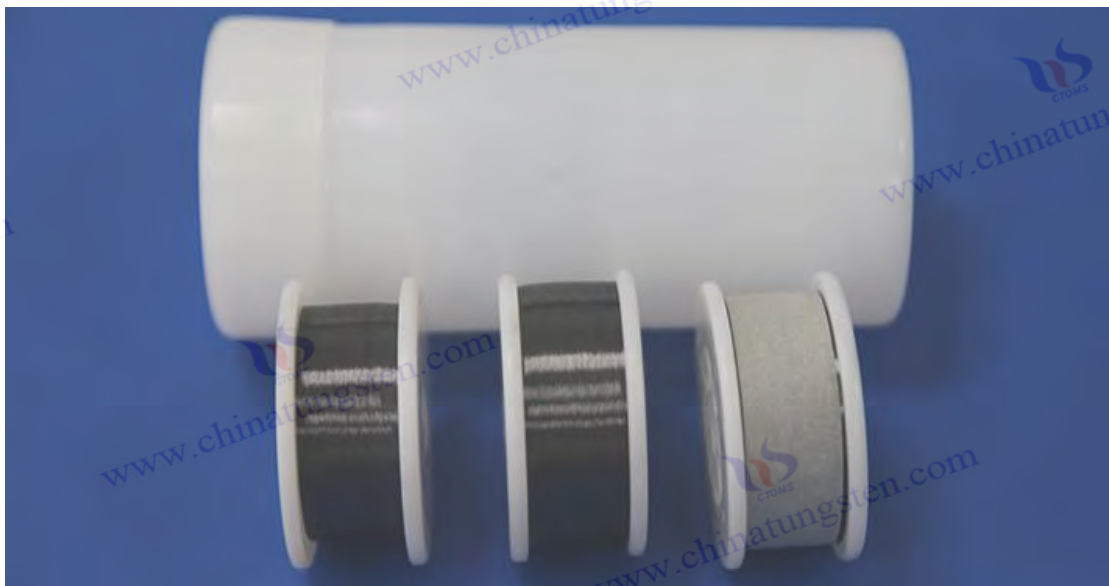
태양 광 산업은 웨이퍼 손실을 줄이고 GB / T 41319 의 개정을 촉진하기 위해 텅스텐 와이어 절단 효율을 15 % 증가시킬 수 있습니다.

군사 산업 및 핵융합 분야는 방사선 저항과 고온 안정성에 더 많은 관심을 기울여 <math><3\%</math>의 성능 감소를 필요로 합니다.

- 비용 및 이점:

인증 비용(20-120 만 위안)은 생산 부담을 증가시키지만 제품 품질과 시장 접근을 개선하여 간접적으로 재작업 비용(연간 약 50-600,000 위안)을 줄입니다.

표준의 국제화 및 현지화는 텅스텐 와이어 산업의 발전을 더 높은 기술 수준과 더 넓은 범위의 응용 분야로 촉진 할 것입니다.



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Introduction

### 1. Overview of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

Cut-Resistant Tungsten Wire is a high-performance industrial material made from high-purity tungsten powder through advanced powder metallurgy and precision wire-drawing processes. With outstanding high strength, wear resistance, and high-temperature stability, it is widely used in photovoltaic, semiconductor, aerospace, and electronic equipment industries. It excels particularly in high-precision wire-cutting applications.

### 3. Production Process of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

**Raw Material Selection:** Uses high-purity tungsten powder.

**Powder Metallurgy:** High-temperature sintering and multiple forging processes produce dense tungsten rod billets.

**Precision Wire Drawing:** Multi-stage wire drawing with diamond dies ensures high-precision dimensional control.

**Heat Treatment:** Optimized grain structure through precise annealing processes enhances tungsten wire toughness and strength.

**Surface Treatment:** Electrolytic polishing technology ensures a defect-free, highly smooth tungsten wire surface.

### 4. CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Specifications

Item	Standard
Diameter ( $\mu\text{m}$ )	15-35 (Customizable)
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	19.3
Tensile Strength ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	3600-4000
Vickers Hardness (HV)	800-850
Elongation	1%-3%
Tensile Force (N)	0.67-3.65

### 5. Procurement Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com) Tel.: +86 592 5129595, 5129696

For more information on cut-resistant tungsten wire, please visit website: [www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn).

For market updates and real-time information, scan the following QR code to follow our WeChat official account: "chinatungsten".



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 6 장 : 절단 방지 텅스텐 와이어의 적용

### 6.1 와이어 커팅

우수한 강도, 내마모성 및 전기 전도성으로 텅스텐 와이어는 와이어 절단 분야, 특히 와이어 EDM 및 다이아몬드 와이어 톱질 분야에서 특히 탁월하며 정밀 제조에 없어서는 안될 재료가되었습니다.



#### 6.1.1 电火花线切割(EDM)

##### 6.1.1.1 절단 방지 텅스텐 와이어는 EDM에서 중심적인 역할을 합니다.

와이어 EDM은 전기 방전을 사용하여 재료를 제거하고 경도가 높은 금속 또는 복잡한 형상을 가진 부품을 가공합니다. 절단 방지 텅스텐 와이어는 전극으로 사용되며 우수한 전도성과 높은 저항으로 인해 고주파 펄스 방전 하에서 안정적인 작동을 유지할 수 있습니다. 전통적인 구리선 또는 황동선과 비교할 때 텅스텐 선은 방전 중에 쉽게 녹거나 끊어지지 않으며 금형강, 티타늄 합금 및 초경합금과 같은 절단하기 어려운 재료 가공에 특히 적합합니다. 작은 직경과 높은 정밀도로 인해 좁은 틈이나 날카로운 모서리 및 모서리와 같은 가장 작은 형상도 가공할 수 있어 높은 정밀도에 대한 현대 제조의 까다로운 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

##### 6.1.1.2 고정밀 금형 제작의 장점

금형 제작에서 절단 방지 텅스텐 와이어는 탁월한 이점을 보여줍니다. 금형 산업은 매끄러운 가공 표면과 높은 기하학적 정확도를 요구하며 텅스텐 와이어의 높은

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

내구성과 안정성은 이러한 요구 사항을 충족시킵니다. 다른 전극 재료와 비교하여, 텅스텐 필라멘트는 여러 방전 사이클 동안 손실이 매우 적어 전극 교체로 인한 생산 중단을 줄입니다. 또한 표면 마감은 완성 된 금형의 품질을 크게 향상시킬 수 있으며 자동차 스탬핑 금형, 사출 금형 및 항공 우주 부품 금형 가공에 자주 사용됩니다. 예를 들어, 정밀 스탬핑 다이의 제조에서 텅스텐 와이어는 다이 에지의 선명도와 일관성을 유지하기 위해 복잡한 윤곽을 절단 할 수 있으므로 다이의 수명을 연장하고 스탬핑 부품의 통과율을 향상시킬 수 있습니다.

### 6.1.1.3 복잡한 형상의 금속 부품 가공 사례

절단 방지 텅스텐 와이어는 복잡한 형상 부품의 가공에 풍부한 응용 사례가 있습니다. 항공 우주 분야에서 텅스텐 와이어는 터빈 블레이드 용 금형을 만드는 데 사용되며 가공 공정 중 방전 매개 변수의 정밀한 제어를 통해 블레이드 루트의 복잡한 곡면을 절단 할 수 있으며 완제품은 매우 높은 정밀도를 가지며 오류는 미크론 범위에 불과합니다. 이 고정밀 가공은 후속 연마 작업에 필요한 시간을 단축하고 전체 효율성을 약 20% 증가시킵니다. 의료 기기 제조에서 텅스텐 필라멘트는 무릎 교체를위한 작은 구멍 및 노치와 같은 정형 외과 용 임플란트 생산에 성공적으로 사용됩니다. 방전 빈도와 전류를 최적화함으로써 텅스텐 와이어는 98 % 이상의 완제품 합격률로 티타늄 합금 가공에 효과적이며 스크랩 비율을 크게 줄입니다. 이러한 사례는 하이테크 분야에서 텅스텐 와이어의 유연성과 신뢰성을 완전히 보여줍니다.

## 6.1.2 다이아몬드 와이어 톱 절단

### 6.1.2.1 다이아몬드 와이어 톱의 기본 재료로 텅스텐 와이어

다이아몬드 와이어 톱은 텅스텐 와이어의 표면에 다이아몬드 입자를 부착하여 만들어지며 단단한 재료를 절단하는 데 사용됩니다. 기본 재료로서 절단 방지 텅스텐 와이어는 고속 절단으로 인한 장력과 마찰을 견딜 수 있어 다이아몬드 입자가 단단히 부착되고 효과적으로 기능할 수 있습니다. 강선 기관과 비교할 때, 텅스텐 와이어의 높은 인성과 내식성은 특히 습하거나 산성 환경에서 장기간 작동시 더 안정적입니다. 미세한 직경과 균일성으로 인해 와이어 톱은 유연성이 뛰어나고 복잡한 모양이나 초박형 재료를 절단할 수 있어 현대 절단 기술의 필수적인 부분이 되었습니다.

### 6.1.2.2 반도체 웨이퍼 및 태양광 실리콘 웨이퍼의 고정밀 절단

반도체 및 태양 광 산업에서 다이아몬드 와이어 톱은 텅스텐 와이어를 기본 재료로 사용하며 실리콘 웨이퍼 및 태양 광 웨이퍼를 절단하는 데 널리 사용됩니다. 웨이퍼 두께는 칩 제조 및 태양 전지의 고성능 요구 사항을 충족하기 위해 미크론 범위에서 정밀하게 제어되어야 합니다. 텅스텐 와이어의 높은 내마모성은 고속 작동시 안정성을 유지하기 위해 와이어 톱을 지지하며 절단 표면은 평평하고 균열이 없습니다. 예를 들어, 광전지 생산에서 텅스텐 와이어 톱은 다결정 실리콘 잉곳을 각각 약 150 미크론 두께의 웨이퍼로 절단 할 수 있으며 처리 용량은 시간당 500 개 이상이며 스크랩 비율은 5 % 미만으로 감소합니다. 이 효율적인 절단은 재료 활용도를 향상시킬 뿐만 아니라 비용 절감과 효율 향상의 방향으로 태양광 산업의

발전을 촉진합니다. 또한 반도체 웨이퍼 다이싱에서 텅스텐 와이어 쏘는 웨이퍼 직경을 150mm 에서 300mm 로 업그레이드하고 수율을 95% 이상으로 증가시켜 칩 제조를 안정적으로 지원합니다.



### 6.1.2.3 석재 및 도자기와 같은 단단한 재료의 절단 응용 프로그램

텅스텐 다이아몬드 와이어 튼은 또한 석재 및 세라믹 가공 분야에서 없어서는 안될 필수 요소입니다. 대리석, 화강암 및 기타 석재를 절단 할 때 텅스텐 와이어의 강도가 높기 때문에 와이어 튼이 높은 장력에서 파손되지 않고 절단 속도가 분당 15-20 미터에 도달 할 수 있으며 완성 된 판의 두께가 균일하여 건물 장식 및 조각 산업에 적합합니다. 예를 들어, 이탈리아의 카라라 대리석 광산 지역에서 텅스텐 와이어 튼은 1,000 평방 미터 이상의 단일 절단 면적을 가진 큰 석재 조각을 채굴하고 처리하는 데 사용되며 기존 와이어 튼보다 훨씬 효율적입니다. 세라믹 가공에서 텅스텐 와이어 튼은 알루미늄 또는 질화규소와 같은 고경도 재료를 절단하고 마감 가장자리는 전자 세라믹 기판을 만드는 데 자주 사용되는 치핑 없이 매끄럽습니다. 예를 들어, 5G 통신 장비 생산에서 텅스텐 와이어 튼은 고주파 신호 전송의 엄격한 요구 사항을 충족하는 직경이 0.1mm 에 불과한 기판의 마이크로 홀 가공을 완료합니다. 이러한 응용 프로그램은 경질 재료 가공에서 텅스텐 와이어의 다양성과 효율성을 보여줍니다.

### 6.2 고온 환경에서의 기능성 부품

우수한 고온 특성으로 인해 텅스텐 와이어는 극한 조건, 특히 고온 용광로, 열 용사 및 용접, 항공 우주 응용 분야에서 기능 부품에 선택되는 재료입니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 6.2.1 고온로의 발열체

### 6.2.1.1 진공 또는 불활성 가스로에서의 텅스텐 와이어 적용

진공 또는 불활성 가스 보호 기능이 있는 고온 용광로에서 절단 방지 텅스텐 와이어는 발열체 역할을 하며 최대 2500° C의 극한 온도에서 안정적으로 작동할 수 있습니다. 높은 열전도율은 빠른 온도 상승을 지원하며 반도체 웨이퍼 어닐링, 금속 소결 및 세라믹 경화와 같은 공정에 일반적으로 사용됩니다. 니켈 - 크롬 합금과 같은 전통적인 가열 재료와 비교할 때, 텅스텐 와이어의 낮은 증기압 및 내 산화성은 진공 환경에서 더 내구성이 뛰어나 고온 휘발로 환경의 오염을 방지합니다. 예를 들어, 실리콘 웨이퍼 어닐링로에서 텅스텐 와이어 발열체는 몇 초 만에 온도를 2000° C 이상으로 올릴 수 있으므로 웨이퍼의 결정 구조를 신속하게 수리하고 칩 성능을 향상시킬 수 있습니다.

### 6.2.1.2 고온 어닐링 및 소결시 내구성

고온 어닐링 및 소결 과정에서 텅스텐 와이어의 처짐 방지 저항은 독특한 장점입니다. 입자 성장을 억제하기 위해 칼륨을 도핑함으로써 텅스텐 필라멘트는 장기간 고온 작동 후에도 기하학을 유지할 수 있으며 열장 균일 성이 우수합니다. 이 특성은 예를 들어 텅스텐 와이어 발열체가 수백 시간의 연속 작동을 지원하고 소결 완제품의 밀도가 이론 값의 99 %에 가깝고 기계적 강도와 투명성이 의료 표준을 충족하는 지르코니아 치과 세라믹의 제조와 같은 세라믹 소결에서 특히 중요합니다. 또한, 금속 분말 야금에서, 텅스텐 와이어 발열체는 부품 내부에 다공성이 없는지 확인하고 항공 우주의 높은 신뢰성 요구 사항을 충족하기 위해 텅스텐 합금 부품을 소결하는데 사용됩니다. 이러한 응용 프로그램은 고온 공정에서 텅스텐 와이어의 내구성과 안정성을 보여줍니다.

## 6.2.2 열 분무 및 용접 지원

### 6.2.2.1 플라즈마 분무의 텅스텐 필라멘트 부품

플라즈마 스프레이는 고온 플라즈마 아크를 사용하여 내마모성 또는 내식성 코팅을 증착하고 절단 방지 텅스텐 와이어를 전극 또는 지지대로 증착하여 3000° C 이상의 국부적 고온을 견딜 수 있습니다. 내구성과 내산화성은 스프레이 공정의 연속성을 보장하며 일반적으로 에어로 엔진 블레이드 및 산업용 금형의 표면 강화에 사용됩니다. 예를 들어, 터빈 블레이드의 분무에서 텅스텐 필라멘트 부품은 세라믹 코팅의 증착을 지원하고 코팅 두께는 0.2-0.5mm로 균일하게 제어되어 블레이드의 고온 내식성을 30% 이상 향상시킵니다. 다른 재료에 비해 텅스텐 와이어의 높은 용접과 안정성은 부품 교체 빈도를 줄여 생산 비용을 크게 절감합니다.

### 6.2.2.2 텅스텐 불활성 가스 차폐 용접 (TIG 용접)의 전극선.

TIG 용접에서 절단 방지 텅스텐 와이어는 스테인리스강, 알루미늄 합금 및 티타늄 합금과 같은 용접 재료에 안정적인 고온 아크를 제공하는 전극으로 사용됩니다. 토탈 또는 란타늄 도핑 된 텅스텐 와이어는 아크를 더 빨리 시작하고 전자 방출 효율을

향상시켜 용접 정확도를 높입니다. 이 특성은 압력 용기 및 항공 우주 부품의 제조에서 특히 중요합니다. 예를 들어, 항공 유압 파이프의 제조에서 텅스텐 와이어 전극은 최대 10 미터 길이의 이음매없는 용접으로 완성되며 용접 강도는 모재의 98 %에 가깝고 매우 높은 결함없는 비율입니다. 또한 해양 산업에서 텅스텐 와이어 전극은 후판 스테인리스강의 용접을 지원하고 용접의 내식성은 해양 환경의 요구를 충족시켜 까다로운 용접에서 신뢰성을 입증합니다.



### 6.2.3 항공우주 고온 부품

#### 6.2.3.1 로켓 엔진 노즐의 텅스텐 와이어 보강

로켓 엔진의 노즐은 고온 가스 침식과 극도의 열 응력을 견뎌야 하며 텅스텐 와이어는 절단에 강하고 복합 재료를 도핑하여 레늄 원소로 강화되었으며 2000° C 이상에서 여전히 우수한 기계적 특성을 유지합니다. 산화 방지 코팅을 적용하면 노즐 수명이 더욱 연장되어 수백 번의 점화 주기를 견딜 수 있습니다. 예를 들어, 고체 로켓 엔진에서 텅스텐 와이어 강화 노즐은 여러 지상 테스트에서 균열이나 절제를 보여주지 않았으며 목 직경 변화는 0.1mm 미만으로 추력 안정성을 보장했습니다. 이 소재의 높은 신뢰성은 심우주 탐사 임무의 핵심 구성 요소입니다.

#### 6.2.3.2 전기 추진기의 텅스텐 와이어 음극

홀 스러스터 또는 이온 스러스터와 같은 전기 스러스터에서 절단 방지 텅스텐 필라멘트는 효율적인 전자 방출을 제공하고 우주선의 궤도 조정 및 자세 제어를 지원하기 위해 음극으로 사용됩니다. 란타넘 도핑된 텅스텐 와이어의 높은 방출 효율과 이온 충격 저항으로 인해 2000° C에서 1000 시간 이상 작동할 수 있습니다. 예를 들어, 정지 통신 위성에서 텅스텐 음극은 추진 시스템을 지원하여 10,000 펄스 점화를 완료하여 추진 효율을 15% 높이고 위성의 궤도 수명을 연장합니다. 또한

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



심우주 탐사선에서 텅스텐 와이어 음극의 안정성은 진공 환경에서 스러스터의 장기 작동을 보장하여 행성 탐사 임무의 성공적인 수행을 촉진합니다.

### 6.3 전자 및 전기 응용 프로그램

절단 방지 텅스텐 와이어는 전기 전도성, 고온 성능 및 안정성으로 인해 전자 및 전기 분야에서 선호되며 전자빔 장비, 진공 장치 및 조명 시스템에 널리 사용됩니다.

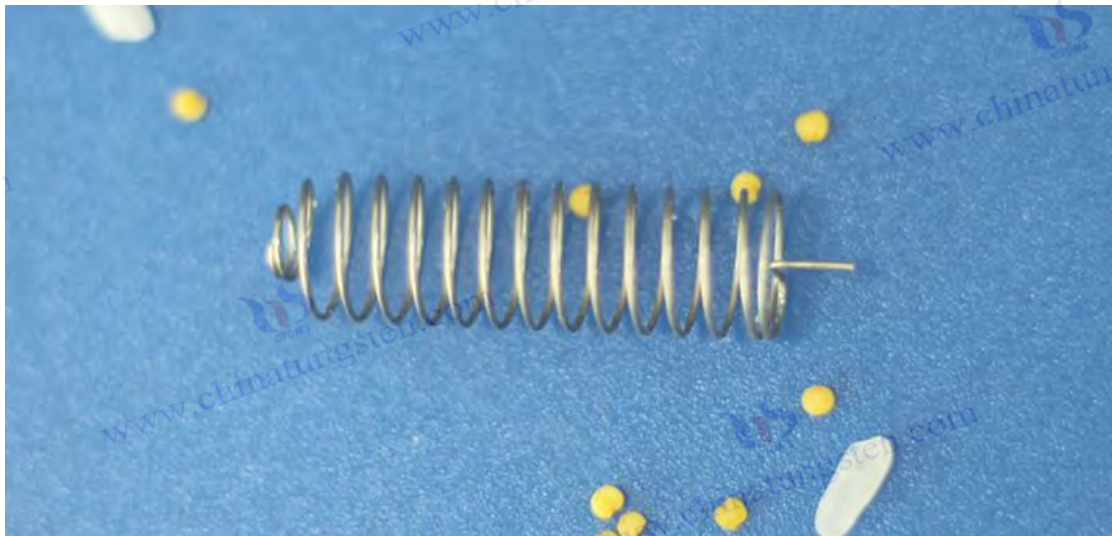
#### 6.3.1 전자빔 및 X-ray 장비

##### 6.3.1.1 전자 현미경, X선관의 텅스텐 필라멘트

전자 현미경과 X선관은 텅스텐 필라멘트를 전자 방출원으로 사용하며 녹는점과 방출 효율이 높아 이상적인 선택입니다. 텅스텐 필라멘트는 2500° C 에서 안정적이며 수명이 수천 시간으로 재료 과학 및 의료 영상에 일반적으로 사용됩니다. 예를 들어, 주사 전자 현미경(SEM)에서 토륨 도핑된 텅스텐 필라멘트는 10 나노미터의 해상도로 이미지를 지원하여 연구원들이 나노 물질의 표면 지형을 분석하는 데 도움이 됩니다. X선관에서 텅스텐 필라멘트는 CT 스캐닝 장비에 사용되어 강력한 X선 투과와 높은 이미징 선명도를 생성하여 폐 질환 진단에 널리 사용되며 의료 진단의 정확도를 크게 향상시킵니다.

##### 6.3.1.2 전자빔 용접의 고온 소스

전자빔 용접은 텅스텐 필라멘트를 사용하여 고온 전자빔을 생성하며 용접 깊이와 정밀도는 기존 방법보다 훨씬 큼니다. 텅스텐 필라멘트의 높은 안정성은 항공 우주 및 자동차 산업에서 일반적으로 사용되는 정밀한 전자빔 초점을 보장합니다. 예를 들어, 항공기 엔진 터빈 디스크의 제조에서 텅스텐 전자빔은 최대 50mm의 용접 깊이와 모재의 95%에 가까운 강도를 가진 깊은 티타늄 합금 판을 용접하는 데 사용됩니다. 자동차 제조에서 텅스텐 와이어는 알루미늄 합금 본체 부품의 용접을 지원하며 용접 이음새에는 다공성이 없어 경량 설계의 요구 사항을 충족합니다. 이러한 응용 분야는 고정밀 용접에서 텅스텐 와이어의 대체 불가능성을 보여줍니다.



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 6.3.2 진공 장비

### 6.3.2.1 진공 증발에서 텅스텐 와이어 증발 보트

진공 증발에서, 텅스텐 와이어 증발 보트는 광학 및 전자 산업에서 널리 사용되는 박막에 금속을 증발시키고 증착하는 데 사용됩니다. 텅스텐 필라멘트의 고온 저항과 낮은 증기압은 증발 과정에서 높은 효율과 필름 균일 성을 보장합니다. 예를 들어, 광학 렌즈 코팅에서 텅스텐 필라멘트 증발 보트는 여러 층의 반사 방지 코팅을 증착하고 반사율이 1% 미만으로 감소하여 렌즈의 광 투과율을 향상시킵니다. 반도체 제조에서 텅스텐 필라멘트는 구리 또는 알루미늄 박막 증착을 지원하며 막 두께 균일 성은 집적 회로의 고성능 요구 사항을 충족하는  $\pm 2\%$ 로 제어됩니다. 이러한 특성으로 인해 텅스텐 필라멘트는 진공 코팅 기술의 핵심 구성 요소가 됩니다.

### 6.3.2.2 질량 분석기의 텅스텐 필라멘트 소스

질량 분석기에서 텅스텐 필라멘트 이온 소스는 분자 질량 분석을 위해 일정한 이온 전류를 생성합니다. 높은 온도 내성과 방출 안정성은 고정밀 감지를 지원합니다. 예를 들어, 환경 모니터링에서 텅스텐 필라멘트 이온 소스는 ppb 감도로 대기 중의 휘발성 유기 화합물(VOC)을 분석하여 오염원을 식별하는 데 도움을 줍니다. 식품 안전 분야에서 텅스텐 필라멘트는 식품의 잔류 농약 검출을 지원하며 검출 한계는 식품 안전 표준을 보장하기 위해 ng 수준으로 낮습니다. 이러한 응용 프로그램은 과학 연구 및 산업 테스트에서 텅스텐 필라멘트의 높은 신뢰성을 보여줍니다.

## 6.3.3 조명 및 디스플레이

### 6.3.3.1 고강도 방전 램프 (HID 램프)의 텅스텐 전극.

크세논 램프와 같은 고강도 방전 램프는 텅스텐 전극을 사용하여 고휘도 광원을 제공하며 자동차 조명 및 프로젝션 장비에 널리 사용됩니다. 텅스텐 전극은 2000 시간 이상의 수명과 와트 당 최대 100 루멘의 밝기로 2000 °C에서 작동 할 수 있습니다. 예를 들어, 자동차 헤드 라이트에서 텅스텐 전극은 빠른 시동과 안정적인 광 출력을 지원하여 야간에 가시성을 최대 50%까지 향상시켜 주행 안전성을 향상시킵니다. 시네마 프로젝터에서 텅스텐 전극은 사진의 밝기와 색 재현을 보장하기 위해 고강도 광원을 제공합니다.

### 6.3.3.2 백열등 및 할로겐 램프의 텅스텐 필라멘트

백열등 및 할로겐 램프 중에서 텅스텐 필라멘트는 고온 성능과 내구성으로 알려져 있습니다. 할로겐 사이클링 기술은 텅스텐 휘발을 줄이고 필라멘트 수명을 수천 시간으로 연장합니다. 예를 들어, 고급 할로겐 램프에서 텅스텐 필라멘트는 2600 °C에서 작동하고 3200K의 안정적인 색온도를 가지며 스튜디오 조명에 널리 사용되어 부드럽고 연속적인 광원을 제공합니다. 가정용 백열등에서 텅스텐 필라멘트는 장기적인 조명을 지원하며 전통적인 조명 장비의 고전적인 선택이 됩니다. 이러한 응용 분야는 조명 분야에서 텅스텐 필라멘트의 지속적인 매력을 보여줍니다.

## 6.4 의료 및 과학 기기

절단 방지 텅스텐 필라멘트는 높은 정밀도와 안정성으로 의료 및 과학 연구 분야의 특별한 요구를 충족하며 수술 도구 및 분석 기기에 널리 사용됩니다.

### 6.4.1 수술 도구

#### 6.4.1.1 전기 수술의 텅스텐 전극

전기 수술에서 절단 방지 텅스텐 와이어는 조직을 절단하고 응고시키는 전극으로 사용됩니다. 높은 강도와 높은 온도 저항은 종양 절제 및 심장 수술에 일반적으로 사용되는 정확하고 효율적인 절단 공정을 보장합니다. 예를 들어, 간암 절제 수술에서 텅스텐 전극은 고주파 전류에서 조직 분리를 완료하여 상처 부위를 30 % 줄이고 수술 후 회복 시간을 20 % 단축 할 수 있습니다. 높은 표면 마감은 조직 접착을 줄이고 수술 안전성을 향상시킵니다. 또한 텅스텐 전극은 심장 우회 수술에서 작은 혈관의 정확한 치료를 지원하여 출혈 위험을 크게 줄입니다.

#### 6.4.1.2 최소침습수술에서의 고정밀 절단선

최소 침습 수술에서 텅스텐 와이어는 신경외과 및 안과와 같은 고정밀 분야에 적합한 절단선으로 사용됩니다. 텅스텐 필라멘트의 미세한 직경과 내식성은 복잡한 수술에서 탁월합니다. 예를 들어, 백내장 수술에서 텅스텐 와이어 절단 와이어를 사용하여 흐린 렌즈를 나누어 수술 시간을 10 분으로 단축하고 환자의 시력 회복률은 95 % 이상입니다. 신경 외과에서 텅스텐 와이어 절단 선은 최대 0.1mm의 정확도로 뇌 조직의 작은 절개를 완료하여 주변의 건강한 조직의 손상을 방지하고 최소 침습 기술에 대한 중요한 도움이 됩니다.



### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 6.4.2 분석 기기

### 6.4.2.1 질량 분석기의 텅스텐 와이어 검출기

질량 분석기에서 텅스텐 필라멘트 검출기는 높은 온도 내성과 빠른 응답 특성으로 인해 고정밀 분석을 지원합니다. 신약 개발에서 텅스텐 필라멘트 검출기는 피코그램 수준까지 검출 한계로 대사 산물을 분석하여 연구자들이 in vivo에서 약물 대사 경로를 식별하는 데 도움을 줍니다. 지질학 연구에서 텅스텐 필라멘트는 0.01%의 정확도로 암석의 우라늄-납 비율 측정과 같은 동위원소 분석을 지원하여 지구의 나이를 결정하기 위한 신뢰할 수 있는 데이터를 제공합니다. 긴 수명과 높은 감도로 인해 분석 분야의 핵심 구성 요소가 됩니다.

### 6.4.2.2 열중량 분석기의 고온 텅스텐 와이어 샘플 홀더

열중량 분석기에서 텅스텐 와이어 샘플 홀더는 2500° C 에서 작동할 수 있으며 강력한 하중 용량과 높은 질량 안정성이 있습니다. 내산화성은 고온 테스트의 정확성을 보장합니다. 예를 들어, 고분자 열분해 연구에서 텅스텐 와이어 샘플 홀더는 샘플이 최대 2000° C 까지 가열되도록 지원하고 데이터 편차가 0.5% 미만인 열중량 곡선을 기록하여 재료의 열 안정성을 분석하는 데 도움이 됩니다. 세라믹의 연구 개발에서 텅스텐 와이어 샘플 홀더는 고온 소결 샘플을 운반하며 완제품의 성능 테스트 결과는 98%의 이론적 값과 일치합니다.

## 6.4.3 생물의학 연구

### 6.4.3.1 세포 electroporation 에 있는 텅스텐 전극

세포 electroporation 에서, 텅스텐 와이어 전극은 고전압 펄스에 의해 세포막을 관통하는 유전자 형질 주입에 사용됩니다. 전도성과 안정성으로 인해 여러 실험이 가능합니다. 예를 들어, CRISPR 유전자 편집에서 텅스텐 와이어 전극은 세포막 천공을 완료하고 형질 주입 효율은 85%로 높아 유전자 도입 성공률을 크게 향상시킵니다. 줄기 세포 연구에서 텅스텐 와이어 전극은 대규모 세포 처리를 지원하고 transfection 일관성을 20% 개선하여 재생 의학 연구를 위한 효율적인 도구를 제공합니다.

### 6.4.3.2 신경과학의 미세전극 어레이

신경 과학에서 텅스텐 미세 전극 어레이는 높은 정확도와 낮은 노이즈로 신경 신호를 기록하는 데 사용됩니다. 그것의 작은 크기는 단일 뉴런 활동을 기록하기 위해 뇌 조직에 깊숙이 침투할 수 있습니다. 예를 들어, 쥐의 대뇌 피질 연구에서 텅스텐 필라멘트 어레이는 해상도가 20% 증가된 발사 신호를 포착하여 학습 및 기억의 신경 메커니즘을 밝히는 데 도움이 되었습니다. 인간의 뇌-컴퓨터 인터페이스 실험에서 텅스텐 필라멘트 어레이는 운동 피질 신호를 기록하고 90%의 정확도로 로봇 팔의 제어를 지원하여 신경 재활 기술의 발전을 촉진했습니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



## 6.5 산업 제조 및 가공 지원

절단 방지 텅스텐 필라멘트는 섬유, 식품 가공 및 유리 세라믹을 포함한 산업 제조에서 가공 효율성과 구성 요소 내구성을 향상시키는 데 사용됩니다.

### 6.5.1 직물 및 종이

#### 6.5.1.1 섬유 기계의 내마모성 텅스텐 와이어 가이드

섬유 기계에서, 텅스텐 와이어 가이드는 높은 경도와 내마모성으로 섬유 마찰 손실을 줄입니다. 고속 직기에서 텅스텐 와이어 가이드는 높은 표면 마감으로 분당 5000 회전을 지원하고 필라멘트 얽힘 및 파손을 방지합니다. 예를 들어, 면화 방적 생산 라인에서 텅스텐 와이어 가이드의 수명은 1000 시간 이상이고 고장률은 50 % 감소하며 직물의 평탄도 및 생산 효율이 향상됩니다. 양모 산업에서 텅스텐 와이어 가이드는 로빙 가공을 지원하고 버를 줄이며 고급 직물의 품질을 향상시킵니다.

#### 6.5.1.2 제지 기계의 텅스텐 와이어 액세서리

제지 기계에서 텅스텐 와이어 보조 구성 요소 (예 : 가이드 와이어 링)는 덩고 습한 환경에서 안정적으로 작동 할 수 있으며 내식성이 뛰어납니다. 고속 제지 기계에서 텅스텐 필라멘트 구성 요소는 최대 99%의 종이 평탄도를 지원하여 마모로 인한 가동 중지 시간을 줄입니다. 예를 들어, 신문 용지의 생산 라인에서 텅스텐 가이드 와이어 루프는 6 개월 이상 작동 후에도 성능을 유지하고 유지 보수 빈도는 30 % 감소합니다. 아트지 제조에서 텅스텐 필라멘트 구성 요소는 종이의 표면이 흠잡을 데가 없고 고급 인쇄의 요구를 충족하도록 합니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 6.5.2 식품 가공

### 6.5.2.1 식품 절단 라인의 부식 방지 텅스텐 와이어

식품 가공에서 텅스텐 와이어 절단 라인은 내식성과 높은 정밀도로 인해 육류, 치즈 및 야채를 절단하는 데 적합합니다. 텅스텐 필라멘트는 산성 또는 습한 환경에서 오랫동안 사용할 수 있으며 절단 정확도가 높고 완제품의 일관성이 강합니다. 예를 들어, 자동 슬라이서에서 텅스텐 와이어는 분당 200 개의 고기를 절단하고 두께가 균일하며 통과율이 98 % 이상이 있어 식품 가공의 효율성을 향상시킵니다. 치즈 생산에서 텅스텐 필라멘트 절단 라인은 포장 및 미적 요구 사항을 충족하기 위해 복잡한 모양을 절단하여 스크랩 비율을 최대 10%까지 줄입니다.

### 6.5.2.2 고온 베이킹 장비의 텅스텐 와이어 발열체

고온 베이킹 장비에서 텅스텐 와이어 발열체는 산업 규모의 식품 생산을 지원하기 위해 균일 한 열장을 제공합니다. 고온 저항으로 인해 고장 없이 장기간 작동할 수 있습니다. 예를 들어, 빵 생산 라인에서 텅스텐 필라멘트 요소는 지속적인 베이킹을 지원하며 열 온도 편차가 적고 완제품의 일관된 맛이 나며 효율성이 15% 증가합니다. 육류 성숙 공장에서 텅스텐 와이어 발열체는 2000 ° C의 온도에서 작동하여 성숙 과정을 가속화하고 가공 시간을 20 % 단축하며 식품 산업의 생산 능력을 증가시킵니다.



## 6.5.3 유리 및 세라믹 가공

### 6.5.3.1 유리 절단의 고강도 텅스텐 와이어

유리 절단에서 절단 방지 텅스텐 와이어는 두꺼운 판과 정밀 가공을 지원하는 높은 강도로 인해 광학 유리 및 건축 유리에 일반적으로 사용됩니다. 텅스텐 와이어는 균열이 없는 평평한 모서리로 최대 10mm 두께의 유리 시트를 절단 할 수 있습니다.

[CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서](#)

예를 들어, 휴대 전화 스크린 유리 생산에서 텅스텐 필라멘트는 시간당 1,000 개를 절단하고 거부율은 터치 스크린의 고품질 요구 사항을 충족하는 2 % 미만입니다. 건물 커튼 월 유리의 가공에서 텅스텐 와이어는 대형 유리 절단을 지원하며 완제품의 크기 편차가 작아 설치 효율이 향상됩니다.

### 6.5.3.2 세라믹 기관 절단 및 천공용 텅스텐 와이어

세라믹 기관 가공에서 텅스텐 와이어는 고경도 재료(예: 질화규소)를 절단하여 가장자리가 매끄럽고 완제품의 수명이 길어집니다. 전자 산업에서 텅스텐 필라멘트는 예를 들어 5G 세라믹 기관 생산에서 마이크로 홀 가공, 텅스텐 필라멘트는 고주파 신호 전송의 요구를 충족시키기 위해 직경 0.1mm의 구멍을 절단합니다. 항공 우주 세라믹 부품의 제조에서 텅스텐 필라멘트는 터빈 블레이드의 세라믹 코팅 기관과 같은 복잡한 형상의 절단을 지원하며 완제품은 고온 저항 및 강도를 가지며 하이테크 세라믹 가공에서 텅스텐 와이어의 가치를 반영합니다.

## 6.6 에너지 및 환경 보호

절단 방지 텅스텐 와이어는 원자력, 재생 가능 에너지 및 폐기물 처리를 포괄하는 에너지 및 환경 보호 분야에서 효율적인 사용과 환경 보호를 지원합니다.

### 6.6.1 원자력 에너지

#### 6.6.1.1 원자로의 텅스텐 와이어 제어 부품

원자로에서 텅스텐 와이어 제어 구성 요소는 고온 내성과 방사선 저항으로 인해 중성자 흐름을 조절하는 데 사용됩니다. 텅스텐 필라멘트는 낮은 강도 손실로 2500°C에서 작동할 수 있으며 제어 정확도를 보장합니다. 예를 들어, 고속 중성자 반응기에서 텅스텐 필라멘트 구성 요소는 수년 동안 연속 작동을 견딜 수 있어 중성자 흐름 조절의 안정성을 10% 향상시켜 반응기 안전성을 향상시킵니다. 고온 가스 냉각 반응기에서 텅스텐 필라멘트 구성 요소는 5년 이상의 수명으로 방사선 및 열 응력을 받으며 원자력 에너지 장비의 핵심 지지 구성 요소가 됩니다.

#### 6.6.1.2 방사선 차폐의 텅스텐 와이어 메쉬

텅스텐 와이어 메쉬는 고밀도의 방사선 차폐에 사용되어 인력과 장비를 방사선으로부터 보호합니다. 작은 직경의 텅스텐 필라멘트는 무게가 가볍고 차폐 효율이 높은 그물로 낀다. 예를 들어, 핵 의학 장비에서 텅스텐 와이어 메쉬 차폐는 기존의 납 차폐에 비해 90% 이상의 차폐율과 20%의 중량 감소로  $\gamma$  광선을 차폐합니다. 핵 폐기물의 저장에서, 텅스텐 와이어 메쉬는 방사선 누출을 줄이고 환경 안전을 보장하는 보호 층으로 작용합니다.

### 6.6.2 재생 가능 에너지

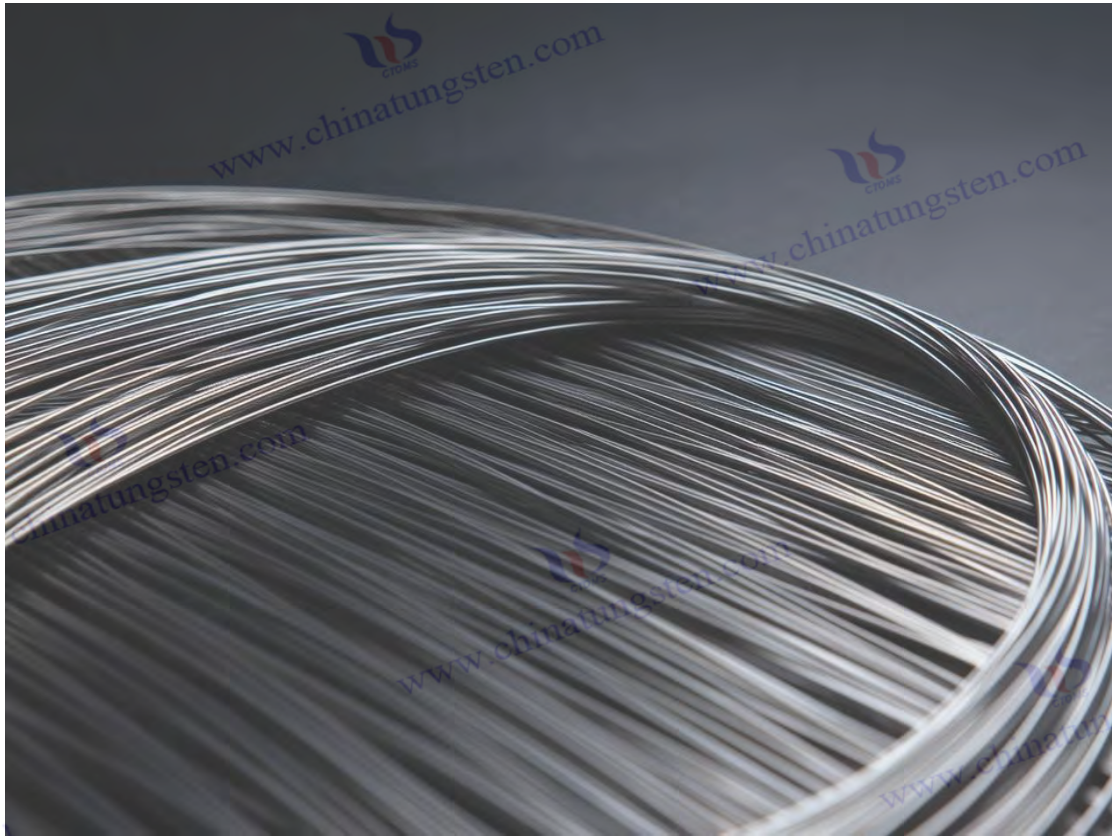
#### 6.6.2.1 태양 전지 제조시 텅스텐 와이어 절단

태양 전지 생산에서 텅스텐 와이어 절단 실리콘 웨이퍼는 태양 광 산업의 효율적인 발전을 지원합니다. 텅스텐 와이어의 높은 내마모성은 안정적인 절단 공정과 높은

수율을 보장합니다. 예를 들어, 단결정 실리콘 잉곳 절단에서 텅스텐 와이어는 정밀한 두께 제어와 15% 비용 절감으로 시간당 600 개의 웨이퍼를 처리합니다. 박막 태양 전지의 제조에서, 텅스텐 와이어 절단 기관 재료는 완제품의 일관성을 10 % 향상시켜 재생 가능 에너지의 대중화 및 적용을 촉진합니다.

### 6.6.2.2 풍력 터빈의 내마모성 텅스텐 와이어 구성 요소

풍력 터빈에서 텅스텐 필라멘트 구성 요소는 특히 열악한 환경에서 내마모성으로 인해 장기간 작동을 지원합니다. 예를 들어, 해상 풍력 발전 단지에서 텅스텐 와이어 구성 요소는 바람에 날리는 모래와 염수 분무 침식에 강하고 수명이 10 년 이상인 블레이드 조정 메커니즘에 사용됩니다. 육상 풍력에서는 텅스텐 와이어 구성 요소가 감소하고 유지 보수 간격이 5 년으로 연장되어 풍력 에너지 장비의 신뢰성이 향상됩니다.



## 6.6.3 폐기물 처리

### 6.6.3.1 고온 소각로의 텅스텐 와이어 발열체

고온 소각로에서 텅스텐 와이어 발열체는 효율적인 폐기물 처리를 지원합니다. 높은 온도 내성으로 철저한 소각이 가능하며 의료 및 산업 폐기물 처리에 일반적으로 사용됩니다. 예를 들어, 의료 폐기물 소각에서 텅스텐 필라멘트 요소의 작동 온도는 2500 ° C 에 도달하고 소각 효율은 90 %를 초과하며 오염 물질 배출은 50 %

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



감소합니다. 유해 화학 폐기물의 처리에서, 텅스텐 필라멘트는 연속 작동을 지원하고 처리 용량을 20 % 증가시켜 환경 보호 분야에서의 가치를 반영합니다.

### 6.6.3.2 폐수 처리의 전해 텅스텐 전극

폐수 처리에서 텅스텐 와이어 전극은 중금속 및 유기 오염 물질을 제거하기 위해 내식성으로 전기 분해 공정을 지원합니다. 예를 들어, 산업 폐수 처리에서 텅스텐 와이어 전극은 납 함유 폐수를 98 %의 정화율과 높은 전기 분해 효율로 처리합니다. 도시 하수 처리에서 텅스텐 와이어 전극은 암모니아 질소를 제거하고 작동 수명이 길며 처리 비용을 절감하며 물 재활용을 촉진합니다.

## 6.7 국방 및 안보

절단 방지 텅스텐 필라멘트는 높은 밀도와 강도로 방위 및 보안 부문의 극한의 요구 사항을 충족하며 갑옷 피어싱 재료, 감지 및 통신 장비를 포함합니다.

### 6.7.1 철갑 소재

#### 6.7.1.1 텅스텐 강화 복합 갑옷

텅스텐 와이어 강화 복합 갑옷은 높은 밀도와 내 충격성으로 인해 고속 발사체에 저항하며 탱크 및 장갑차 보호에 자주 사용됩니다. 텅스텐 필라멘트의 높은 인성은 충격 에너지를 흡수하고 갑옷의 내구성을 향상시킵니다. 예를 들어, 주요 전투 탱크의 보호에서 텅스텐 복합 층은 갑옷 관통 포탄에 저항하고 보호 능력을 30 % 증가시키며 무게를 10 % 줄입니다. 경 장갑 차량에서 텅스텐 필라멘트 보강재는 이동성과 안전성의 균형을 이루는 모듈 식 설계를 지원합니다.

#### 6.7.1.2 텅스텐 필라멘트 기반 갑옷 피어싱 코어

텅스텐 와이어 기반 갑옷 피어싱 코어는 높은 경도와 관통력을 가진 대전차 무기에 사용됩니다. 텅스텐 필라멘트의 밀도가 높으면 총알 코어의 운동 에너지가 향상되고 복합 갑옷을 관통하는 강력한 능력이 있습니다. 예를 들어, 125mm 탱크 건에서 텅스텐 코어는 500mm 강판을 90% 이상의 명중률로 관통합니다. 휴대용 대전차 무기에서 텅스텐 와이어 총알 코어는 소형 설계를 지원하며 관통력은 여전히 표준에 도달하여 현대 전장에서 중요한 장비가 되고 있습니다.

### 6.7.2 감지 및 감지

#### 6.7.2.1 고온 센서의 텅스텐 와이어 요소

고온 센서에서 텅스텐 필라멘트 요소는 고온 저항과 빠른 응답 특성으로 극한 환경 모니터링을 지원합니다. 예를 들어, 미사일 엔진 테스트에서 텅스텐 와이어 센서는 실시간으로 온도를 모니터링하고 응답 시간은 0.1 초 미만이며 높은 정확도로 작동합니다. 화산 감지에서 텅스텐 필라멘트 요소는 최대 2000° C의 온도를 견디며 용암 온도의 변화를 기록하고 화산 활동을 예측하는 데 도움이 됩니다. 이러한 응용 분야는 고신뢰성 감지에서 텅스텐 필라멘트의 가치를 보여줍니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 6.7.2.2 폭발물 탐지 장비의 텅스텐 와이어 방아쇠

폭발물 탐지 장비에서 텅스텐 와이어 트리거는 높은 강도와 안정성으로 신속한 탐지를 지원합니다. 텅스텐 필라멘트는 텅스텐 트리거가 최대 ppm의 민감도와 1% 미만의 오경보율로 미량의 TNT를 감지하는 공항 보안과 같은 높은 스트레스 하에서도 성능을 유지할 수 있습니다. 전장 환경에서 텅스텐 와이어는 트리거 시간이 짧은 휴대용 감지기를 지원하여 탐지 효율성과 안전성을 향상시킵니다.

### 6.7.3 통신 장비

#### 6.7.3.1 군용 통신 안테나의 고온 텅스텐 와이어

군사 통신 안테나에서 텅스텐 필라멘트는 고온 내성으로 인해 극한 환경에서 신호 전송을 지원합니다. 예를 들어, 사막 전쟁에서 텅스텐 와이어 안테나는 1500 °C의 온도에서 작동하고 수명이 5년 이상이며 신호 비트 오류율이 낮습니다. 고고도 UAV에서 텅스텐 와이어 안테나는 장거리 통신을 지원하고 풍하중에 대한 저항력이 강하여 임무의 성공률을 보장합니다.

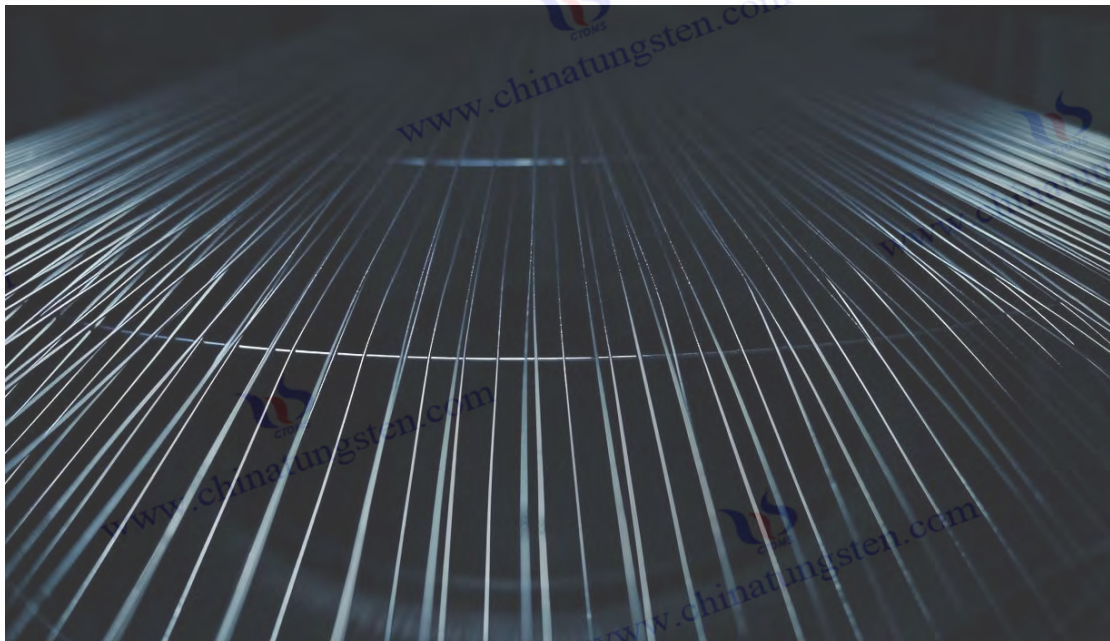
#### 6.7.3.2 위성 통신에서 텅스텐 반사 그물

위성 통신에서, 텅스텐 반사 메쉬는 높은 밀도와 반사 효율로 신호 품질을 향상시킵니다. 작은 직경의 텅스텐 필라멘트는 가볍고 성능이 우수한 웹으로 꼰다. 예를 들어, 정지 궤도 위성에서 텅스텐 반사 메쉬는 신호 이득을 10dB 증가시키고 고화질 비디오 전송을 지원합니다. 심우주 통신에서 텅스텐 와이어 메쉬는 우주 방사선을 견디고 반사율을 유지하여 성간 탐사 임무를 돕습니다.

표 6.1 절단 방지 텅스텐 와이어의 응용 분야 개요

발	하위 필드	일반적인 응용 프로그램	성능 특성	이점
와이어 절단 가공	EDM (동)	금형, 터빈 블레이드	고강도, 높은 전기 전도성	높은 정밀도와 긴 수명
	다이아몬드 와이어 톱	실리콘 웨이퍼, 스톤	내마모성, 우수한 인성	수율이 높고 절단 영역이 큼니다.
고온 기능성 부품	발열체	고온로	높은 열전도율, 처짐 방지	열장이 균일하고 내구성이 강합니다.
	용사 및 용접	티그용	높은 용점, 높은 방출 효율	용접은 고품질이며 수명이 깁니다.
	항공 우주	로켓 노즐	고온에서 우수한 강도	다중 점화에 대한 내성
전자 및 전기	X-ray를 이용한 전자빔	X선관	높은 방출 효율, 고온 저항	이미징이 명확하고 용접 깊이가 큼니다.
	진공 장비	증발 보트	낮은 증기압 및 우수한 균일성	코팅 효율

	조명 및 디스플레이	HID 조명	높은 밝기, 내식성	긴 수명, 안정적인 광 출력
의료 및 연구	수술 도구	최소 침습 수술	높은 정밀도, 내식성	낮은 외상과 높은 안전성
	분석 기기	질량 분석기	높은 감도와 좋은 안정성	정확한 감지
	생물 의학	전기충격법	진압이 안정적이고 수명이 길다	높은 transfection 효율
산업 제조업	섬유 & 종이	와이어 가이드	내마모성, 높은 마감	고장률이 낮고 평탄도가 좋습니다.
	식품 가공	커팅 라인	내산성, 높은 정밀도	완제품이 일관됩니다.
	유리 및 세라믹	유리 절단	높은 강도와 내구성	높은 처리 효율
에너지 및 환경 보호	원자력	제어 부품	방사선 내성, 고밀도	긴 수명과 우수한 차폐 효과
	재생 가능 에너지	웨이퍼 절단	내마모성, 높은 수율	저가
	폐기물 처리	소각로	고온 저항 및 고효율	낮은 배출량
방위 및 보안	갑옷 관통 재료	클머리 기호 코어	높은 경도와 강한 침투력	강력한 보호 능력
	감지 및 감지	고온 센서	빠른 응답과 높은 정밀도	강력한 신뢰성
	통신 장비	반사 그물	높은 반사율, 고온 저항	신호 품질이 좋습니다.



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Introduction

### 1. Overview of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

Cut-Resistant Tungsten Wire is a high-performance industrial material made from high-purity tungsten powder through advanced powder metallurgy and precision wire-drawing processes. With outstanding high strength, wear resistance, and high-temperature stability, it is widely used in photovoltaic, semiconductor, aerospace, and electronic equipment industries. It excels particularly in high-precision wire-cutting applications.

### 3. Production Process of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

**Raw Material Selection:** Uses high-purity tungsten powder.

**Powder Metallurgy:** High-temperature sintering and multiple forging processes produce dense tungsten rod billets.

**Precision Wire Drawing:** Multi-stage wire drawing with diamond dies ensures high-precision dimensional control.

**Heat Treatment:** Optimized grain structure through precise annealing processes enhances tungsten wire toughness and strength.

**Surface Treatment:** Electrolytic polishing technology ensures a defect-free, highly smooth tungsten wire surface.

### 4. CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Specifications

Item	Standard
Diameter ( $\mu\text{m}$ )	15-35 (Customizable)
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	19.3
Tensile Strength ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	3600-4000
Vickers Hardness (HV)	800-850
Elongation	1%-3%
Tensile Force (N)	0.67-3.65

### 5. Procurement Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com) Tel.: +86 592 5129595, 5129696

For more information on cut-resistant tungsten wire, please visit website: [www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn).

For market updates and real-time information, scan the following QR code to follow our WeChat official account: "chinatungsten".

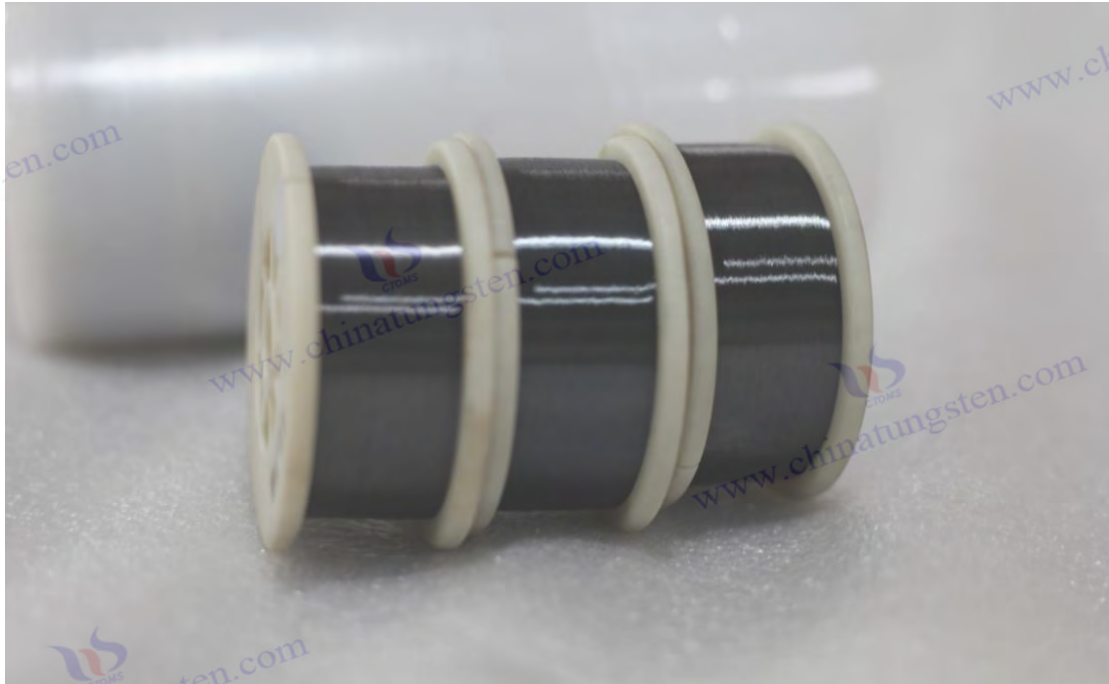


CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 7 장 : 절단 방지 텅스텐 와이어의 고급 주제 및 향후 동향

### 7.1 나노 기술과 텅스텐 필라멘트

나노 기술의 급속한 발전은 절단 방지 텅스텐 와이어에 새로운 활력을 불어넣었으며 나노 스케일 텅스텐 와이어의 독특한 특성으로 인해 첨단 기술 분야에서 광범위한 전망을 보여줍니다.



#### 7.1.1 나노 스케일 텅스텐 와이어의 준비 및 특성

나노 스케일 텅스텐 필라멘트는 직경이 1-100 나노 미터 인 텅스텐 필라멘트를 말하며, 그 준비는 주로 화학 기상 증착 (CVD), 전기 화학 증착 또는 고 에너지 구체에 의존합니다. 연삭 및 어닐링과 같은 첨단 기술. 기존의 마이크론 규모의 텅스텐 필라멘트와 비교하여 나노 텅스텐 필라멘트는 입자 크기의 현저한 감소, 미세한 규모에서의 우수한 전기 전도성 및 열전도성, 향상된 유연성 및 피로 저항으로 인해 더 높은 표면 에너지와 기계적 강도를 나타냅니다. 예를 들어, CVD 방법으로 제조된 나노 텅스텐 필라멘트의 파괴 인성은 마이크론 크기의 텅스텐 필라멘트보다 약 20 % 높으며, 이는 입계 밀도의 증가와 효과적인 결합 제어로 인해 유연한 전자 장치에 이상적인 재료를 제공합니다. 텅스텐 전구체(예:  $WF_6$ )의 증착 속도 및 어닐링 온도의 정확한 제어는 준비 과정에서 매우 중요하며, 연구에 따르면  $800-1000^{\circ}C$  에서 어닐링하면 안정적인 단결정 구조를 형성하여 고온 저항을 더욱 향상시킬 수 있습니다. 그러나 나노 텅스텐 필라멘트의 높은 표면 활성으로 인해 공기 중에서  $WO_3$ 를 형성하기 위해 산화가 쉬워 저장 및 사용 조건이 제한됩니다.

현재 연구는 수율과 일관성을 개선하기 위해 준비 프로세스를 최적화하는 데 중점을

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

두고 있습니다. 예를 들어, 텅스텐 나노 필라멘트는 PECVD (Plasma Enhanced CVD) 기술을 사용하여 더 낮은 온도 (약 600 ° C)에서 증착 할 수 있으므로 에너지 소비와 장비 손실을 줄일 수 있습니다. 또한, 탄소 나노 튜브 또는 그래핀을 템플릿으로 도입함으로써, 질서 정연하게 배열 된 텅스텐 와이어 어레이를 준비 할 수 있으며, 전도도를 약 15 % 증가시킬 수 있어 고성능 도체를 위한 새로운 길을 열 수 있습니다. 최신 X선 회절(XRD) 분석은 < 110 > 배향의 텅스텐 나노 필라멘트가 인장 시험에서 더 높은 연성을 보여 후속 공정 설계에 대한 이론적 기초를 제공한다는 것을 보여줍니다. 이러한 발전은 나노 텅스텐 필라멘트의 제조 기술이 점차 성숙하고 있음을 보여 주며, 이는 응용을 위한 견고한 기반을 마련했습니다.

표 7.1 나노 스케일 텅스텐 와이어의 제조 방법 및 특성 비교

준비 방법:	공정 조건	직경 범위	주요 성능 개선 사항	도전
化学气相沉积 (CVD)	WF <sub>6</sub> 전구체, 800-1000 ° C 에서 어닐링	10-50 nm 수준	과피 인성 20% 증가	산화에 민감하고 비용이 많이 듭니다.
패 CVD	600 ° C 극저온 증착	5-30 nm 의	전기 전도도 15% 증가	장비가 복잡하고 수율이 낮습니다.
전기화학적 증착	전해질 증착, 실온	20-80 nm 의	유연성 향상	일관성 부족
고 에너지 볼 밀 + 어닐링	기계적으로 연마, 900 ° C 에서 어닐링	50-100 nm 수준	표면 에너지 증가	입자 응집, 복잡한 공정

### 7.1.2 잠재적인 응용 프로그램 및 과제

나노 크기의 텅스텐 필라멘트의 잠재적인 응용 분야는 유연한 전자 장치, 에너지 저장 및 촉매 분야에 걸쳐 있습니다. 플렉시블 전자 제품에서 나노 텅스텐 필라멘트는 웨어러블 센서 및 플렉시블 디스플레이용 전도성 네트워크로 짜여질 수 있으며, 높은 유연성으로 인해 장치가 반복적인 굽힘 시에도 안정적으로 작동할 수 있습니다. 예를 들어, 스마트 패브릭에서 나노 텅스텐 와이어 전도층은 1 밀리 초 미만의 응답 시간과 ±0.5 %의 정확도로 심박수와 체온을 실시간으로 모니터링합니다. 에너지 저장 분야에서 나노 텅스텐 필라멘트의 높은 표면적은 리튬 이온 배터리 또는 슈퍼 커패시터의 전극 재료가 되어 에너지 저장 밀도를 15%-30% 증가시키고 충전 속도를 두 배로 높일 수 있습니다. 촉매 분야에서 나노 텅스텐 필라멘트의 광촉매 성능은 물을 분해하여 수소를 생산하는 데 사용할 수 있으며 효율은 기존 텅스텐 재료의 두 배로 청정 에너지 기술의 발전을 촉진합니다.

나노 텅스텐 필라멘트의 응용 잠재력은 생체 의학 및 나노 기계 시스템에도 반영됩니다. 생물 의학 분야에서는 표면 개질 텅스텐 나노 필라멘트를 약물 전달 전달체로 사용할 수 있으며, 표면적이 넓기 때문에 표적 암 치료를 위한 화학 요법 약물과 같은 더 많은 약물 분자를 적재할 수 있으며 방출 효율이 약 25% 증가합니다. 나노 기계 시스템에서 텅스텐 나노 필라멘트는 마이크로 미만의 작동 정확도로 나노

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

로봇에서 작은 로봇 팔을 구동하는 것과 같이 높은 강도와 전도성으로 인해 마이크로 액추에이터의 핵심 구성 요소로 사용될 수 있습니다. 그러나 여전히 중요한 과제가 남아 있습니다. 준비 비용은 여전히 높으며 PECVD 장비 및 전구체 공급 원료 비용은 대규모 생산을 제한합니다. 또한, 고온 또는 산화 환경에서 나노 텅스텐 필라멘트의 안정성이 부족하고, 내구성 향상을 위해 산화 방지 코팅 또는 희토류 원소(예: 란타넘)를 도핑해야 합니다. 나노 입자는 흡입이나 피부 접촉을 통해 인간에게 독성을 가질 수 있기 때문에 환경 안전도 우려 사항이며, 최근 연구에서는 표면 패시베이션을 통해 생물학적 활성을 감소시킬 것을 제안합니다. 이러한 문제는 실험실에서 나노 텅스텐 필라멘트의 산업화를 촉진하기 위해 재료 설계, 공정 최적화 및 안전성 평가에서 단계적으로 해결되어야 합니다.

표 7.2 나노 스케일 텅스텐 와이어의 잠재적 응용 및 기술적 과제

적용 분야	일반적인 응용 프로그램	성능 이점	기술적 과제	용액
유연한 전자 장치	웨어러블 센서	응답 시간 < 1ms	높은 준비 비용	PECVD 프로세스 최적화
에너지 저장 장치	리튬 이온 배터리 전극	에너지 저장 밀도 15%-30% 증가	고온에서 안정성이 떨어짐	희토류 원소 도핑
촉매	광촉매 수소 생산	효율성 2배 향상	산화 민감도	항산화 코팅
생물 의학	의약품 배달 차량	터리스 효율성 25% 증가	잠재적 독성	표면 패시베이션
나노 기계류	미니어처 액추에이터	서브미크론 작동 정확도	일관성 부족	템플릿 지원 준비

## 7.2 복합재 및 코팅 기술

복합 재료 및 코팅 기술의 발전은 절단 방지 텅스텐 와이어의 성능 최적화를 지원하여 극한 조건에서 계속 확장되는 응용 분야에 사용할 수 있도록 합니다.

### 7.2.1 텅스텐 와이어 강화 복합재

텅스텐 필라멘트 강화 복합재는 절단 방지 텅스텐 와이어를 세라믹, 금속 또는 폴리머 매트릭스에 내장하여 재료의 전반적인 특성을 크게 향상시킵니다. 텅스텐 와이어의 높은 강도와 인성은 매트릭스의 취성 또는 낮은 온도 한계를 효과적으로 보상합니다. 예를 들어, 텅스텐 와이어 강화 세라믹 매트릭스 복합 재료 (CMC)에서 텅스텐 와이어는 재료의 파괴 인성을 30% -50% 증가시키는 보강 단계로 사용되며 고온 저항은 2000 °C를 초과합니다. 이 소재는 예를 들어 가스 터빈 블레이드 제조와 같은 항공 우주 부문에서 탁월하며, 고속 공기 세척 및 고온 응력을 견딜 수 있으며 기존 세라믹보다 두 배 더 긴 수명을 가지고 있습니다. 금속 매트릭스 복합 재료 (MMC)에서 텅스텐 와이어는 니켈 기반 합금 또는 티타늄 합금과 결합되어 피로 저항이 40% 더 높고 무게가 10% 적은 항공기 엔진 커넥터와 같은 고밀도, 고강도 구조 부품을 형성합니다.

제조 기술의 발전은 텅스텐 와이어 복합재의 성능 최적화를 더욱 촉진했습니다. 열간

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

등압 프레스(HIP) 공정은 고압 및 고온(약 200MPa, 1800° C)을 사용하여 텅스텐 와이어를 기관 계면에 단단히 결합하고 다공율이 1% 미만으로 감소하여 재료의 신뢰성을 크게 향상시킵니다. 예를 들어, 로켓 노즐에서 텅스텐 와이어 강화 텅스텐 매트릭스 복합재는 침투 공정을 통해 구배 구조를 달성하며 내부 층은 고온에 강하고 외부 층은 산화에 강하며 전체 성능이 균형을 이룹니다. 그러나, 텅스텐 필라멘트와 기관 사이의 열팽창 계수의 차이는 계면 응력 집중 및 미세 균열 시작으로 이어질 수 있습니다. 최근 연구에서는 몰리브덴 또는 니오븀과 같은 전이층을 추가하거나 구배 도핑 설계를 채택하여 계면 응력을 완화할 것을 제안합니다. 예를 들어, 텅스텐 와이어 강화 니켈 기반 합금에서 몰리브덴 전이층은 계면 박리 위험을 최대 30%까지 줄여 고신뢰성 응용 분야를 위한 솔루션을 제공합니다. 이러한 기술 발전은 텅스텐 필라멘트 강화 복합재가 더 높은 성능과 더 넓은 응용 분야로 이동하고 있음을 보여줍니다.

표 7.3 텅스텐 와이어 강화 복합재의 매트릭스 유형 및 성능 개선

기관 유형	일반적인 응용 프로그램	성능 향상	준비 기술	인터페이스를 최적화하는 방법
세라믹 기반(CMC)	가스 터빈 블레이드	파괴 인성 30%-50% 증가	열간 등방압 압착(HIP)	그래디언트 도핑
금속 기반(MMC)	항공 커넥터	피로 저항 40% 증가	분말 야금 + 침투	몰리브덴/니오븀 전이층
폴리머 기반	고온 밀봉	온도 저항은 500 ° C 로 증가합니다.	열성형	표면 활성화

### 7.2.2 표면 코팅의 성능 향상

표면 코팅 기술은 텅스텐 필라멘트의 표면에 기능성 층을 증착하여 텅스텐 필라멘트의 내마모성, 내식성 및 내산화성을 크게 향상시킵니다. 일반적인 코팅에는 텅스텐 카바이드(WC), 질화 텅스텐(WN) 및 알루미늄( $Al_2O_3$ )이 포함되며 증착 방법에는 물리 기상 증착(PVD), 화학 기상 증착(CVD) 및 플라즈마 스프레이가 포함됩니다. 예를 들어, WC 코팅이 CVD에 의해 증착된 후 텅스텐 와이어의 내마모성이 2-3 배 증가하여 고 마찰 절삭 공구에 적합합니다. 항공 우주 부문에서 WN 코팅은 1000° C 공기에서 산화 중량 손실을 기존 수준의 10분의 1로 줄여 고온 부품의 수명을 연장합니다. 의료 분야에서 하이드록시아파타이트로 코팅된 텅스텐 필라멘트는 생체 적합성이 크게 향상된 이식형 장치에 사용할 수 있습니다.

최근 코팅 기술의 발전으로 텅스텐 필라멘트에 더 많은 기능이 부여되었습니다. 전자 분야에서 그래핀 코팅은 반 데르 발스(van der Waals) 힘에 의해 텅스텐 필라멘트 표면에 부착되어 유연성을 유지하면서 전기 전도도를 약 20 % 증가시켜 유연한 도체 개발에 적합합니다. 연구에 따르면 그래핀 코팅은 열 장벽으로 작용하여 2000° C에서 텅스텐 필라멘트 표면의 온도 구배를 약 15% 감소시키고 고온 수명을 연장할 수 있습니다. 해양 엔지니어링에서 텅스텐 필라멘트 표면 증착 복합 코팅(예 : WN + Ni)은 염수 분무 내식성을 두 배로 높여 심해 장비의 주요 구성 요소에 적합합니다. 그러나 기관에 대한 코팅의 접착 강도는 여전히 최적화가 필요하며

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



고온에서 코팅이 박리되는 문제는 완전히 해결되지 않았습니다. 최신 연구에서는 계면 응력 버퍼링을 통해 스폐링 속도를 40% 줄이기 위해 WC 하단 레이어 위에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 상단 레이어를 겹쳐 놓는 것과 같은 다층 코팅 설계를 사용합니다. 또한, 코팅 두께는 1-5 μm 범위에서 정밀하게 제어되어야 하며, 너무 두꺼우면 텅스텐 와이어의 유연성이 떨어지고 너무 얇으면 충분히 보호되지 않습니다. 이러한 개선은 더 큰 신뢰성과 다양성을 향한 코팅 기술의 개발을 주도하고 있습니다.

표 7.4 텅스텐 필라멘트 성능에 대한 표면 코팅의 영향

코팅의 종류	증착 방법	성능 향상	적용 분야	기술적 어려움
텅스텐 카바이드 (WC)	CVD	내마모성은 2-3 배 증가합니다.	절삭 공구	코팅 두께 제어
질화 텅스텐 (WN)	PVD	항산화 체중 감량률 90% 감소	항공 우주	고온에서 박리
그래핀	Van der Waals 광상	20% 더 높은 전도성	유연한 전자 장치	불충분한 결합 강도
WN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 多层	CVD+PVD	박리율 40% 감소	고온 구성 요소	이 과정은 복잡합니다

### 7.3 미래 동향

절단 방지 텅스텐 와이어의 미래 개발은 기술 혁신, 환경 보호 요구 및 학제 간 응용 프로그램의 조합에 의해 주도 될 것이며 인상적인 전망을 보여줄 것입니다.

#### 7.3.1 새로운 텅스텐 필라멘트 재료의 연구 개발

새로운 텅스텐 필라멘트 재료의 개발은 기존 성능 한계를 극복하고 극한 환경의 요구에 적응하는 것을 목표로 합니다. 도핑 기술은 희토류 원소(예: 란타넘, 세륨) 또는 전이 금속(예: 레늄, 몰리브덴)을 추가하여 고온 강도와 내산화성을 향상시키는 핵심 방향입니다. 결과는 2500 °C에서 레늄 도핑 텅스텐 와이어의 크리프 속도가 순수 텅스텐보다 50 % 낮다는 것을 보여 주며, 이는 항공 우주 고온 부품에 대한 새로운 선택을 제공합니다. 나노 구조 텅스텐 필라멘트의 개발은 표면적을 2-3 배 증가시켜 효율적인 촉매 담체로 사용할 수 있는 자체 조립 기술에 의한 다공성 텅스텐 필라멘트 제조와 같은 더 작은 크기와 더 높은 성능으로의 진화를 촉진했습니다.

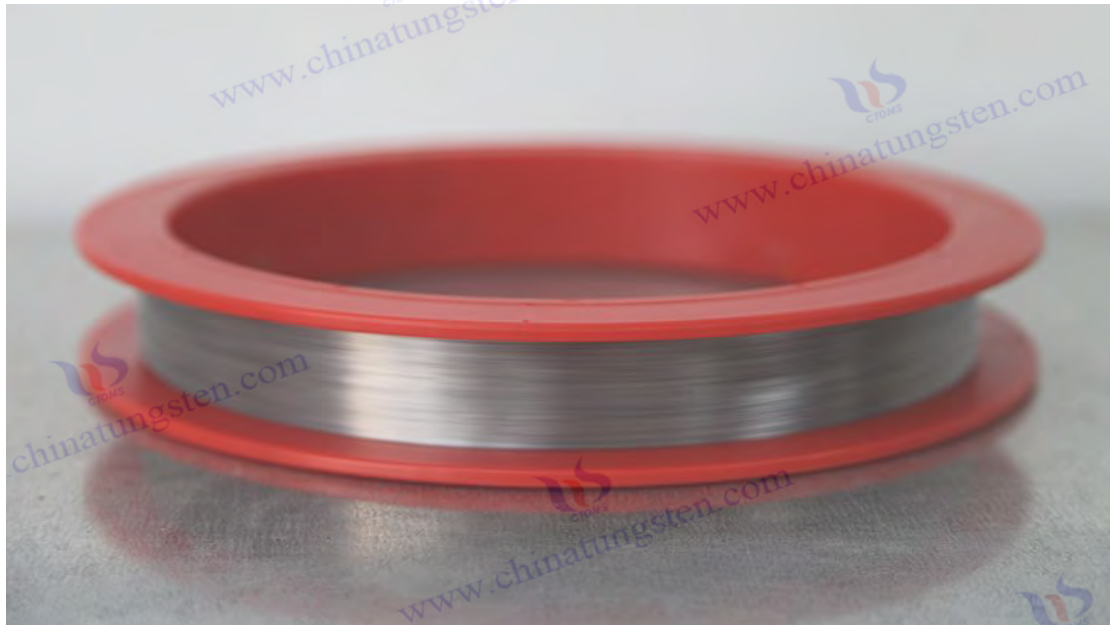
새로운 합금 텅스텐 와이어에 대한 연구도 가속화되고 있습니다. 예를 들어, 텅스텐-몰리브덴-레늄 삼원 합금은 텅스텐의 높은 용점, 몰리브덴의 연성 및 레늄의 내식성을 결합하고 피로 수명은 순수 텅스텐보다 약 60% 길며 핵융합 장치 및 심우주 검출기에 사용될 것으로 예상됩니다. 또한 적층 제조(3D 프린팅) 기술의 도입은 텅스텐 필라멘트 성형에 혁명을 일으켰습니다. LPBF(Laser Powder Bed Fusion) 기술은 다공성 텅스텐 와이어 그리드와 같은 복잡한 텅스텐 와이어 구조를 열 관리 시스템에 적합한 10%-30%의 다공도로 직접 인쇄할 수 있습니다. 현재 연구에서는 2000° C에서 높은 강도를 유지하는 텅스텐-니오븀-몰리브덴-탄탈륨 합금과 같은 여러 원소의 시너지 작용을 통해 포괄적인 특성을 향상시킬 수 있는 텅스텐 기반 고엔트로피

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

합금(HEA)도 탐구하고 있습니다. 예를 들어, 3D 프린팅 텅스텐 필라멘트의 원료 비용은 기존 와이어 드로잉보다 50% 더 높으며, 산업 응용을 촉진하기 위해 공정 최적화를 통해 임계값을 낮춰야 합니다.

표 7.5 새로운 텅스텐 와이어 재료의 R & D 방향 및 성능 목표

재료의 종류	R&D 기술	목표 성능	적용 분야	현재 진행 상황
레늄 도핑된 텅스텐 와이어	도핑 + 드로잉	크리프 속도 50% 감소	항공 우주	소량 생산이 실현되었습니다.
나노 다공성 텅스텐 필라멘트	자체 조립 + 어닐링	표면적은 2-3 의 계수로 증가합니다	촉매 담체	실험실 검증 완료
텅스텐 - 몰리브덴 - 레늄 합금	분말 야금술	피로 수명 60% 연장	핵융합	성능 테스트 단계
3D 프린팅 텅스텐 필라멘트 구조	레이저 파우더 베드 융합 (LPBF)	다공성 10%-30%	열 관리 시스템	프로세스 최적화



### 7.3.2 지속 가능성 및 환경 고려 사항

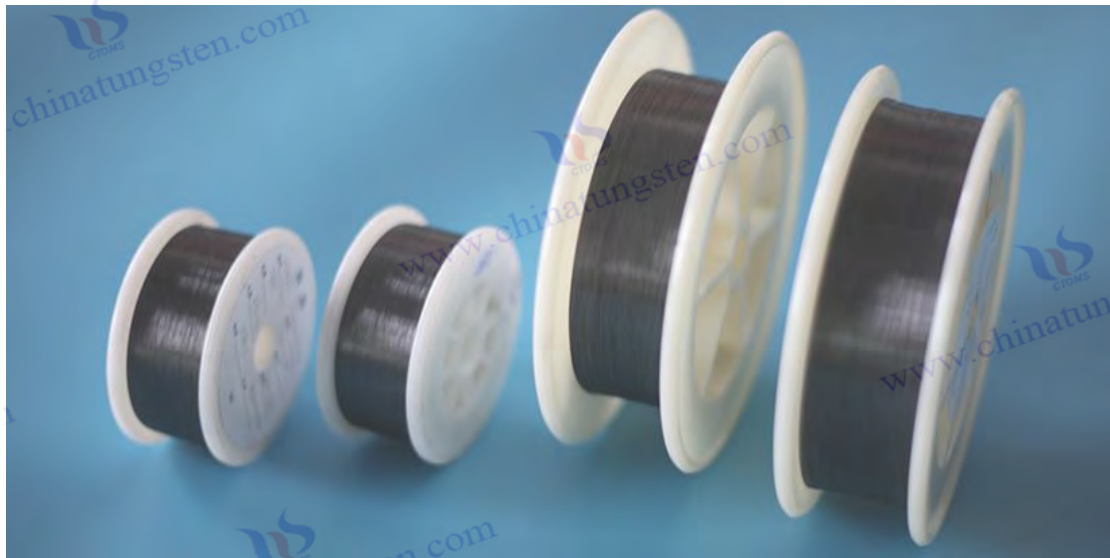
지속 가능성 및 환경 요구 사항은 텅스텐 와이어 기술의 개발 방향에 큰 영향을 미치고 있습니다. 텅스텐 채굴 및 정제 공정은 에너지 집약적이고 오염이 심하며 미생물을 사용하여 텅스텐을 추출하고 화학 시약 사용을 줄이며 폐수 배출을 약 70% 줄이는 등 생물 침출과 같은 녹색 야금 기술이 미래에는 필요합니다. 텅스텐 필라멘트의 재활용 및 재사용도 초점이 되었으며, 고온 제련 또는 산 용해 공정을 통해 폐 텅스텐 필라멘트를 재활용함으로써 자원 활용률을 80% 이상으로 높일 수 있습니다. 예를 들어, 인라인 절단 공정에서 텅스텐 스크랩 와이어의 회수율은 현재 30%에 불과하며, 연구에 따르면 전자기 분리 및 화학적 정제를 통해 70%까지 증가시킬 수 있어 1차 텅스텐 채굴의 필요성을 크게 줄일 수 있습니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

생산 공정에서의 탄소 배출 통제는 또 다른 핵심 영역입니다. 재생 가능한 에너지원(예: 태양열, 풍력)으로 충전, 도면 및 열처리 장비를 사용하면 탄소 발자국을 40%-50%까지 줄일 수 있습니다. 예를 들어, 유럽의 한 텅스텐 와이어 공장은 생산 전력의 80%를 태양 에너지로 달성하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 연간 약 5,000 톤 줄였습니다. 응용 분야에서는 방사선 위험을 줄이고 의료 및 전자 산업의 환경 기준을 충족하기 위해 도핑 함유 텅스텐 와이어를 란타늄 도핑 텅스텐 와이어로 대체하는 것과 같은 저독성 대체 재료를 개발하는 추세가 있습니다. 또한 텅스텐 필라멘트 수명주기 평가(LCA) 연구에 따르면 공급망을 최적화하고 서비스 수명을 연장함으로써 전반적인 환경 영향을 최대 30%까지 줄일 수 있습니다. 이러한 녹색 기술의 진흥은 텅스텐 와이어 산업의 지속 가능한 발전을 달성하기 위해 정책 지원과 산업 협력을 필요로 합니다.

표 7.6 텅스텐 필라멘트 지속 가능성 개선 조치 및 효과

개선	기술적 수단	기대할 수 있는 사항	구현의 어려움	현재 상태
녹색 야금	생물학적 침출	폐수 배출 70% 감소	공정 규모	실험 단계
폐 텅스텐 필라멘트 재활용	전자기 분리 + 화학적 정제	회복률이 70%로 증가했습니다.	비용이 더 높습니다.	소규모 응용 프로그램
재생 에너지 사용	태양열 구동	탄소 발자국 40%-50% 감소	초기 투자가 많습니다.	일부 공장에서 구현됨
저독성 치환	란타늄 도핑 텅스텐 와이어	방사선 위험 감소	성능 검증	점진적 출시



### 7.3.3 학제간 응용의 탐구

절단 방지 텅스텐 와이어의 학제 간 응용은 신홍 분야에서 그 잠재력을 확대하고 있습니다. 생물 의학 분야에서, 텅스텐 필라멘트는 임시 혈관 스텐트의 표면 개질에 의한 분해 가능한 텅스텐 필라멘트의 준비와 같은 조직 공학과 결합됩니다. 연구에

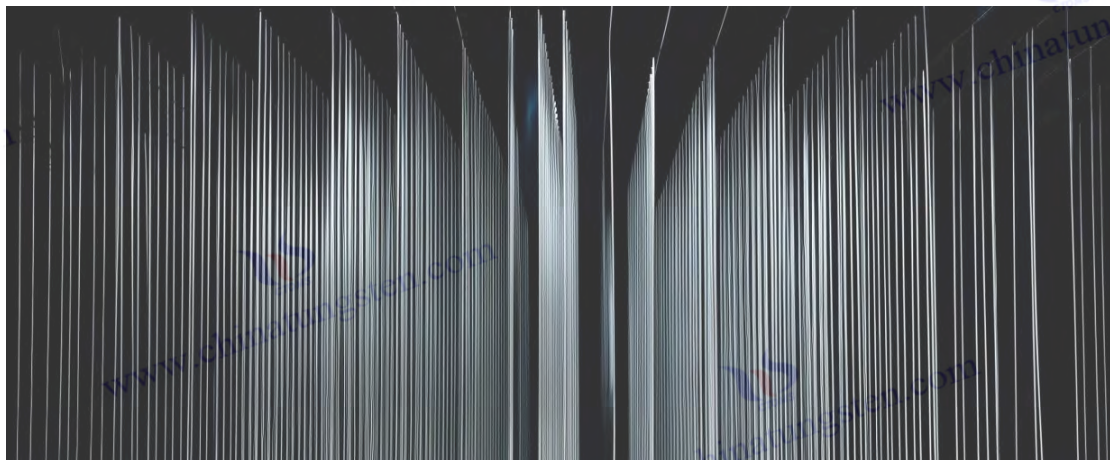
#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

따르면 텅스텐 필라멘트 표면의 폴리락트산 코팅은 생체 내에서 점진적으로 분해되고 6개월 이내에 완전히 분해되어 혈관 재생을 지원하고 장기 이식의 위험을 줄일 수 있습니다. 양자 기술에서 초미세 텅스텐 와이어는 양자 컴퓨팅 장치의 저온 연결을 위한 양자 와이어로 사용할 수 있으며 전도성과 안정성은 4K 환경에서 구리선보다 우수합니다(예: 큐비트 상호 연결에서 텅스텐 와이어 전송 손실이 20% 감소).

에너지 부문에서 텅스텐 필라멘트는 ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor)의 플라즈마 밀폐 부품과 같은 핵융합 기술에 사용될 것으로 예상됩니다. 텅스텐 필라멘트의 높은 용점과 방사선 저항으로 인해 5000 °C 플라즈마 충격을 견딜 수 있으며 최신 실험에 따르면 텅스텐 필라멘트 강화 텅스텐 매트릭스 복합재는 융합 환경에서 텅스텐 와이어의 수명을 50% 연장할 수 있습니다. 스마트 제조에서 텅스텐 필라멘트는 센서와 통합되어 마모 상태를 실시간으로 모니터링하여 처리 매개변수를 조정하는 적응형 절삭 공구를 개발하여 효율성을 약 20% 향상시킵니다. 예를 들어, 항공 우주 부품 가공에서 적응형 텅스텐 와이어 절삭 공구는 재료의 경도에 따라 라인 속도를 동적으로 조정하여 와이어 파손률을 30% 줄입니다. 또한, 우주 탐사에서, 텅스텐 필라멘트는 화성 착륙선과 같은 행성 탐사선의 열 보호 시스템에 사용될 수 있으며, 고밀도 및 고온 저항은 극한 환경에서 구조적 무결성을 지원합니다. 이러한 학제 간 응용 프로그램은 텅스텐 필라멘트 기술을 새로운 차원으로 끌어 올리기 위해 재료 과학, 물리학 및 공학의 깊은 통합을 필요로 합니다.

표 7.7 텅스텐 필라멘트의 학제 간 응용 분야 및 주요 특성

적용 분야	일반적인 응용 프로그램	주요 성능	기술적 요구 사항	개발 단계
생물 의학	생분해성 스텐트	6개월 안에 분해	생체 적합성	실험실 연구
양자 기술	양자 와이어	저온 손실 20% 감소	초극세 크기	예비 검증
핵융합	플라즈마 구속 구성 요소	50% 더 긴 수명	방사선 저항	실험적 테스트
스마트 제조	적응형 절삭 공구	20% 더 효율적	센서 통합	프로토타입 개발
우주 탐사	열 보호 시스템	고밀도 및 고온 저항	구조 최적화	개념 설계

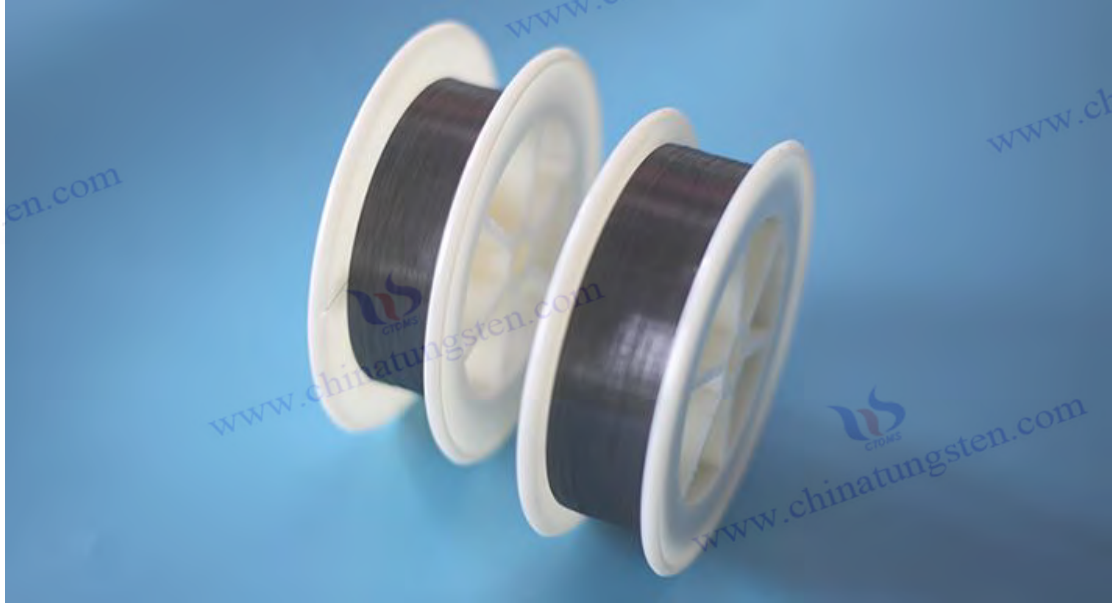


CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 8 장 : 절단 방지 텅스텐 와이어의 경제 및 산업 분석

### 8.1 비용 분석

고성능 재료로서 텅스텐 와이어의 생산 비용 및 경제적 이점은 시장 경쟁력과 적용 범위에 직접적인 영향을 미칩니다.



#### 8.1.1 생산 비용 구성

절단 방지 텅스텐 와이어의 생산 비용은 주로 원료, 가공 기술 및 에너지 소비로 구성됩니다.

텅스텐 원자재는 비용의 핵심입니다. [Chinatungsten Online](http://Chinatungsten.com) 데이터에 따르면, 2024 년 텅스텐 정광( $WO_3$  함량 65%)의 평균 가격은 톤당 약 137,000 위안, 암모늄 파라텅스테이트(APT)의 평균 가격은 톤당 약 203,000 위안, 텅스텐 분말의 평균 가격은 kg 당 304.5 위안이 될 것입니다. 텅스텐 원료는 절단 방지 텅스텐 와이어 총 비용의 40%-50%를 차지하는 것으로 추산됩니다. 가공 기술에는 분말 야금, 와이어 드로잉, 표면 처리가 포함됩니다. 그 중 와이어 드로잉 공정은 여러 번의 드로잉 패스와 정밀한 금형(예: 다이아몬드 금형)이 필요하기 때문에 비용이 더 많이 들며, 전체 공정의 약 25~30%를 차지합니다. 에너지 소비는 주로 고온소결(2200~2500°C)과 어닐링 공정에서 발생합니다. 전기 비용은 총 비용의 15-20%를 차지하는데, 에너지 가격이 높은 지역에서는 이 수치가 더 높습니다. 또한 도핑 원소(레늄, 칼륨 등)와 기능성 코팅(WC, WN 등)을 사용하면 비용이 더욱 증가합니다. 특히 고성능 텅스텐 와이어 생산 시 추가 비용이 10~15%에 달할 수 있습니다.

비용 관리는 생산의 핵심 과제입니다. 예를 들어, 고효율 소결로 및 재생 가능 에너지를 사용하면 에너지 비용을 약 20% 절감할 수 있으며, 폐 텅스텐 와이어를

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

재활용(최대 70%)하면 버진 텅스텐에 대한 의존도를 줄이고 원료 비용을 15%-25% 절약할 수 있습니다. 그러나 특히 자동화 수준이 낮은 중소기업에서는 장비 감가상각 및 인건비를 간과해서는 안 되며 이러한 간접 비용은 총 비용의 10% 이상을 차지할 수 있습니다.

포괄적인 추정치에 따르면 절단 방지 텅스텐 와이어의 생산 비용은 사양 및 성능 요구 사항에 따라 킬로그램 당 450-1,100 위안이며 고성능 나노 스케일 또는 복합 텅스텐 와이어의 비용은 1,500-2,200 위안으로 두 배가 될 수 있습니다. 다음 표에는 주요 비용 구성 요소가 나열되어 있습니다.

표 8.1 절단 방지 텅스텐 와이어의 생산 비용 구성 (2025 년 추정)

비용 범주	백분율 범위	킬로그램당 비용(RMB)	영향 요인
텅스텐 원료	40%-50%	180-550	텅스텐 농축액 가격 및 공급 안정성
가공 기술	25%-30%	110-330	도면 통과, 금형 손실
에너지 소비	15%-20%	70-220	소결 온도, 에너지 가격
추가 자료	10%-15%	50-165	도핑 요소, 코팅의 종류
기타 (감가상각 등)	10%-15%	40-165	장비 자동화, 인건비
합계	100%	450-1,100 (일반)	최대 1,500-2,200 의 고성능 제품

면책 조항 : 이 표의 데이터는 Chinatungsten Online 의 2024 년 시장 정보 및 2025 년 추세 예측을 기반으로 하며, 원자재 가격, 지정학적 및 기술 변화의 영향을 받을 수 있으며 참고 용입니다.

### 8.1.2 비용과 성능의 균형

실제 생산에서 비용과 성능 간의 균형은 비즈니스 의사 결정의 핵심입니다. 고성능 텅스텐 필라멘트 (예 : 레늄 도핑 또는 나노 구조 텅스텐 와이어)는 우수한 강도, 내마모성 및 고온 안정성으로 인해 다운 스트림 제품의 수명과 효율성을 크게 향상시킬 수 있지만 생산 비용은 높습니다. 예를 들어, 레늄 도핑 텅스텐 와이어의 비용은 킬로그램당 약 1,500-1,700 위안으로 일반 텅스텐 와이어보다 50% -100% 높지만 항공 우주 고온 부품의 수명을 두 배 이상 연장하고 간접적으로 유지 보수 및 교체 비용을 줄일 수 있습니다. 반대로, 저가의 텅스텐 와이어 (예 : 순수 텅스텐 와이어)는 일반 와이어 절단 가공과 같이 성능 요구 사항이 낮은 분야에 적합하지만 내구성과 정확성이 제한적이며 고급 시장의 요구를 충족시키기가 어렵습니다.

이러한 균형은 프로세스 최적화에도 반영됩니다. 예를 들어, 와이어 드로잉 패스 수를 줄이거나 어닐링 매개변수를 최적화하여 가공 비용을 10%-15% 줄일 수 있지만, 직경 공차 또는 표면 마감을 희생하여 고급 응용 분야에 해를 끼칩니다. 기업은 생산 전략을 개발할 때 목표 시장을 기반으로 절충안을 만들어야 하는데, 예를 들어 PV 산업은 비용 관리에 더 중점을 두는 반면 항공 우주 부문은 성능 개선을 우선시합니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



## 8.2 시장 수요와 공급

절단 방지 텅스텐 와이어의 시장 수요와 공급 패턴은 기술 진보, 산업 유통 및 세계 경제의 영향을 받아 역동적인 변화 추세를 보여줍니다.

### 8.2.1 글로벌 시장 수요 동향

절단 방지 텅스텐 와이어에 대한 수요는 주로 항공 우주, 전자 제조, 태양 광 산업 및 의료 장비에서 발생합니다. 2025년 세계 시장 수요는 연간 5,000-6,000 톤에 이를 것으로 예상되며, 이는 2020년 대비 약 30% 증가한 수치이며 약 5%-7%의 연평균 성장률(CAGR)을 기록할 것으로 예상됩니다. 항공 우주 부문은 연간 약 1,500 톤의 텅스텐 와이어를 소비하는 로켓 노즐 및 터빈 블레이드와 같은 고온 및 내마모성 재료에 대한 의존성으로 인해 수요의 25%-30%를 차지하는 가장 큰 동인입니다. 태양광 산업은 20%-25%를 차지하는 근소한 2위를 차지하고 있으며, 단결정 실리콘 잉곳은 연간 약 1,200 톤의 수요를 줄이는 태양 전지 웨이퍼 절단의 급속한 성장의 혜택을 받고 있습니다. 전자 제품 제조 및 의료 기기는 각각 15%-20%를 차지하며 유연한 전자 장치와 최소 침습 수술 도구의 부상으로 나노 스케일 텅스텐 와이어에 대한 수요가 증가하고 있습니다.

수요 증가는 기술 혁신에 의해서도 주도됩니다. 예를 들어, 5G 통신 장비에서 고정밀 세라믹 기판 절단에 대한 수요 증가로 인해 다이아몬드 와이어 튜핑 텅스텐 와이어에 대한 연간 수요가 10%-15% 증가했습니다. 지역 분포 측면에서 아시아 태평양 지역(특히 중국)은 태양광 및 전자 산업의 집중 덕분에 전 세계 수요의 50% 이상을 차지합니다. 북미와 유럽은 각각 25%와 20%를 차지하며 고급 응용 분야에 중점을 둡니다. 앞으로 스마트 제조 및 재생 에너지의 대중화로 텅스텐 와이어에 대한 수요는 특히 신흥 시장(예: 인도 및 동남아시아)에서 더욱 증가할 것으로 예상되며 수요 증가율은 2030년까지 10%를 초과할 것으로 예상됩니다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 8.2.2 공급망 및 주요 생산업체

절단 방지 텅스텐 와이어의 공급망은 전 세계 텅스텐 와이어 생산의 80% 이상이 집중되어 있는 중국이 지배하고 있습니다. CTIA GROUP은 거의 30년 동안 텅스텐 및 몰리브덴 제품 산업에서 일해 왔으며 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 유연한 사용자 정의의 글로벌 서비스를 전문으로 하며 고객의 요구에 따라 다양한 사양, 특성, 크기 및 등급의 텅스텐 및 몰리브덴 제품을 사용자 정의하고 처리할 수 있습니다. 텅스텐 와이어를 구입하거나 사용자 정의하는 데 관심이 있으시면 세부 사항, 시장 상황 및 최신 가격에 대해 CTIA GROUP에 문의하십시오. 텅스텐 와이어 및 제품 정보에 대한 자세한 내용은 전문 [텅스텐 와이어 웹 사이트](#)를 방문하십시오.

### 8.3 업계의 과제 및 기회

절단 저항성 텅스텐 와이어 산업은 급속한 발전에서 도전과 기회에 직면해 있습니다.

#### 8.3.1 기술 및 시장 경쟁의 도전

기술 장벽은 신규 진입자를 제한하고 나노 텅스텐 필라멘트를 준비하려면 고가의 장비(예: 700만 위안 이상의 투자가 필요한 PECVD)와 인증(예: AMS 표준)이 필요합니다. 저가형 시장의 이익률은 경쟁으로 인해 5%-8%로 떨어졌고, 고급형 시장은 소수의 거대 기업이 독점하고 있습니다. 환경 압력으로 인해 비용이 증가하며 중국의 규정 준수 수수료는 2025년에 15%-20% 증가할 것으로 예상됩니다. 공급망은 중국에 의존하고 있으며 2024년 수출 제한으로 인해 국제 원자재 가격이 10%-15% 상승하여 글로벌 안정성에 영향을 미칠 것입니다.

#### 8.3.2 개발 기회 및 전망

기술 발전은 기회를 가져오고 3D 프린팅 텅스텐 필라멘트는 복잡한 부품 비용을 30% 절감하며 새로운 시장을 개척합니다. 녹색 야금(예: 생물침출)이 산업화되면 톤당 비용을 10%-15% 줄일 수 있습니다. 핵융합과 같은 신흥 분야에 대한 수요는 50% 증가했으며 시장 가치는 190억 위안을 초과할 수 있습니다. 태양광 기업은 텅스텐 제품 제조업체와 협력하여 저렴한 텅스텐 와이어를 개발하여 기술과 시장 잠재력을 강조합니다. 업계는 기술 중심의 변화의 시대로 나아가고 있습니다.



#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



## 9 장 부록

### 9.1 용어집

#### (1) Aerospace Material Specification (AMS)

A material standard established by the Society of Automotive Engineers (SAE) for high-performance materials in the aerospace industry, such as AMS 7880, which specifies the high-temperature performance of tungsten wire.

##### AMS (航空材料规范)

由美国航空航天学会制定的材料标准, 适用于航空航天领域的高性能材料, 如 AMS 7880 规范钨丝的高温性能。

##### AMS (航空材料规格)

アメリカ航空宇宙学会 (SAE) によって制定された材料規格で、航空宇宙分野の高性能材料に適用され、例えば AMS 7880 はタングステンワイヤーの高温性能を規定しています。

##### AMS (항공 재료 규격)

미국 항공우주학회(SAE)에서 제정한 재료 표준으로, 항공우주 분야의 고성능 재료에 적용되며, 예를 들어 AMS 7880 은 텅스텐 와이어의 고온 성능을 규정합니다.

#### (2) American Society for Testing and Materials (ASTM)

An international organization that develops standards for material testing and specifications, such as ASTM B760-07, which defines the purity and performance requirements for tungsten materials.

##### ASTM (美国材料与试验协会)

制定材料测试和规范的国际组织, 其标准如 ASTM B760-07 规定钨材料的纯度和性能要求。

##### ASTM (アメリカ材料試験協会)

材料試験と規格を策定する国際機関で、その規格 (例: ASTM B760-07) はタングステン材料の純度と性能要件を規定しています。

##### ASTM (미국 재료 시험 협회)

재료 시험 및 규격을 제정하는 국제 기관으로, 예를 들어 ASTM B760-07 은 텅스텐 재료의 순도와 성능 요구 사항을 규정합니다.

#### (3) Compound Annual Growth Rate (CAGR)

A measure of the average annual growth rate of a market or demand over a specific period, such as the CAGR of demand for cut-resistant tungsten wire.

##### CAGR (年复合增长率)

用于衡量市场或需求在特定时期内的平均增长率, 如耐切割钨丝需求的年复合增长率。

##### CAGR (年平均成長率)

市場または需要が特定の期間における平均成長率を測定するために使用され、例えば

耐切断タングステンワイヤーの需要の年平均成長率などがあります。

#### CAGR (연평균 성장률)

특정 기간 동안 시장 또는 수요의 평균 성장률을 측정하는 데 사용되며, 예를 들어 내절단 텅스텐 와이어 수요의 연평균 성장률이 있습니다.

#### (4) Electrical Discharge Machining (EDM)

A technology that uses the principle of electrical discharge to perform high-precision metal processing, where cut-resistant tungsten wire is often used as the electrode wire.

##### EDM (电火花线切割)

一种利用电火花放电原理进行高精度金属加工的技术，耐切割钨丝常作为电极丝使用。

##### EDM (放電加工)

放電の原理を利用して高精度な金属加工を行う技術で、耐切断タングステンワイヤーが電極ワイヤーとしてよく使用されます。

##### EDM (방전 가공)

방전 원리를 이용해 고정밀 금속 가공을 수행하는 기술로, 내절단 텅스텐 와이어가 전극 와이어로 자주 사용됩니다.

#### (5) Chinese National Standard (GB/T)

A national standard established by China, such as GB/T 4197-2017, which specifies the performance and quality requirements for tungsten wire.

##### GB/T (中国国家标准)

中国制定的国家标准，如 GB/T 4197-2017 规定钨丝的性能和质量要求。

##### GB/T (中国国家規格)

中国が制定した国家規格で、例えば GB/T 4197-2017 はタングステンワイヤーの性能と品質要件を規定しています。

##### GB/T (중국 국가 표준)

중국에서 제정한 국가 표준으로, 예를 들어 GB/T 4197-2017 은 텅스텐 와이어의 성능과 품질 요구 사항을 규정합니다.

#### (6) Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

A highly sensitive chemical analysis technique used to detect trace impurities in tungsten wire.

##### ICP-MS (电感耦合等离子体质谱)

一种高灵敏度的化学分析技术，用于检测钨丝中的微量杂质元素。

##### ICP-MS (誘導結合プラズマ質量分析)

タングステンワイヤー中の微量不純物元素を検出するために使用される高感度な化学分析技術。

##### ICP-MS (유도 결합 플라즈마 질량 분석)

텅스텐 와이어 내의 미량 불순물 원소를 검출하는 데 사용되는 고감도 화학 분석 기술.

#### (7) International Organization for Standardization (ISO)

An organization that develops international standards, such as ISO 9001:2015, which regulates

[CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서](#)

quality management systems.

#### ISO（国际标准化组织）

制定国际标准的机构，如 ISO 9001:2015 规范质量管理体系。

#### ISO（國際標準化機構）

國際規格を策定する機関で、例えば ISO 9001:2015 は品質管理システムを規定しています。

#### ISO（국제 표준화 기구）

국제 표준을 제정하는 기관으로, 예를 들어 ISO 9001:2015 는 품질 관리 시스템을 규정합니다.

### (8) Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)

An advanced technology for preparing nanoscale tungsten wire or coatings, which deposits thin films on substrates through plasma-enhanced chemical reactions.

#### PECVD（等离子体增强化学气相沉积）

一种制备纳米级钨丝或涂层的先进技术，通过等离子体增强化学反应在基材上沉积薄膜。

#### PECVD（プラズマ強化化学気相堆積）

ナノスケールのタングステンワイヤーまたはコーティングを製造するための先進技術で、プラズマ強化化学反応により基材上に薄膜を堆積します。

#### PECVD（플라즈마 강화 화학 기상 증착）

나노급 텅스텐 와이어 또는 코팅을 제조하기 위한 첨단 기술로, 플라즈마 강화 화학 반응을 통해 기판에 얇은 막을 증착합니다.

### (9) Surface Roughness (Ra)

A measure of the surface finish of a material, in micrometers ( $\mu\text{m}$ ), with the Ra of cut-resistant tungsten wire typically controlled below  $0.1 \mu\text{m}$ .

#### Ra（表面粗糙度）

衡量材料表面光洁度的指标，单位为微米（ $\mu\text{m}$ ），耐切割钨丝的 Ra 通常需控制在  $0.1 \mu\text{m}$  以下。

#### Ra（表面粗さ）

材料の表面仕上げを測定する指標で、単位はマイクロメートル（ $\mu\text{m}$ ）であり、耐切断タングステンワイヤーの Ra は通常  $0.1 \mu\text{m}$  以下に制御されます。

#### Ra（표면 거칠기）

재료 표면 마감도를 측정하는 지표로, 단위는 마이크로미터( $\mu\text{m}$ )이며, 내절단 텅스텐 와이어의 Ra 는 일반적으로  $0.1\mu\text{m}$  이하로 제어됩니다.

### (10) Scanning Electron Microscope (SEM)

A microscopy technique used to observe the surface morphology and microstructure of tungsten wire, with magnification up to 100,000 times.

#### SEM（扫描电子显微镜）

用于观察钨丝表面形貌和微观结构的显微镜技术，放大倍数可达 10 万倍。

#### SEM（走査電子顕微鏡）

タングステンワイヤーの表面形態と微細構造を観察するための顕微鏡技術で、最大

100,000 倍の拡大が可能です。

### SEM (주사 전자 현미경)

텅스텐 와이어의 표면 형태와 미세 구조를 관찰하는 데 사용되는 현미경 기술로, 최대 100,000 배까지 확대 가능합니다.

## (11) Six Sigma

A quality management methodology aimed at reducing production defect rates to 3 parts per million (PPM), widely used in high-end tungsten wire production.

### Six Sigma (六西格玛)

一种质量管理方法，旨在将生产缺陷率降至百万分之三（3 PPM），广泛应用于高端钨丝生产。

### シックスシグマ (Six Sigma)

生産欠陥率を 100 万分の 3 (3 PPM) に低減することを目指す品質管理手法で、高級タングステンワイヤー生産に広く使用されています。

### 식스 시그마 (Six Sigma)

생산 불량률을 백만 분의 3(3 PPM)으로 줄이는 것을 목표로 하는 품질 관리 방법으로, 고급 텅스텐 와이어 생산에 널리 사용됩니다.

## (12) Tungsten Inert Gas Welding (TIG Welding)

A welding technology that uses a tungsten electrode, where cut-resistant tungsten wire is often used as the electrode material.

### TIG 焊 (钨极惰性气体保护焊)

一种使用钨电极进行焊接的技术，耐切割钨丝常作为电极材料。

### TIG 溶接 (タングステン不活性ガス溶接)

タングステン電極を使用する溶接技術で、耐切断タングステンワイヤーが電極材料としてよく使用されます。

### TIG 용접 (텅스텐 불활성 가스 용접)

텅스텐 전극을 사용하는 용접 기술로, 내절단 텅스텐 와이어가 전극 재료로 자주 사용됩니다.

## (13) Nano Tungsten Wire

Ultrafine tungsten wire with a diameter ranging from 1-100 nm, possessing excellent mechanical properties and conductivity, suitable for flexible electronics and biomedical fields.

### 纳米钨丝

直径在 1-100 nm 范围内的超细钨丝，具有优异的力学性能和导电性，适用于柔性电子和生物医学领域。

### ナノタングステンワイヤー

直径が 1~100nm の超細タングステンワイヤーで、優れた機械的性質と導電性を有し、フレキシブルエレクトロニクスや生物医学分野に適しています。

### 나노 텅스텐 와이어

직경이 1~100nm 인 초미세 텅스텐 와이어로, 뛰어난 기계적 특성과 전도성을 가지며, 유연 전자 및 생의학 분야에 적합합니다.

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

#### (14) Doped Tungsten Wire

Alloyed tungsten wire with improved performance through the addition of trace elements (such as rhenium, potassium), commonly used in high-temperature and wear-resistant applications.

##### 掺杂钨丝

通过添加微量元素（如铼、钾）改善钨丝性能的合金化钨丝，常用于高温和耐磨应用。

##### ドーパタングステンワイヤー

微量元素（レニウム、カリウムなど）を添加して性能を向上させた合金タングステンワイヤーで、高温および耐摩耗用途に一般的に使用されます。

##### 도핑 텅스텐 와이어

미량 원소(레늄, 칼륨 등)를 첨가하여 성능을 개선한 합금 텅스텐 와이어로, 고온 및 내마모 용도에 흔히 사용됩니다.

#### (15) Grain Refinement

A process that reduces the internal grain size of tungsten wire through controlled production techniques, thereby enhancing its strength and toughness.

##### 晶粒细化

通过控制生产工艺使钨丝内部晶粒尺寸减小，从而提升其强度和韧性。

##### 結晶粒微細化

生産プロセスを制御してタングステンワイヤー内部の結晶粒サイズを小さくし、強度と靱性を向上させるプロセス。

##### 결정립 미세화

생산 공정을 제어하여 텅스텐 와이어 내부의 결정립 크기를 줄여 강도와 인성을 향상시키는 공정.

#### (16) Heat Treatment

A process that alters the microstructure and properties of tungsten wire through heating and cooling, such as annealing to eliminate internal stress.

##### 热处理

通过加热和冷却改变钨丝微观结构和性能的过程，如退火可消除内应力。

##### 熱処理

加熱と冷却によってタングステンワイヤーの微細構造と特性を変化させるプロセスで、例えばアニーリングによって内部応力を除去できます。

##### 열처리

가열과 냉각을 통해 텅스텐 와이어의 미세 구조와 특성을 변화시키는 공정으로, 예를 들어 어닐링을 통해 내부 응력을 제거할 수 있습니다.

#### (17) Biocompatibility

The ability of a material to not cause adverse reactions when in contact with biological organisms, with coated tungsten wire in medical devices required to meet ISO 10993 standards.

##### 生物相容性

材料与生物体接触时不引起不良反应的能力，涂层钨丝在医疗器械中需满足 ISO 10993

标准。

#### 生体適合性

材料が生体と接触した際に悪影響を引き起こさない能力で、医療機器に使用されるコーティングタングステンワイヤーは ISO 10993 規格を満たす必要があります。

#### 생체 적합성

재료가 생물체와 접촉 시 부작용을 일으키지 않는 능력으로, 의료 기기에 사용되는 코팅 텅스텐 와이어는 ISO 10993 표준을 충족해야 합니다.

### (18) Carbon Footprint

The amount of greenhouse gas emissions produced during manufacturing, with the production of cut-resistant tungsten wire needing to consider its environmental impact and comply with ISO 14001 requirements.

#### 碳足迹

生产过程中产生的温室气体排放量，耐切割钨丝生产需关注其环境影响，符合 ISO 14001 要求。

#### カーボンフットプリント

製造過程で発生する温室効果ガスの排出量で、耐切断タングステンワイヤーの生産ではその環境影響に注意し、ISO 14001 要件に準拠する必要があります。

#### 탄소 발자국

제조 과정에서 발생하는 온실가스 배출량으로, 내절단 텅스텐 와이어 생산은 환경 영향을 고려하며 ISO 14001 요구 사항을 준수해야 합니다.

### (19) 3D Printed Tungsten Wire

Tungsten wire prepared using additive manufacturing technology, featuring complex shapes and customized performance, with broad future application prospects.

#### 3D 打印钨丝

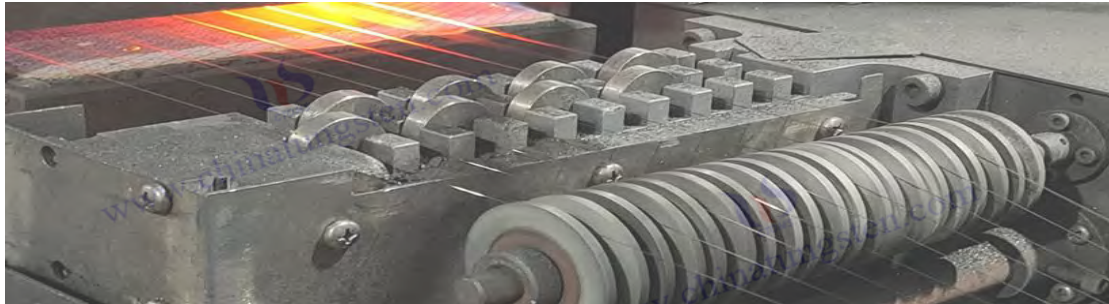
利用增材制造技术制备的钨丝，具有复杂形状和定制化性能，未来应用前景广阔。

#### 3D プリントタングステンワイヤー

付加製造技術を使用して製造されたタングステンワイヤーで、複雑な形状とカスタマイズされた性能を有し、将来の応用前景が広いです。

#### 3D 프린팅 텅스텐 와이어

적층 제조 기술을 활용해 제작된 텅스텐 와이어로, 복잡한 형상과 맞춤형 성능을 가지며, 미래 응용 전망이 넓습니다.

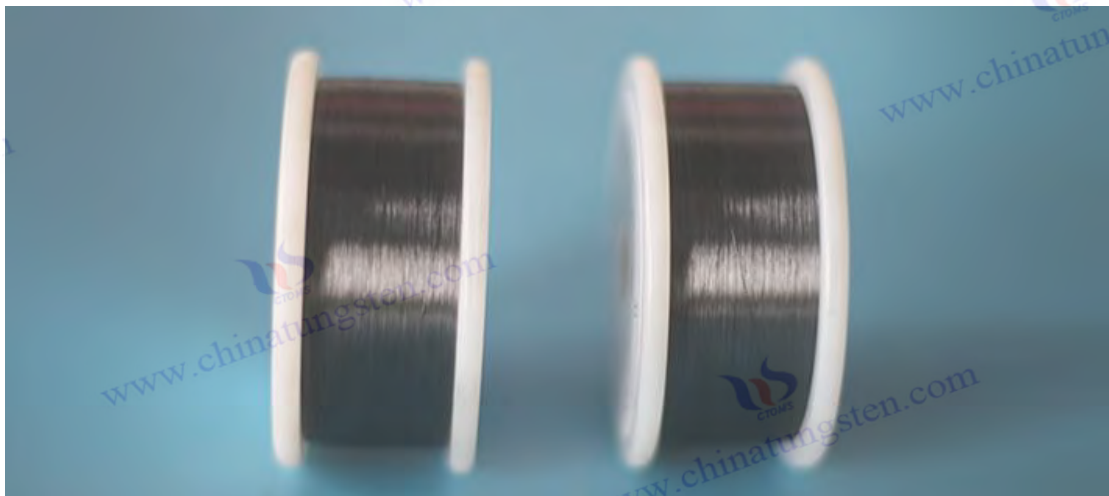


#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 9.2 参考文献

- [1] ASTM International. (2019). ASTM B760-07(2019): Standard specification for tungsten plate, sheet, and foil. West Conshohocken, PA: ASTM International.  
ASTM 国际. (2019). ASTM B760-07(2019): 钨板、片和箔的标准规范. 西康舍霍肯, PA: ASTM 国际.  
ASTM 인터내셔널. (2019). ASTM B760-07(2019): 텅스텐 플레이트, 시트, 포일의 표준 규격. 서콘쇼호켄, PA: ASTM 인터내셔널.  
ASTM 인터내셔널. (2019). ASTM B760-07(2019): 텅스텐 판, 시트 및 포일의 표준 사양. 웨스트 콘쇼호켄, PA: ASTM 인터내셔널.
- [2] China National Standardization Administration. (2017). GB/T 4197-2017: Tungsten wire. Beijing: Standards Press of China.  
中国国家标准化管理委员会. (2017). GB/T 4197-2017: 钨丝. 北京: 中国标准出版社.  
中国国家标准化管理委员会. (2017). GB/T 4197-2017: 텅스텐 와이어. 北京: 中国标准出版社.  
중국 국가 표준화 관리 위원회. (2017). GB/T 4197-2017: 텅스텐 와이어. 베이징: 중국 표준 출판사.
- [3] International Organization for Standardization (ISO). (2015). ISO 9001:2015: Quality management systems - Requirements. Geneva: ISO.  
国际标准化组织 (ISO). (2015). ISO 9001:2015: 质量管理体系 - 要求. 日内瓦: ISO.  
國際標準化機構 (ISO). (2015). ISO 9001:2015: 品質管理시스템 - 要件.ジュ네ーブ: ISO.  
국제 표준화 기구 (ISO). (2015). ISO 9001:2015: 품질 관리 시스템 - 요구 사항. 제네바: ISO.
- [4] International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 10993-1:2018: Biological evaluation of medical devices - Part 1: Evaluation and testing within a risk management process. Geneva: ISO.  
国际标准化组织 (ISO). (2018). ISO 10993-1:2018: 医疗器械的生物学评价 - 第 1 部分: 风险管理过程中的评价和测试. 日内瓦: ISO.  
國際標準化機構 (ISO). (2018). ISO 10993-1:2018: 医療機器の生物学的評価 - 第 1 部: リスク管理プロセス内での評価と試験.ジュネーブ: ISO.  
국제 표준화 기구 (ISO). (2018). ISO 10993-1:2018: 의료 기기의 생물학적 평가 - 제 1부: 위험 관리 과정 내 평가 및 시험. 제네바: ISO.
- [5] International Organization for Standardization (ISO). (2019). ISO 6892-1:2019: Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature. Geneva: ISO.  
国际标准化组织 (ISO). (2019). ISO 6892-1:2019: 金属材料 - 拉伸试验 - 第 1 部分: 室温试验方法. 日内瓦: ISO.  
國際標準化機構 (ISO). (2019). ISO 6892-1:2019: 金属材料 - 引張試驗 - 第 1 部: 室温での試験方法.ジュネーブ: ISO.  
국제 표준화 기구 (ISO). (2019). ISO 6892-1:2019: 금속 재료 - 인장 시험 - 제 1부: 실온 시험 방법. 제네바: ISO.
- [6] Japan Industrial Standards Committee. (2002). JIS H 4461:2002: Tungsten wire. Tokyo: Japanese Standards Association.  
日本工业标准委员会. (2002). JIS H 4461:2002: 钨丝. 东京: 日本标准协会.  
日本工業標準調査会. (2002). JIS H 4461:2002: 텅스텐 와이어. 東京: 日本標準協会.  
일본 산업 표준 위원회. (2002). JIS H 4461:2002: 텅스텐 와이어. 도쿄: 일본 표준 협회.
- [7] Lassner, E., & Schubert, W. D. (1999). Tungsten: Properties, chemistry, technology of the element, alloys, and chemical compounds. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

- Lassner, E., & Schubert, W. D. (1999). 钨: 元素的性质、化学、技术、合金和化合物. 纽约: 克鲁维尔学术/普伦纳姆出版社.
- Lassner, E., & Schubert, W. D. (1999). タングステン: 元素の性質、化学、技術、合金および化合物. ニューヨーク: クルーワーアカデミック/プレナム出版社.
- Lassner, E., & Schubert, W. D. (1999). 텅스텐: 원소의 특성, 화학, 기술, 합금 및 화합물. 뉴욕: 클루워 아카데미/플레넘 출판사.
- [8] Society of Automotive Engineers (SAE). (n.d.). AMS 7880: Tungsten wire high-temperature properties. Warrendale, PA: SAE International.  
汽车工程师学会 (SAE). (无日期). AMS 7880: 钨丝高温性能. 沃伦代尔, PA: SAE 国际.  
自動車学会 (SAE). (日付なし). AMS 7880: タングステンワイヤーの高温特性. ウォレンデール, PA: SAE インターナショナル.  
자동차 공학회 (SAE). (날짜 미상). AMS 7880: 텅스텐 와이어 고온 특성. 워렌데일, PA: SAE 인터내셔널.
- [9] US Geological Survey (USGS). (2024). Mineral commodity summaries 2024: Tungsten. Reston, VA: USGS.  
美国地质调查局 (USGS). (2024). 2024 年矿产商品概要: 钨. 雷斯顿, VA: USGS.  
アメリカ地質調査所 (USGS). (2024). 2024 年鉱物商品概要: タングステン. レストン, VA: USGS.  
미국 지질 조사국 (USGS). (2024). 2024 년 광물 상품 요약: 텅스텐. 레스턴, VA: USGS.
- [10] Chinatungsten Online. (2024). Tungsten market report 2024. Retrieved from <http://news.chinatungsten.com/en/>  
中钨在线. (2024). 钨市场报告 2024. 取自 <http://news.chinatungsten.com/cn/>  
中タングステンオンライン. (2024). タングステン市場報告 2024. <http://news.chinatungsten.com> より取得.  
중텅스텐 온라인. (2024). 텅스텐 시장 보고서 2024. <http://news.chinatungsten.com/cn/> 에서 획득.
- [11] China Nonferrous Metals Industry Association. (2020). YS/T 1356-2020: Technical conditions for tungsten wire. Beijing: China Nonferrous Metals Industry Association.  
中国有色金属工业协会. (2020). YS/T 1356-2020: 钨丝技术条件. 北京: 中国有色金属工业协会.  
中国非鉄金属工業協會. (2020). YS/T 1356-2020: タングステンワイヤーの技術条件. 北京: 中国非鉄金属工業協會.  
중국 비철금속 공업 협회. (2020). YS/T 1356-2020: 텅스텐 와이어 기술 조건. 베이징: 중국 비철금속 공업 협회.



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서