

## 텅스텐 합금 리벳 탑 바란 무엇인가요

中钨智造科技有限公司

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](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto: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](http://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 30년 가까이 쌓아온 심층적인 경험을 활용하여 모회사의 탁월한 설계 및 제조 역량, 우수한 서비스, 글로벌 비즈니스 명성을 계승하여 텅스텐 화학물질, 텅스텐 금속, 시멘트 카바이드, 고밀도 합금, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 분야에서 포괄적인 애플리케이션 솔루션 제공업체가 되었습니다.

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

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

CTIA GROUP 의 한스 박사와 그의 팀은 30년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 작성하여 공개하고 텅스텐 업계와 자유롭게 공유해 왔습니다. 1990년대부터 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 그리고 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조 분야에서 30년 이상의 경력을 쌓아온 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## 목차

### 제 1 장 텉스텐 합금 리벳 버킹 바 개요

- 1.1 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 정의
- 1.1.1 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 구조적 특징
- 1.1.2 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 기본 특성
- 1.1.3 재료과학에서 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 위치 선정
- 1.2 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 주요 원소 분석
- 1.2.1 텉스텐 합금 리벳 버킹 바에서 텉스텐의 역할
- 1.2.2 텉스텐 합금 리벳 버킹 바에 보조 금속 요소의 통합
  - 1.2.2.1 니켈 첨가가 텉스텐 합금 리벳 버킹 바에 미치는 영향
  - 1.2.2.2 텉스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 철 첨가의 영향
  - 1.2.2.3 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 구리 도핑 메커니즘
  - 1.2.2.4 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 타원소 도핑 메커니즘
- 1.3 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 미세 구조
  - 1.3.1 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 성능에 미치는 결정 구조의 영향
  - 1.3.2 텉스텐 합금 리벳 버킹 바에서 상 분리 현상 관찰
- 1.4 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 이론적 기초
  - 1.4.1 텉스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 합금 상평형도의 적용
  - 1.4.2 열역학적 원리가 텉스텐 합금 리벳 버킹 바에 미치는 영향

### 제 2 장 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 분류 및 관련 분석

- 2.1 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 구성 성분에 따른 분류
  - 2.1.1 고밀도 텉스텐 합금 리벳 버킹 바
  - 2.1.2 저밀도 텉스텐 합금 리벳 버킹 바
  - 2.1.3 희토류 원소가 첨가된 텉스텐 합금 리벳 버킹 바
- 2.2 용도에 따른 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 분류
  - 2.2.1 기계 가공 분야용 텉스텐 합금 리벳 버킹 바
  - 2.2.2 정밀 계측기 분야용 텉스텐 합금 리벳 버킹 바
  - 2.2.3 고온 환경용 텉스텐 합금 리벳 버킹 바
  - 2.2.4 마모 환경용 텉스텐 합금 리벳 버킹 바
- 2.3 텉스텐 합금 리벳 버킹 바 종류별 성능 차이 분석
  - 2.3.1 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 조성 변화가 물리적 특성에 미치는 영향
  - 2.3.2 텉스텐 합금 리벳 버킹 바에 적용된 응용 중심 설계의 구현
  - 2.3.3 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 기계적 특성에 대한 미세구조 차이의 조절

### 제 3 장 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 제조 공정

- 3.1 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 분말 야금법
  - 3.1.1 텉스텐 합금 리벳 버킹 바 제조를 위한 원자재 준비 단계
    - 3.1.1.1 텉스텐 분말의 정제 및 입자 크기 제어
    - 3.1.1.2 합금 원소 혼합의 균일성
  - 3.1.2 소결 공정이 텉스텐 합금 리벳 버킹 바의 밀도에 미치는 영향

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

- 3.1.3 텡스텐 합금 리벳 버킹 바의 프레스 성형 기술 최적화
- 3.1.4 텡스텐 합금 리벳 버킹 바의 치밀화에서 액상 소결의 역할
- 3.2 텡스텐 합금 리벳 버킹 바의 기계 가공 기술
  - 3.2.1 텡스텐 합금 리벳 버킹 바의 성형 적용
  - 3.2.2 텡스텐 합금 리벳 버킹 바의 소성 변형 적용
  - 3.2.3 텡스텐 합금 리벳 버킹 바의 열처리를 통한 미세구조 최적화
  - 3.2.4 텡스텐 합금 리벳 버킹 바의 표면 가공에 정밀 연삭 공정 적용
  - 3.2.5 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 복잡한 형상 구현에 있어 방전 가공의 적용
- 3.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 특성 분석 및 품질 관리
  - 3.3.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 현미경 분석의 활용
  - 3.3.2 분광학적 방법을 이용한 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 조성 분석
  - 3.3.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 품질 평가에서 밀도 시험의 중요성
  - 3.3.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 비파괴 검사 기술을 이용한 내부 결함 검출
- 3.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바 제조 공정의 혁신적인 방법
  - 3.4.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바 생산에 있어 사출 성형의 잠재력
  - 3.4.2 적층 제조 기술이 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 맞춤 제작에 미치는 영향

#### 제 4 장 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 물리적 특성

- 4.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 밀도 및 열적 특성
  - 4.1.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 밀도 측정 원리
  - 4.1.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 안정성에 대한 열팽창 계수의 영향
  - 4.1.2.1 고온 조건에서 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 열적 거동
  - 4.1.2.2 저온 환경에서 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 반응
- 4.1.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 시차주사열량측정법의 적용
- 4.1.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 열전도율 측정 정량화
- 4.1.5 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 열 관리에서 비열 용량의 역할
- 4.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 전기적 및 자기적 특성
  - 4.2.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 전기 전도도 성능
  - 4.2.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 응용 분야에서 자기 매개변수의 의미
  - 4.2.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 전기적 안정성에 대한 저항 온도 계수의 영향
  - 4.2.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 히스테리시스 루프 분석 관찰
- 4.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 광학적 및 방사선 특성
  - 4.3.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에서 반사율 분석의 중요성
  - 4.3.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 방사선 내성 평가
  - 4.3.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 광학적 성능에 대한 흡수 스펙트럼 특성 분석
  - 4.3.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 방사선 차폐에 대한 중성자 흡수 단면적의 기여도
- 4.4 CTIA GROUP LTD 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 MSDS

#### 제 5 장 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 기계적 특성

- 5.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 강도 및 경도
  - 5.1.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 인장 강도 시험 방법
    - 5.1.1.1 정적 하중 하에서 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 파괴 메커니즘

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

- 5.1.1.2 텡스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 동적 하중의 영향
- 5.1.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 비커스 경도 정량화
- 5.1.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 인장 실험을 통한 평가
- 5.1.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 압축 시험을 통한 평가
- 5.1.4.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 변형률 속도 영향 연구
- 5.1.4.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 파괴 분석을 통한 통찰
- 5.1.5 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 기계적 특성에 대한 굽힘 강도의 추가 검증
- 5.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 인성 및 피로 거동
- 5.2.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 내구성에 있어 충격 인성의 역할
- 5.2.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 반복 피로 분석의 적용
- 5.2.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 파괴 인성 측정 방법
- 5.2.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 수명에 미치는 고주기 피로 예측
- 5.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 마찰 및 마모 특성
- 5.3.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 마찰 계수 측정을 통한 최적화
- 5.3.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 마모 메커니즘에 대한 논의
- 5.3.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 표면 손상에 대한 마모 분석
- 5.3.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 접촉 공정에서 접착 마모 성능

## 제 6 장 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 부식 및 내구성

- 6.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 전기화학적 부식 거동
- 6.1.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 부식 연구에서 분극 곡선의 활용
- 6.1.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 수동충 형성을 통한 보호
- 6.1.2.1 산성 환경에서 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 안정성
- 6.1.2.2 알칼리 조건에서 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 반응
- 6.1.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 부식 전위 측정을 통한 특성 분석
- 6.1.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 부식 동역학 연구에서 임피던스 분광법의 적용
- 6.1.5 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 부식 거동에 대한 산화 반응
- 6.1.6 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 화학적 특성에 대한 환경 요인의 규제
- 6.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 고온 산화 메커니즘
- 6.2.1 산화 반응 속도가 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 미치는 영향
- 6.2.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 보호 코팅 적용
- 6.2.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 휘발성 산화물이 생성되어 발생하는 손상
- 6.2.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 산화 저항성에 대한 합금 원소의 조절
- 6.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 환경 내구성 시험
- 6.3.1 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 염수 분무 시험을 통한 평가
- 6.3.2 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 내구성에 대한 습도 변화 주기의 역할
- 6.3.3 텁스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 다중 스케일 시뮬레이션 통합
- 6.3.4 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 응력 부식 균열에 대한 민감도 시험

## 제 7 장 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 응용 분야

- 7.1 리벳팅 공정에서 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 응용 분야
- 7.1.1 리벳 성형 공정에서 텁스텐 합금 리벳 버킹 바의 기계적 역할

### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

- 7.1.2 베킹 바와 리벳 재료 간의 상호 작용 메커니즘
- 7.1.2.1 텅스텐 합금 리벳 베킹 바 적용 시 접촉 응력 분포 분석
- 7.1.2.2 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 내구성에 대한 변형 조정의 영향
- 7.1.3 고강도 리벳팅 시 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 성능에 대한 요구 사항
- 7.1.4 자동 리벳팅 장비에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 적응성
- 7.2 항공우주 구조 연결부에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 응용 분야
- 7.2.1 티타늄 합금 리벳팅에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 선택 원칙
- 7.2.2 복합재료 리벳팅에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 표면 특성에 대한 요구 사항
- 7.2.3 진동 환경에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 안정성 분석
- 7.2.4 텅스텐 합금 리벳 베킹 바에 대한 저온 리벳팅 공정의 특수 요구 사항
- 7.3 자동차 및 철도 운송 제조 분야에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 응용
- 7.3.1 경량 차체 리벳팅에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 적응성
- 7.3.2 고주파 리벳팅 공정에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 마모 거동 검사
- 7.3.3 다중 재질 연결부에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 호환성
- 7.4 정밀 기계 조립에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 응용
- 7.4.1 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 치수 정확도에 대한 마이크로 리벳팅 요구 사항
- 7.4.2 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 정밀 응용 분야에서 표면 개질의 역할
- 7.4.3 클린룸 환경에서 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 재료 순도 요구 사항

## 제 8 장 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 일반적인 문제점

- 8.1 텅스텐 합금 리벳 베킹 바 제조 공정에서의 결함 발생
  - 8.1.1 불균일한 소결이 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 미세구조에 미치는 영향
  - 8.1.2 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 불순물 오염 발생원 및 제어
  - 8.1.3 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 프레스 성형 단계에서의 균열 발생 메커니즘
  - 8.1.4 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 기공 잔류물 원인 분석
- 8.2 텅스텐 합금 리벳 베킹 바 사용 시 발생하는 고장 유형
  - 8.2.1 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 기계적 과부하에 의한 파괴 메커니즘
  - 8.2.2 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 마모 및 파로 누적 효과
  - 8.2.3 부식성 환경이 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 수명 단축에 미치는 영향
  - 8.2.4 텅스텐 합금 리벳 베킹 바에서 열충격으로 인한 균열 현상
  - 8.2.5 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 기능에 대한 표면 박리의 영향
- 8.3 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 성능 최적화 및 고장 진단
  - 8.3.1 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 조성 조정을 통한 일반적인 문제 완화
  - 8.3.2 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 결함 식별을 위한 비파괴 검사 방법의 적용
  - 8.3.3 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 열처리 공정을 통한 내구성 향상
  - 8.3.4 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 표면 강화 기술을 이용한 내마모성 향상
  - 8.3.5 텅스텐 합금 리벳 베킹 바 최적화에서 고장 사례 분석의 역할
- 8.4 텅스텐 합금 리벳 베킹 바와 다른 베킹 바 재질의 성능 비교
  - 8.4.1 초경합금 베킹 바와 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 성능 비교
  - 8.4.2 텅스텐 합금 리벳 베킹 바를 강철 베킹 바 1로 대체했을 때의 성능 비교
  - 8.4.3 세라믹 재질 베킹 바와 텅스텐 합금 리벳 베킹 바의 성능 비교

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**부록:**

- 부록 A 텅스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 중국 표준
- 부록 B 텅스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 국제 표준
- 부록 C 유럽, 미국, 일본, 한국 등의 텅스텐 합금 리벳 버킹 바에 대한 표준
- 부록 D 텅스텐 합금 리벳 버킹 바 용어집

참고 자료



CTIA 그룹 LTD 텅스텐 합금 리벳 탑 로드

**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](http://www.ctia.com.cn)

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

Precision customization: support high density ( $17-19 \text{ g/cm}^3$ ), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

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

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

100,000+ customers

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

Service commitment

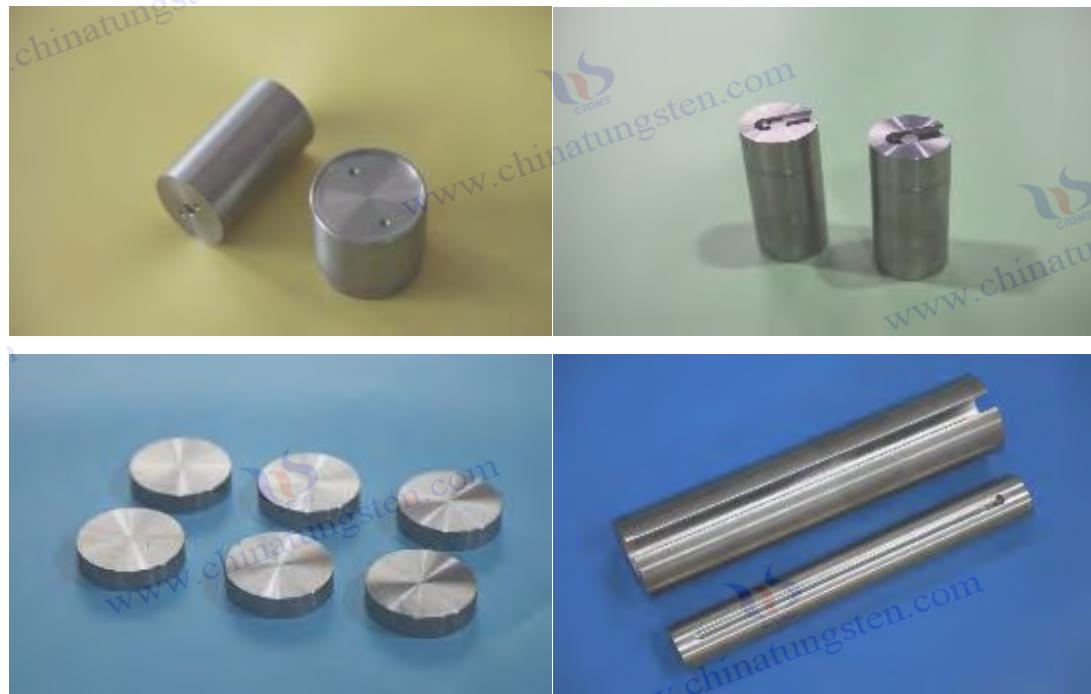
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

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

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

## 제 1 장 텡스텐 합금 리벳 상단 개요

### 1.1 텡스텐 합금 리벳 탑 로드의 정의

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 텁스텐을 주성분으로 하는 합금 제품입니다. 일반적으로 분말 야금법으로 제조되며, 리벳 체결 과정에서 지지 및 형상 조정을 위해 특정 막대 모양으로 가공됩니다. 이 맨드릴은 리벳 체결 시 리벳 끝부분에 위치하여 해머링이나 압력을 견디는 역할을 하며, 리벳 머리가 부드럽게 변형되어 견고한 결합을 형성할 수 있도록 합니다. 텁스텐 합금은 높은 밀도와 경도를 지니고 있어 반복적인 충격에도 형상 안정성을 유지할 수 있으며, 축성 파괴를 방지하는 일정 수준의 인성을 갖습니다. 맨드릴의 직경과 길이는 리벳 사양에 따라 설계되며, 리벳 끝부분과의 정확한 결합을 위해 표면은 정밀 연삭 처리되는 경우가 많습니다.

텅스텐 합금 맨드릴은 일반적으로 텁스텐-니켈-철 또는 텁스텐-니켈-구리 합금을 사용합니다. 결합재가 필요한 가소성을 제공하여 가공 및 사용 중 맨드릴의 균열 발생 가능성을 줄여줍니다. 제조 공정은 분말 혼합, 프레스, 소결 및 열기계적 가공을 포함하며, 최종 열처리를 통해 미세 구조를 조절합니다. 맨드릴의 작업면은 리벳 변형 중 마찰과 손상을 줄이기 위해 매끄럽고 평평해야 합니다. 텁스텐 합금 맨드릴의 등장으로 고강도 리벳 적용 분야, 특히 수명이 더 안정적인 다회 사용 환경에서 기존 강철 맨드릴의 불충분한 내구성 문제를 해결했습니다.

기능적인 관점에서 볼 때, 텁스텐 합금 리벳 세터는 기계적 지지력을 제공할 뿐만 아니라 높은 밀도로 인해 에너지 전달을 집중시켜 더욱 균일한 리벳 변형을 가능하게 합니다. 세터의 단면 형상은 평면, 오목면, 볼록면 등 다양하여 다양한 리벳 종류에 맞춰 사용할 수 있습니다. 사용 시, 세터는 공압식 또는 수동식 리벳 건에 고정되며, 작업자는 힘을 조절하여 연결 작업을 수행합니다. 텁스텐 합금 세터의 유지 보수는 비교적 간단하며, 표면 마모를 정기적으로 검사하고 연마하는 것으로 충분합니다. 결론적으로, 리벳 공구의 중요한 구성 요소인 텁스텐 합금 리벳 세터는 재질적 이점을 바탕으로 연결 공정의 효율성과 품질을 향상시키며 산업 조립 분야에서 점차 그 가치를 인정받고 있습니다.

#### 1.1.1 텁스텐 합금 리벳 탑 바의 구조적 특징

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 막대 모양과 내부의 2 상 미세구조로 특징지어집니다. 외부 디자인은 기능적 적응성을 강조하고, 내부 미세구조는 내구성을 결정합니다. 맨드릴은 원통형이며, 한쪽 끝은 리벳 꼬리와 직접 접촉하는 작업면으로, 다른 쪽 끝은 리벳 장비에 쉽게 설치할 수 있도록 고정 또는 고정부로 사용됩니다. 작업면은 일반적으로 평평하거나 얇은 흄이 있어 리벳 꼬리의 변형을 잘 수용하며, 매끄러운 측면은 작업 저항을 줄입니다. 길이와 직경의 비율은 리벳 크기에 맞춰 안정적인 지지력을 제공하고 주변 부품과의 간섭을 방지합니다.

내부 구조는 전형적인 텁스텐 합금의 이중상 특성을 나타내는데, 텁스텐 입자가 연속적인 골격을 형성하여 경질상을 이루고, 니켈-철 또는 니켈-구리와 같은 결합상이 그 사이의

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

틈을 채워 연결성과 인성을 제공합니다. 이러한 미세 구조는 소결 공정을 통해 형성되며, 거의 구형의 텅스텐 입자와 균일하게 분포된 결합상이 응력 집중을 방지합니다. 열간 가공 후, 미세 구조는 축 방향으로 배열된 섬유질 조직을 나타내어 종방향 강도를 향상시킵니다. 표면은 정밀하게 연마되어 조도가 낮고 리벳 접착력이 감소합니다.

구조적 특징으로는 단면 설계도 포함됩니다. 오목한 상단 바는 리벳이 버섯 모양으로 머리를 형성하도록 돋고, 평평한 면은 넓은 면적의 리벳을 임시로 지지합니다. 고정단에는 리벳 건에 빠르게 연결할 수 있도록 나사산이나 홈이 있는 경우가 많습니다. 텅스텐 합금으로 제작된 상단 바는 크기가 작고 무게가 적당하며 수동 또는 자동으로 쉽게 조작할 수 있습니다. 열처리 후 내부 응력이 해소되어 구조가 안정화되고 충격 피로에 대한 저항력이 향상됩니다.

사용 관점에서 볼 때, 이러한 구조적 특징은 리벳팅 과정에서 맨드릴 내부의 에너지 전달 효율을 높이고 변형 영역 제어를 향상시킵니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 구조 설계는 공구 공학의 실용적인 고려 사항을 반영하여 형상과 구조의 조화를 통해 지지 기능을 최적화하고 조립 라인 및 유지 보수 작업에서 안정화 역할을 수행합니다. 리벳팅 기술의 발전과 함께 맨드릴 구조 또한 더욱 정교해져 다양한 연결 요구 사항에 부응하고 있습니다.

### 1.1.2 텅스텐 합금 리벳 상단 바의 기본 특성

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 핵심은 재료 특성과 기능적 설계의 조합에 있습니다. 이 공구는 리벳 작업 중 지지대 역할을 하며, 반복적인 충격과 압력을 견디면서도 형상 안정성을 유지해야 합니다. 텅스텐 합금의 높은 밀도는 가장 중요한 특징 중 하나입니다. 이 특성 덕분에 동일한 부피에서 더 큰 질량을 가질 수 있어 강력한 관성 지지력을 제공하고, 리벳 꼬리 변형 시 에너지 전달을 집중시켜 더욱 균일한 접합을 가능하게 합니다. 높은 경도 또한 중요한 특징입니다. 텅스텐상은 단단한 골격 역할을 하여 마모에 강하고, 결합상은 일정 수준의 인성을 제공하여 고빈도 사용 중에도 파손이나 찌그러짐을 방지합니다. 내열성 또한 탁월합니다. 텅스텐 합금은 리벳 작업 중 발생하는 국부적인 고온에서도 연화되는 경향이 적고, 리벳 재료가 표면에 쉽게 달라붙지 않아 작업면을 매끄럽게 유지합니다.

텅스텐 합금 맨드릴은 가공성이 뛰어나 정밀 성형이 가능하며, 리벳 종류에 따라 맨드릴 직경과 단면 형상을 맞춤 제작할 수 있습니다. 표면 연마 후 마찰 계수가 낮아 리벳 변형 시 저항이 감소합니다. 화학적 안정성이 우수하여 작업장 환경의 오일이나 냉각수에 의한 부식에 강하고 장기간 보관 시에도 녹이 슬지 않습니다. 적당한 무게로 작업자가 쉽게 잡을 수 있으며 장비 설치 시에도 과도한 부담을 주지 않습니다. 이러한 텅스텐 합금 맨드릴의 특성은 분말 야금법으로 형성된 이중상 구조에서 비롯됩니다. 이 구조에서는 텅스텐 입자가 균일하게 분포되어 있고 결합상이 그 사이사이를 채워 균형 잡힌 기계적 특성을 나타냅니다.

실제 사용에서 이러한 특성은 긴 수명으로 나타나며, 동일한 맨드릴로 잦은 교체 없이 여러 번의 리벳팅 작업을 수행할 수 있고, 간단한 연마만으로 마모된 작업면을 복원할 수

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

있습니다. 텡스텐 합금 맨드릴은 또한 우수한 음향 반응을 보여 충격 시 선명한 소리를 발생시켜 작업자가 리벳팅 품질을 쉽게 판단할 수 있도록 합니다. 다양한 단면 디자인을 제공하는데, 평면형은 표준 리벳에 적합하고, 오목형은 특정한 리벳 헤드 형상을 구현하는 데 도움이 됩니다. 이러한 기본적인 특성 덕분에 텡스텐 합금 맨드릴은 조립 라인 및 유지 보수 작업에 매우 적합하며, 고강도 리벳팅에 널리 사용되는 공구로 자리 잡고 있습니다. 재료 가공 기술의 발전과 함께 이러한 특성은 더욱 다양한 연결 요구 사항에 맞춰 지속적으로 개선되고 있습니다.

### 1.1.3 재료 과학에서 텡스텐 합금 리벳 상단의 위치

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 고밀도 내화 합금 공구 재료 범주에 속합니다. 이러한 분류는 텁스텐 합금이 기존 공구강의 높은 충격 내구성 부족 문제를 해결하기 위해 단단하고 인성이 뛰어난 상을 복합적으로 설계하는 데 적용되었기 때문입니다. 재료 과학에서 텁스텐 합금은 분말 야금 복합 재료의 대표적인 예로, 텁스텐 입자가 액상 소결 또는 용융 침투 공정을 통해 결합재에 접합되어 유사 합금 또는 진정한 합금 구조를 형성합니다. 리벳 맨드릴은 이러한 재료로 만들어진 특정한 제품으로, 내화 금속을 기능성 공구 분야로 확장한 공학적 사례를 보여줍니다.

텅스텐 합금 맨드릴의 위치는 충격 공구 재료 스펙트럼에서 그 역할을 잘 보여줍니다. 텁스텐 카바이드 시멘트 카바이드와 비교했을 때, 텁스텐 합금은 인성의 균형을 더욱 강화하는 반면, 고속도강과 비교했을 때는 밀도와 내열성을 우선시합니다. 재료 과학 연구에서 이러한 맨드릴은 이중상 미세구조의 기계적 거동을 분석하는 사례 연구로 자주 사용됩니다. 여기서 텁스텐 입자는 경도를 제공하고, 결합상은 변형을 조절하고 에너지를 흡수합니다. 정밀 조립 공구 재료로서 텁스텐 합금 맨드릴은 특히 반복 사용이 요구되는 응용 분야에서 고강도 리벳팅 개발을 지원합니다. 더 넓은 재료 분류에서 텁스텐 합금 맨드릴은 기능성 구조 재료 범주에 속하며, 기계적 지지력을 제공하는 동시에 밀도 특성을 통해 에너지 전달을 최적화합니다. 재료 과학의 발전으로 이러한 맨드릴은 기존의 강철 대체재에서 복합재 최적화로 진화했으며, 표면 처리 또는 미세 합금화를 통해 성능이 더욱 향상되었습니다. 텁스텐 합금 맨드릴의 역할은 내화 합금이 기초 연구에서 공구 응용 분야로 발전해 온 과정을 보여주며, 조립 엔지니어링에서 안정적인 지지력을 제공합니다. 접합 기술의 발전과 함께 이 소재의 역할 또한 더욱 지능적이거나 환경 친화적인 요소를 통합하면서 확장되고 있습니다.

## 1.2 텁스텐 합금 리벳 상단 바의 주요 원소 분석

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주성분인 텁스텐과 다른 보조 금속들의 시너지 효과에 중점을 두고 있습니다. 이러한 분석은 충격 보강재로서 재료의 성능 원리를 이해하는 데 도움이 됩니다. 텁스텐은 높은 밀도와 경도를 제공하는 기반이 되며, 니켈, 철, 구리와 같은 보조 원소들은 가공성과 인성 사이의 균형을 향상시킵니다. 원소 배합 비율은 상평형도와 소결 거동을 기반으로 설계되며, 밀도를 유지하기 위해 텁스텐 함량을 높이고 균일한 미세 구조를 형성하도록 보조 원소를 적절히 첨가합니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금 맨드릴은 충격 에너지 전달을 위한 높은 밀도, 내마모성을 위한 경도, 취성 파괴를 방지하기 위한 인성 등 기능적 요구 사항을 고려하여 제작됩니다. 텅스텐의 내화성은 맨드릴의 고온 안정성으로 나타나며, 보조 원소는 취성 전이 온도를 낮춰 상온에서 가공할 수 있도록 합니다. 원소 통합은 분말 야금법을 통해 이루어지며, 균일한 혼합 후 소결을 통해 2 상 구조를 형성합니다. 분석은 불순물 관리까지 확장되는데, 잔류 산소나 탄소는 결함을 유발할 수 있으므로 정제 관리가 필요합니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 원소 분석은 공정 최적화의 기초를 제공하여 리벳 조립에서 공구의 안정적인 성능을 보장합니다. 재료 연구의 발전과 함께 원소 분석은 더욱 다양한 접합 시나리오에 적용할 수 있도록 더욱 정밀해지고 있습니다.

### 1.2.1 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에서 텅스텐의 역할

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에서 텅스텐의 주요 역할은 높은 밀도와 경도를 제공하여 형상 안정성을 유지하고 리벳팅 충격 시 에너지를 효과적으로 전달하는 것입니다. 주성분인 텅스텐은 원자량이 크고 결정 구조가 치밀하여 맨드릴 내부에 단단한 상을 형성하고 작업면의 마모와 찌그러짐을 방지합니다. 리벳팅 과정에서 맨드릴은 반복적인 충격을 받는데, 텅스텐의 높은 경도는 표면 변형을 줄이고 리벳 꼬리와의 정확한 접촉을 유지하며 리벳 머리가 균일하게 형성되도록 돕습니다. 텅스텐의 내열성 또한 맨드릴 사용에 중요한 역할을 합니다. 국부적인 마찰열 발생 시 텅스텐은 연화 경향이 낮아 맨드릴의 전체적인 치수 변화를 최소화하고 열피로 손상을 방지합니다. 텅스텐의 높은 밀도는 맨드릴의 질량을 집중시켜 동일 부피당 더 큰 관성을 발생시키고, 충격 에너지를 리벳으로 더욱 효율적으로 전달하며, 더욱 안정적인 결합 강도를 제공합니다. 소결 과정에서 텅스텐 입자의 구형 분포는 표면 에너지를 감소시켜 치밀화를 촉진하고, 결과적으로 맨드릴 내부의 기공 수를 줄이고 균일한 강도를 유지합니다.

텅스텐의 역할은 화학적 안정성에서도 드러납니다. 맨드릴이 작업장 환경에 노출될 때, 텅스텐상은 강력한 산화 저항성을 보여 표면에 다공성 층이 형성되는 것을 방지하고 매끄러운 표면을 유지합니다. 보조 원소를 첨가한 후에도 텅스텐상이 여전히 주요 구성 요소로 작용하여 장기간 사용 시 맨드릴의 마모를 늦춥니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에서 텅스텐의 역할은 내화 금속이 공구 재료에 있어 밀도와 경도를 통해 안정적인 리벳팅 공정을 지원하고 조립 분야에서 실질적인 가치를 창출하는 데 근본적으로 기여함을 보여줍니다.

### 1.2.2 텅스텐 합금 리벳 탑 로드에 보조 금속 요소의 통합

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 보조 금속 원소를 통합하는 주된 방법은 바인더 상을 이용하는 것입니다. 니켈, 철, 구리와 같은 이러한 원소들은 텅스텐 입자와 결합하여 2 상 구조를 형성함으로써 전체적인 인성과 가공성을 향상시킵니다. 이러한 통합 과정은 분말 혼합 및 소결 단계에서 완료됩니다. 보조 원소 분말은 텅스텐 분말 입자 사이에 균일하게 분포되며, 액상 소결 과정에서 용융되어 텅스텐 입자를 적시고, 간극을 메우고 연결을 형성합니다. 화학적으로 보조 원소는 텅스텐과 혼화성이 낮아 명확한 상 경계를 유지하는 반면, 바인더 상은 변형 조정을 제공하고 맨드릴의 취성을 감소시킵니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

일체화 공정은 텅스텐의 높은 경도와 보조 원소의 첨가로 상온 취성 전이 온도를 낮추어, 맨드릴이 충격 하중을 흡수하고 급격한 파손을 방지하는 균형을 맞추는 역할을 합니다. 니켈은 주요 보조 원소로 흔히 사용되며, 높은 연성으로 일체화 후 맨드릴의 냉간 가공 성능을 향상시켜 단면의 정밀 연삭을 용이하게 합니다. 철이나 구리를 첨가하면 밀도 또는 열전도율을 더욱 조절할 수 있으며, 일체화 비율은 맨드릴 사양에 따라 조정됩니다. 소결 후 열처리는 원소 확산을 촉진하고 계면 결합 강도를 향상시키며 맨드릴의 피로 저항성을 강화합니다.

보조 요소의 통합은 표면 특성에도 영향을 미칩니다. 노출된 바인더상은 내식성을 향상시키고, 맨드릴은 습한 환경에서 더욱 안정적입니다. 통합의 균일성은 분말 볼 밀링 또는 스프레이 건조를 통해 제어되어 국부적인 응집으로 인한 성능 변동을 방지합니다. 텅스텐 합금 맨드릴에 보조 금속 요소를 통합하는 것은 복합 재료의 시너지 효과를 내는 설계의 구현이며, 바인더상의 가교 효과를 통해 공구의 전반적인 성능을 최적화하고 리벳팅 지지대에 견고한 기반을 제공합니다.

#### 1.2.2.1 니켈 첨가가 텅스텐 합금 리벳 상단 막대에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 니켈을 첨가하면 주로 인성과 가공성이 향상됩니다. 이러한 효과로 인해 맨드릴은 충격 조건에서 더 많은 에너지를 흡수할 수 있어 취성 파괴 위험을 줄일 수 있습니다. 주요 결합 원소인 니켈은 소결 과정에서 면심 입방 구조의 고용체를 형성하여 텅스텐 입자를 감싸고 연속적인 변형 채널을 제공합니다. 화학적으로 니켈은 텅스텐에 대한 우수한 젖음성을 보여 액상에서 균일한 흐름을 유도하고, 입자 재배열 및 치밀화를 촉진하여 맨드릴 내부 구조를 더욱 조밀하게 만듭니다.

니켈을 첨가하면 이젝터 바의 상온 소성이 향상되어 연삭이나 선삭과 같은 냉간 가공 중 균열 발생 가능성이 줄어들고 원하는 표면 조도를 더 쉽게 얻을 수 있습니다. 충격이 가해지는 환경에서 니켈은 텅스텐 입자의 응력 분포를 균형 있게 유지하여 이젝터 바의 작업면이 찌그러지거나 깨지는 현상을 줄여 수명을 더욱 안정적으로 연장시켜 줍니다. 또한 니켈의 내식성은 이젝터 바 표면에도 적용되어 작업장의 오일과 습기에 대한 저항력을 높이고 청결을 유지하는 데 도움을 줍니다.

첨가되는 니켈의 비율은 효과의 균형에 영향을 미칩니다. 적절한 양은 인성을 크게 향상시키는 반면, 과량은 밀도를 약간 감소시킵니다. 열처리 후, 니켈 상은 더욱 균일해지고 계면 결합이 강화되어 맨드릴의 피로 저항성이 향상됩니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 니켈 첨가의 효과는 결합 원소로서의 인성 향상 효과를 반영하며, 계면 결합을 통해 리벳팅 시 공구의 내구성을 향상시키고 조립 응용 분야에서 실질적인 가치를 제공합니다.

#### 1.2.2.2 텅스텐 합금 리벳 상단봉에 대한 철 첨가의 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 철을 첨가하면 주로 니켈과 결합상 시스템을 형성하여 니켈-철 고용체를 생성합니다. 이러한 첨가는 맨드릴의 기계적 특성과 가공 특성에

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

상당한 영향을 미칩니다. 철은 니켈과 무한히 혼합 가능하므로 소결 중 액상선 발생 온도를 낮추고 텡스텐 입자의 재배열 및 치밀화를 촉진하는 동시에 결합상의 적층 결합 에너지를 조절하여 교차 슬립 및 쌍정 변형을 더 쉽게 발생하도록 합니다. 철의 첨가는 결합상의 전위 고정 효과를 강화하여 맨드릴의 전체 항복 강도와 피로 저항성을 향상시킵니다. 반복적인 충격 리벳팅 환경에서 맨드릴의 작업 표면에 미세 균열이나 흠집이 발생할 가능성성이 줄어듭니다.

철을 첨가하면 맨드릴의 자기적 특성이 향상되어 특정 조립 공정에서 자기 클램핑 또는 위치 고정에 활용될 수 있으며 자동화 작업을 용이하게 합니다. 또한 철은 바인더 상의 산화 저항성을 개선하여 표면에 더욱 조밀한 보호층을 형성함으로써 습하거나 기름진 환경에서 맨드릴의 국부 부식을 줄여줍니다. 철-니켈 비율을 조절하면 이러한 효과의 강도를 조절할 수 있습니다. 적절한 철 함량은 인성과 강도 사이의 균형을 잘 유지하여 선삭이나 연삭과 같은 냉간 가공 공정 중 모서리 파손 가능성을 줄여줍니다. 열처리 과정에서 철은 석출상의 균일한 분포를 촉진하여 미세 구조를 더욱 강화합니다. 또한 철 첨가는 맨드릴의 열 안정성에도 기여합니다. 고온 어닐링 과정에서 철은 바인더 상의 과도한 조대화를 억제하여 미세 결정립 구조를 유지함으로써 국부적인 마찰열 발생 시 치수 변화를 최소화합니다. 철의 경제적 효율성 덕분에 텡스텐-니켈-철 시스템은 원자재 확보가 용이하고 생산 비용을 비교적 안정적으로 관리할 수 있어 널리 사용됩니다. 철 첨가의 효과는 음향적 특성에도 나타나는데, 충격음이 감소하여 작업자가 리벳 체결력을 쉽게 판단할 수 있습니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴에 철을 첨가하는 것은 결합재 상에서 보조 원소의 강화 효과를 보여줍니다. 니켈과의 시너지 효과를 통해 맨드릴의 전반적인 성능을 최적화하고 리벳 공구 분야에서 실질적인 가치를 제공합니다.

### 1.2.2.3 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 구리 도핑 메커니즘

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 구리를 도핑하는 메커니즘은 주로 비자성 결합상 형성과 열전도율 향상으로 나타납니다. 이러한 메커니즘은 자기 간섭을 피하거나 빠른 열 방출이 요구되는 리벳팅 용도에 적합합니다. 구리와 니켈은 무한히 혼합 가능하며, 텡스텐-니켈-구리계에서 면심 입방 구조의 고용체를 형성합니다. 소결 과정에서 액상이 흐르면서 텡스텐 입자를 적셔 재배열 및 치밀화를 촉진합니다. 동시에 구리의 높은 열전도율로 인해 충격 가열 시 맨드릴의 온도 구배가 더욱 완만해져 열응력 집중이 감소합니다.

구리 도핑의 핵심은 미세구조 균일성 향상에 있습니다. 구리상은 텡스텐 골격의 틈을 메워 연속적인 네트워크를 형성합니다. 화학적으로 구리는 텡스텐과 접촉각이 작아 깨끗한 계면을 형성하고 충격 시험 시 에너지 분산을 더욱 균일하게 합니다. 구리의 높은 연성은 이젝터 핀의 상온 소성을 향상시켜 냉간 가공 성능을 높이고 복잡한 단면의 정밀 성형을 용이하게 합니다. 또한 구리 도핑은 비자성 효과를 부여하여 이젝터 핀이 자기 클램핑 장비 근처에서 사용될 때 간섭을 방지하므로 전자 조립 라인에 적합합니다.

구리는 또한 메커니즘 내에서 열팽창 거동을 조절하고, 텡스텐과의 정합을 통해 내부 응력을 감소시키며, 맨드릴의 열 순환 하에서의 균열 발생 경향을 최소화합니다. 표면 특성 측면에서, 노출된 구리상은 내식성을 향상시키고, 맨드릴은 오일 및 세척제에 대한

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

내성을 갖습니다. 구리 도핑 비율은 메커니즘의 성능에 영향을 미치며, 적절한 수준에서는 열전도율과 인성이 균형을 이룹니다. 열처리 후, 구리상은 더욱 균일해져 맨드릴의 피로 저항성이 향상됩니다. 구리 도핑 메커니즘은 복합 재료 내 전도성 상의 기능적 통합을 구현하며, 네트워크 충전을 통해 맨드릴의 열기계적 거동을 최적화하고 리벳팅 지지대의 안정화 역할을 수행합니다.

#### 1.2.2.4 텡스텐 합금 리벳 맨드릴에 다른 원소를 도핑하는 메커니즘

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 다른 원소를 도핑하는 것은 주로 미세합금화 또는 분산 강화법을 통해 이루어집니다. 코발트, 몰리브덴 또는 희토류 화합물과 같은 이러한 원소들은 미세구조를 개선하거나 특정 물성을 향상시키기 위해 소량 첨가됩니다. 코발트 도핑은 결합상 강도를 향상시킵니다. 화학적으로 코발트는 적층 결합 에너지를 감소시키고 쌍정 변형을 촉진하여 맨드릴의 충격 인성을 향상시킵니다. 몰리브덴은 텡스텐을 부분적으로 대체하여 열팽창 및 재결정 온도를 조절함으로써 맨드릴의 고온 치수 안정성을 향상시킵니다.

란탄이나 이트륨과 같은 희토류 원소는 산화물 형태로 분산되어 결정립계를 고정시켜 원소 이동을 억제하고 재결정 온도를 높입니다. 그 결과, 열간 가공 후 맨드릴의 결정립이 미세해져 강도와 내구성이 향상됩니다. 티타늄 카바이드와 같은 소량의 탄화물을 첨가하면 강화 제 3 상이 형성되어 맨드릴의 표면 경도가 더욱 증가하고 리벳 마모에 대한 저항성이 향상됩니다. 기계적으로는 이러한 원소들이 소결 과정에서 계면이나 결정립계에 편석되어 표면 에너지와 확산 경로를 변화시켜 더욱 조밀하고 균일한 미세구조를 형성합니다.

도핑 메커니즘에는 희토류 원소가 산소 및 황 불순물을 포획하여 안정적인 화합물을 형성하고 취성 개재물을 감소시키는 정화 효과도 포함됩니다. 코발트-몰리브덴 복합 도핑은 재료의 강도를 시너지 효과적으로 향상시켜 맨드릴의 전반적인 성능 균형을 이룹니다. 도핑량은 인성을 저하시킬 수 있는 과도한 신규 상의 생성을 방지하기 위해 엄격하게 제어됩니다. 열처리는 재료를 활성화시키고, 용체화 처리 및 시효 처리는 미세 입자를 석출시킵니다. 다른 원소들의 도핑 메커니즘은 미세합금화를 통한 재료 최적화를 보여줍니다. 소량의 첨가를 통해 텁스텐 합금 맨드릴의 성능을 목표에 맞게 향상시켜 리벳팅 공구의 실질적인 성능 개선에 기여합니다.

### 1.3 텁스텐 합금 리벳 상단 바의 미세 구조

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 미세구조는 2 상 복합 구조로 특징지어집니다. 경질상 역할을 하는 텁스텐 입자는 결합 상에 둘러싸여 세라믹-금속 복합체와 유사한 미세구조를 형성합니다. 이러한 구조는 분말 야금에서 시작하여 소결 및 열간 가공을 거쳐 더욱 발전됩니다. 텁스텐 입자는 대부분 구형 또는 다면체이며, 입자 크기 분포는 강도와 인성 사이의 균형에 영향을 미칩니다. 결합상은 입자 사이의 틈을 채워 연속적인 변형 채널을 제공합니다. 계면층은 구조에 매우 중요하며, 원소 확산에 의해 형성된 전이 영역은 결합력을 강화합니다. 맨드릴의 충격 저항성을 유지하기 위해서는 구조 내의 기공이나

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

편석과 같은 결합을 제어해야 합니다.

미세구조 관찰에는 일반적으로 주사전자현미경(SEM)과 투과전자현미경(TEM)을 이용하여 입자 구형화 정도와 상 분포 균일성을 확인합니다. 압연 공정은 섬유질 조직을 형성하고 축 방향으로 정렬시켜 종방향 강도를 향상시킵니다. 열처리는 결정립 크기와 석출상을 조절하여 성능을 최적화합니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 미세구조는 내화 합금 복합재 설계의 공학적 원리를 구현하여, 상간 조화를 통해 리벳팅 시 안정적인 공구 성능을 보장하고 조립 공정에서 신뢰할 수 있는 지지력을 제공합니다.

### 1.3.1 텅스텐 합금 리벳 스터드의 성능에 미치는 결정 구조의 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 성능에 미치는 결정 구조의 영향은 주로 텅스텐 상의 체심 입방 격자와 결합제 상의 면심 입방 격자 사이의 상호작용에 반영됩니다. 이러한 영향은 맨드릴의 경도, 인성 및 피로 저항성을 결정합니다. 텅스텐 입자는 제한된 슬립 시스템을 가지지만 높은 경도를 갖는 체심 입방 구조를 유지하여 충격 하중 하에서 견고한 지지력을 제공하고 가공면의 변형을 방지합니다. 풍부한 면심 입방 격자 슬립 시스템을 가진 결합제 상은 강력한 변형 조정 능력을 나타내고 충격 에너지를 흡수하여 맨드릴의 취성 파괴를 방지합니다. 결정 배향은 가공 중에 텍스처를 형성하며, 압연 방향을 따라 결정립이 길어지면서 축 방향 강도가 증가합니다.

결정 구조의 영향은 계면 정합에도 반영됩니다. 텅스텐과 결합상 사이의 격자 불일치는 응력장을 생성하는데, 이는 열처리로 해소되어 더욱 안정적인 결합을 형성합니다. 어닐링은 재결정을 유도하고, 결정립 미세화는 강도와 인성 사이의 균형을 개선합니다. 불순물은 결정립계에 편석되어 구조적 안정성을 변화시키지만, 정제 공정을 통해 이러한 영향을 줄일 수 있습니다. 전위와 같은 결정 결함은 충격 하에서 증식하고, 결합상은 빠르게 회복되어 맨드릴의 피로 저항성을 향상시킵니다.

열 순환 과정에서 결정 구조의 열팽창 차이로 인해 미세 응력이 발생하지만, 결합상이 이 응력을 완충하여 맨드릴 치수의 안정성을 유지합니다. 노출된 표면 결정은 마모에 영향을 미치며, 연마를 통해 매끄러운 결정 표면을 만들어 마찰을 줄입니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 성능에 대한 결정 구조의 영향은 재료 과학 원리인 상-격자 시너지 효과를 반영합니다. 구조 최적화는 공구의 내구성을 향상시켜 리벳팅 작업에서 실질적인 가치를 제공합니다.

### 1.3.2 텅스텐 합금 리벳 탑 로드에서 상 분리 현상 관찰

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에서 관찰되는 상 분리는 주로 텅스텐 상과 바인더 상의 분포 특성과 관련이 있습니다. 이 현상은 소결 과정 중 액상 흐름과 냉각 침전에서 비롯되며, 텅스텐 입자의 구형화 및 분리와 바인더 상의 네트워크 충전으로 나타납니다. 관찰에는 일반적으로 후방 산란 모드의 주사 전자 현미경(SEM)이 사용됩니다. 원자 번호가 더 높은 텅스텐 상은 밝게 나타나고, 바인더 상은 어둡게 나타나 뚜렷한 대비를 이룹니다. 텅스텐 입자는 거의 구형으로 분리되어 있으며, 입자 간 간격은 바인더 상의 부피에 의해

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

결정됩니다. 이러한 균일한 분리는 응력 분산을 촉진합니다.

상 분리 관찰 결과, 원소 확산에 의해 구배 영역이 형성되는 계면 전이층이 확인되었으며, 이는 결합력을 강화하고 박리를 방지합니다. 소결이 불충분하면 불완전한 분리와 잔류 기공이 발생하고, 과소결은 입자 조대화, 과도한 분리 및 인성 저하를 초래합니다. 열간 가공 후, 상 분리는 변형 방향을 따라 길게 연장되어 섬유 구조를 형성하며, 단면 관찰 시 층상 분포가 나타납니다. 어닐링은 상 분리의 균질화를 촉진하여 미세하고 분산된 석출물을 생성합니다.

냉각 속도는 분리 현상에 영향을 미칩니다. 급속 냉각은 미세한 분리를 유지하는 반면, 완만 냉각은 입자의 미미한 성장을 초래합니다. 불순물은 상 경계면에서 검은 반점 형태로 응집되며, 정제 과정을 통해 이러한 현상을 줄일 수 있습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 상 분리 관찰은 복합 구조 형성 과정을 밝혀줍니다. 미세 분석은 공정 조정에 도움을 주고, 맨드릴 성능의 안정성을 확보하며, 리벳팅 공구로서의 역할을 수행할 수 있도록 합니다.

#### 1.4 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 이론적 기초

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 합금 상평형도 분석과 열역학 원리에 기반 합니다. 이러한 기초 지식은 제조 및 사용 과정에서 재료의 변화 양상을 설명하는 데 도움을 줍니다. 상평형도는 원소 간 상호작용에 대한 명확한 틀을 제공하여 텅스텐과 보조 금속의 용해도 및 상평형을 보여주고, 열역학은 에너지 관점에서 공정의 타당성과 안정성을 분석합니다. 이러한 이론적 기반을 적용함으로써 맨드릴 설계는 더욱 과학적으로 이루어집니다. 조성 선택부터 공정 변수에 이르기까지 모든 과정은 상평형도 데이터와 에너지 계산을 바탕으로 진행되어, 맹목적인 조정을 방지할 수 있습니다.

マンド릴의 상평도 이론은 텅스텐-니켈-철 또는 텅스텐-니켈-구리 시스템의 액상 영역 예측에 반영됩니다. 소결 온도는 상평도를 참조하여 설정되며, 적절한 양의 액상이 존재하여 입자 재배열을 촉진합니다. 열역학적 원리는 깁스 자유 에너지의 변화를 포함하며, 이는 용해-재침전 메커니즘을 유도합니다. 맨드릴 미세구조의 치밀화는 음의 자유 에너지 과정에 의존합니다. 이론적 기반에는 계면 에너지 개념도 포함됩니다. 텅스텐 입자의 표면 에너지 감소는 구상화를 촉진하여 맨드릴의 충격 저항성을 향상시킵니다. 열역학적 평형은 어닐링 과정에서 응력 해소를 유도하고, 맨드릴의 잔류 응력은 확산을 통해 에너지를 최소화합니다. 상평형도와 열역학을 결합하여 맨드릴의 고온 안정성을 분석하고, 원소 확산 속도 계산을 통해 유지 시간을 최적화할 수 있습니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 이론적 기반은 재료 과학의 다학제적 특성을 구현하며, 상평형도와 에너지 원리를 통해 공구 성능 예측을 지원하고 리벳팅 응용 분야에 대한 이론적 근거를 제공합니다.

##### 1.4.1 텅스텐 합금 리벳 봉에 대한 합금 상평형도의 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 합금상평형도를 적용하는 것은 주로 조성 설계 및 공정

###### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

매개변수 선택에 지침을 제공합니다. 이를 통해 원소 간 상평형 및 온도 의존적 거동을 예측하여 안정적인 맨드릴 미세구조와 일관된 성능을 확보할 수 있습니다. 상평형도는 텅스텐과 니켈, 철과 같은 보조 금속의 혼화 영역을 나타냅니다. 맨드릴 조성은 유해한 상의 형성을 방지하기 위해 고용체 한계 내에서 설정됩니다. 소결 공정에서는 액상 영역이 사용됩니다. 상평형도에 표시된 온도까지 맨드릴을 가열하면 바인더 상과 텅스텐 입자의 용융 및 습윤이 촉진되어 재배열 및 치밀화가 이루어집니다.

상평형도는 열처리 단계에서도 활용됩니다. 재결정 온도는 상평형도를 통해 예측되며, 맨드릴 어닐링 시 과도하게 높은 온도로 인한 결정립 조대화를 방지합니다. 텅스텐-니켈 이원계 상평형도는 저온 분리를 보여주는데, 맨드릴 냉각 과정에서 상평형도를 참고하여 석출물 분포를 제어함으로써 미세한 결정립 분포를 유지하고 인성을 향상시킵니다. 텅스텐-철 상평형도는 자성을 조절하는 데 사용됩니다. 비자성 환경에서는 맨드릴의 철 함량을 줄여 상평형도의 비자성 영역에 맞춥니다. 텅스텐-니켈-철 삼원계와 같은 다원소 상평형도의 경우, 맨드릴 비율 최적화는 액상선을 기준으로 하여 습윤성과 강도의 균형을 맞춥니다. 이러한 응용 분야에서는 상평형도 시뮬레이션 소프트웨어가 예측을 지원하고, 맨드릴 실험을 통해 상평형도 데이터를 검증합니다. 맨드릴에 위상 다이어그램을 적용하는 것은 이론이 실제에 적용될 수 있음을 보여주며, 평형 분석을 통해 재료 준비의 신뢰성을 뒷받침하고 리벳 공구 분야에서 실질적인 가치를 제공합니다.

#### 1.4.2 열역학적 원리가 텅스텐 합금 리벳 상단 막대에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 영향을 미치는 열역학적 원리는 주로 에너지 변화를 통해 공정의 실현 가능성과 안정성을 좌우하는 데 나타납니다. 이러한 영향은 소결부터 사용에 이르기까지 지속되어 맨드릴의 거동 메커니즘 분석에 도움을 줍니다. 깁스 자유 에너지 원리는 소결 과정에서 액상 형성을 유도하고, 음의 값은 입자 재배열을 촉진하며, 맨드릴의 치밀화는 에너지 최소화 경로에 따라 진행됩니다. 엔탈피 변화는 가열 과정에 영향을 미치는데, 맨드릴 온도가 상승함에 따라 열을 흡수하고, 결합재의 용융은 유동 에너지를 제공합니다.

엔트로피 증가 원리는 확산 과정에서 나타납니다. 맨드릴의 열처리 과정에서 원소들의 무작위 분포는 엔트로피 값을 증가시켜 더욱 안정적인 계면 결합을 유도합니다. 상평형 열역학은 조성 조정을 위한 지침이 되며, 맨드릴의 보조 원소 비율은 자유 에너지 곡선을 기반으로 하여 고에너지 상의 형성을 방지합니다. 열역학적 효과에는 응력 해소도 포함됩니다. 맨드릴 어닐링 과정에서 잔류 에너지는 확산을 통해 감소되어 성능이 복원됩니다. 충격 적용 분야에서는 에너지 전달에 대한 열역학적 분석을 통해 운동 에너지를 집중시킬 수 있으며, 변형 과정은 에너지 보존 법칙을 따릅니다. 산화 열역학은 표면 거동을 예측하고, 공기 중에서 맨드릴의 자유 에너지 계산은 코팅 보호에 대한 지침을 제공합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 열역학적 원리의 영향은 재료에 대한 에너지 기반 이해를 반영하며, 이러한 원리의 적용은 공구 성능 최적화를 지원하여 리벳팅 작업에서 중요한 지침 역할을 합니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 제 2 장 텡스텐 합금 리벳 상단의 분류 및 관련 분석

### 2.1 텡스텐 합금 리벳 상단부의 구성 성분에 따른 분류

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 결합재 구성 원소에 따라 분류되며, 이는 밀도, 인성, 가공성 및 비용 측면에서 체계적인 차이를 반영합니다. 일반적인 범주로는 텡스텐-니켈-철(TNI) 시스템, 텡스텐-니켈-구리(TNC) 시스템 및 기타 변형 시스템이 있습니다. 텡스텐은 높은 비율을 차지하는 주요 원소이며, 결합재 구성 원소의 비율은 성능 균형을 맞추기 위해 조정됩니다. TNI 시스템은 기계적 강도와 자기적 특성을 강조하는 반면, TNC 시스템은 비자성 특성과 열전도율을 강조합니다. 고밀도 범주는 텡스텐 함량을 최대화하는 것을 목표로 합니다.

이 분류는 상평형도와 소결 거동을 기반으로 합니다. 기본 결합 원소인 니켈은 다른 금속과 상호 용해되어 고용체를 형성합니다. 철이나 구리를 첨가하면 상의 특성이 변화합니다. 생산 과정에서 조성 분류는 분말 배합 및 공정 경로를 결정하는 데 중요한 지침이 됩니다. 텡스텐-니켈-철 시스템은 액상 소결 온도가 더 높은 반면, 텡스텐-니켈-구리 시스템은 냉간 가공이 더 용이합니다. 또한 이 분류는 적용 분야의 적응성도 고려합니다. 자성 푸시 로드는 특정 클램핑 용도에 적합하고, 비자성 푸시 로드는 전자 조립에 사용됩니다. 불순물 관리는 이 분류에서 공통적으로 요구되는 사항으로, 취성을 방지하기 위해 산소 및 탄소 함량을 낮춰야 합니다.

구성에 기반한 분류 체계는 맨드릴 선택을 위한 틀을 제공합니다. 엔지니어는 리벳 재질과 작동 조건에 따라 범주를 매칭합니다. 텡스텐-니켈-철 시스템은 높은 충격 저항성을 제공하는 반면, 텡스텐-니켈-구리 시스템은 표면 안정성을 제공합니다. 이러한 분류 체계는 재료 연구가 진행됨에 따라 희토류 또는 코발트 도핑과 같은 새로운 분야로 확장되고 있습니다.

#### 2.1.1 고밀도 텡스텐 합금 리벳 상단 바

고밀도 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 높은 텡스텐 함량이 특징입니다. 이러한 맨드릴은 리벳팅 지지 시 질량 집중의 이점을 활용하여 더 강력한 판성 반력과 에너지 전달 효율을 제공함으로써 더욱 균일하고 완벽한 리벳 변형을 가능하게 합니다. 고밀도 설계는 결합재 상의 비율을 줄이고 텡스텐 입자가 주를 이루도록 함으로써 달성됩니다. 소결 후, 미세 구조는 기공이 적고 치밀해져 동일 부피당 더 큰 전체 질량을 가지며 충격 시 더욱 안정적인 반력을 제공합니다.

고밀도 맨드릴은 주로 텡스텐 골격으로 구성되며, 얇은 결합재 층이 입자들을 감싸고 있어 견고한 계면 결합을 형성합니다. 맨드릴의 작업면은 높은 경도를 지니고 있어 리벳 끝부분의 반복적인 압입에 강합니다. 가공 과정에서 고밀도 빌렛은 열간 압연 및 성형 과정을 거치며, 냉간 가공 시에는 응력 해소 및 균열 방지를 위해 보조 열처리가 필요합니다. 표면 연마 후 표면이 매끄러워져 리벳 접착력을 감소시킵니다. 이 맨드릴은 고속 리벳팅 장비에 사용될 때 진동이 적고 안정적인 작동을 보입니다.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

고밀도 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 크거나 고강도의 리벳을 지지하는 데 적합합니다. 텡스텐의 높은 밀도는 리벳에 에너지를 집중시켜 일관된 접합 강도를 제공합니다. 또한 열 안정성이 뛰어나 국부 가열 시에도 형상 변화가 최소화되어 맨드릴의 수명이 연장됩니다. 뿐만 아니라 화학적 안정성도 우수하여 작업 환경에서 부식이 느리게 진행되며 유지보수가 최소화됩니다. 고밀도 종류에는 자력 보조 위치 조정을 위한 텡스텐-니켈-철 변형과 전자 조립 분야의 비자성 응용 분야를 위한 텡스텐-니켈-구리 변형도 포함됩니다.

고밀도 리벳 탑 제조 과정에서는 미세 텡스텐 분말을 사용하여 밀도를 높이고, 장시간 소결 및 유지를 통해 구조 재배열을 촉진합니다. 열처리를 통해 미세구조를 조절하고, 어닐링을 통해 결정립을 미세화하여 인성을 균형 있게 유지합니다. 이러한 고밀도 리벳 탑의 특성은 텡스텐 소재의 장점에서 비롯되며, 리벳 공구에 안정적인 지지력을 제공하고 고하중 작업에 널리 사용되고 있습니다. 조립 요구사항이 다양해짐에 따라 고밀도 텡스텐 합금 리벳 탑의 적용 범위 또한 확대되어 연결 공정의 실질적인 개선에 기여하고 있습니다.

### 2.1.2 저밀도 텡스텐 합금 리벳 상단 바

저밀도 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 조성비를 조절하거나 경량 원소를 도입하여 전체 밀도를 낮춘 변형 제품입니다. 이러한 맨드릴은 무게를 줄이면서도 텡스텐 합금의 기본 경도와 인성을 유지하여 작업자와 장비의 하중 관리를 용이하게 합니다. 저밀도 설계는 일반적으로 텡스텐 함량을 줄이거나 텡스텐을 몰리브덴으로 부분적으로 대체하여 결합재상의 비율을 높입니다. 소결 후 미세구조는 여전히 2 상 복합체이지만, 텡스텐 입자 골격은 상대적으로 성글고 구리 또는 니켈 네트워크는 더욱 연속적입니다. 맨드릴의 작업 표면 경도는 고밀도 유형보다 약간 낮지만 일반적인 리벳팅 충격을 견디기에 충분하며 표면 마모도 균일합니다.

저밀도 텡스텐 합금 맨드릴은 결합상이 주를 이루며, 변형 조정이 주요 특징입니다. 텡스텐 입자는 필요한 지지력을 제공하여 충격 시 에너지 흡수를 완화하고 장비의 백래시를 줄입니다. 향상된 가공성으로 인해 냉간 및 열간 압연이 용이하여 얇은 벽 또는 긴 봉 형태를 얻을 수 있으며, 유연한 단면 성형이 가능합니다. 열 안정성은 여전히 텡스텐 또는 몰리브덴 상에 따라 달라지며, 국부 가열 시 형상 변화가 최소화됩니다. 우수한 화학적 안정성으로 표면 도금 또는 연마가 용이하며 작업장 환경의 부식에 강합니다.

이러한 맨드릴은 경량 리벳팅 장비 또는 수동 작업에 적합합니다. 가벼운 무게로 작업자의 피로를 줄여주고, 적당한 관성으로 정밀한 리벳 성형을 지원합니다. 몰리브덴-구리 재질은 열전도율이 우수하여 연속 작업 중 빠른 열 방출과 낮은 온도 상승을 제공합니다. 저밀도 범주에는 텡스텐-구리 유사 합금도 포함되는데, 이 합금은 구리상이 열전도율을 지속적으로 향상시키며, 전자 조립 시 자기 간섭이 발생하지 않습니다. 생산 과정에서 저밀도 맨드릴 분말은 균일한 혼합이 용이하고, 소결 온도 범위가 넓으며, 공정 제어가 간편합니다.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

저밀도 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 자동화 라인의 휴대용 공구나 경량 작업대에 널리 사용되고 있으며, 가벼운 무게 덕분에 찾은 맨드릴 교체가 필요한 경우에도 관리가 용이합니다. 다양한 표면 처리가 가능하며, 화학 도금을 통해 외관과 내식성을 향상시킬 수 있습니다. 이러한 저밀도 맨드릴의 특성은 조성 조정을 통한 재료 최적화에서 비롯되며, 리벳팅 지지대에 경량 옵션을 제공하고 특정 용도에 적합한 실용적인 도구로 점차 자리매김하고 있습니다. 경량 조립 트렌드에 따라 이 제품군의 적용 범위도 확대되어 연결 공정에 유연성을 더하고 있습니다.

### 2.1.3 희토류 도핑 텁스텐 합금 리벳 상단 로드

란탄과 같은 미량의 희토류 원소를 첨가하여 최적화된 특수 범주입니다. 이트륨이나 세륨과 같은 희토류 원소를 첨가하는 맨드릴은 기존 텁스텐 합금의 미세 구조를 개선하여 고온 안정성과 피로 저항성을 향상시킵니다. 희토류 도핑은 일반적으로 산화물 형태로 분말에 첨가되어 소결 과정에서 결합제 상 또는 계면에 분산됩니다. 화학적으로 희토류는 산소와 황 불순물을 포획하여 안정적인 화합물을 형성하고 결정립계를 정화하여 쥐성 원인을 줄입니다.

희토류가 첨가된 맨드릴은 주로 결정립 미세화 및 계면 강화 효과를 나타냅니다. 결정립계에서의 희토류 고정은 결정립 이동을 억제하고 재결정 온도를 높이며 열간 가공 후에도 미세 구조를 유지하여 높은 강도와 내구성을 제공합니다. 텁스텐 입자는 더욱 완전하게 구상화되고 결합상은 균일하게 캡슐화되어 충격 시 응력 분포가 더욱 균형 있게 이루어집니다. 희토류 응집체가 얇은 보호층을 형성하여 맨드릴의 산화 저항성을 향상시키고 표면 특성을 개선합니다.

이러한 종류의 맨드릴은 고온 또는 장기간 리벳팅 작업에 적합합니다. 국부적인 마찰열 발생 시에도 조대화되지 않으며, 경도 감소 속도가 느립니다. 희토류 원소 첨가는 피로 저항성을 향상시키고, 반복적인 충격에도 미세 균열 전파 속도를 늦춰 맨드릴의 수명을 더욱 안정적으로 유지합니다. 가공 시, 첨가된 맨드릴은 냉간 가공성이 약간 더 우수하고 모서리 파손 발생 가능성성이 낮습니다. 또한 희토류 원소가 부식 발생을 억제하여 화학적 안정성이 뛰어납니다.

희토류 원소가 도핑된 텁스텐 합금 리벳 맨드릴은 도핑 수준의 균일성을 제어해야 하며, 분말 볼 밀링이나 스프레이 건조를 통해 균일성을 확보할 수 있습니다. 열처리를 통해 도핑 메커니즘이 활성화되고, 시효 석출을 통해 희토류 상의 함량이 더욱 증가합니다. 이러한 희토류 도핑 맨드릴의 특성은 미세합금이라는 재료 과학 원리에서 비롯되며, 리벳 공구의 성능을 향상시키고 까다로운 응용 분야에서 점차 선호되는 소재가 되고 있습니다. 연구가 진행됨에 따라 이러한 도핑 기술은 더욱 정교해지고 있으며, 맨드릴의 기능 확장에 기여하고 있습니다.

## 2.2 텁스텐 합금 리벳 탑 바의 용도별 분류

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 적용 분야와 작업 조건에 따라 분류되며, 이는 다양한

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

리벳팅 환경에서 맨드릴의 적응성이 다르다는 것을 반영합니다. 기계 가공에서는 충격 저항성과 수명이 강조되는 반면, 정밀 기기에서는 정확성과 안정성이 우선시됩니다. 이러한 분류는 맨드릴의 경도, 밀도 및 표면 특성을 기반으로 합니다. 기계 가공용 맨드릴은 내마모성을 위해 텅스텐 함량이 높으며, 정밀 기기용 맨드릴은 미세 변형을 방지하기 위해 균일한 미세 구조를 가지고 있습니다.

이 분류 체계는 리벳 재질과 장비 유형도 고려합니다. 알루미늄 합금 리벳은 저경도 맨드릴과 함께 사용되는 반면, 강철 리벳은 고강도 맨드릴이 필요합니다. 생산 과정에서 이 분류는 단면 설계와 작업면 처리에 대한 지침을 제공합니다. 기계적 용도에서는 오목한 표면이 변형을 수용하는 데 사용되는 반면, 정밀 용도에서는 평평한 표면이 임시 지지대 역할을 합니다. 이 분류 체계는 조립 기술의 발전과 함께 자동화 호환 요소를 통합하면서 진화해 왔습니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 용도 기반 분류는 실용적인 선택 기준을 제공하고, 영역 매칭을 통해 리벳팅 공정 최적화를 지원하며, 산업 조립에서 중요한 역할을 합니다.

### 2.2.1 기계 가공에 사용되는 텅스텐 합금 리벳 세터

기계 가공 산업에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 고강도 리벳팅을 위해 특별히 설계된 공구입니다. 이 맨드릴은 공작 기계나 수동 리벳 건에서 역지지대 역할을 하며, 무거운 하중에도 견딜 수 있고 리벳이 판금에 견고하게 결합되도록 도와줍니다. 맨드릴은 직경이 크고 작업면은 평평하거나 약간 오목하여 리벳 꼬리의 팽창을 수용할 수 있으며, 매끄러운 측면은 장비와의 마찰을 줄여줍니다. 텅스텐 합금의 높은 경도는 강철이나 알루미늄 리벳의 반복적인 압입에도 견딜 수 있게 하며, 표면 마모가 느려 대량 생산 환경에 적합합니다.

가공 분야에서 이젝터 핀은 자동차 차체, 선박 부품 또는 건축물 철골 구조물의 리벳 작업에 흔히 사용됩니다. 텅스텐 입자 골격은 강성을 제공하고, 결합층은 전동 에너지를 흡수하여 모서리 파손을 방지합니다. 단면 디자인은 리벳 종류에 따라 조정되는데, 평두형은 블라인드 리벳팅에, 오목두형은 셀프 피어싱 리벳팅에 적합합니다. 이젝터 핀은 공압 리벳 건에 고정되며, 높은 작동 압력 하에서 판성 반력이 집중되어 리벳이 균일하게 변형됩니다. 또한 화학적 안정성이 뛰어나 냉각수나 오일 오염에 강하며, 세척을 통해 매끄러운 표면을 복원할 수 있습니다.

가공 분야에서는 길이 조절이 가능한 맨드릴이 사용됩니다. 짧은 맨드릴은 수동 작업에 사용되고, 긴 맨드릴은 자동화 라인에 사용됩니다. 열처리 후 미세 구조가 섬유질로 변하여 높은 축 방향 강도와 측면 하중에 대한 굽힘 저항성을 갖게 됩니다. 브러싱 처리된 표면은 그립 마찰력을 증가시키고 교체를 용이하게 합니다. 이 분야에서 텅스텐 합금 맨드릴을 사용하면 리벳팅 효율이 향상되고 유지 보수 시간이 단축되며 일관된 연결 품질을 보장합니다. 고밀도 텅스텐-니켈-철 시스템은 자석 보조 위치 지정 방식으로 생산에 일반적으로 사용됩니다. 이러한 적응성은 재료와 공정의 조합에서 비롯되며 기계 조립에서 안정적인 지지력을 제공합니다. 이러한 맨드릴의 유지 보수에는 작업면의 흠집을 주기적으로 검사하고 매끄러움을 복원하기 위한 연마 작업이 포함됩니다. 텅스텐

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

합금의 피로 저항성은 고주파 리벳팅에서도 안정적인 성능을 보장하여 미적으로 보기 좋은 리벳 헤드를 만들어냅니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 중장비 유지보수 분야에도 적용되며, 대구경 리벳의 충격에도 변형 없이 견딜 수 있습니다. 가공 분야에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 활용은 공구 내구성의 엔지니어링 가치를 반영하며, 충격 지지를 통해 연결 공정을 최적화하고 산업 생산에 실질적인 개선을 가져옵니다.

### 2.2.2 정밀 기기에 사용되는 텡스텐 합금 리벳 상단 바

정밀 기기 분야에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 소형 또는 고정밀 리벳 작업에 사용되는 특수 공구입니다. 이 맨드릴은 직경이 작고 표면이 거울처럼 매끄러워 작은 부품에 리벳을 정밀하고 손상 없이 변형시킬 수 있도록 지지대 역할을 합니다. 맨드릴 본체는 짧고 정밀하며, 끝면은 평평하여 정밀 표면에 흠집이 생기는 것을 방지하고, 측면은 연마 처리하여 작업 저항을 줄입니다. 텡스텐 합금의 균일한 구조는 맨드릴 전체에 일정한 밀도를 보장하고, 충격 시 안정적인 반발력을 제공하며, 리벳 헤드 형상을 대칭적으로 만들어줍니다.

정밀 기기에서 이러한 맨드릴은 전자 장치, 의료 기기 또는 광학 기기를 리벳팅하는 데 사용됩니다. 미세하게 분포된 텡스텐 입자는 일관된 접합과 최소한의 변형을 보장하여 작업 표면의 흐딩을 방지합니다. 단면 설계는 평탄성을 강조하여 마이크로 리벳을 지지할 때 균일한 압력 분포를 보장합니다. 화학적으로 매우 불활성인 이 맨드릴은 클린룸 환경에 적합하며 입자 방출 및 부품 오염을 방지합니다. 수동 또는 전동 정밀 리벳팅 건에 장착되어 낮은 작동력으로 작업할 수 있으며, 적당한 관성으로 정밀한 변형 제어가 가능합니다. 정밀 기기 분야에서 맨드릴의 길이는 매우 중요하며, 짧은 맨드릴은 협소한 공간에서의 작업을 용이하게 합니다. 열처리를 통해 결정립 크기를 미세화하여 맨드릴의 미세 피로 저항성을 높이고 장기간 사용 시에도 형태를 유지하도록 합니다. 표면 전기 도금 또는 부동태 처리는 호환성을 향상시켜 맨드릴이 기기 재료와 반응하지 않도록 합니다. 이 분야에서 텡스텐 합금 맨드릴을 사용하면 리벳팅 정밀도를 보장하고 연결부의 풀립을 방지하며 기기의 안정적인 기능을 유지할 수 있습니다. 텡스텐-니켈-구리 시스템은 생산 과정에서 비자성을 떠므로 전자 조립에 적합합니다. 텡스텐 합금의 낮은 열팽창률은 온도 변화에도 치수 안정성을 유지하여 정확한 리벳 위치 조정을 보장합니다. 맨드릴의 소형 설계는 공간 제약 조건에 적합하여 항공우주 기기 및 실험실 장비에까지 적용 가능합니다. 정밀 기기에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 위치 조정은 재료의 정밀성이 공구로서의 가치를 보여주는 사례이며, 정밀한 지지를 통해 작은 연결부를 최적화하고 첨단 기술 조립에 중요한 역할을 합니다.

### 2.2.3 고온 환경용 텡스텐 합금 리벳 상단 바

고온 환경 특화 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 고온 가공 또는 고온 리벳팅 조건에 최적화된 공구입니다. 이러한 맨드릴은 리벳팅 중 국부적인 고온과 열 순환을 견뎌내면서 형상 안정성과 지지 정확도를 유지해야 합니다. 맨드릴 설계는 열 안정성을 최우선으로 고려하여 높은 텡스텐 함량으로 용융점을 강화합니다. 내열성 결합재를 사용하여 소결 후 치밀한 미세 구조를 형성하고 열 연화 경향을 줄입니다. 작업면은 평평하거나 약간

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

오목하며, 마찰열 발생을 억제하는 고온 내성충을 형성하기 위해 특수 열처리를 거칩니다.

고온 리벳팅에서 이 유형의 맨드릴은 열간 리벳팅 또는 열간 금속 접합에 사용됩니다. 텡스텐 입자 골격은 고온에서도 강성을 유지하고, 구리 또는 니켈 상은 열팽창을 조절하여 변형이나 균열을 방지합니다. 단면 설계는 열전도율을 고려하여 빠른 열 방출을 가능하게 하고 열 축적을 줄여 연속 사용 시 온도 상승을 최소화합니다. 또한 화학적 안정성이 뛰어나며, 맨드릴 표면에는 자연적 또는 인공적으로 형성된 산화 방지층이 있어 고온 가스에 의한 부식을 방지합니다. 적당한 길이로 고온 장비와의 사용이 용이하며, 고정단은 내열 재료와 호환됩니다.

고온 환경용 맨드릴은 고온 어닐링 처리를 통해 결정립을 미세화하여 열피로 저항성을 향상시킵니다. 이러한 맨드릴은 반복적인 열충격에도 미세균열 전파 속도가 느립니다. 표면 코팅이나 분산 강화 처리를 통해 내열성을 더욱 향상시켜 고온의 오일 또는 가스 환경에서도 안정적인 성능을 유지합니다. 이 분야에서 텡스텐 합금 맨드릴을 사용하면 열간 가공 연결부의 신뢰성을 높여 균일한 리벳 형성 및 일관된 연결 품질을 확보할 수 있습니다.

이러한 리벳 맨드릴은 냉각 후 표면 산화 여부를 검사하고 연마하여 매끄러운 마감을 복원하는 데 중점을 둡니다. 고밀도 변형 제품은 강한 관성을 보여 고온 리벳팅 시 효율적인 에너지 전달을 보장합니다. 고온용 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 소재의 내열 설계가 엔지니어링에 적응하는 특성을 반영하여 고온 조립 시 안정적인 지지력을 제공하며 고온 리벳팅에 점차 실용적인 선택으로 자리 잡고 있습니다. 고온 가공 기술의 발전과 함께 이러한 맨드릴의 적용 범위가 확대되고 있으며, 접합 공정에 내열성을 더하고 있습니다.

#### 2.2.4 마모 환경용 텡스텐 합금 리벳 상단 바

마모성 환경용 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 마찰이 심하거나 마모 충격이 발생하는 조건에서 사용하도록 설계된 강화 공구입니다. 이 맨드릴은 표면 마모에 강하고 매끄러운 작업면을 유지하며, 경질 재료 리벳팅이나 고빈도 작업 시 정밀도를 향상시킵니다. 맨드릴 본체는 고경도이며, 분산된 텡스텐 입자로 강화되거나 표면 경화 처리되었고, 결합재는 인성과 내구성의 균형을 유지하여 파손을 방지합니다. 작업면은 거울처럼 매끄럽게 연마되거나 미세한 질감으로 처리되어 리벳 접착 및 마모재 박힘을 줄입니다. 마모성 환경에서 이 맨드릴은 스테인리스강, 티타늄 합금 또는 복합 재료 리벳팅에 사용됩니다. 텡스텐 부분은 마모에 의한 긁힘을 방지하고 표면 부식 발생을 늦춥니다. 평평한 단면 설계로 넓은 면적의 리벳팅이 가능하며, 측면의 내마모성 코팅은 장비 마찰을 줄여줍니다. 화학적 안정성이 우수하여 냉각수 마모에 강하고 표면에 마모 흠이 덜 생깁니다. 길이는 장비에 따라 조절 가능하며, 고정단은 풀럼 방지를 위해 강화 처리되어 있습니다.

마모가 심한 환경에 특화된 맨드릴에는 표면 이온 주입 또는 탄화물 코팅이 적용되어 경도 구배를 통해 내마모성을 향상시키고 고빈도 리벳팅 환경에서 수명을 연장합니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

열처리를 통해 결정립 크기를 미세화하여 피로 및 내마모성을 더욱 개선합니다. 이 분야에서 텅스텐 합금 맨드릴을 사용하면 내구성이 향상되고, 일관된 리벳 헤드 형상으로 교체 빈도를 줄일 수 있습니다.

이러한 리벳 책에는 표면 거칠기 검사, 연마 또는 보수 코팅과 같은 정기적인 점검이 포함됩니다. 텅스텐-니켈-철 시스템은 높은 경도를 제공하여 마모가 심한 환경에 적합합니다. 텅스텐 합금 리벳 책의 내마모성 특화 제품군은 재료의 내마모성 설계를 엔지니어링적으로 최적화한 결과물로, 가혹한 마찰 조건에서도 안정적인 지지력을 제공하며 고내구성 리벳 작업에 점차 널리 사용되고 있습니다.

### 2.3 텅스텐 합금 리벳 상단 로드 유형별 성능 차이 분석

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 종류는 주로 구성, 적용 분야 및 구조적 변형을 비교하여 분류됩니다. 이러한 분석은 리벳 지지대에서 각 범주의 성능 특성을 이해하는 데 도움이 됩니다. 고밀도형은 밀도가 높고 관성 반력이 강하여 고하중 충격에 적합합니다. 에너지 전달이 집중되어 리벳 변형이 균일합니다. 저밀도형은 가볍고 조작이 유연하며 경량 장비에 적합하고 진동이 적으며 정밀 제어가 우수합니다.

희토류 원소가 첨가된 유형은 미세 구조가 개선되어 피로 저항성과 내열성이 향상되었으며, 열 순환이나 장기간 사용 시 이젝터 펀의 미세 손상이 줄어듭니다. 가공용 유형은 높은 경도, 내마모성, 그리고 이젝터 펀의 긴 작동 수명을 제공합니다. 정밀 기기용 유형은 균일성이 우수하고 미세 변형이 최소화되어 이젝터 펀 지지 정밀도가 높습니다. 고온용 유형은 연화 온도가 높고 형상이 안정적이며 열 충격에도 안정적인 성능을 유지합니다. 내마모성 유형은 표면 강화, 강력한 긁힘 방지, 그리고 마찰 환경에서의 내구성을 특징으로 합니다.

성능 차이는 가공성과 유지보수 측면에서도 나타납니다. 고밀도 유형은 가공 시 열처리가 필요한 반면, 저밀도 유형은 냉간 가공이 용이합니다. 희토류가 첨가된 유형은 어닐링 반응이 우수하며, 보다 특수한 기계적 표면 처리가 필요합니다. 이러한 차이 분석을 통해 적합한 유형을 선택할 수 있습니다. 고밀도 유형은 고하중 작업에, 저밀도 유형은 경량 작업에, 희토류 유형은 고온 및 가혹한 마모 환경에 적합합니다. 텅스텐 합금 맨드릴 유형의 성능 차이 분석은 분류 설계의 재료 과학적 중요성을 보여주며, 특정 공구 적용 분야에 맞춰 리벳팅 작업에 다양한 선택지를 제공합니다.

#### 2.3.1 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 물리적 특성에 대한 조성 변화의 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 물리적 특성에 대한 조성 변화는 주로 밀도, 열 안정성 및 표면 특성 조절에 반영되어 다양한 응용 분야에 맞는 성능을 제공합니다. 텅스텐 함량이 증가하면 맨드릴의 전체 밀도가 높아져 질량 분포가 더욱 집중됩니다. 이는 리벳팅 충격 시 더욱 안정적인 관성 반력을 제공하여 리벳 끝부분의 변형을 더욱 균일하게 만듭니다. 결합상의 비율을 조절하면 열팽창 특성이 달라집니다. 니켈-철 시스템이 주를 이루는 경우, 맨드릴은 다양한 온도 조건에서 우수한 치수 안정성을 나타냅니다. 니켈-구리

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

시스템으로 변경하면 열전도율이 향상되어 국부적인 마찰열을 빠르게 발산하고 작업 표면의 온도 상승을 줄일 수 있습니다.

조성 변화는 표면 습윤성 및 화학적 안정성에도 영향을 미칩니다. 구리 함량이 증가하면 맨드릴 표면에 균일한 보호층이 형성되어 작업장 오일이나 세척제에 의한 부식을 방지할 수 있으며, 철을 첨가하면 치밀한 산화막이 형성되어 대기 부식에 대한 저항성이 향상됩니다. 희토류 원소를 미량 첨가하면 맨드릴의 결정립계를 정화하여 열 순환 시 구조적 안정성을 개선하고 표면 미세 균열 발생 가능성을 줄입니다. 조성 조정은 가공 후 잔류 응력 분포에도 영향을 미칩니다. 적절한 니켈-구리 비율은 내부 응력을 감소시켜 맨드릴이 반복 사용 시에도 형상을 더욱 안정적으로 유지할 수 있도록 합니다. 실제 생산에서는 분말 배합비와 소결 매개변수를 통해 조성 변화를 구현합니다. 텡스텐 분말 입자 크기와 바인더 분말의 입자 크기를 적절히 조절하면 성능에 미치는 영향을 더욱 정밀하게 제어할 수 있습니다. 동일한 리벳팅 조건에서, 조성이 다른 맨드릴은 고밀도 유형일수록 에너지 전달이 집중되고, 열전도율이 우수한 유형일수록 온도 상승 제어가 우수하며, 내식성이 강한 유형일수록 유지 보수 주기가 길어집니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 조성 변화가 물리적 특성에 미치는 영향은 공구 선택에 유연성을 제공합니다. 적절한 조성비는 기계 가공, 정밀 조립, 고온 환경 등 다양한 요구 사항을 충족하여 리벳팅 작업에서 뛰어난 적응성을 보여줍니다.

### 2.3.2 응용 분야 중심 설계가 텡스텐 합금 리벳 맨드릴에 반영됨

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 응용 분야 중심 설계는 주로 치수, 작업면 형상 및 표면 처리의 최적화에 반영됩니다. 이러한 설계 철학을 통해 맨드릴은 특정 리벳팅 조건에 더욱 잘 적응하여 작업 효율성과 연결 품질을 향상시킬 수 있습니다. 가공에 사용되는 맨드릴은 고강도 리벳 꼬리의 큰 변형을 수용하기 위해 일반적으로 직경이 크고 작업 끝부분이 오목하게 설계됩니다. 맨드릴의 길이는 공압 리벳 건으로 쉽게 고정할 수 있도록 적당하며, 측면의 미끄럼 방지 질감은 수동 조정을 용이하게 합니다. 정밀 기기 분야에서는 미세 리벳의 정밀한 지지를 위해 가늘고 평평한 작업면이 있는 맨드릴이 선호되며, 민감한 부품에 흠집이 생기는 것을 방지하기 위해 거울처럼 매끄럽게 연마된 표면이 사용됩니다. 고온 환경용 맨드릴은 열 방출을 고려하여 설계됩니다. 작업면의 얇은 흙은 공기 흐름을 촉진하고, 맨드릴 본체는 내열성 접합층으로 제작되며, 양 끝단은 단열층으로 코팅되어 장비로의 열 전달을 줄입니다. 마모 환경에 특화된 맨드릴은 내마모층 두께를 늘리기 위해 경화 처리되거나 미세한 질감 처리된 작업면을 특징으로 하며, 고강도 충격에 견딜 수 있도록 강화된 고정단을 갖추고 있습니다. 용도에 따른 설계는 고정 방식에도 적용되며, 일부 맨드릴은 자동화 장비와의 원활한 통합을 위해 쿼록 또는 나사식 인터페이스를 제공합니다. 표면 처리 또한 용도에 따라 달라집니다. 가공용 맨드릴에는 내유성 코팅이 주로 사용되는 반면, 정밀 기기용 맨드릴에는 입자 탈락을 방지하는 광택 코팅이 적용됩니다. 고온용 맨드릴에는 추가적으로 산화 방지 코팅이 적용됩니다. 길이 대 직경 비율은 리벳 사양에 따라 결정되며, 짧고 두꺼운 유형은 무거운 하중에 적합하고, 길고 가는 유형은 협소한 공간에서의 작업에 유리합니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴에 적용된 이 응용 분야 중심 설계는 공구를 범용 공구에서 특수 공구로 변모시킵니다. 구조와 처리의 조화를 통해 리벳팅 공정의 적응성을 향상시켜

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

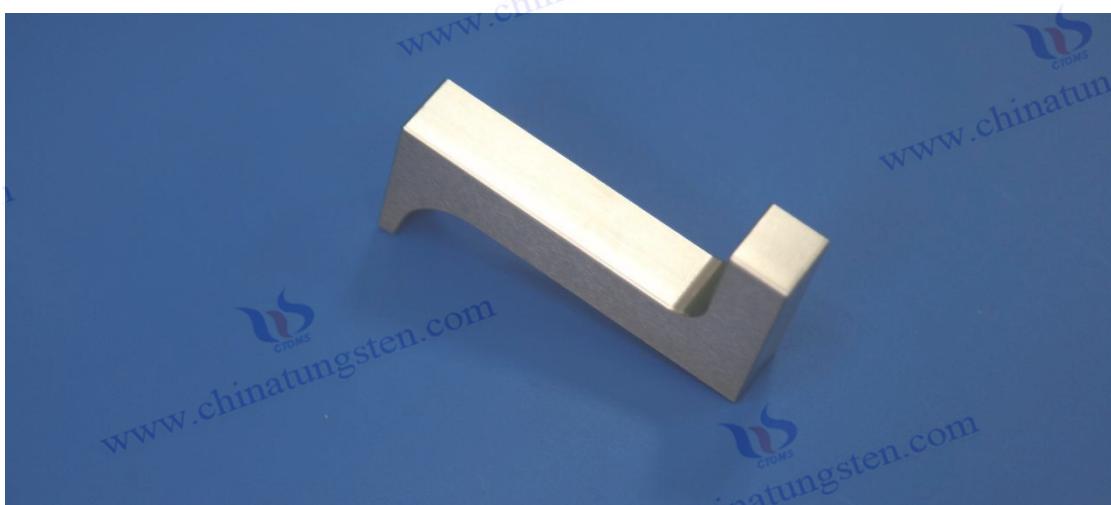
电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

다양한 산업 현장에서 실질적인 역할을 수행합니다.

### 2.3.3 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 미세구조 차이가 기계적 특성에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 미세구조 차이는 주로 텡스텐 입자 크기, 결합상 분포 및 계면 결합을 통해 기계적 특성에 영향을 미칩니다. 이러한 미세구조 제어는 충격 하중 하에서 맨드릴의 강도, 인성 및 피로 저항성을 결정합니다. 고밀도 맨드릴은 미세하고 균일하게 분포된 텡스텐 입자와 얇은 결합상 층이 조밀한 골격을 형성하는 특징을 갖습니다. 이는 충격 시 응력 분산을 더욱 효과적으로 하여 표면 흠집이나 미세 균열 발생 가능성을 줄입니다. 반대로 저밀도 맨드릴은 텡스텐 입자 간격이 넓고 결합상 네트워크가 더욱 연속적이며 변형 조정이 향상되어 경하중 또는 진동 환경에서 에너지를 더욱 부드럽게 흡수합니다.

회토류가 첨가된 맨드릴은 결정립계 정화 및 분산상 강화가 특징입니다. 회토류 화합물은 결정립계를 고정시켜 슬립을 억제함으로써 고온 피로 저항성을 향상시키고 열 사이클링 후 강도 저하 속도를 늦춥니다. 가공용 맨드릴은 표면 경화를 통해 경사 구조를 형성하며, 표면의 텡스텐 입자는 내마모성을 향상시키고, 중심부의 바인더상은 인성을 유지하고 취성 모서리 파손을 방지합니다. 정밀 기기용 맨드릴은 높은 입자 구상화도, 불순물 응집이 없는 깨끗한 계면, 경미한 충격 하에서의 최소한의 응력 집중, 그리고 탁월한 형상 안정성을 나타냅니다. 열간 가공에 의해 유도되는 섬유 조직 또한 제어 방법입니다. 압연 방향의 결정립 연신율은 축 방향 강도를 향상시켜 측면 하중 하에서 맨드릴의 굽힘 경향을 감소시킵니다. 어널링은 재결정된 결정립을 미세화하여 경도와 소성을 균형 있게 유지하며, 맨드릴은 반복 사용 후에도 우수한 성능 회복력을 보입니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 기계적 특성 제어에 있어 미세구조적 차이는 다양한 용도에 맞는 성능 구배를 제공합니다. 미세구조 최적화를 통해 강도와 인성 사이의 적절한 균형을 이루어 리벳팅 지지대에서 안정적인 기계적 응답을 나타냅니다. 관찰 기술의 발전으로 이러한 제어 방법은 지속적으로 개선되고 있으며, 맨드릴 성능 향상을 위한 더 많은 가능성을 열어주고 있습니다.



CTIA 그룹 LTD 텡스텐 합금 리벳 탑 로드

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

Precision customization: support high density ( $17-19 \text{ g/cm}^3$ ), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

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

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

100,000+ customers

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

Service commitment

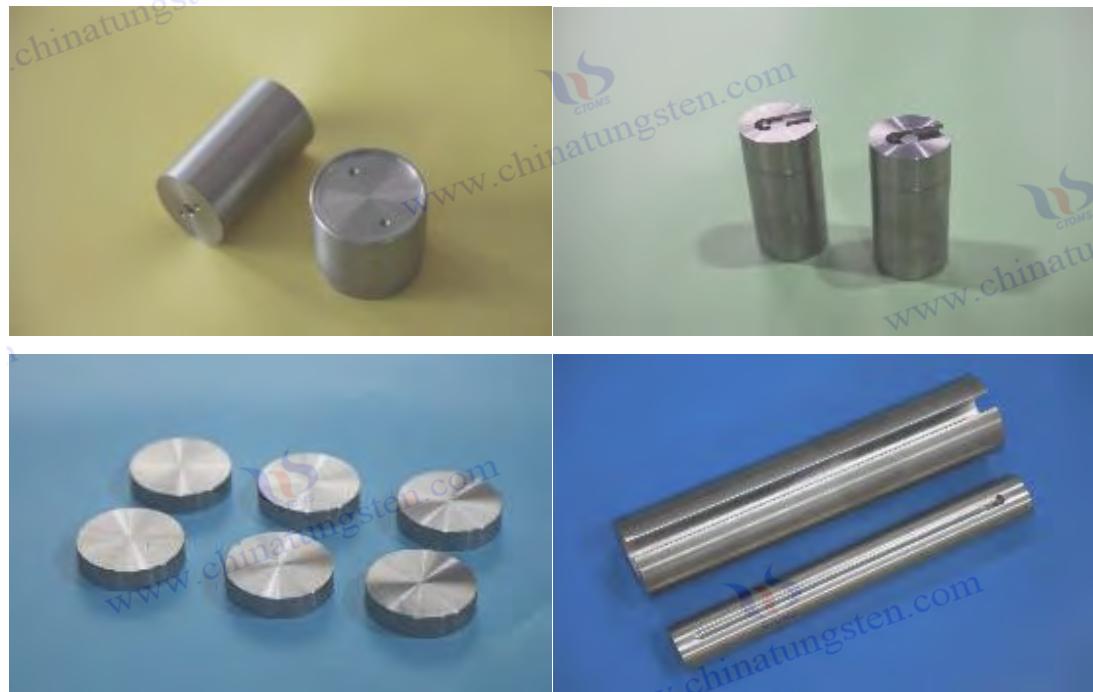
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

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

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

### 제 3 장 텡스텐 합금 리벳 봉의 제조 공정

#### 3.1 텡스텐 합금 리벳 봉의 야금학적 제조 방법

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 분말 원료에서 완제품에 이르기까지 완전한 공정 체인을 통해 제조됩니다. 이 방법은 혼합, 성형, 소결 및 후처리를 통해 텡스텐과 보조 원소의 복합체를 만들어 리벳 지지대에 적합한 막대형 제품을 형성합니다. 분말 선택은 이 방법의 핵심입니다. 고순도 텡스텐 분말과 니켈-철 또는 니켈-구리와 같은 결합제 분말을 특정 비율로 혼합합니다. 텁스텐 분말의 미세한 입자 크기는 밀도를 향상시키고, 결합제 분말의 높은 활성은 습윤성을 촉진합니다. 혼합 단계에서는 균일한 분포를 위해 기계적 볼 밀링 또는 V-밀을 사용합니다. 화학적으로는 계면활성제를 사용하여 응집을 방지하고 원소의 거시적 균일성을 확보합니다.

성형 공정은 혼합 분말을 압착하여 막대 모양의 블랭크를 만드는 과정입니다. 대형 탑 로드 블랭크에는 일반적으로 냉간 등방압 성형이 사용됩니다. 액체 매체를 통해 전달되는 압력은 등방성 이므로 블랭크의 밀도가 균일하고 응력 구배가 발생하지 않습니다. 압축 성형은 소량 생산에 적합하며, 단방향 압력과 윤활제를 사용하는 강철 금형을 이용하여 마찰을 줄입니다. 성형 후에는 임시 바인더를 사용하여 미성형 블랭크의 강도를 향상시키고 취급을 용이하게 합니다.

소결은 공정의 핵심입니다. 진공 또는 수소 분위기에서 가열하면 결합제가 녹아 액상이 생성되고 텁스텐 입자를 적시게 되어 재배열 및 치밀화가 일어납니다. 온도 범위를 제어하여 적절한 액상 흐름을 유지함으로써 붕괴나 분리를 방지합니다. 일정 시간 유지 동안 용해-재침전 메커니즘을 통해 입자가 구상화되어 깨끗한 계면 결합이 형성됩니다. 서서히 냉각하면 미세 구조가 고정되어 열 응력 균열을 방지합니다. 고온 등방압 성형(HIP)은 소결을 촉진하여 기공을 닫고 빌릿 밀도를 높입니다.

열간 가공은 소결 빌릿을 변형시키는 공정으로, 인발 또는 압연을 통해 직경을 줄이고, 다방향 단조를 통해 균일한 미세 구조를 형성하며, 중간 열처리를 통해 경화를 해제하고 소성을 회복합니다. 맨드릴의 단면은 기계 가공 및 연삭을 통해 매끄럽게 다듬습니다. 용체화 시효 열처리는 석출상을 형성하여 맨드릴의 강도와 인성을 균형 있게 향상시킵니다.

표면 처리에는 산화물 제거를 위한 화학 세척, 표면 평활도 향상을 위한 연마, 그리고 내식성 향상을 위한 코팅이 포함됩니다. 마무리 공정은 일정한 길이로 절단하고 치수 밀도를 검사하는 것입니다. 분말 야금법은 유연성이 뛰어나 맨드릴 사양에 따라 매개변수를 조정할 수 있습니다. 고밀도 맨드릴은 소결 유지 시간을 연장하고, 저밀도 맨드릴은 결합재 상의 비율을 높입니다. 이 방법은 경제적이며, 폐분말을 재활용할 수 있습니다.

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 분말 야금법을 적용하는 것은 미시적인 복합재료에서 거시적인 성형에 이르기까지 재료 공학의 모든 영역을 아우릅니다. 체인 최적화를 통해

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

공구 내구성을 향상시키고 리벳팅을 위한 안정적인 기반을 제공합니다. 기술 발전과 함께 이 방법에는 자동화 요소도 접목되어 맨드릴 생산 효율성을 높이고 있습니다.

### 3.1.1 텡스텐 합금 리벳 맨드릴 제조 시 원료 준비 단계

텅스텐 합금 리벳 맨드릴 제조에서 원료 준비 단계는 분말 야금 공정의 시작점입니다. 이 단계에서는 텁스텐 분말 정제, 입자 크기 제어 및 합금 원소 혼합을 통해 후속 성형 및 소결 공정에서 미세 구조의 균일성과 성능의 일관성을 확보합니다. 원료 준비는 화학적 순도와 물리적 특성의 조화에 중점을 둡니다. 주성분인 텁스텐 분말은 불순물로 인한 결함을 방지하기 위해 고순도여야 하며, 활성이 높은 합금 원소 분말은 습윤성을 향상시킵니다. 이 공정은 텁스텐산암모늄 환원으로 시작하여 분말 체질 및 혼합으로 진행됩니다. 화학적으로 환원 반응은 산소를 제거하고, 혼합은 원소의 무작위 분포를 촉진합니다.

제조 공정은 텁스텐 분말 준비, 보조 분말 선별 및 균질화 단계를 포함합니다. 텁스텐 분말 입자 크기는 수소 환원 등급 조정을 통해 제어되며, 니켈, 철, 구리 등의 합금 분말은 카르보닐 또는 분무법을 사용하여 제조됩니다. 혼합 전에 분말은 수분 흡수를 방지하기 위해 건조되고, 화학 세척을 통해 표면 오염 물질을 제거합니다. 체계적인 준비 단계를 통해 맨드릴의 조성을 제어하여 밀도와 경도에 대한 안정적인 기반을 마련합니다. 원료 품질은 맨드릴의 충격 저항에 직접적인 영향을 미치며, 정제 과정을 통해 취성 발생 원인을 줄입니다. 원료 준비의 유연성을 통해 맨드릴 유형에 따라 조정할 수 있습니다. 고밀도 맨드릴에는 미세하고 순수한 텁스텐 분말이 사용되고, 저밀도 맨드릴에는 바인더가 포함됩니다. 분말은 산화 및 응집을 방지하기 위해 건조한 환경에 보관합니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴 생산의 원료 준비 단계는 기초 재료의 엔지니어링 관리를 구현하며, 정제 및 혼합을 통해 공정 체인의 원활한 운영을 지원하고 맨드릴 생산을 위한 신뢰할 수 있는 재료 기반을 마련합니다. 기술 발전과 함께 이러한 준비 과정에는 자동 계량 및 테스트가 통합되어 효율성과 일관성을 향상시키고 있습니다.

#### 3.1.1.1 텁스텐 분말의 정제 및 입자 크기 제어

텅스텐 합금 리벳 맨드릴용 원료 준비의 핵심적인 측면을 제어합니다. 이 제어는 다단계 환원 및 체질을 통해 텁스텐 분말의 고순도 및 적절한 분포를 달성하여 맨드릴의 치밀한 소결과 균일한 미세구조를 보장합니다. 정제는 알칼리 금속, 인 및 황 불순물을 제거하기 위해 텁스텐산암모늄의 재결정화로 시작됩니다. 산화물로 소성한 후 수소 환원이 진행되는데, 이때 수소가 산화물과 반응하여 물을 생성하고, 이 물은 배출됩니다. 이슬점 제어를 통해 수분을 적시에 제거하여 텁스텐 분말의 재산화를 방지합니다. 저온에서의 단계적 환원은 결정수를 제거하고, 고온에서는 금속 텁스텐을 형성합니다. 이 공정을 반복하여 순도를 향상시킵니다.

입자 크기 제어는 환원 조건에 반영됩니다. 고온 및 고속 교반은 조분말을 생성하는 반면, 저온 및 저속 교반은 미분말을 생성합니다. 화학적으로 환원 속도는 결정핵 성장에 영향을 미치며, 수분 농도 조절은 비정상적인 조대화를 억제합니다. 입자 분포는 레이저

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

입자 크기 분석기 또는 피셔법을 사용하여 모니터링합니다. 미분말은 소결 활성을 향상시키는 반면, 조분말은 강도를 지지하는 역할을 합니다. 비정상적인 입자는 체질 또는 공기 선별을 통해 제거합니다. 고밀도 탑 로드는 균일한 미분말을 필요로 하는 반면, 저밀도 탑 로드는 약간 더 넓은 입자 분포를 허용합니다.

정제 및 제어 공정의 조합을 통해 깨끗한 텡스텐 분말 표면, 낮은 산소 및 탄소 함량, 감소된 취성 재료, 그리고 향상된 맨드릴의 충격 인성을 얻을 수 있습니다. 화학 세척 및 산 세척을 통해 잔류물을 제거한 후 건조 및 불활성 가스 밀봉 보관을 진행합니다. 텡스텐 분말의 정제 및 입자 크기 제어는 원료 엔지니어링의 정밀성을 반영하며, 체질 공정은 맨드릴 구조의 안정적인 형성을 지원하여 리벳 공구 생산에 필수적인 가치를 제공합니다. 시험 기술의 발전과 함께 이러한 제어는 지속적으로 정밀화되어 재료 특성의 최적화를 가능하게 합니다.

### 3.1.1.2 합금 원소의 균질성

텅스텐 합금 리벳 맨드릴 원료 제조에서 합금 원소의 균일성은 매우 중요한 단계입니다. 이러한 균일성은 기계적 혼합 또는 볼 밀링을 통해 달성되며, 이를 통해 원소가 무작위로 분포되고 소결 편성이 맨드릴 성능의 일관성에 영향을 미치는 것을 방지할 수 있습니다. 혼합 전에 니켈, 철, 구리 등의 합금 분말은 환원 처리를 통해 산화층을 제거하고 화학적으로 표면 활성을 향상시켜 결합력을 증진시키는 전처리를 거칩니다. 분리를 방지하기 위해 V 형 또는 이중 원뿔형 믹서를 저속으로 사용하며, 충분한 혼합 시간을 통해 거시적인 균일성을 확보합니다.

볼 밀링은 고에너지 충격 혼합 및 사전 합금을 통해 분말을 미세화하고, 화학적 및 기계적 힘에 의한 확산을 유도하여 초기 계면 결합을 형성합니다. 스프레이 건조 방식은 혼탁액을 구형 복합 분말로 분무하여 유동성과 균일성을 향상시킵니다. 혼합 후, 화학 분석 또는 전자 현미경 검사를 위해 샘플을 채취하여 분포를 확인하며, 낮은 원소 편차가 허용 가능한 수준으로 간주됩니다. 혼합 균일성은 맨드릴의 밀도 분포에 영향을 미칩니다. 균일한 혼합은 원활한 소결 재배열을 보장하고, 국부적인 결합상 형성을 줄이며, 맨드릴의 강도와 인성을 균형 있게 유지합니다. 화학 첨가제는 분산을 돋고, 혼합물은 알코올을 사용하여 습식 혼합 후 건조됩니다. 혼합 균일성을 제어하면 충격 시 응력 분산과 작업 표면의 균일한 마모를 보장할 수 있습니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 합금 원소 혼합 균일성은 배치 엔지니어링에서 추구하는 균일성을 반영하며, 물리화학적 상호작용을 통해 미세구조의 거시적 일관성을 유지하고 공구 제조의 성능 기반을 마련합니다. 혼합 장비의 발전으로 이러한 균일성이 지속적으로 향상되어 맨드릴의 신뢰성을 실질적으로 개선하고 있습니다.

### 3.1.2 소결 공정이 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 밀도에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 밀도에 대한 소결 공정의 영향은 주로 온도, 분위기 및 유지 시간 제어에 반영됩니다. 이러한 영향은 다공성 원료에서 고밀도 제품으로의 맨드릴 변환 정도를 결정하며, 결과적으로 리벳팅 충격 시 지지 안정성과 내구성에 영향을 미칩니다.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

소결의 초기 고상 확산 단계에서는 입자 간 연결 부위가 결합되어 밀도가 서서히 증가합니다. 액상 단계에 진입하면 결합제가 녹아 텅스텐 입자를 적시고, 재배열 메커니즘을 통해 입자가 조밀하게 배열되어 밀도가 크게 증가합니다. 온도가 높을수록 액상량이 증가하여 유동이 더욱 원활해지고 기공이 채워지지만, 온도가 지나치게 높으면 넘침 현상이 발생하여 원료의 변형이나 편석, 그리고 밀도 분포의 불균일성을 초래할 수 있습니다.

분위기 선택은 밀도에 영향을 미칩니다. 수소 환원은 산화물 개재물을 제거하고 계면 청결도를 유지하며 습윤 및 치밀화를 촉진합니다. 진공 환경은 휘발성 불순물을 제거하고 폐쇄 기공 잔류물을 감소시킵니다. 유지 시간을 연장하면 충분한 재배열 및 용해-재침전이 일어나 텅스텐 입자의 구상화 표면 에너지가 감소하고 기공 수축 밀도가 증가합니다. 그러나 유지 시간이 지나치게 길어지면 입자 조대화 및 새로운 기공 생성으로 이어질 수 있습니다. 느린 가열 속도는 밀도 구배를 유발할 수 있는 조기 국부 액상을 방지합니다. 제어된 냉각은 최종 밀도 균일성에 영향을 줄 수 있는 열 응력 균열을 방지합니다.

소결 공정의 영향은 맨드릴의 치수에도 미칩니다. 막대형 빌릿의 길이 대 직경 비율이 클 경우, 최종 밀도가 낮아지는 경향이 있어 균일성을 확보하기 위해 지지 장치가 필요합니다. 고온 등방압 성형과 같은 보조 공정은 소결 후 압력을 가하여 기공을 폐쇄함으로써 밀도를 더욱 증가시킵니다. 텅스텐 함량이 높을수록 소결 밀도는 액상 최적화에 더욱 의존하게 되며, 바인더 상이 적을수록 유지 시간이 길어집니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 밀도에 대한 소결 공정의 영향은 고온 야금의 치밀화 원리를 반영하며, 매개변수 조정을 통해 맨드릴의 체적 특성을 지지하여 리벳팅 공구의 기계적 기반을 마련합니다. 공정 모니터링 기술의 발전으로 이러한 효과를 더욱 정밀하게 제어할 수 있게 되어 맨드릴 밀도의 일관성을 안정적으로 보장할 수 있습니다.

### 3.1.3 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 프레스 성형 기술 최적화

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 프레스 기술 최적화는 주로 압력 분포, 금형 설계 및 분말 유동성 개선에 중점을 둡니다. 이러한 최적화를 통해 균일한 성형 밀도와 완벽한 형상을 확보하여 후속 소결 공정을 위한 고품질 기반을 제공합니다. 냉간 등방압 성형 최적화는 액체 매체의 등방성 압력 전달을 활용하여 막대형 빌릿의 밀도 구배를 최소화합니다. 최적화된 매개변수에는 탄성 반동으로 인한 균열을 방지하기 위해 느린 가압 속도와 긴 유지 시간이 포함됩니다. 유연한 금형 재질을 선택하여 텅스텐 분말의 경도를 적절히 조절함으로써 마찰 손상을 줄입니다.

성형 최적화에는 양방향 가압, 상하부 밀도 균형을 위한 부유형 금형 구조, 분말량에 맞춘 프레스 톤수, 그리고 박리 방지를 위한 점진적인 가압 속도가 포함됩니다. 분말 유동성 최적화에는 윤활제 첨가가 포함되며, 화학적으로는 스테아르산아연을 사용하여 입자 간 마찰을 줄여 더욱 치밀한 충진을 가능하게 합니다. 또한, 잔류 가스를 줄이기 위해 사전 가압 및 배출 공정도 포함됩니다. 막대형 프리폼 최적화는 길이 대 직경 비율을 제어하고 굽힘 방지를 위해 지지 맨드릴을 사용하는 방식으로 이루어집니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

핀의 일관성에 영향을 미칩니다. 고밀도의 성형 원료는 소결 수축을 줄이고 치수 정확도를 향상시킵니다. 미세한 텡스텐 분말은 압축을 최적화하는 반면, 입자가 굵은 분말은 더 높은 압력을 필요로 합니다. 최적화된 테스트는 성형 원료 밀도의 다지점 측정을 통해 매개변수 반복 조정을 수행하는 방식으로 진행됩니다. 화학적 순도 관리는 윤활유 잔류물을 최소화하여 소결 오염을 방지합니다. 텁스텐 합금 리벳 이젝터 핀의 프레스 성형 기술 최적화는 성형 공정에서 압력 조절의 중요성을 보여주며, 금형 및 매개변수 개선을 통해 안정적인 원료 준비를 지원하고 공구 생산에 실질적인 가치를 제공합니다. 프레스 정밀도의 발전과 함께 이러한 최적화는 더욱 확장되어 이젝터 핀 성형에 더 많은 가능성을 열어줍니다.

### 3.1.4 액상 소결이 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 치밀화에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 액상 소결은 주로 바인더 상의 용융 후 발생하는 습윤, 재배열 및 용해-재침전 메커니즘을 통해 이루어집니다. 이 공정을 통해 맨드릴은 압축 빌릿의 다공성 상태에서 고밀도 제품으로 변환되어 기계적 지지력이 향상됩니다. 액상이 나타나면 바인더 상이 흐르면서 텁스텐 입자를 감싸 표면 장력을 감소시키고 입자 재배열을 유도하여 큰 기공을 채우게 함으로써 밀도가 급격히 증가합니다. 작은 습윤각은 모세관 현상을 촉진하고, 화학적으로 계면 에너지의 감소는 이 공정을 가속화합니다.

용해-재침전 메커니즘은 유지 시간 동안 작용합니다. 작은 텁스텐 입자는 액상에 용해되고, 더 큰 입자는 표면에 침전됩니다. 입자 구형화는 날카로운 모서리 부분의 응력을 감소시키고, 기공 수축은 구조를 더욱 치밀하게 만듭니다. 이 메커니즘은 액상 부피가 적절할 때 가장 잘 작동하며, 과도한 유동은 변형을 초래하고, 부피가 부족하면 재배열이 불충분해집니다. 온도 범위는 액상 비율을 제어하고, 유지 시간은 메커니즘이 완전히 발달하도록 합니다. 보호 분위기는 산화가 습윤을 방해하는 것을 방지하고, 수소 환원은 깨끗한 계면을 보장합니다.

액상 소결의 역할은 막대형 맨드릴의 균일성에도 반영됩니다. 지지 장치를 이용하여 긴 빌릿을 사용하면 액상 분포가 용이해져 양 끝단의 밀도 저하를 방지할 수 있습니다. 텁스텐 합량이 높을 경우, 이 효과는 결합상 최적화에 따라 달라집니다. 구리 계열의 경우, 액상 온도가 낮아 제어가 용이합니다. 후속적인 재가압 과정을 통해 액상에 남아 있는 기공을 채울 수 있습니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 액상 소결에 의한 치밀화 효과는 고온 유동이라는 야금학적 원리를 구현하며, 시너지 효과를 통해 맨드릴의 부피 안정성을 확보하여 리벳 공구에 내구성을 제공합니다. 소결 장비의 발전으로 이러한 효과를 더욱 정밀하게 제어할 수 있게 되어 맨드릴 치밀화를 위한 안정적인 방법을 제공하고 있습니다.

## 3.2 텁스텐 합금 리벳 상단부의 가공 기술

텅스텐 합금 리벳 맨드릴 가공 기술은 분말 야금 후처리 공정에서 중요한 부분을 차지합니다. 이 기술은 소결 빌릿을 선삭, 연삭, 인발 및 열간 단조를 통해 정밀한 봉형 공구로 변환하여 치수 정확도, 표면 품질 및 미세 구조를 최적화합니다. 가공은 소결

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

빌릿의 형상 제한 및 표면 조도를 보완합니다. 텡스텐 합금의 높은 경도로 인해 가공 시 경질 절삭 공구 사용과 적절한 냉각이 필수적입니다. 이 기술은 성형과 소성 변형을 포함하며, 성형은 정밀한 형상을 구현하고, 소성 변형은 미세 구조를 개선하고 강도를 향상시킵니다. 가공 기술은 공구 내마모성과 절삭 매개변수 최적화에 중점을 둡니다. 텡스텐 입자의 경질상은 공구 연마를 용이하게 하고, 결합상은 매끄러운 절삭을 보장합니다. 냉각수는 화학적 안정성과 부식 방지 기능을 제공하며, 건식 절삭 또는 최소 윤활은 열 손상을 줄입니다. 가공 순서는 횡삭에서 정삭으로 진행되며, 먼저 선삭으로 형상을 만들고, 그 후 연삭으로 매끄러운 표면을 만듭니다. 열간 가공과 냉간 가공이 결합되어, 열간 단조로 초기 블랭킹을 수행한 후 냉간 연삭으로 마무리합니다. 결합 제어는 균열 및 표면 긁힘에 중점을 두고 있으며, 어닐링 과정에서 응력을 해소하여 이를 완화합니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴 가공 기술은 내화 합금의 성형 문제를 반영합니다. 공구 및 공정 최적화를 통해 정밀 툴링을 구현하여 리벳 지지대에 치수 안정성을 제공합니다. CNC 장비의 적용으로 이 기술의 정밀도가 향상되어 맨드릴 기능의 다양화에 실질적인 가치를 더하고 있습니다.

### 3.2.1 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 성형 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 성형은 주로 선삭, 밀링 및 연삭을 통해 이루어집니다. 이 공정을 통해 소결된 빌릿을 기능적인 단면을 가진 정밀한 막대 모양으로 성형하여 맨드릴과 리벳 끝단 사이의 밀착성을 확보하고 안정적인 지지력을 제공합니다. 성형 공정은 소결된 빌릿에서 시작하여 선삭을 통해 외피를 제거하고 직경을 결정합니다. 텡스텐의 경도를 고려하여 초경 또는 다이아몬드 절삭 공구를 사용하며, 열 축적을 방지하기 위해 적절한 절삭 속도를 유지합니다. 표면 손상이나 미세 균열을 방지하기 위해 윤활 및 열 방출 목적으로 화학 냉각제를 사용합니다.

성형 공정에서 단면 형상은 다양합니다. 평평한 단면은 매끄러운 마감을 위해 기계 가공되고, 오목한 단면은 리벳 변형을 수용하기 위해 밀링 가공됩니다. 봉 측면을 연삭하면 원형도가 향상되고, 표면 조도가 낮아지면 마찰이 줄어듭니다. CNC 선반을 통해 성형 정밀도를 확보하고, 엄격한 치수 공차 제어를 통해 자동 리벳팅을 지원합니다. 성형 후 열처리를 통해 응력 집중을 방지하고, 어닐링을 통해 표면을 연화시켜 가공성을 향상시킵니다. 성형 공정에는 장비 설치를 용이하게 하기 위해 고정 단부에 나사산 가공이나 슬로팅과 같은 가공을 하는 것도 포함됩니다. 화학 세척으로 칩을 제거하고, 연마를 통해 매끄러운 표면을 복원합니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴에 성형 공정을 적용하면 정밀 가공의 치수 제어가 가능하며, 공구 경로 최적화를 통해 안정적인 공구 프로파일 마감을 구현하고 리벳 작업에 실질적인 도움을 줄 수 있습니다. 머시닝 센터의 발전과 함께 이러한 적용 분야가 확장되어 맨드릴 맞춤 제작에 더욱 다양한 가능성을 제공하고 있습니다.

### 3.2.2 텡스텐 합금 리벳 상단부의 소성 변형 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 소성 변형은 주로 단조, 인발 및 압연을 통해 이루어집니다. 이러한 공정을 통해 소결된 미세 구조가 개선되고 맨드릴의 강도, 인성 및 밀도 균일성이

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

향상됩니다. 소성 변형은 고온 단조에서 시작되는데, 이때 결합재가 고온에서 연화되어 텡스텐 입자의 변형을 조절하고, 다방향 단조는 응력을 균일하게 하며, 화학적 확산은 입자 결합을 촉진하고, 미세 구조의 섬유화는 축 방향 특성을 향상시킵니다.

변형 공정에서 인발은 직경을 줄이고, 봉의 결정립을 길게 하며, 굽힘 저항을 향상시킵니다. 압연은 여러 번의 압연 과정을 거치며, 중간 어닐링은 경화를 해제하고 소성을 회복시키며, 냉간 압연은 표면을 매끄럽게 마무리합니다. 소성 변형 메커니즘은 전위 증식 및 강화와 관련이 있으며, 결합재는 에너지를 흡수하여 취성 파괴를 방지합니다. 변형은 점진적으로 이루어되며, 초기에는 형상 성형을 위해 큰 압연량을 적용하고, 후기 단계에서는 마무리 가공을 위해 작은 압연량을 적용합니다.

소성 변형은 내부 다공성을 개선하고 폐쇄된 잔류 결함의 밀도를 증가시킵니다. 고온 변형으로부터의 동적 회복이 활발하게 일어나 전위 재배열 및 축적을 감소시킵니다. 화학적 분위기 보호는 산화를 방지하고 변형된 표면을 쉽게 세척할 수 있도록 합니다. 텡스텐 합금 맨드릴에 소성 변형을 적용하는 것은 고온 저속 변형이라는 엔지니어링 기술을 구현한 것으로, 미세 구조 최적화를 통해 공구의 기계적 특성을 향상시키고 리벳 충격에 대한 내구성을 제공합니다. 변형 장비의 정밀도가 높아짐에 따라 이러한 적용은 더욱 정교해지고 있으며, 맨드릴 강도 향상에 실질적으로 기여하고 있습니다.

### 3.2.3 열처리를 통한 텡스텐 합금 리벳 탑 로드의 미세구조 최적화

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 열처리를 통해 주로 어닐링, 용체화 처리, 시효 처리 등의 단계를 거쳐 제조 됩니다 . 이러한 최적화를 통해 결정립 크기, 상 분포, 결합 상태를 조절하여 맨드릴의 강도와 인성, 피로 저항성을 향상시킵니다. 열처리는 가공 전후에 시행됩니다. 소결 후 어닐링을 통해 잔류 응력을 제거하고, 화학 확산을 통해 전위 이동 및 소멸을 유도하여 맨드릴 내부 응력을 감소시키고 사용 중 미세 균열의 전파를 방지합니다. 진공 또는 수소 분위기 보호는 산화를 방지하고, 온도는 결합상 재결정 범위 내에서 제어됩니다. 유지 시간 동안 결정립계 이동을 통해 결정립이 미세화됩니다.

최적화 공정에는 합금 원소를 고온에서 용해시켜 과포화 고용체를 형성한 후 급속 냉각하여 해당 상태를 고정하는 용체화 처리가 포함됩니다. 이 과정에서 결합상이 강화되어 맨드릴의 경도가 향상됩니다. 시효 처리는 미세상을 석출시켜 전위를 고정하고 슬립을 억제함으로써 맨드릴의 충격 인성을 향상시킵니다. 열처리는 계면 결합을 최적화하고, 원소 확산은 경사 영역을 형성하여 맨드릴 작동면의 내마모성을 강화합니다 . 최적화 과정에서 텡스텐 입자의 구상화가 더욱 진행되어 표면 에너지를 감소시키고 날카로운 모서리 부분의 응력을 최소화합니다.

열처리를 통해 미세구조가 최적화되어 맨드릴의 전반적인 성능에 상당한 영향을 미칩니다 . 미세화된 결정립은 인성을 회생하지 않고 높은 강도를 제공하며, 반복적인 리벳팅 과정에서 변형이 고르게 일어나도록 합니다. 최적화 매개변수는 합금 시스템에 따라 조정됩니다. 텡스텐-니켈-철 합금은 고온에서 회복력이 향상되는 반면, 텡스텐-니켈-구리 합금은 열전도율이 우수하고 열 방출이 빠릅니다. 화학적 순도 관리는

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

불순물을 최소화하고 비정상 상의 석출을 방지합니다. 열처리로 최적화된 맨드릴의 미세구조는 열 확산에 대한 재료 제어를 반영하여 반복적인 열처리에도 공구 성능의 안정성을 유지하고 리벳팅 지지대에 견고한 기반을 제공합니다. 용광로 제어 기술의 발전으로 이러한 최적화는 더욱 정밀해지고 있으며, 맨드릴의 내구성 향상에 실질적인 가치를 더하고 있습니다.

### 3.2.4 텡스텐 합금 리벳 세터의 표면 가공에 정밀 연삭 기술의 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴 가공은 주로 높은 표면 조도와 정밀한 치수를 얻기 위해 수행됩니다. 이 공정은 연삭 훈 또는 벨트를 사용하여 재료를 점진적으로 제거함으로써 매끄러운 가공면을 만들고 맨드릴의 원형도를 제어하는 방식입니다. 연삭 공정은 황삭과 정삭으로 나뉩니다. 황삭은 가공 여유와 표면 결함을 제거하고, 정삭은 표면 조도를 향상시킵니다. 화학적으로 다이아몬드 또는 탄화붕소 연삭 훈은 텡스텐의 경도에 대한 저항성을 제공하며, 냉각 윤활은 열을 발산하고 열 손상을 방지합니다.

이젝터 핀의 작동면을 미리 연삭하면 리벳 접착력이 감소하여 마찰 계수가 낮아지고 균일한 성형이 가능해집니다. 핀의 외측 원통 부분을 센터리스 또는 센터링 연삭하면 안정적인 지지력과 높은 진원도를 확보할 수 있습니다. 단면 연삭 시 염격한 평행도 제어를 통해 이젝터 핀과 리벳 사이의 밀착성을 확보합니다. 정밀 연삭 공정은 막대형 이젝터 핀의 길이 대 직경 비율에 맞춰 적용되며, 클램핑 방식은 굽힘 진동을 방지합니다. 잦은 연삭 훈 드레싱으로 날카로움을 유지하고, 연삭 매개변수(속도 및 압력)는 텡스텐 합금의 특성에 맞게 조정됩니다.

정밀 연삭 공정은 성형 훈을 사용하여 특수 형상, 오목면 또는 홈을 구현하는 데에도 적용되며, 이젝터 핀은 리벳 변형에 더욱 효과적으로 대응할 수 있습니다. 화학 세척을 통해 연삭 잔여물을 제거하고, 연마 공정을 통해 광택을 복원합니다. 텡스텐 합금 이젝터 핀의 정밀 연삭 공정은 표면 엔지니어링의 정교함을 보여주며, 단계별 제거를 통해 고품질의 공구 표면을 구현하고 리벳팅 작업의 실질적인 개선에 기여합니다. CNC 연삭기의 개발로 이러한 공정의 정밀도가 향상됨에 따라 이젝터 핀 표면 기능에 더욱 다양한 가능성을 제공하고 있습니다.

### 3.2.5 방전 가공을 이용한 텡스텐 합금 리벳 봉의 복잡한 형상 구현

방전가공(EDM)은 주로 전기 방전을 통해 재료를 제거함으로써 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 복잡한 형상을 구현하는 데 사용됩니다. 이 기술은 맨드릴 단면에 홈, 불규칙한 형상 또는 내부 특징을 정밀하게 성형하는 데 적합하며, 기존 기계 가공의 한계를 극복합니다. EDM은 공구 전극과 맨드릴 사이에 펄스 방전을 발생시켜 화학적으로 가열된 스파크가 국부적인 재료를 녹이고 기화시키며, 유체가 제거된 재료를 씻어냅니다. 텡스텐 합금은 전기 전도성이 우수하여 안정적인 방전이 가능하며, 기계적 힘을 사용하지 않으므로 가공 과정에서 변형이 발생하지 않습니다.

공정 도구 전극은 구리 또는 흑연을 사용하여 음각 형태로 제작됩니다. 이젝터 핀은 작동

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

유체에 고정되며, 애칭 속도는 폴스 폭 전류 파라미터로 제어됩니다. 다단계 오목면이나 측면 구멍과 같은 복잡한 형상은 전극 궤적 프로그래밍을 통해 CNC 와이어 커팅으로 가공됩니다. 이젝터 핀은 과도한 열영향부 발생을 방지하기 위해 등유 또는 탈이온수를 화학 매체로 사용하여 냉각 및 가공됩니다. 표면 조도는 정밀 방전 가공으로 조정하고, 표면 후처리 후 연마를 통해 복원합니다.

방전가공(EDM)의 장점은 비접촉 방식이라는 점입니다. 경도가 높은 텅스텐 합금의 경우 기존 절삭 방식으로는 가공이 어렵지만, EDM은 재료를 균일하게 제거합니다. 미세한 홈이나 질감과 같은 맨드릴의 미세 형상 구현이 용이하여 리벳 고정력을 향상시킵니다. 화학 세척으로 백층을 제거하고, 열처리로 잔류 응력을 해소할 수 있습니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 EDM 가공은 복잡한 형상의 유연한 성형을 가능하게 하고, 방전 메커니즘을 통해 다양한 공구 설계를 지원하며, 특수 리벳팅 용도에 맞춤형 지지력을 제공합니다.

### 3.1 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 특성 분석 및 품질 관리

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 제조 공정에서 매우 중요한 요소입니다. 맨드릴의 품질 관리는 현미경 분석, 분광학적 방법, 물리적 시험을 통해 재료의 미세 구조, 조성 및 물성의 일관성을 검증하여 리벳 체결 시 맨드릴의 안정적인 성능을 보장하는 것을 목표로 합니다. 특성 분석은 미세 구조 및 원소 분포에 중점을 두고, 품질 관리는 밀도 균일성, 경도 분포 및 표면 결함을 검사합니다. 입자 구형화 및 상 계면의 현미경 관찰, 구성 요소 순도의 분광학적 분석, 그리고 물리적 시험을 통해 기계적 특성을 평가합니다.

원료 분말부터 완제품 맨드릴에 이르기까지 생산 전 과정에 걸쳐 품질 관리가 이루어지며, 배치 편차를 방지하기 위해 다지점 샘플링 및 테스트가 시행됩니다. 화학 분석을 통해 불순물 함량을 제한하고, 미세 기공 검사를 실시하며, 충격 인성 시험을 통해 기계적 특성을 평가합니다. 분석 데이터를 활용하여 공정 조정을 위한 피드백을 제공하고, 소결 매개변수를 최적화하여 결함을 줄입니다. 품질 관리 기준은 산업 규격을 참조하며, 맨드릴의 밀도 및 경도 범위는 적용 분야 요구 사항에 맞춰 조정됩니다. 오염으로 인한 결과 왜곡을 방지하기 위해 청정 실험실 환경에서 작업이 진행됩니다.

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 재료 공학의 폐쇄 투프 검사 시스템을 구현하고, 다양한 방법의 협업을 통해 공구의 성능 안정성을 지원하여 리벳팅 작업에서 신뢰할 수 있는 품질을 보장합니다.

#### 3.3.1 텅스텐 합금 리벳 상단봉에 대한 현미경 분석의 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 미세 구조 분석은 주로 광학 현미경, 주사 전자 현미경(SEM), 투과 전자 현미경(TEM)을 이용하여 수행됩니다. 이러한 현미경을 통해 미세 구조, 입자 분포, 결합 형태를 관찰하고 공정 최적화 및 품질 평가에 활용할 수 있습니다. 광학 현미경은 초기 금속 조직 관찰에 사용되며, 시료 단면을 연마하고 애칭 처리하면 텅스텐 입자와 결합상이 명확하게 구분되어 구상화 정도와 상 분포 균일성을 평가할 수 있습니다. 화학적 애칭은 결합상을 선택적으로 용해시켜 텅스텐 골격의 윤곽을 더욱 뚜렷하게

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

보여줍니다.

주사전자현미경(SEM)은 더 높은 해상도와 후방산란 이미지를 제공하여 텅스텐 상의 밝은 부분, 결합제 상의 어두운 부분, 그리고 상단 막대 단면에서 입자 간격과 계면을 명확하게 보여줍니다. 에너지 분산 분광법(EDS)은 원소 매핑을 지원하여 국부적인 편석이나 불순물을 밝혀냅니다. 이온 박막화 후 투과전자현미경(TEM)으로 박편 시료를 관찰하면 전위, 결정립계, 석출상을 확인할 수 있어 상단 막대의 충격 손상 메커니즘을 분석할 수 있습니다.

미세 분석은 생산 관리에서 중요한 역할을 합니다. 소결 후에는 잔류 기공을 검사하고, 열간 가공 후에는 섬유 조직을 관찰하며, 표면 마모 후에는 손상층을 평가합니다. 분석 결과는 어닐링 온도 설정에 활용되어 결정립 미세화 및 인성 향상에 도움을 줍니다. 맨드릴의 종단면 분석을 통해 축 방향 균일성을 확인하고, 단면을 검사하여 가공면의 결함을 확인합니다. 화학적 전처리 및 부식 시험은 주요 특징을 가리는 과도한 용해를 방지하기 위해 적절하게 적용됩니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 미세 분석은 미세 특성 분석이라는 재료 과학 도구를 활용하는 좋은 사례입니다. 다중 스케일 관찰을 통해 미세 구조 특성에 대한 이해를 높이고, 품질 관리에서 중요한 역할을 하며, 맨드릴 내구성 향상을 위한 시각적 증거를 제공합니다.

### 3.3.2 분광학적 방법을 이용한 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 조성 확인

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 조성을 분석하는 분광학적 방법으로는 주로 X 선 형광 분광법, 광 방출 분광법, 원자 흡수 분광법이 사용됩니다. 이러한 방법들은 원소 함량 및 분포에 대한 정보를 제공하여 맨드릴의 조성이 설계 요구 사항을 충족하는지 확인하고 불순물이 성능에 영향을 미치는 것을 방지합니다. X 선 형광 분광법은 표면 조성에 대한 비파괴 분석을 제공하며, 특성 형광 여기의 강도는 텅스텐, 니켈, 철 또는 구리의 비율을 나타냅니다. 맨드릴 본체의 다점 스캐닝은 균일성을 평가하는 데 사용됩니다.

광전자 방출 분광법은 시료를 용해시킨 후 플라즈마를 이용하여 여기시키고, 스펙트럼 선을 통해 원소의 종류와 함량을 식별하는 방법으로, 산소나 탄소와 같은 미량 불순물을 검출하는 데 적합합니다. 원자 흡수 분광법은 분무된 용액이 흡수하는 특성 광을 이용하여 저농도의 보조 원소를 민감하게 분석합니다. 분광학적 방법은 원료 선별 및 완제품 검사, 특히 분말 배치 순도 확인 및 탑 로드 단면 분석을 통한 분리 현상 분석 등에서 널리 활용됩니다.

시료 준비는 성분 분석 과정에서 매우 중요합니다. 표면 세척을 통해 오염을 방지하고, 용해에 사용되는 산은 높은 선택성을 나타냅니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 조성을 분석하는 분광학적 방법은 품질 추적성을 확보하여 편차 발생 시 혼합 비율을 조정할 수 있도록 합니다. 화학 표준 시료를 사용하여 기기를 교정하고, 반복 측정을 통해 일관성을 유지합니다. 원소 분포가 석출 거동에 영향을 미치므로, 분석 결과는 열처리 방향을 결정하는 데 중요한 지침이 됩니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분광학적 방법은 거시적 규모에서 미시적 규모까지 포괄적으로 활용되어 신속한 형광 스크리닝과 정밀한 발광 정량 분석을 가능하게 합니다. 리벳 작업 중에도 맨드릴의 조성은 안정적으로 유지되며, 분광학적 분석을 통해 장기적인 조성 변화를 확인할 수 있습니다. 분광학적 방법을 이용한 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 조성 분석은 분석화학의 실질적인 적용 가능성을 보여주고, 원소 정보를 통해 생산 관리를 최적화하며, 공구 품질 관리에 필요한 신뢰할 수 있는 데이터를 제공합니다.

### 3.3.3 텡스텐 합금 리벳 마스터 로드의 품질 평가에서 밀도 시험의 중요성

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 품질 평가에서 밀도 시험은 전체적인 치밀화 및 미세구조 균일성을 직접적으로 나타내는 지표로서 중요한 역할을 합니다. 이 시험은 소결 및 가공 후 맨드릴의 체적 특성이 요구 조건을 충족하는지 여부를 판단하는 데 도움이 됩니다. 밀도는 텡스텐 입자가 결합재로 채워진 정도를 반영합니다. 고밀도 맨드릴은 기공이 적고, 관성 반력이 강하며, 리벳 체결 시 에너지 전달이 집중되고, 리벳 변형이 균일합니다. 저밀도 맨드릴은 잔류 기공이 존재하고, 강도 분포가 불균일하며, 사용 중 국부적인 함몰이나 피로 손상이 발생하기 쉽습니다.

밀도 측정은 일반적으로 아르키메데스 방법이나 기체 치환법을 사용하며, 여러 지점에서 시료를 채취하여 봉의 균일성을 평가합니다. 양 끝단과 중앙 부분의 밀도 차이가 작으면 소결 재배열이 충분히 이루어졌음을 나타냅니다. 화학적으로 밀도는 조성비와 관련이 있으며, 텡스텐 함량이 높을수록 이론적 밀도가 높아집니다. 측정값의 편차는 편석이나 불순물의 존재를 보여줍니다. 밀도 측정 결과는 공정 조정에 활용됩니다. 소결이 불충분한 경우, 유지 시간을 연장하거나 추가적인 열을 가하여 등방압 성형을 수행하면 상단 봉의 기계적 특성을 개선할 수 있습니다.

시험에서는 열처리 효과도 평가했습니다. 어닐링 후 밀도의 미미한 변화는 응력 해소를 반영하며, 맨드릴의 치수는 안정적으로 유지되었습니다. 표면 가공 후 밀도 시험을 통해 재료 손실이 없고 맨드릴 품질이 일관적임을 확인했습니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 품질 평가에서 밀도 시험의 중요성은 체적 특성을 종합적으로 반영한다는 점에 있습니다. 수치 비교를 통해 신뢰할 수 있는 공구 선택을 지원하고 리벳팅 작업에 대한 품질 기준을 제공합니다. 밀도의 안정적인 관리는 맨드릴의 대량 생산을 위한 기반을 마련하고 각 공구에 대한 균형 잡힌 지지 성능을 보장합니다.

### 3.3.4 텡스텐 합금 리벳 상단 바의 내부 결함 검출을 위한 시험 기술

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 내부 결함을 탐지하기 위한 비파괴 검사(NDT) 기술에는 주로 초음파, X 선 및 와전류 방법이 사용됩니다. 이러한 방법들은 맨드릴에 손상을 주지 않고 기공, 균열 또는 개재물을 검출하여 품질 관리 및 잠재적 결함 방지에 도움을 줍니다. 초음파 검사는 음파와 반사를 이용하여 내부의 불연속성을 찾아내고, 막대 모양의 맨드릴에 종파를 스캔하여 축 방향 결함을 검출하며, 화학적 방법으로는 계면 반사 강도를 이용하여 기공과 균열을 구분합니다. X 선 투과 이미징은 밀도 차이를 나타내어 맨드릴 내부의 저밀도 영역을 명확하게 보여주므로 배치 검사에 적합합니다.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

와전류 검사는 표면 또는 표면 근처의 결함을 탐지합니다. 프로브는 전도성이 우수하며, 와전류 교란을 통해 미세 균열이나 편석을 확인할 수 있습니다. 검사 과정은 시료의 청결도를 유지하고, 프로브 경로를 완벽하게 커버하며, 각도 스캐닝을 통해 검사 범위를 넓힙니다. 이 검사법은 심부 초음파 검사, 전체 X 선 분포 분석, 와전류 표면 감도 분석 등 다양한 비파괴 검사 기법을 결합한 것입니다.

시험 결과는 재작업 방향을 제시하며, 불량 맨드릴은 열간 등방압 성형을 통해 수리하거나 제거합니다. 맨드릴 내부를 세척한 후에는 충격 인성이 안정적으로 유지됩니다. 높은 화학적 순도는 오탐지를 줄이고 결함 탐지 감도를 향상시킵니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 내부 결함을 탐지하는 비파괴 검사 기술은 비파괴 검사를 통해 제공되는 재료 품질 보증을 입증합니다. 다양한 방법을 함께 활용함으로써 공구의 내부 품질을 보장하고 리벳팅 지지대의 결함 관리를 위한 기반을 마련합니다. 결함 탐지 데이터의 축적은 공정 피드백 루프의 토대를 구축하여 맨드릴 배치 생산의 안전한 수행을 보장합니다.

### 3.4 텅스텐 합금 리벳 탑 로드 제조를 위한 혁신적인 방법

텅스텐 합금 리벳 맨드릴 제조를 위한 혁신적인 방법은 주로 기존 분말 야금 기술을 확장하고 새로운 성형 기술을 도입하는 데 중점을 두고 있습니다. 이러한 혁신은 복잡한 형상, 작은 크기, 배치 맞춤 생산 등 기존 공정의 한계를 극복하여 생산 유연성과 재료 활용도를 향상시킵니다. 혁신적인 방법에는 사출 성형과 적층 제조가 포함되며, 이러한 기술들은 텅스텐 합금의 밀도와 경도라는 장점을 유지하면서 맨드릴의 설계 가능성을 넓혀줍니다. 사출 성형은 공급 흐름을 통해 거의 최종 형상에 가까운 성형을 가능하게 하고, 적층 제조는 임의의 형상을 적층 및 제작할 수 있도록 합니다.

이 혁신적인 접근 방식의 원동력은 리벳 공구의 다양한 요구 사항에 있습니다. 기존의 프레스 및 소결 방식은 표준 막대형 부품에 적합한 반면, 새로운 방법은 불규칙한 모양이나 소형 맨드릴에 적용할 수 있습니다. 화학적으로, 이 혁신적인 방법은 텅스텐 입자가 지지 골격을 제공하고 결합상 역할을 하는 2 상 구조를 유지합니다. 또한, 이 공정 혁신은 폐기물과 에너지 소비를 줄여 환경 보호에도 기여합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 제조를 위한 이 혁신적인 방법은 최신 소재 성형 트렌드를 반영하여 기술 통합을 통해 맞춤형 공구 개발을 지원하고 조립 분야에 더 많은 선택지를 제공합니다.

#### 3.4.1 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 생산에 있어 사출 성형의 잠재력

텅스텐 합금 리벳 맨드릴 생산에 있어 사출 성형의 주된 장점은 복잡한 형상 구현과 거의 최종 형상에 가까운 성형이 가능하다는 점입니다. 이 방법은 텅스텐 합금 분말을 유기 바인더와 혼합하여 원료를 만든 후, 고압으로 금형에 주입하여 성형체를 형성하고, 탈바인더 및 소결 공정을 거쳐 최종 제품을 얻는 방식으로 진행됩니다. 원료 준비 과정에서 높은 분말 함량을 확보하고, 약스케 또는 고분자 바인더와 같은 바인더를 사용하여 유동성과 강도를 향상시킵니다. 화학적으로 바인더는 입자들을 감싸 분리를 방지하는 역할을 합니다. 온도와 압력과 같은 사출 매개변수는 원료의 점도에 맞춰

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

조정되며, 금형은 단면 흄이나 측면 구멍 등을 정밀하게 설계하여 원스텝 성형이 가능하고 후속 공정을 최소화합니다.

사출 성형의 잠재력은 이젝터 핀의 형상 맞춤 제작 가능성에 있습니다. 기존 프레스 성형 방식으로는 구현하기 어려운 다단계 오목면이나 내부 형상 등을 사출 성형을 통해 손쉽게 제작할 수 있습니다. 또한, 특수 리벳의 변형에 대한 적응성이 뛰어납니다. 얇은 벽 또는 슬림형 이젝터 핀은 균일한 벽 두께와 높은 밀도를 자랑합니다. 사출 성형은 소량 생산에 적합하고, 금형 교체가 빠르며, 다양한 리벳팅 장비에 맞춰 유연하게 사양을 조정할 수 있습니다. 탈바인더 공정은 용매열 복합 바인더 제거 방식을 사용하며, 소결 후 수축률을 제어할 수 있어 우수한 치수 정밀도를 확보할 수 있습니다.

이 방법의 생산 잠재력은 향상된 효율성에서도 나타납니다. 자동 사출 성형기는 짧은 사이클 타임으로 연속 작동이 가능하여 중규모 생산에 적합합니다. 또한, 이 재료는 화학적 안정성이 우수하고 원료에 첨가제 잔류물이 적어 이젝터 핀의 성능에 영향을 미치지 않습니다. 텅스텐 합금 리벳 이젝터 핀 생산에 있어 사출 성형의 잠재력은 금형 설계에 새로운 가능성을 열어주며, 유동 성형을 통해 복잡한 기능을 구현할 수 있도록 지원하고 정밀 리벳팅 분야에서 유망한 응용 가능성을 보여줍니다. 이 방법의 개발은 또한 원료 배합의 최적화를 촉진하여 이젝터 핀 미세 구조의 균일성을 더욱 향상시켰습니다.

### 3.4.2 적층 제조 기술이 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 맞춤 제작에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 맞춤형 제작에 사용되는 적층 제조 기술은 주로 적층 구조를 통해 임의의 형상과 내부 구조를 구현하는 데 중점을 둡니다. 선택적 레이저 용융(SLM) 또는 바인더 스프레이와 같은 기술은 금형 없이 텅스텐 합금 분말을 충별로 선택적으로 응고시켜 맨드릴을 형성합니다. 분말 베드 융합 방식에서는 입자의 레이저 용융으로 화학적 용융이 일어나 소결과 유사하게 국부적인 고온 액상 습윤이 발생하여 충간 강력한 야금학적 결합을 형성합니다. 바인더 스프레이 후 소결 및 탈 바인더 공정은 복잡한 중공 또는 경사형 맨드릴에 적합합니다.

이러한 기술의 핵심은 높은 수준의 맞춤 제작 자유도에 있습니다. 이를 통해 이젝터 핀 단면이나 내부 냉각 채널에 미세한 질감을 직접 구현하거나, 열 방출 또는 진동 감소를 위해 리벳팅을 최적화할 수 있습니다. 기존 공정으로는 제작하기 어려웠던 다기능 이젝터 핀을 디지털 모델을 통해 신속하게 반복 제작할 수 있어 설계 주기를 단축할 수 있습니다. 적층 제조는 소량 생산에 적합하며, 장비에 맞춰 이젝터 핀 사양을 정확하게 조정하여 금형 낭비를 줄입니다. 기술적 영향은 재료 활용 측면에서도 나타나는데, 높은 분말 회수율과 거의 최종 형상에 가까운 맨드릴 제작으로 가공 시간을 단축할 수 있습니다. 화학적으로는 충간 확산이 균일하여 기존 맨드릴과 유사한 특성을 지닌 조밀한 맨드릴 미세구조를 얻을 수 있습니다. 경사 조성 설계가 가능하여 맨드릴의 표면 경도를 높이고 중심부 인성을 향상시킬 수 있습니다. 적층 제조 기술은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 맞춤 제작에 혁명을 일으켜 공구 생산에 혁신을 가져왔으며, 적층을 통한 통합적인 기능 혁신을 지원하고 특수 리벳팅 용도에 적합한 유연한 솔루션을 제공합니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 제 4 장 텅스텐 합금 리벳 봉의 물리적 특성

### 4.1 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 밀도 및 열적 특성

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 밀도와 열적 특성은 물리적 성능의 핵심 요소이며, 리벳팅 과정에서 관성 반력, 에너지 전달 및 온도 적응성에 직접적인 영향을 미칩니다. 높은 밀도는 맨드릴의 질량을 집중시켜 충격 시 안정적인 지지력을 제공합니다. 열팽창 및 열전도율을 포함한 열적 특성은 국부적인 가열이나 주변 온도 변화에 따른 맨드릴의 치수 및 성능 유지에 중요한 역할을 합니다. 텅스텐 합금의 2 상 구조는 이러한 특성을 부여하는데, 텅스텐 상은 고밀도 기반을 제공하고, 결합체 상은 열팽창 계수의 일치를 조절합니다.

밀도와 열적 특성의 균형 잡힌 설계 덕분에 리벳 맨드릴은 다양한 리벳팅 조건에 적응할 수 있습니다. 고밀도 맨드릴은 관성이 높아 무거운 하중에 적합하며, 열전도율이 우수한 맨드릴은 열을 빠르게 발산하여 온도 상승을 줄여줍니다. 특성 시험을 통해 재료를 선정하며, 균일한 밀도는 일정한 반력을 보장하고, 낮은 열팽창률은 정확한 체결을 가능하게 합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 밀도와 열적 특성은 재료의 물리적 특성을 엔지니어링에 적용한 결과입니다. 특성 최적화는 조립 과정에서 공구의 안정적인 성능을 뒷받침하고 리벳팅 작업에 신뢰할 수 있는 기반을 제공합니다.

#### 4.1.1 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 밀도 측정 원리

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 밀도 측정 원리는 주로 부피 변위와 질량 계산에 기반합니다. 이 원리를 통해 맨드릴의 밀도와 미세구조 균일성을 평가하고, 리벳팅 지지 시 관성 성능을 판단할 수 있습니다. 일반적으로 아르키메데스 방법을 사용하는데, 이 방법에서는 맨드릴을 액체에 담그고 부력 차이를 이용하여 부피를 계산한 후, 질량으로부터 밀도를 구합니다. 화학적으로 액체는 합금과 반응하지 않는 것을 선택하여 표면 용해로 인한 정확도 저하를 방지합니다. 막대 모양 맨드릴의 다점 측정을 통해 축 방향 균일성을 평가하며, 양 끝과 중심부의 밀도가 일정하면 충분한 소결 재배열이 이루어졌음을 나타냅니다.

측정 원리에는 기체 치환법 변형도 포함되는데, 이는 불활성 기체로 채워진 용기 내부의 압력 변화를 통해 부피를 측정하는 방식으로, 표면 민감도가 높은 맨드릴에 적합합니다. 이 원리의 핵심은 정확한 부피 측정에 있으며, 규칙적인 형상의 맨드릴에는 직접적인 기하학적 계산이 사용되고, 불규칙적인 형상에는 치환법이 더 적합합니다. 질량 측정에는 정밀 저울이 사용되며, 액체 밀도 보정에는 주변 온도가 활용됩니다. 밀도 측정 원리를 적용하면 공정 효과를 파악할 수 있는데, 불충분한 소결은 낮은 밀도를 초래하고, 고온 등방압 성형(HIP)은 밀도를 증가시킵니다.

マンド릴의 품질 관리에 매우 중요합니다. 높은 밀도는 강한 관성 반력과 균일한 리벳 변형을 가져옵니다. 순도는 측정에 영향을 미치며, 불순물과 기공은 측정값을 감소시킵니다. 맨드릴 길이를 분할하여 측정하면 오차를 줄일 수 있습니다. 텅스텐 합금

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

리벳 맨드릴의 밀도 측정 원리는 체적 특성에 대한 정량적 기반을 제공하고, 치환 계산을 통해 공구 관성 평가를 지원하며, 리벳팅 작업에 실질적인 참고 자료를 제공합니다.

#### 4.1.2 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 안정성에 대한 열팽창 계수의 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 안정성에 대한 열팽창 계수의 영향은 주로 온도 변화에 따른 크기와 형상 유지 능력에 반영됩니다. 이러한 특성 덕분에 국부적인 마찰열 발생이나 주변 온도 변화 시에도 맨드릴이 리벳 테일에 밀착되어 틈이나 과압을 방지할 수 있습니다. 텅스텐 합금은 열팽창 계수가 낮고, 텅스텐 상이 대부분을 차지하여 부피 변화가 작으며, 결합상이 전체 열팽창 계수를 조절하는 역할을 합니다. 따라서 가열 시 맨드릴의 길이 증가가 제한적이고 작업면의 평탄도가 잘 유지됩니다.

이러한 성능 향상 메커니즘은 2 상 상호작용에서 나타납니다. 텅스텐 입자는 바인더 상의 팽창을 억제하고, 계면 응력을 통해 열 변형을 화학적으로 완충하며, 열 순환 후 맨드릴이 원래 위치로 복귀하도록 합니다. 낮은 열팽창 계수는 열 응력 균열을 줄여주며, 맨드릴은 반복 사용에도 뛰어난 안정성을 유지합니다. 리벳팅 가열 과정에서 맨드릴의 팽창이 최소화되어 정확한 리벳 위치 선정과 안정적인 접합 품질을 보장합니다.

열팽창 계수의 영향은 장비 호환성에도 영향을 미칩니다. 맨드릴과 리벳 건 사이의 열적 일치가 양호해야 안정적인 조립이 보장됩니다. 조성 조정을 통해 열팽창 계수의 영향을 최적화할 수 있으며, 몰리브덴을 첨가하면 계수를 더욱 낮출 수 있습니다. 열처리를 통해 미세구조를 균일화하여 열팽창 계수의 영향을 더욱 균형 있게 조절할 수 있습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 안정성에 대한 열팽창 계수의 영향은 재료의 열물리적 특성에 대한 지지력을 반영합니다. 저팽창 설계는 공구의 온도 적응성을 최적화하여 리벳팅 환경에서 치수 신뢰성을 확보하는 기반을 제공합니다.

#### 4.1.2.1 고온 조건에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 열적 거동

고온 조건에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 치수 변화, 미세 구조 변화 및 표면 산화 경향을 나타냅니다. 이러한 현상은 국부적인 마찰열이나 고온 리벳팅 조건에서 두드러지게 나타나며, 맨드릴의 형상 유지력과 지지 정밀도에 영향을 미칩니다. 텅스텐 상의 높은 융점은 맨드릴의 전체적인 연화 온도를 상대적으로 높게 만듭니다. 바인더 상은 고온에서 유동하며 텅스텐 입자들을 결합시킵니다. 열팽창은 미세 응력을 발생시키지만, 계면 결합이 이 응력을 완충하여 큰 변형을 방지합니다. 맨드릴의 작업면이 가열됨에 따라 표면 에너지가 증가하고, 텅스텐 입자가 약간 조대화되며, 바인더 상의 확산은 계면 균일성을 촉진합니다.

열적 거동에는 열피로 반응, 반복적인 가열 및 냉각 중 결정립계 이동, 맨드릴 내의 미미한 결정립 성장(열처리로 제어 가능), 고온에서의 화학적 확산, 맨드릴 표면에 얹은 산화막 형성, 결합재 상의 우선적인 반응과 텅스텐 상에 의한 전반적인 보호, 고온에서의 열 방출을 돋는 열전도율, 맨드릴 내의 완만한 온도 구배, 그리고 균일한 열응력 분포 등이 포함됩니다. 고온 조건에서의 맨드릴의 열적 거동은 열간 가공 리벳팅에 적합하며,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

리벳 성형 중 맨드릴의 반력은 안정적입니다.

열적 거동에는 조성비가 포함되는데, 텅스텐 함량이 높을수록 열 안정성이 강해지고, 구리 함량이 높을수록 열 방출 속도가 빨라집니다. 열처리를 통해 미세구조를 최적화하고, 고온 어닐링을 통해 응력을 해소하며, 열 사이클링 후에도 맨드릴의 복원력이 우수합니다. 표면 코팅 또는 부동태화 처리는 고온에서 추가적인 보호 기능을 제공하여 산화로 인한 손실을 줄입니다. 고온 조건에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 열적 거동은 내화복합재료의 온도 적응성을 보여주며, 상간 시너지 효과를 통해 공구의 치수와 성능을 유지함으로써 고온 조립 공정에서 실질적인 가치를 제공합니다.

#### 4.1.2.2 저온 환경에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 반응

저온 환경에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 취성 전이 경향과 치수 수축 현상을 나타냅니다. 이러한 현상은 냉간 리벳팅이나 저온 조립 시 발생하며, 맨드릴의 충격 인성과 맞춤 정밀도에 영향을 미칩니다. 텅스텐 상의 체심 입방 구조는 저온에서 슬립시스템이 적은 반면, 결합재 상의 면심 입방 구조의 연성은 이러한 현상을 조화롭게 유지하는 데 도움을 줍니다. 맨드릴의 전체적인 취성 전이 온도는 비교적 낮아 급격한 파손을 방지합니다. 저온 수축 시 텅스텐의 낮은 열팽창 계수로 인해 맨드릴의 치수 변화가 작아 리벳과의 밀착성이 우수합니다.

이러한 특성에는 열 응력 해소, 저온에서의 잔류 응력 완화, 그리고 맨드릴 내부 미세균열의 자가 치유 경향 향상이 포함됩니다. 화학적으로, 저온에서의 산소 활성은 맨드릴 표면의 산화를 느리게 하여 매끄러운 마감을 유지합니다. 저온에서의 충격 에너지 흡수는 결합재의 변형을 통해 이루어지며, 이는 일관된 맨드릴 반력과 균일한 리벳 형성을 가능하게 합니다. 저온 환경에서의 맨드릴의 반응은 냉간 가공 리벳팅에 적합하며, 낮은 작동 온도에서도 안정적인 장비 하중을 보장합니다.

반응에 영향을 미치는 요인으로는 조성 조정이 있습니다. 니켈 함량이 높을수록 저온 인성이 향상되고, 철을 첨가하면 변태 온도가 조절됩니다. 저온 시효 열처리는 석출물을 강화하고 맨드릴의 취성 저항성을 개선합니다. 표면 처리는 응축 부식을 방지하여 저온 보관 중 맨드릴의 안정성을 보장합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 저온 환경에서의 반응은 복합 재료의 넓은 온도 적응성을 보여주며, 구조적 조화를 통해 공구의 기계적 성능을 유지하고 냉간 조립에서 안정적인 지지력을 제공합니다.

#### 4.1.3 텅스텐 합금 리벳 상단 막대에 대한 시차주사열량측정법의 적용

시차주사열량측정법(DSC)은 주로 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 열변환 거동 및 상변환 특성을 분석하는 데 사용됩니다. 이 방법은 시료와 기준 물질 간의 열 흐름 차이를 비교하여 온도 변화에 따른 맨드릴의 흡열 또는 발열 과정을 밝혀내며, 열처리 공정 최적화 및 고온 안정성 평가에 도움을 줍니다. 시험 중에는 작은 맨드릴 시료를 기기 도가니에 넣고 불활성 기준 물질과 동시에 가열 또는 냉각합니다. 열 흐름 곡선을 기록하고, 결합재 상의 용융 또는 석출과 같은 화학적 상변환은 곡선상의 피크 변화로

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

나타납니다.

맨드릴의 재결정 온도를 확인하는 데 사용되어 어닐링 매개변수를 설정하고 결정립 조대화를 유발할 수 있는 과도하게 높은 온도를 방지합니다. 용체화 처리 온도는 곡선의 흡열 피크에서 결정되며, 이는 맨드릴 내 합금 원소의 용해 거동을 명확하게 보여줍니다. 시효 석출물의 발열 피크 분석은 강화상의 형성을 나타내며, 맨드릴의 강도 향상 메커니즘을 검증합니다. 고온 안정성 평가는 용융점 부근의 열 흐름을 관찰하여 수행되며, 고온 리벳팅 조건에서 맨드릴의 연화 경향을 예측합니다.

이 방법은 불순물의 영향을 연구하는 데에도 사용됩니다. 잔류 산소 또는 탄소는 추가적인 피크를 유발하며, 이를 통해 맨드릴 순도 관리에 도움이 됩니다. 곡선 적분을 사용하여 엔탈피 변화를 계산하고, 맨드릴의 열용량 변화를 정량화할 수 있습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 시차주사열량계(DSC)를 적용하면 상세한 열적 거동 정보를 얻을 수 있고, 상변화 분석을 통해 공정 온도를 합리적으로 설정할 수 있으며, 재료 열 관리에 대한 실험적 근거를 제공합니다. 이 방법의 높은 감도 덕분에 미세한 상변화까지 포착할 수 있어 맨드릴 성능 최적화를 위한 온도 기반 관점을 제시합니다.

#### 4.1.4 열전도율 측정을 기반으로 한 텅스텐 합금 리벳 상단 로드의 정량화

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 열전도율 측정에는 주로 정상상태 또는 과도상태 측정법이 사용됩니다. 이러한 측정은 리벳팅 과정에서 발생하는 열로부터 맨드릴의 열 방출 능력을 평가하고, 열 부하 조건에서의 재료 선택에 도움을 줍니다. 정상상태 측정법은 맨드릴의 한쪽 끝을 가열하고 다른 쪽 끝을 냉각하여 온도 구배와 열 흐름을 측정하는 방식입니다. 맨드릴 시료의 축 방향 시험은 실제 열 전달을 반영합니다. 레이저 섬광법과 같은 과도상태 측정법은 한쪽 면에 펄스 가열을 가하고 반대쪽 면의 온도 상승을 기록하여 열전도율을 계산합니다.

정량적 결과는 조성의 영향을 반영합니다. 구리 함량이 높을수록 열전도율이 높아지고 맨드릴의 국부적인 온도 상승이 낮아져 연속 리벳팅에 적합합니다. 텅스텐 함량이 높은 맨드릴은 열전도율은 비교적 낮지만 열용량이 커서 최고 온도를 완충하는 역할을 합니다. 시료 준비를 위해 맨드릴의 일부를 잘라내는데, 매끄러운 표면은 접촉 열 저항을 줄여줍니다. 화학적으로 깨끗한 계면은 측정에 영향을 미치는데, 불순물 산란은 열전도율을 감소시키기 때문입니다.

정량적인 열전도율 측정은 적용 분야에 중요한 지침을 제공합니다. 열전도율이 높은 맨드릴은 열을 빠르게 발산하여 리벳을 균일하게 냉각시키고, 열전도율이 낮은 맨드릴은 단열 성능이 우수하여 고온 리벳팅에 적합합니다. 또한 측정은 열처리 효과를 평가하여 어닐링 후 균일한 미세구조와 일관된 열전도율을 보장합니다. 길이가 다양한 맨드릴의 경우, 끝단 효과를 방지하기 위해 여러 구간에 걸쳐 측정하고 평균값을 계산합니다. 열전도율 측정은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 열 전달 성능을 정량화하는 기반을 제공하며, 수치 비교를 통해 열 적응을 위한 공구 선택을 지원하여 리벳팅 열 관리에서 중요한 역할을 합니다. 체계적인 측정 방식을 통해 맨드릴 배치 간의 열적 거동을 비교할 수

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

있으므로 공정 개선을 위한 정량적 피드백을 제공합니다.

#### 4.1.5 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 열 관리에서 비열 용량의 역할

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 열 관리에서 비열 용량은 주로 충격으로 발생하는 열을 흡수하고 완충하는 능력에 반영됩니다. 이는 리벳팅 과정에서 맨드릴의 온도 상승을 제어하여 형상이나 성능에 영향을 줄 수 있는 국부적인 과열을 방지하는 데 도움이 됩니다. 비열 용량이 높을수록 맨드릴의 열 흡수량이 많아지고, 동일한 에너지 투입량에 대한 온도 변화 폭이 작아지며, 작업 표면의 온도 상승이 더욱 완만해지고, 리벳 성형 중 열영향부가 작아집니다. 텡스텐 합금은 비열 용량에 크게 기여하므로 맨드릴의 전체 비열 용량이 높고 연속 작동 중 열 축적이 느립니다.

작용 메커니즘은 에너지 분포에 반영됩니다. 충격 운동 에너지의 일부가 열로 변환되고, 비열 용량이 높을수록 열이 분산되어 맨드릴 내부의 온도 구배가 완만해집니다. 화학적으로, 2 상 구조는 시너지 효과를 발휘하여 텡스텐 입자는 열을 저장하고 바인더 상은 열을 전달 함으로써 맨드릴 내부에서 빠른 열 평형을 이룹니다. 비열 용량은 열 순환 안정성에도 영향을 미칩니다. 반복적인 리벳팅 과정에서 맨드릴은 최소한의 치수 변화로 빠르게 실온으로 회복됩니다.

열 관리 측면에서, 높은 비열 용량을 가진 맨드릴은 고빈도 또는 고하중 리벳 작업에 적합하며, 우수한 온도 상승 제어와 쾌적한 작업 환경을 제공합니다. 조성 조절은 중요한 역할을 하는데, 텡스텐 함량이 높을수록 비열 용량이 커지고, 구리 함량이 높을수록 열전도율이 향상되어 열 방출이 용이해집니다. 열처리를 통해 미세구조가 균일해져 비열 용량 분포가 일정해집니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 열 관리에서 비열 용량의 역할은 재료의 열용량 완충 기능을 보여줍니다. 텡스텐의 흡열 특성을 통해 공구 온도 제어를 지원하고 리벳 작업에서 열적으로 안정적인 기반을 제공합니다. 이러한 향상된 성능 덕분에 맨드릴은 더 다양한 작업 조건에 적응할 수 있어 작업 편의성이 향상됩니다.

#### 4.2 텡스텐 합금 리벳 상단의 전기적 및 자기적 특성

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 전기적 및 자기적 특성은 주로 구성 성분에 의해 영향을 받습니다. 이러한 특성은 공구로서 맨드릴의 주요 기능은 아니지만, 특정 조립 환경이나 보조 작업에서 참고 자료로 유용하게 활용될 수 있습니다. 전기적 특성은 주로 전도도로 나타나며, 자기적 특성은 결합상 원소의 강자성 여부에 따라 달라집니다. 텡스텐 자체는 적당한 전기 및 열 전도도를 가지고 있으며, 합금 후 결합상이 전체적인 전도도와 열전도도를 조절합니다. 텡스텐-니켈-구리계는 비자성이면서 우수한 전기 전도도를 가지는 반면, 텡스텐-니켈-철계는 상당한 자성을 나타내며 전도도는 다소 낮습니다.

전기적 및 자기적 특성 분석은 전자 조립 시 자기 간섭 방지 및 정전기 방전을 위한 전도성 제공과 같은 특정 용도에 적합한 맨드릴을 선택하는 데 도움이 됩니다. 특성 테스트는 구성 설계에 대한 지침을 제공하며, 텡스텐-구리 변형은 강한 전도성을 나타내는 반면, 텡스텐-철 변형은 클램핑에 적합한 자성을 지닙니다. 텡스텐 합금 리벳

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

맨드릴의 전기적 및 자기적 특성은 보조 요소의 재료 변조를 반영하며, 이러한 특성 차이는 공구의 다양한 적용 분야를 지원하고 리벳팅 작업에 추가적인 적응성을 제공합니다.

#### 4.2.1 텅스텐 합금 리벳 상단 막대의 전도성

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 전도성은 주로 결합상 종류와 분포에 따라 달라집니다. 필수적인 요건은 아니지만, 이는 정전기 축적 및 열전도율에 영향을 미칩니다. 텅스텐 자체는 적당한 전도성을 가지고 있지만, 합금 내에 연속적인 구리 상 네트워크가 존재하면 전도성이 향상되어 전류 전달이 원활해지고 맨드릴 표면에서 정전기가 쉽게 소산되어 조립 과정에서 먼지나 스파크가 흡착되는 것을 방지합니다. 니켈-철 시스템은 상대적으로 전도성이 낮지만, 기계적 지지 용도로는 충분합니다.

이 메커니즘은 구리상이 틈새를 채워 채널을 형성하는 유사 합금 구조에서 나타나며, 이는 전자 이동에 대한 저항을 낮추고 상부 막대의 축 방향 전도도를 균일하게 만듭니다. 소결 후 계면은 깨끗하고 전도 경로는 연속적입니다. 열간 가공 및 압연을 통해 구리상이 들어나면서 전도도에 약간의 이방성이 나타나고 상부 막대의 전체 저항이 낮아집니다. 표면 연마는 산화층을 감소시켜 안정적인 전도도를 유지합니다.

전도성은 열 관리에도 영향을 미칩니다. 전류가 흐를 때 줄 발열이 적어 맨드릴의 온도 상승 속도가 느려집니다. 우수한 화학적 안정성 덕분에 습한 환경에서도 맨드릴의 전도성이 저하되지 않습니다. 텅스텐-구리 합금 맨드릴은 더욱 뛰어난 성능을 보여주며, 전자 클린룸에서 탁월한 정전기 제어 기능을 제공합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 전도성은 공구에 전기적 보조 기능을 제공하고, 채널 최적화를 통해 조립 환경에 대한 적응성을 높이며, 리벳 작업에 실질적인 이점을 제공합니다.

#### 4.2.2 텅스텐 합금 리벳 상단 적용에 대한 자기 매개변수의 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 자기적 특성은 주로 철의 첨가로 인한 강자성에서 비롯됩니다. 이러한 특성은 특정 조립 공정에서 위치 고정이나 클램핑을 용이하게 해줍니다. 텅스텐-니켈-철 시스템은 상당한 자성을 띠어 자성 공구에 끌리므로 작업 중 고정이나 교체가 간편하며, 특히 수동 리벳팅 작업 시 안정적인 위치 고정을 제공합니다. 반면, 텅스텐-니켈-구리 시스템은 비자성이므로 전자 기기나 정밀 기기 조립 시 자기장 간섭을 방지하여 부품의 손상을 막아줍니다.

이 메커니즘은 결합상 고용체에 반영되어 있는데, 여기서 철과 니켈은 적당한 자화를 갖는 강자성상을 형성하여 맨드릴에 잔류 강자성 없이 약한 자성을 부여합니다. 탈자 또는 시효 처리를 위한 열처리를 통해 자성 수준을 제어할 수 있으므로 맨드릴을 다양한 용도로 활용할 수 있습니다. 또한, 자기 매개변수 설계에는 진동 환경에서의 자기 감쇠를 고려하여 맨드릴의 미세 진동 흡수율을 향상시키는 것도 포함됩니다.

응용 분야: 자성 맨드릴은 기계식 라인 보조 위치 지정에 적합한 반면, 비자성 맨드릴은

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

민감한 장비에 사용됩니다. 화학적 순도는 철 함량으로 제어되며, 자성 특성 또한 제어 가능합니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴 응용 분야에서 자성 매개변수의 영향은 보조 요소의 실질적인 조절 가능성을 보여주며, 자성 차이를 통해 공구 작동의 용이성을 지원하고 다양한 조립 시나리오에서 선택 옵션을 제공합니다.

#### 4.2.3 텡스텐 합금 리벳 탑 로드의 전기적 안정성에 대한 저항 온도 계수의 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 전기적 안정성에 대한 저항 온도 계수(TCR)는 주로 온도 변화에 따른 저항 거동 조절에 반영됩니다. 이러한 영향은 가변 온도 리벳팅 환경에서 맨드릴의 전도성과 잠재적인 정전기적 반응을 이해하는 데 도움이 됩니다. TCR은 온도가 증가함에 따라 저항이 변화하는 경향을 나타냅니다. 텁스텐 합금 맨드릴에서 TCR은 텁스텐 상과 바인더 상에 의해 공동으로 결정됩니다. 텁스텐 상은 양의 TCR 값을 가지지만 그 값이 낮고, 구리나 니켈과 같은 바인더 상은 더 높은 계수를 가집니다. 전반적으로 TCR은 양의 값을 가지며, 저항은 온도가 증가함에 따라 증가합니다. 맨드릴의 전기적 안정성은 온도 변동 하에서 나타납니다. TCR이 낮으면 저항 변화가 작고, 전도 경로가 연속적으로 유지되며, 온도에 따른 저항 급변이 정전기 방전과 같은 보조 기능에 영향을 미치지 않습니다.

영향 메커니즘은 2상 상호작용에서 나타납니다. 텁스텐 입자로부터의 전자 산란은 온도가 증가함에 따라 증가하고, 바인더 상의 캐리어 농도 변화는 전체 저항률을 조절합니다. 열처리는 미세구조를 균일화하여 일관된 계수 분포와 상부 로드의 안정적인 축 방향 저항률을 가져옵니다. 조성 조정은 계수에 영향을 미칩니다. 구리 상이 풍부할수록 계수는 구리의 선형 응답에 가까워지고, 상부 로드의 전도도는 온도 변화에 더욱 안정적입니다. 고온에서 표면 산화층이 형성되면 계수가 약간 증가하지만, 코팅의 보호 효과가 감소하여 상부 로드의 전기적 특성은 변하지 않습니다. 저항 온도 계수(TCR)의 영향은 맨드릴의 열 관리를 평가하는 데에도 사용됩니다. 낮은 TCR은 열적으로 발생하는 저항이 작아지고 맨드릴의 온도 상승이 자체적으로 제한됨을 의미합니다. 저온에서 TCR은 양수이며, 이는 저항 감소를 나타내지만 취성과 직접적인 관련은 없습니다. 합금 최적화를 위해 4 탐침법을 이용하여 TCR(온도저항계수)을 측정하였다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 전기적 안정성에 미치는 TCR의 영향은 온도 반응에 대한 재료적 관점을 제공한다. TCR을 조정함으로써 공구의 전도도 적응성을 향상시켜 리벳팅 온도 변화 시 안정적인 기반을 마련할 수 있다.

#### 4.2.4 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 히스테리시스 루프 분석 관찰

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 히스테리시스 루프 분석은 주로 자기적 거동과 잔류 자화를 평가하는 데 사용되며, 자기장 환경에서 맨드릴의 반응과 위치 결정 가능성을 이해하는 데 도움이 됩니다. 히스테리시스 루프는 외부 자기장에 대한 자화의 주기적인 곡선을 나타냅니다. 텁스텐 합금 맨드릴에서 이는 결합재 상의 강자성에 의해 결정되며, 텁스텐 상은 비자성입니다. 니켈-철 시스템에서는 보자력과 잔류 자화가 크기 때문에 히스테리시스 루프가 넓게 나타나는 반면, 비자성인 텁스텐-구리 시스템에서는 히스테리시스 루프가 좁고 거의 선형적입니다. 관찰은 진동 시료 자력계를 사용하여

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

수행되며, 맨드릴 시료를 교류 자기장에 놓고 자화 곡선을 기록합니다.

관찰 메커니즘은 위상 자기에 반영됩니다. 철상에서 자기 도메인 벽의 이동은 히스테리시스를 발생시키고, 상부 로드가 포화 자화된 후 잔류 자기가 작아 자기 클램핑이 용이해집니다. 열처리는 히스테리시스 루프 형상을 조절하고, 시효 처리는 자기 도메인 벽의 고정을 더욱 정밀하게 합니다. 히스테리시스 루프 면적의 변화는 미세 구조의 균일성을 반영합니다. 조성 또한 관찰에 영향을 미칩니다. 철 함량이 높으면 히스테리시스 루프가 넓어지고 상부 로드의 자기 반응이 강해집니다. 구리계는 히스테리시스 루프가 좁고 상부 로드의 자기 간섭이 적습니다. 히스테리시스 루프 분석은 맨드릴 품질 관리에 활용됩니다. 비정상적인 루프는 편석이나 결함을 나타내어 균일한 혼합을 위한 공정 방향을 제시합니다. 잔류 자기 관찰은 전자 조립에서 맨드릴의 자기 적합성을 평가하는 데 사용되며, 루프 폭이 좁을수록 적합합니다. 표면 처리는 루프에 직접적인 영향을 미치지는 않지만, 코팅은 자기장을 차단하는 역할을 합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 히스테리시스 루프 분석은 자기적 특성에 대한 정량적 관점을 제공하여 곡선 특성을 통해 공구의 자기적 선택을 지원하고 특수 조립품에 대한 실질적인 통찰력을 제공합니다.

#### 4.3 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 광학적 및 방사선 특성

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 표면 조성과 미세 구조의 영향을 크게 받습니다. 이러한 특성은 맨드릴을 공구로 사용할 때는 핵심 기능이 아니지만, 특정 조립 환경에서 빛 반사 및 방사선 반응을 이해하는 데 중요합니다. 광학적 특성은 주로 반사율로, 방사선 특성은 방사선 저항성으로 특징지어집니다. 텅스텐 합금의 2 상 미세 구조는 이러한 특성을 부여하는데, 텅스텐 상은 매끄러운 표면과 강한 반사 특성을 가지는 반면, 결합제 상은 방사선 흡수를 조절합니다. 광학적 및 방사선 특성을 분석하면 광학 조립 시 눈부심을 방지하거나 방사선 환경에서 안정성을 유지하는 등 특정 용도에 적합한 맨드릴을 선택하는 데 도움이 됩니다.

광학적 특성과 방사선 특성 간의 상호 작용으로 인해 리벳 맨드릴은 다양한 광 조건이나 방사선 조건에 적응할 수 있습니다. 높은 반사율은 밝고 세척이 용이한 표면을 제공하며, 우수한 방사선 내성은 미세 구조 변화를 최소화합니다. 특성 테스트는 표면 처리를 안내하고, 반사율 측정은 연마를 최적화하며, 방사선 테스트는 상변화를 평가합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 광학적 및 방사선 특성은 재료의 광 반응을 반영하며, 특성 조정을 통해 공구 적응성을 향상시키고 리벳팅 작업의 안정성을 높일 수 있습니다.

##### 4.3.1 텅스텐 합금 리벳 마스터 로드의 반사율 분석 상관관계

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 반사율 분석은 주로 표면 마감 및 광학적 반응을 평가하는 데 중요합니다. 이 분석은 조명 조건에서 맨드릴의 성능과 열 복사 거동을 이해하는 데 도움이 됩니다. 반사율은 표면에서 반사되는 빛의 비율을 나타내며, 맨드릴 내 텅스텐 및 바인더 상의 표면 상태에 따라 결정됩니다. 연마 후 반사율이 높을수록 표면이 더 밝아져 리벳 변형 과정을 쉽게 관찰할 수 있습니다. 화학적 표면 산화층은 반사율을 감소시키는

###### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

반면, 코팅이나 부동태화 처리는 거울 효과를 복원합니다.

상관관계 메커니즘은 미세구조에서 나타납니다. 텡스텐 입자는 강한 반사율을 가진 매끄러운 표면, 낮은 광산란을 갖는 균일하게 분포된 결합상, 그리고 일정한 반사율을 나타냅니다. 열처리 후, 입자가 미세화되어 더욱 균일한 반사율 분포를 보이며 맨드릴 조립 시 눈부심이 감소합니다. 반사율 분석은 품질 관리에 사용되며, 측정값이 높을수록 표면 결함이 적고 맨드릴의 내마모성이 우수함을 나타냅니다. 분광광도계를 사용하여 파장 반응을 관찰할 수 있으며, 맨드릴의 금속성 광택은 강한 가시광선을 반사합니다. 상관관계 분석은 열 관리에도 영향을 미칩니다. 반사율이 높을수록 복사열 손실이 줄어들고 맨드릴의 온도 상승 속도가 느려집니다. 표면 질감은 반사율을 조절하며, 브러시 마감은 정반사를 감소시켜 눈부심 방지 용도에 적합합니다. 조성 변화 또한 상관관계를 가지며, 구리상이 높을수록 반사율이 약간 높아지고 맨드릴의 외관이 더 밝아집니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 반사율 분석 상관관계는 표면 광학의 기초를 제공하고, 광 반응 평가를 통해 공구의 시각적 적응을 지원하며, 조립 환경에서의 실질적인 특성 파악에 기여합니다.

#### 4.3.2 텡스텐 합금 리벳 상단부의 방사선 저항성 평가

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 방사선 내성은 주로 방사선 노출 시험과 미세구조 관찰을 통해 평가됩니다. 이러한 평가는 방사선 조건 하에서 맨드릴의 구조적 안정성과 성능 유지 정도를 파악하는 데 도움이 됩니다. 방사선 내성은 재료가 방사선이나 입자에 저항하는 정도를 나타냅니다. 맨드릴에서 텁스텐 상의 높은 밀도는 방사선을 감쇠시키는 반면, 바인더 상은 손상 반응을 조절합니다. 평가 과정은 시료 노출 후 밀도 변화와 미세 결함을 검사하는 방식으로 진행됩니다. 맨드릴은 방사선 조사 후에도 팽창이 최소화되었고 미세구조는 손상되지 않은 것으로 나타났습니다.

평가 메커니즘은 상 구조에 반영됩니다. 텁스텐 입자가 에너지를 흡수하여 공극을 생성하고, 결합상이 확산되어 결합을 복구함으로써 맨드릴의 전반적인 안정성이 향상됩니다. 열처리로 방사선 내성이 개선되고, 높은 재결정 온도로 인해 손상 축적이 억제됩니다. 이 맨드릴은 의료 또는 원자력 관련 조립품에 사용하기 위해 평가되었으며, 방사선 조사 하에서 성능 저하가 느리고 지지력이 안정적입니다. 시험은 선량 구배 노출을 통해 균열 발생 및 상 변화를 관찰하는 방식으로 진행됩니다. 방사선 내성 평가는 또한 조성 최적화, 결합 고정을 위한 회토류 도핑, 그리고 내성 한계치 증가에 대한 지침을 제공합니다. 표면 코팅은 입사 방사선으로부터 보호하여 맨드릴의 미세 구조 변화를 최소화합니다. 평가 결과는 공정에 반영되어 소결 및 치밀화 후 높은 내성을 입증합니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 방사선 내성 평가는 환경 적응형 소재 관점을 제공하고, 손상 분석을 통해 공구의 방사선 적합성을 뒷받침하며, 특수 리벳팅 응용 분야에서 안정적인 기반을 제공합니다.

#### 4.3.3 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 광학적 특성에서 흡수 스펙트럼의 특성 분석

흡수 분광법을 이용한 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 광학적 특성 분석은 주로 자외선-

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

가시광선-근적외선 분광 분석을 통해 이루어집니다. 이러한 분석을 통해 맨드릴 표면과 전체 구조의 광 흡수 특성을 파악하고, 다양한 과장에서의 반사 및 투과 특성을 평가할 수 있습니다. 흡수 스펙트럼은 특정 과장의 빛에 대한 재료의 흡수 강도를 나타냅니다. 분석은 연마된 맨드릴 시료를 사용하여 수행되며, 특징적인 흡수 피크는 텡스텐 상의 전자 전이에 의해 생성되고, 구리나 니켈과 같은 결합제는 스펙트럼 형태를 변화시킵니다. 화학적으로 표면 산화층은 흡수를 증가시키는데, 연마를 통해 이 층을 제거하면 스펙트럼 선이 더욱 매끄러워집니다.

특성 분석 과정의 핵심은 시료 준비입니다. 프로브의 단면 또는 표면은 평평해야 하며, 흡수 곡선을 기록하기 위해서는 측정 중 광선이 수직으로 입사되어야 합니다. 텡스텐 합금 프로브는 가시광선 영역에서 높은 흡수율을 보이며, 이에 따라 반사율은 감소합니다. 표면의 브러싱 처리된 질감은 빛의 산란과 흡수를 증가시킵니다. 열처리 후 미세구조 변화는 스펙트럼 선에 영향을 미치며, 어닐링은 결정립을 미세화하고 균일한 흡수를 보장합니다. 조성 조절은 특성 분석 결과에 차이를 가져오는데, 구리 상 함량이 높을수록 근적외선 흡수율이 강해지고 프로브의 열복사 특성이 달라집니다.

흡수 분광법은 표면 품질 관리에서 그 활용도가 뚜렷합니다. 흡수 이상 현상은 산화 또는 오염을 나타내어 연마 공정을 안내하는 데 도움이 됩니다. 조명이 켜진 조립 환경에서 맨드릴의 흡수 스펙트럼을 분석하면 눈부심을 평가할 수 있으며, 평탄한 스펙트럼 선은 반사가 부드럽다는 것을 의미합니다. 화학적 안정성 시험을 통해 흡수 스펙트럼의 변화를 확인할 수 있으며, 부식 후 흡수 피크가 이동하는 것을 관찰할 수 있습니다. 흡수 분광법을 이용하여 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 광학적 특성을 분석하면 빛과의 상호작용에 대한 분광학적 관점을 제공하고, 곡선 분석을 통해 공구 표면 최적화를 지원하며, 리벳 작업 중 시각적 적응을 위한 기초 자료를 제공합니다.

#### 4.3.4 텡스텐 합금 리벳 상단 로드의 방사선 차폐에 대한 중성자 흡수 단면적의 기여도

텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 방사선 차폐에 대한 중성자 흡수 단면적은 주로 중성자 속 감쇠 능력에 기인합니다. 이러한 기여는 탑 로드를 보조 차폐 부품으로 사용할 때 중성자 방사선의 영향을 줄이는 데 도움이 됩니다. 텡스텐 핵은 높은 중성자 산란 및 흡수 단면적을 가지며, 탑 로드의 고밀도 구조는 체적 감쇠를 향상시키고, 접합상은 전체적인 반응을 조절합니다. 중성자 흡수 단면적은 핵반응 확률을 나타내며, 텡스텐 동위원소는 주로 산란에 기여하고 중성자 에너지를 감쇠시킵니다.

중성자 감쇠 메커니즘은 다중 산란으로 나타납니다. 중성자는 상부 막대에 진입한 후 여러 번의 충돌을 통해 운동 에너지를 잃고 일부는 흡수됩니다. 상부 막대의 두께가 증가할수록 감쇠는 더욱 두드러집니다. 화학적으로는 합금 원소에 수소와 같은 가벼운 핵을 도입하면 산란을 완화하는 데 도움이 될 수 있지만, 상부 막대 시스템은 텡스텐이 주를 이루므로 산란이 주된 과정입니다. 열처리는 단면적을 변화시키지는 않지만, 보다 균일한 미세 구조를 얻음으로써 유효 산란 경로를 개선합니다.

중성자 흡수 단면적의 기여도는 시뮬레이션 또는 실험을 통해 평가되었습니다. 맨드릴은

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

방사선 환경에서 국부적인 차폐막 역할을 하여 산란된 중성자가 주변 환경에 미치는 영향을 감소시킵니다. 조성 조정은 기여도에 영향을 미치며, 텡스텐 함량이 높을수록 단면적이 커지고 차폐 효과가 더욱 안정적입니다. 표면 상태는 입사 방사선에 영향을 미치며, 연마 처리는 반사 손실을 줄입니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 중성자 흡수 단면적은 방사선 상호작용에 대한 핵물리학적 관점을 제공하며, 방사선 관련 조립품에서 감쇠를 통해 공구 안전성을 확보하고 특수 환경에서 차폐 역할을 수행하는 데 기여합니다.

#### 4.4 CTIA GROUP LTD 의 텡스텐 합금 리벳 탑 로드에 대한 MSDS

중우 지능제조에서 생산하는 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 물질안전데이터시트(MSDS)는 중우 지능 제조에서 생산하는 텡스텐 합금 막대형 공구에 대한 안전 정보 문서입니다. 이 문서는 국제 표준 및 관련 국가 규정을 준수하며, 생산, 운송, 보관, 사용 및 폐기 과정에서 재료에 대한 위험 평가 및 보호 지침을 제공합니다. 중우 지능제조의 텡스텐 합금 맨드릴 제품은 주로 텡스텐-니켈-철 및 텡스텐-니켈-구리 시리즈를 포함하며, 부품 조립 및 연결 등에 사용됩니다.

MSDS(물질안전데이터시트)의 전체적인 구조는 일반적으로 여러 섹션으로 나뉘며, 각 섹션은 화학적 관점에서 물질의 특성을 분석합니다. 예를 들어, 구성 정보에서는 텡스텐 합금 맨드릴의 복합적인 특성을 강조하는데, 주성분인 텡스텐이 고밀도 기반을 제공하고 니켈 및 철과 같은 결합 원소는 피부 접촉 반응에 영향을 미칩니다. 중국 텡스텐 제조 유한회사는 작성 과정에서 합금의 분말 야금 제조 특성을 고려했습니다. 소결 및 압연 공정에서 미량의 불순물이 발생할 수 있으므로, 이 문서에는 산화물이나 탄화물로 인한 추가적인 위험을 방지하기 위한 순도 관리 조치가 명시되어 있습니다. 운송 섹션에서는 고체 상태의 합금 맨드릴의 안정성을 설명하고, 표면 산화를 방지하기 위한 방습 포장의 중요성을 강조합니다. 폐기물 처리 섹션에서는 재활용, 환경 규정 준수, 화학적 환원을 통한 텡스텐 자원 회수에 대한 지침을 제공합니다.

텅스텐 합금 리벳팅 맨드릴의 경우, 합금의 화학적 조성에 대한 세부 사항이 기술되어 있습니다. 일반적으로 텡스텐이 주성분으로 높은 밀도와 경도를 제공하며, 니켈, 철 또는 구리가 결합제로 사용됩니다. 이러한 성분들의 비율은 계열에 따라 조정됩니다. 예를 들어, 텡스텐-니켈-철 시스템에서 니켈-철의 비율은 습윤성과 강도의 균형을 이룹니다. 탄소 및 산소와 같은 미량 원소는 취성상 형성을 방지하기 위해 낮은 수준으로 제어됩니다. 화학적으로, 이 부분에서는 CAS 번호를 사용하여 원소를 식별합니다. 예를 들어, 텡스텐은 CAS 7440-33-7, 니켈은 CAS 7440-02-0입니다. 원료에서 유래하는 인 및 황과 같은 잠재적 오염 물질을 포함한 불순물에 대한 정보도 제공되며, 이러한 불순물의 함량을 줄이기 위한 정제 공정에 대한 내용이 강조됩니다.

텅스텐 합금 맨드릴에는 합금 상 구조에 대한 설명도 포함되어 있습니다. 이 2 상 복합재료에서 텡스텐 입자는 체심 입방 구조이며, 결합제는 면심 입방 구조의 고용체입니다. 휘발성 성분이 없어 화학적으로 안정합니다. 용해도 분석 결과, 이 재료는 물에 녹지 않고 약산에서 천천히 반응하며 텡스텐산염을 방출하는 것으로 나타났습니다. 순도 명세서에는 이 합금 맨드릴이 분말 야금법으로 제조되었으며 배치 간 일관성이

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

높다고 명시되어 있습니다.

CTIA GROUP LTD 에서 생산하는 텉스텐 합금 리벳 맨드릴은 합금 조성의 화학적 반응성을 기반으로 건강, 물리적, 환경적 위험을 체계적으로 평가합니다. 건강 위험은 주로 가공 과정에서 발생하는 분진이나 파편에 집중됩니다. 텉스텐 입자는 기계적 자극을 유발할 수 있으며, 니켈은 감작성이 있어 피부 또는 호흡기 알레르기 반응을 일으킬 수 있습니다. 물리적 위험에는 합금 맨드릴의 높은 밀도로 인한 충격 위험과 절단 과정에서 발생하는 스파크로 인한 발화 위험이 포함됩니다. 환경 위험 평가에서는 텉스텐 합금의 낮은 용해도를 고려합니다. 텉스텐 합금은 폐기 시 토양으로 쉽게 용출되지 않지만, 분말 형태는 침전물 축적을 통해 수생 생물에 영향을 미칠 수 있습니다.

식별 방법은 GHS 표준을 따르며, 텉스텐 합금 탑 로드는 무해 고체로 분류됩니다.



CTIA 그룹 LTD 텉스텐 합금 리벳 탑 로드

**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](http://www.ctia.com.cn)

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

Precision customization: support high density ( $17-19 \text{ g/cm}^3$ ), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

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

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

100,000+ customers

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

Service commitment

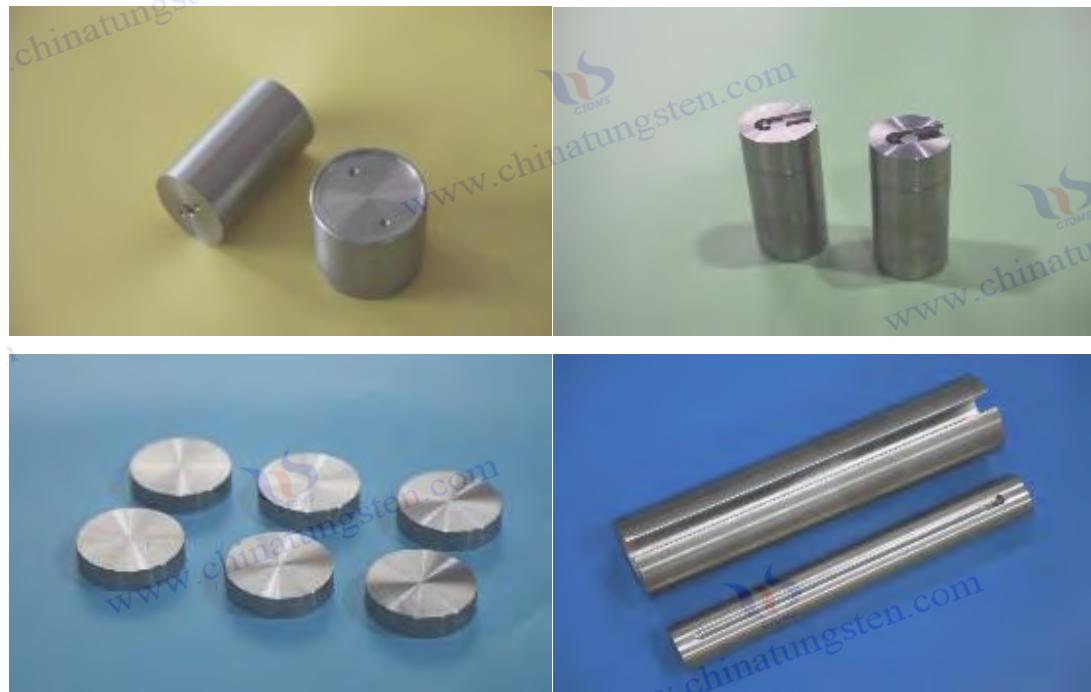
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

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

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

## 제 5 장 텡스텐 합금 리벳 봉의 기계적 특성

### 5.1 텡스텐 합금 리벳 상단부의 강도 및 경도

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 기계적 특성이 매우 중요하며, 이는 리벳 체결 시 발생하는 충격과 지지 공정 중 발생하는 변형에 대한 저항성과 내구성을 결정합니다. 강도는 인장, 압축 및 충격 저항성을 포함하며, 경도는 표면의 압입 또는 마모에 대한 저항성을 나타냅니다. 텁스텐 합금의 이중상 구조는 이러한 특성을 부여하는데, 텁스텐 입자는 높은 경도의 골격을 제공하고, 결합상은 인성을 조절하여 취성 파괴를 방지합니다. 이러한 강도와 경도의 균형 덕분에 맨드릴은 반복적인 하중을 견딜 수 있어 균일한 리벳 형성을 가능하게 합니다.

강도와 경도는 분말 야금 공정에서 비롯되며, 소결 및 치밀화 후 미세구조를 개선하기 위한 열처리 과정을 거쳐 높은 축 방향 강도와 균일한 표면 경도를 갖는 맨드릴을 얻을 수 있습니다. 화학적으로 계면 결합이 강하고 응력 분포가 점진적입니다. 표준화된 시험 방법을 사용하여 인장 또는 충격 시험을 통해 강도를 평가하고 압입 시험을 통해 경도를 측정합니다. 조성 및 열처리 조정을 통해 성능을 최적화할 수 있으며, 텁스텐 함량이 높을수록 경도가 증가하고, 결합상 비율이 높을수록 인성이 향상됩니다.

변형, 그리고 견고한 리벳 접합 품질을 보장합니다. 적용 분야에서는 리벳 재질에 맞춰 강도와 경도를 선택하는데, 강철 리벳에는 고강도 맨드릴을, 알루미늄 리벳에는 균형 잡힌 맨드릴을 사용합니다. 텁스텐 합금 맨드릴의 강도와 경도는 복합 재료의 기계적 이점을 보여주며, 성능 조화를 통해 조립 공정 개선을 지원하고 산업 현장에서 실질적인 가치를 제공합니다.

#### 5.1.1 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 인장 강도 시험 방법

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 인장 강도 시험 방법은 주로 표준 인장 시험을 이용합니다. 이 방법은 단축 하중을 통해 맨드릴의 인장 하중 지지 능력과 파괴 거동을 평가하여 인장 응력 하에서의 재료 반응을 이해하는 데 도움을 줍니다. 시험편은 맨드릴에서 절단하거나 특수 블랭크를 사용하여 아령형 또는 원통형으로 가공하며, 응력 집중을 방지하기 위해 표면을 매끄럽게 만듭니다. 시험기는 시험편의 양쪽 끝을 고정하고 균일한 인장력을 가한 후 하중-변위 곡선을 기록합니다. 화학적 전위 슬립과 계면 분리가 변형 과정에서 주요 역할을 합니다.

이 방법은 예하중 정렬, 연속 하중, 그리고 파괴 후 측정으로 구성됩니다. 맨드릴의 결합상은 텁스텐 입자의 변형을 조절하며, 인장 곡선은 탄성 및 연성 구간을 모두 보여줍니다. 파괴면 관찰 및 분석 결과, 연성 파괴를 나타내는 딤플과 벽개면에서의 취성 경향을 통해 연성 파괴 메커니즘이 확인되었습니다. 시험 환경은 상온으로 제어되며, 온도 관련 영향은 반드시 고려해야 합니다. 이 텁스텐 합금 맨드릴의 인장 강도 시험 방법은 텁스텐상이 높은 하중을 견디고 결합상이 에너지를 흡수하는 두 상의 시너지 효과를 보여줍니다.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

이 시험은 재료 합격 여부 및 공정 검증에 적용됩니다. 소결 후, 맨드릴의 인장 강도는 밀도에 따라 평가되며, 열처리 후 강화 효과를 비교합니다. 화학적 순도는 시험 결과에 영향을 미치며, 불순물은 강도를 저하시킵니다. 맨드릴의 막대형 구조 덕분에 축 방향 샘플링이 가능하여 실제 응력을 정확하게 반영합니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 인장 강도 시험 방법은 인장 특성에 대한 정량적 접근 방식을 제공하고, 곡선 분석을 통해 공구 강도 평가를 지원하며, 리벳팅 설계에 참고 자료를 제공합니다.

#### 5.1.1.1 정적 하중 하에서 텡스텐 합금 리벳 상단부의 파괴 메커니즘

정적 하중을 받는 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 2 상 미세구조의 응력 반응 및 손상 축적에 의해 파괴됩니다. 이러한 메커니즘은 인장 또는 굽힘 시험을 통해 입증되었으며, 이를 통해 저속 하중 조건에서 맨드릴의 파손 모드를 분석할 수 있습니다. 초기 단계에서는 탄성 변형이 발생하며, 텡스텐 입자 골격이 주응력을 받고 결합상이 변형률을 조절합니다. 하중이 증가함에 따라 결합상에서 전위가 증식하고 계면에 응력이 집중됩니다. 화학적으로는 원소 확산 영역이 완충 작용을 하지만, 불순물 편석이 쉽게 발생하여 미세 기공이 형성됩니다.

이 공정의 후기 단계에서는 미세 기공들이 합쳐져 공극을 형성하고, 이로 인해 텡스텐 결정립이 좁아지는 현상(네킹)이 발생합니다. 텡스텐 결정립 사이의 결합상은 늘어나고 얇아지며, 최종 파괴는 계면 분리 또는 결정립 파괴에 의해 좌우됩니다. 파괴 양상은 딤플과 벽개면이 혼합된 형태로 나타나는데, 결합상에는 딤풀이 더 많고 텡스텐상에는 평평한 벽개면이 나타납니다. 열처리는 이러한 파괴 메커니즘을 최적화합니다. 어닐링 처리를 통해 결정립이 미세화되고, 공극 발생이 감소하며, 텡스텐 결정립의 파괴 연성이 향상됩니다.

정적 하중 메커니즘은 조성에도 영향을 받습니다. 니켈-구리 시스템은 높은 딤풀 비율과 큰 파괴 연신율을 나타내는 반면, 니켈-철 시스템은 높은 강도를 가지지만 벽개 경향이 다소 강합니다. 화학적 순도가 낮을수록 불순물이 적어 연성 메커니즘이 더욱 두드러집니다. 막대형 맨드릴에 작용하는 힘은 축 방향이며, 파괴 메커니즘은 길이를 따라 분포합니다. 정적 하중 하에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 파괴 메커니즘은 복합 재료의 파괴 경로를 반영하고, 미세 구조 조절을 통한 공구 강도 설계에 도움을 주며, 리벳팅 지지대의 메커니즘적 이해를 제공합니다.

#### 5.1.1.2 텡스텐 합금 리벳 상단 로드에 대한 동적 하중의 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 가해지는 동적 하중은 주로 충격 에너지 흡수 및 변형 반응으로 나타납니다. 이러한 효과는 맨드릴이 순간적으로 높은 하중을 받는 지지 부품 역할을 하는 고속 리벳팅 또는 진동 조건에서 두드러지게 나타납니다. 동적 하중이 가해지는 동안 에너지가 급격하게 유입되고, 텡스텐 입자 골격은 압축에 저항하며, 결합상은 변형을 조절하여 운동 에너지의 일부를 흡수합니다. 그 결과 맨드릴 작업면의 압흔은 균일하게 형성되고 리벳 꼬리 부분도 균일한 형상을 갖게 됩니다. 화학적 전위가 빠르게 증식하고 응력파가 맨드릴 내부로 전파되며, 계면 결합은 완충 작용을 통해

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분리를 방지합니다.

동적 하중 조건에서 강도가 약간 증가하고 맨드릴의 변형 저항성이 향상되는 등 변형률 속도 효과도 나타나지만, 과도한 하중은 미세 손상을 유발할 수 있습니다. 동적 하중에는 열적 영향도 수반되는데, 마찰열로 인해 국부적인 온도 상승이 발생하고, 텅스텐 합금의 열전도율 덕분에 열 방출이 촉진되어 맨드릴 내부에 작은 온도 구배가 형성됩니다. 반복적인 동적 하중은 피로를 누적시켜 맨드릴의 미세 결함 전파 속도를 늦추고 안정적인 수명을 보장합니다. 동적 하중에 영향을 미치는 요소로는 맨드릴 직경과 단면 형상이 있습니다. 직경이 클수록 관성이 커지고 에너지 흡수율이 향상되는 반면, 오목한 단면은 응력 집중을 줄이고 변형을 최소화합니다. 열처리 최적화 또한 중요한 역할을 하는데, 어닐링 처리는 잔류 응력을 감소시켜 맨드릴의 동적 응답을 더욱 부드럽게 만듭니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 가해지는 동적 하중의 영향은 충격 환경에서의 재료 거동을 반영하며, 흡수 및 조정을 통해 공구의 동적 적응을 지원하여 고속 리벳팅에서 실질적인 안정성에 기여합니다.

### 5.1.2 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 비커스 경도 정량화

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 비커스 경도는 주로 다이아몬드 압입 시험을 통해 정량화됩니다. 이 정량화는 맨드릴 표면의 압입 저항성을 평가하는 데 도움이 되며, 리벳팅 마모 중 내구성 성능을 반영합니다. 시험은 맨드릴 시편을 연마하고, 압입기로 하중을 가하여 정사각형 압흔을 생성한 후, 대각선을 측정하여 경도 값을 계산하는 방식으로 진행됩니다. 화학적으로 텅스텐 상이 경도에 가장 큰 영향을 미치고, 결합제상은 전체 경도를 조절합니다. 맨드릴 작업면의 높은 경도는 리벳 압입에 대한 저항성에 기여합니다. 정량화 과정의 균일성은 다점 측정을 통해 평가됩니다. 축 방향과 봉의 단면을 따라 일관된 경도는 안정적인 미세 구조를 나타냅니다. 열처리는 정량화에 영향을 미칩니다. 어닐링은 경도를 감소시키고 인성을 증가시키는 반면, 시효 석출은 경도를 증가시키고 표면을 강화합니다. 조성 조정은 차이를 정량화하는 데 사용됩니다. 텅스텐 함량이 높을수록 경도가 증가하고, 구리상 함량이 높을수록 적당한 경도를 제공합니다. 도금과 같은 표면 처리는 표면 경도를 정량화하고 리벳 봉의 내마모성을 향상시킵니다. 비커스 경도 측정은 맨드릴 선택에 중요한 기준이 됩니다. 고경도 맨드릴은 단단한 리벳에 사용되고, 저경도 맨드릴은 충격 흡수와 경도 사이의 균형을 맞추는 데 사용됩니다. 또한, 경도 측정은 가공 결과를 평가하여 연삭 후 균일한 경도와 일관된 맨드릴 표면을 보장합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 비커스 경도 측정은 표면 특성에 대한 수치적 기준을 제공하고, 압입 분석을 통한 공구 내마모성 평가를 지원하며, 리벳팅 공정의 품질 보증에 기여합니다.

### 5.1.3 인장 시험을 통한 텅스텐 합금 리벳 봉의 평가

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 단축 인장 시험을 통해 강도를 평가 합니다. 이 시험은 인장 응력 하에서 맨드릴의 하중 지지 능력과 파괴 거동을 파악하는 데 도움이 되며, 리벳 지지대의 강도 기준을 제공합니다. 시험 시편은 맨드릴에서 표준 형상으로 절단하여 고정하고 일정한 속도로 늘립니다. 하중-변위 곡선을 기록합니다. 화학적으로, 결합상이

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

확장되어 텅스텐 입자를 결합시킵니다. 곡선은 탄성 구간과 소성 구간을 보여줍니다.

평가 과정에서는 항복점과 파괴 시 연신율을 분석했습니다. 맨드릴 내 결합상 함량이 높을수록 우수한 소성을 나타냈으며, 텅스텐상이 주를 이루면 높은 강도를 보였습니다. 파괴면 관찰을 통해 파괴 메커니즘을 분석한 결과, 딥플은 연성을, 벽개면은 취성 경향을 나타냈습니다. 열처리의 효과를 평가한 결과, 어닐링 처리는 연신율과 맨드릴의 인성을 향상시켰습니다. 조성 차이를 분석한 결과, 니켈-구리 시스템은 강한 연성을 보였고, 니켈-철 시스템은 높은 강도를 나타냈습니다. 맨드릴의 축 방향 특성을 평가하는 데 사용되며, 막대 형상 응력 모사 시험은 횡방향 하중을 시뮬레이션합니다. 이러한 평가는 제조 공정에 중요한 지침을 제공합니다. 소결 공정은 안정적인 인장 강도를 보장하고, 열간 가공 및 섬유화 공정은 강도를 향상시킵니다. 인장 시험은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 인장 거동에 대한 실험적 관점을 제공하며, 곡선 및 파단면을 통해 공구 강도를 이해하고 리벳 설계에 대한 평가 기준을 제시합니다.

#### 5.1.4 압축 시험을 통한 텅스텐 합금 리벳 상단부 평가

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 압축 시험은 주로 축방향 압축 시험을 통해 이루어 집니다. 이 평가는 리벳팅 지지 시 맨드릴의 압축 내하력과 변형 거동을 이해하는 데 도움이 되며, 충격 하중 하에서의 공구 성능에 대한 참고 자료를 제공합니다. 시험 시편은 맨드릴에서 절단한 짧은 원통형 단면으로, 양 끝단은 평행하고 매끄럽습니다. 시험기를 이용하여 축방향 하중을 가하고 응력-변형률 곡선을 기록합니다. 화학적으로, 텅스텐 입자 골격은 압축에 저항하는 반면, 결합제는 층면 팽창을 조절하여 배럴의 조기 변형을 방지합니다.

평가 과정에서는 항복점과 극한 강도를 분석했습니다. 맨드릴의 2 상 구조로 인해 압축 곡선은 탄성 구간 이후 소성 평탄 영역을 나타냈으며, 결합상은 늘어나면서 에너지를 흡수했습니다. 파괴된 시편에서는 측면 돌출이 관찰되었으며, 맨드릴의 인성이 우수할 경우 균일한 변형이 나타났습니다. 시험 환경은 상온으로 제어되었으며, 고온 조건은 열연화 현상을 평가하는 데 사용되었습니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 압축 시험 평가 결과, 압축 거동이 우수했으며, 텅스텐 함량이 높을수록 안정적인 강도를 보였고, 결합상 비율은 인성과 균형이 잘 잡혀 있음을 확인했습니다.

압축 시험은 평가 과정에 대한 지침을 제공합니다. 소결 치밀화는 높은 압축 강도를 가져오고, 열간 가공 섬유화는 축 방향 압축 강도를 향상시킵니다. 화학적 순도는 평가에 영향을 미치며, 불순물은 강도를 저하시킵니다. 맨드릴의 막대형 특성은 실제 지지대의 압축 모사 1 를 가능하게 합니다. 압축 시험은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 평가에서 압축 응력에 대한 실험적 관점을 제공합니다. 곡선 분석은 공구의 하중 지지 능력을 이해하는 데 도움이 되며 리벳팅 작업에서 평가의 기초를 다지는 데 기여합니다.

##### 5.1.4.1 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 변형률 속도의 영향 연구

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 변형률 속도의 영향 연구는 주로 하중 속도에 따른 변형 및 강도 변화에 초점을 맞추고 있습니다. 본 연구는 다양한 리벳팅 속도에서 맨드릴

###### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

성능의 차이를 분석하는 데 도움을 줍니다. 낮은 변형률 속도에서는 맨드릴 변형이 느리고, 결합상이 텅스텐 입자를 효과적으로 결합시켜 안정적인 강도와 긴 소성 변형 구간을 나타냅니다. 충격 리벳팅과 같은 높은 변형률 속도에서는 전위 증식이 빠르게 일어나 맨드릴 강도는 증가하지만 소성은 감소합니다. 화학적으로, 결합상은 변형률 속도에 민감하여 전체적인 반응에 영향을 미칩니다.

본 연구에서는 단계적 압축률 시험 또는 낙하추 시험을 실시하여 항복 및 파괴 거동을 비교하는 곡선을 기록했습니다. 높은 변형률에서 단열 가열은 맨드릴의 국부적인 연화를 초래했지만, 텅스텐 골격이 구속력을 제공하여 우수한 변형 제어를 가능하게 했습니다. 본 연구는 두 가지 상의 시너지 효과를 밝혀냈는데, 텅스텐 입자 비율은 강성을 제공하는데 영향을 미치지 않는 반면, 결합제 상의 비율은 에너지를 흡수하는 데 영향을 미치는 것으로 나타났습니다. 열처리를 조사한 결과, 어닐링 처리는 변화율을 감소시키고 맨드릴이 광범위한 압축률에 적응할 수 있도록 하는 것으로 나타났습니다.

변형률 속도의 영향에 대한 연구는 적용 분야를 결정하는 데 중요한 지침을 제공합니다. 낮은 변형률 속도에서의 수동 리벳팅은 우수한 인성을 나타내는 반면, 높은 변형률 속도에서의 공압 리벳팅은 강도를 우선시합니다. 화학 조성 연구 결과, 구리상이 주를 이루어 변형률 속도에 대한 민감도가 낮고 리벳 맨드릴의 고속 안정성이 향상됨을 보여줍니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 변형률 속도 영향에 대한 연구는 동적 하중에 대한 재료적 관점을 제공하며, 속도 비교는 공구 속도 조절을 지원하여 가변 속도 리벳팅에 대한 연구 통찰력을 제공합니다.

#### 5.1.4.2 텅스텐 합금 리벳 상단부의 파괴면 분석을 통한 통찰

파괴면 분석은 주로 주사전자현미경(SEM)을 이용한 압축 또는 인장 파괴면 관찰을 통해 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 통찰력을 제공합니다. 이 분석은 파손 메커니즘과 미세구조적 특성을 밝혀내어 내충격성 맨드릴 설계 개선에 도움을 줍니다. 파괴면은 딤플과 벽개면이 혼합된 형태로 나타나는데, 접합상 영역의 딤플 깊이는 연성을 반영하고, 텅스텐 결정립 벽개면의 평탄도는 전반적인 취성을 나타냅니다. 화학적으로는 계면 분리 영역에서 원소 분포가 관찰되며, 접합이 약할 경우 상당한 불순물 편석이 나타납니다.

파괴 후 시편 세척 결과, 상단 봉에서 복잡한 파괴 경로가 관찰되었으며, 고배율 전자 현미경 이미지 분석 결과 파괴는 결합상(binder phase)을 따라 진행되었고 텅스텐 입자는 최소한의 파괴만 보인 것으로 나타났습니다. 다양한 하중 조건에 대한 분석 결과, 정적 파괴면에는 수많은 딤플이, 동적 파괴면에는 뚜렷한 전단대가 관찰되었습니다. 열처리 분석에서는 어닐링 후에는 균일한 딤플이 나타났지만, 시효 처리 후에는 피닝 석출물로 인해 파괴 경로가 변화하는 것으로 확인되었습니다.

파괴면 분석은 공정 제어에 대한 통찰력을 제공하여 파괴면의 소결 결함을 드러내고 최적화된 치밀화를 통해 기포 발생원을 줄일 수 있도록 합니다. 성분 분석 결과 구리 상에 딤플이 많이 존재하여 맨드릴의 취성 저항성이 우수한 것으로 나타났습니다. 파괴면 분석은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 파손 모드에 대한 미시적 관점을 제공하여 형태학적

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

연구를 통해 공구의 기계적 작동 원리를 이해하고 리벳팅 내구성 향상에 기여합니다.

### 5.1.5 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 기계적 특성에 대한 굽힘 강도의 추가 검증

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 굽힘 강도는 주로 3 점 또는 4 점 굽힘 시험을 통해 측정됩니다. 이 시험은 맨드릴의 하중 지지 능력과 횡하중 하에서의 변형 거동을 평가하는 데 도움이 되며, 리벳팅 지지대의 횡방향 안정성에 대한 추가적인 참고 자료를 제공합니다. 시험 시편은 맨드릴에서 절단한 직사각형 모양의 단면으로, 양 끝단이 평행합니다. 시험기를 이용하여 굽힘 하중을 가하고, 처짐과 파괴 하중을 측정합니다. 화학적으로, 텡스텐 입자 골격은 굽힘 응력에 저항하고, 결합상은 표면 장력과 압축력을 조절하여 초기 파괴를 방지합니다. 굽힘 곡선은 탄성 구간 이후 소성 변형을 나타냅니다. 맨드릴의 2 상 구조는 파괴 전까지 긴 평탄 구간을 보여주는데, 이는 우수한 인성을 의미합니다.

검증 과정 중 응력 분포를 분석했습니다. 굽힘 시험 중 맨드릴의 중립층이 약간 이동했으며, 표면 응력 구배는 완만했습니다. 파괴 후, 균열 경로가 관찰되었는데, 이는 결합층을 따라 확장되었으며 텡스텐 입자가 가교 역할을 하여 균열 전파를 지연시켰습니다. 열처리를 통해 이러한 효과를 검증했습니다. 어닐링 처리는 굽힘 연신율과 맨드릴의 유연성을 향상시켰습니다. 조성 차이도 확인했습니다. 니켈-구리 시스템은 균형 잡힌 굽힘 강도를 보인 반면, 니켈-철 시스템은 강도는 더 높았지만 유연성은 약간 낮았습니다.

굽힘 강도 시험은 막대형 구조가 측면 충격을 모사하는 방식으로 맨드릴의 축 방향 외향 성능을 추가적으로 검증합니다. 이 검증 결과는 공정 방향을 제시합니다. 소결 및 치밀화 후에도 굽힘 강도는 안정적으로 유지되며, 열간 가공 및 섬유화 후에는 외부 굽힘 강도가 증가합니다. 화학적 순도는 검증 결과에 영향을 미치며, 불순물이 함유된 경우 강도가 감소합니다. 맨드릴의 굽힘 강도 검증은 측면 거동에 대한 실험적 관점을 제공하고, 곡선 및 파단면을 통해 공구의 기계적 특성을 이해하는 데 도움을 주며, 리벳 설계의 검증 기반을 마련합니다.

### 5.2 텡스텐 합금 리벳 상단부의 인성 및 피로 거동

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 기계적 특성은 매우 중요합니다. 반복적인 충격과 주기적인 하중 하에서 나타나는 이러한 특성은 맨드릴이 장기간 안정적인 지지력을 유지하고 갑작스러운 파손을 방지하는 데 도움을 줍니다. 인성은 충격 인성과 파괴 인성을 포함하며, 피로 특성은 손상 누적 및 수명에 중점을 둡니다. 텡스텐 합금의 2 상 구조는 이러한 특성을 부여합니다. 텡스텐 입자는 단단한 장벽 역할을 하고, 결합상은 에너지를 흡수하고 변형을 조절합니다. 인성은 리벳 충격 시 맨드릴의 취성 파괴를 방지하고, 피로 특성은 고빈도 사용을 뒷받침합니다.

텅스텐 합금의 거동 메커니즘은 미세 손상에서 나타납니다. 충격 시 결합상(binder phase)의 쌍정 슬립과 피로 주기 동안 전위 축적에 의한 지속적인 밴드 형성이 그

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

예입니다. 열처리는 이러한 거동을 최적화합니다. 어닐링은 응력을 해소하고 인성을 향상시키며, 시효 처리는 편의 석출을 유도하여 피로 저항성을 강화합니다. 조성 조정은 거동에 영향을 미쳐 니켈-구리 시스템에서는 우수한 인성을, 니켈-철 시스템에서는 높은 피로 강도를 얻을 수 있습니다. 거동 시험은 적용 분야에 대한 지침을 제공합니다. 충격 시험은 에너지 흡수량을 평가하고, 피로 시험은 반복 수명을 모사합니다. 리벳 공구에 사용되는 텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 최소한의 맨드릴 변형과 안정적인 연결 품질을 통해 내구성과 신뢰성을 입증합니다. 적용 분야에서는 작업 조건에 맞춰 거동을 선택합니다. 진동 환경에서는 고인성 맨드릴을 사용하고, 연속 작업에는 내피로성 맨드릴을 사용합니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 인성 및 피로 거동은 복합 재료의 동적 반응을 반영하며, 거동 최적화는 공구 수명 연장에 기여하여 조립 공정에서 안정적인 성능을 제공합니다.

### 5.2.1 충격 인성이 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 내구성에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 충격 인성은 주로 순간적인 에너지를 흡수하고 갑작스러운 손상에 저항하는 능력에 기인합니다. 이러한 효과는 리벳팅 해머 충격 시에 입증되며, 맨드릴이 구조적 무결성을 유지하고 연속성을 지지하는 데 도움을 줍니다. 충격 인성은 샤르피 충격 시험 또는 낙하 해머 시험을 통해 평가됩니다. 맨드릴 시편은 노치 부분에서 높은 에너지 흡수율을 보이며, 화학적 결합상이 확장되어 균열을 연결하고, 텅스텐 입자는 균열 전파 경로를 차단합니다. 이러한 메커니즘은 두 단계의 시너지 효과를 포함합니다. 즉, 단단한 텅스텐 골격이 운동 에너지의 일부를 흡수하는 반면, 결합상은 소성 변형을 통해 나머지 에너지를 소모하여 취성 파괴를 방지합니다.

충격 과정은 초기 단계의 탄성 흡수, 중간 단계의 소성 변형, 그리고 후기 단계의 느린 균열 전파로 나뉩니다. 열처리는 이러한 효과를 증진시키는데, 어닐링은 결정립을 미세화하고 인성을 증가시키며, 시효 석출은 결정립계를 강화합니다. 조성 또한 중요한 역할을 하는데, 구리 상의 존재는 우수한 인성에 기여하고 맨드릴 충격 하에서 조화로운 변형을 보장합니다. 충격 인성은 고주파 리벳팅에서 맨드릴의 내구성을 좌우하며, 우수한 에너지 흡수와 긴 수명을 가능하게 합니다. 충격 인성은 맨드릴 내구성에 대한 동적 하중에 대한 재료적 지지력을 제공하고, 흡수 메커니즘을 통해 공구 충격 적응을 지원하며, 리벳팅 작업의 내구성 기반을 구축하는 데 기여합니다.

### 5.2.2 텅스텐 합금 리벳 상단에 대한 반복 피로 분석 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 반복 피로 분석은 주로 반복 하중 하에서의 손상 누적 및 파손 거동을 시뮬레이션하는 것입니다. 이 분석은 고빈도 리벳팅 환경에서 맨드릴의 내구성 성능을 이해하고 전체 수명 향상을 위한 재료 최적화에 도움을 줍니다. 반복 피로 분석은 일반적으로 회전 굽힘 또는 축 방향 인장/압축 시험을 사용하여 맨드릴 시편을 주기적인 응력장에 놓고 사이클 수와 손상 진행 과정을 기록합니다. 화학적으로, 결합상은 사이클 동안 미세 응력을 조절하는 역할을 하고, 텅스텐 입자 골격은 피로 균열 전파를 억제합니다. 분석 과정은 단계적으로 진행됩니다. 먼저 낮은 응력 임계값을 평가한 다음, 높은 응력에 의한 가속 손상을 관찰합니다. 맨드릴의 2 상 구조로 인해

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

손상은 표면 또는 계면에서 시작되는 매끄러운 SN 형 희로 곡선이 나타납니다.

실제 적용 사례에서, 반복 희로 분석은 맨드릴의 희로 메커니즘을 밝혀줍니다. 초기에는 전위 축적으로 인해 지속적인 밴드가 형성되고, 중간 단계에서는 결합재 상에서 미세 균열이 발생하며, 후기 단계에서는 텅스텐 입자를 통한 균열 전파로 인해 파괴가 일어납니다. 분석 과정에서 열처리 최적화를 통해 어닐링 처리가 잔류 응력을 감소시키고 희로 한계를 증가시키는 것으로 나타났습니다. 조성 차이에 따라 니켈-구리 시스템은 우수한 희로 인성을 보이지만 반복 하중 하에서 굽힘 균열 경로를 나타내고, 니켈-철 시스템은 높은 강도를 가지지만 희로에 다소 취약한 것으로 나타났습니다. 이러한 분석은 맨드릴 설계에 유용한 지침을 제공하며, 표면 연마는 균열 발생 지점을 줄여 반복 하중에 대한 저항성이 뛰어난 맨드릴을 제작할 수 있도록 합니다.

반복 희로 분석에는 파괴면 판찰도 포함되며, 주사 전자 현미경을 사용하여 희로 줄무늬와 벽개면을 확인할 수 있습니다. 맨드릴의 손상 경로 분석을 통해 미세 구조를 최적화할 수 있습니다. 변형률 제어 분석을 통해 저주기 희로를 평가하고, 고주파 리벳팅 환경에서 맨드릴의 변형을 최소화하고 수명을 연장할 수 있음을 보여줍니다. 부식성 매체가 희로를 가속화하는 반면 맨드릴 코팅은 보호 기능을 제공하는 등 환경적 요인도 분석에 포함됩니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 반복 흌로 분석을 적용하면 수명 예측에 대한 실험적 관점을 제공하고, 손상 연구를 통해 공구 내구성 최적화를 지원하며, 리벳팅 작업의 메커니즘적 이해를 증진하는 데 기여합니다.

체계적인 분석을 통해 맨드릴 배치 전반에 걸쳐 일관된 흌로 특성을 확보하고, 생산 흐드백을 기반으로 소결 매개변수를 조정할 수 있습니다. 텅스텐 합금의 흌로 거동은 상시너지 효과로 특징지어지는데, 결합재 상은 반복적인 에너지를 흡수하고 텅스텐 상은 균열 발생을 방지합니다. 이러한 분석은 시뮬레이션 소프트웨어로 확장되어 유한 요소 해석을 통해 흌로로 집중 지점을 예측하고, 맨드릴 형상 최적화를 통해 응력 집중을 줄일 수 있습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 반복 흌로 분석은 재료 공학 분야에서 동적 평가를 제공하고, 반복 응답을 통한 공구 수명 관리를 가능하게 하며, 조립 분야에서 실질적인 가치를 입증합니다.

### 5.2.3 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 파괴 인성 측정 방법

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 파괴 인성 측정은 주로 사전 균열이 있는 시편에 대한 3 점 굽힘 시험 또는 소형 인장 시험을 통해 이루어집니다. 이 방법은 균열이 있는 환경에서 맨드릴의 균열 전파 저항성을 평가하는 데 도움이 되며, 충격 지지대에서 재료의 파괴 저항성을 예측하는 데 유용합니다. 시험 시편은 맨드릴에서 잘라낸 직사각형 스트립 또는 디스크 형태이며, 실제 손상을 모사하기 위해 사전 균열이 도입됩니다. 시험기 를 사용하여 굽힘 또는 인장 하중을 가하고 균열 전파 곡선을 기록합니다. 화학적으로 결합된 상이 균열을 연결하고 텅스텐 입자가 균열 경로를 차단합니다. 곡선은 하중 피크와 안정적인 전파 구간을 보여줍니다.

측정 과정에는 사전 균열 준비, 흌로 사이클링 또는 노칭을 통해 선단 균열을 유도하는

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

단계, 그리고 결합재 상에서 균열을 발생시키기 위한 2 상 구조의 맨드릴을 사용하는 단계가 포함됩니다. 굽힘 시험은 시편의 양쪽 끝을 클램핑하고 중앙에 하중을 가하는 방식으로 진행되며, 균열 개방 변위를 측정하여 인성 매개변수를 계산합니다. 컴팩트 인장 시험은 클램프로 균열 영역을 고정한 상태에서 시편의 양쪽 끝을 늘리는 방식으로 진행되며, 맨드릴의 인성이 우수할수록 균열 전파 속도가 느려집니다. 시험 환경은 상온으로 제어되며, 고온 조건은 열 파괴 인성을 평가하는 데 사용됩니다.

파괴 인성 측정 방법은 푸시 로드 메커니즘을 밝혀냈습니다. 균열은 결합상(binder phase)을 따라 전파되며, 텅스텐 결정립의 딥플 형성은 전파를 지연시킵니다. 열처리 측정 결과, 어닐링은 인성을 향상시키고 푸시 로드 파괴 경로는 굽힘 파괴에 더 가까워지는 것으로 나타났습니다. 조성 차이 분석 결과, 니켈-구리계는 높은 인성과 더 많은 균열 가교 현상을 보였으며, 니켈-철계는 높은 강도를 가지지만 인성은 중간 정도였습니다. 측정 결과를 바탕으로 공정을 설계했습니다. 소결은 구조를 치밀화하여 안정적인 인성을 확보하고, 열간 가공 및 섬유화 처리는 굽힘 인성을 향상시킵니다.

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 파괴 인성 측정은 균열 저항성에 대한 실험적 관점을 제공하고, 심층 분석을 통해 공구 인성에 대한 이해를 높이며, 리벳팅 설계 평가의 기초를 제공합니다. 체계적인 측정 적용을 통해 맨드릴 배치 간 일관된 인성을 확보하고, 생산 피드백에 기반한 매개변수 조정을 가능하게 합니다. 텅스텐 합금의 파괴 거동은 측정에서 상 시너지 효과로 나타나는데, 결합재 상은 에너지를 전달하고 텅스텐 상은 균열 전파를 억제합니다. 이러한 측정 결과는 시뮬레이션 소프트웨어로 확장되어 유한 요소 해석을 통해 인성 핫스팟을 예측하고, 맨드릴 형상 최적화를 통해 균열 발생 가능성을 줄일 수 있습니다. 파괴 인성 측정을 통한 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 평가는 재료 공학 분야에서 손상 평가를 제공하고, 측정 반응을 통한 공구 인성 관리를 가능하게 하며, 조립 현장에서의 실질적인 가치를 입증합니다. 심층적인 분석을 통해 고하중 조건에서도 맨드릴의 인성을 예측할 수 있어 사용 안전성을 향상시킬 수 있습니다.

#### 5.2.4 고주기 피로에 의한 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 수명 예측

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 고주기 피로 수명에 대한 연구는 주로 SN 곡선과 손상 누적 모델을 통해 이루어집니다. 이러한 예측은 저응력 및 고주기 하중 조건에서 맨드릴의 내구성 성능을 분석하고, 고빈도 리벳팅 환경에서 공구의 수명 평가에 도움을 줍니다. 고주기 피로는 항복 응력 미만이지만 반복 횟수가 많은 조건을 의미합니다. 맨드릴 시편은 회전 굽힘 시험기 또는 축 방향 인장/압축 시험기에서 시험하며, 반복 횟수와 파손 양상을 기록합니다. 결합재는 고주기 피로에서 미세 손상을 조절하는 역할을 하며, 텅스텐 입자 골격은 균열 전파를 억제합니다.

예측 방법은 SN 곡선을 그리고 여러 응력 수준에서 수명을 시험하는 것을 포함합니다. 맨드릴의 2상 구조는 곡선 기울기를 완만하게 하고 피로 한계를 높입니다. 마이너 범칙과 같은 손상 누적 모델은 다양한 하중을 통합하여 실제 작동 조건에서의 수명을 예측합니다. 맨드릴의 고주기 피로 예측은 표면 상태를 고려합니다. 연마 처리는 초기 값을 낮추고 수명을 연장합니다. 열처리 또한 예측 과정에서 고려됩니다. 어닐링은 잔류 응력을

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

감소시키고 피로 한계를 증가시킵니다.

고주기 피로 예측은 탑바 메커니즘을 보여줍니다. 미세 손상은 전위 축적에서 시작하여 결정립계 균열 발생 및 전파를 거쳐 결국 파손으로 이어집니다. 조성 차이에 따른 예측 결과는 니켈-구리 시스템이 우수한 고주기 인성과 느린 손상 진행을 보이는 반면, 니켈-철 시스템은 높은 강도를 제공하지만 피로 한계는 중간 수준임을 보여줍니다. 이러한 예측 결과는 적용 분야에 따라 달라질 수 있습니다. 수동 리벳팅 작업에서는 저주기 강도가 우선시되는 반면, 고주파 공압 시스템에서는 고주기 수명이 중요하게 고려됩니다. 화학적 순도 관리는 불순물을 최소화하고 고주기 손상 발생을 줄이는 데 도움이 됩니다.

본 분석은 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 수명 예측을 위한 주기적 응답에 대한 수학적 관점을 제공합니다. 모델 분석은 공구 수명에 대한 이해를 높이고 리벳팅 설계에 대한 예측 기반을 제공합니다. 예측 결과를 체계적으로 적용하면 맨드릴의 배치별 수명이 일관되게 유지되어 소결 매개변수 조정을 위한 생산 피드백이 가능해집니다. 텁스텐 합금의 고주기 거동은 예측에서 시너지 효과로 나타나는데, 결합재 상은 주기적 에너지를 흡수하고 텁스텐 상은 손상을 방지합니다. 고주기 피로 예측은 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 수명을 평가하는 동적 모델을 제공하여 예측된 응답을 통해 공구 수명 관리를 가능하게 하고 조립 공정에서 실질적인 가치를 입증합니다. 심층적인 분석을 통해 연속 작동 조건에서도 맨드릴 수명을 예측할 수 있어 유지보수 계획을 최적화할 수 있습니다.

### 5.3 텁스텐 합금 리벳 상단의 마찰 및 마모 특성

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 내구성은 주로 표면과 리벳 꼬리 사이의 접촉 상호작용에 의해 결정됩니다. 이러한 특성은 리벳팅 과정에서 맨드릴의 표면 손상률과 전반적인 내구성에 영향을 미칩니다. 마찰 특성은 접촉면 사이의 슬라이딩 저항과 관련이 있으며, 마모 특성은 재료 제거 과정을 설명합니다. 텁스텐 합금의 2 상 구조는 마찰이 적은 매끄러운 표면과 마모가 천천히 진행되는 동안 극히 강한 단단한 상을 제공합니다. 이러한 특성 분석을 통해 반복 사용 시 맨드릴의 안정성을 최적화하고 표면 피팅 축적을 줄일 수 있습니다.

마찰 및 마모 메커니즘은 맨드릴의 작업 표면에서 나타납니다. 텁스텐 입자의 높은 경도는 매몰 마모를 줄여주고, 결합재의 인성은 접착력을 감소시킵니다. 표면에 화학적 산화층이 형성되면 마찰이 증가하며, 연마를 통해 제거하면 마찰 특성이 개선됩니다. 특성 시험은 재료 선택에 중요한 지침이 됩니다. 낮은 마찰 계수는 리벳의 원활한 변형을 보장하여 마모율을 낮추고 수명을 연장합니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 마찰 및 마모 특성은 복합 재료의 표면 반응을 반영합니다. 특성 관리는 공구의 내구성을 향상시키고 리벳팅 작업에 안정적인 기반을 제공합니다.

#### 5.3.1 마찰 계수 측정을 기반으로 한 텁스텐 합금 리벳 상단 로드의 최적화

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 마찰 계수 측정은 주로 슬라이딩 마찰 시험을 통해 이루어집니다. 이 측정은 리벳과 접촉할 때 맨드릴 표면의 저항 특성을 평가하는 데 도움이

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

되며, 마찰을 줄이고 리벳팅 효율을 향상시키기 위한 표면 처리 및 조성 조정에 대한 지침을 제공합니다. 측정에는 일반적으로 핀-디스크 또는 볼-디스크 장치가 사용됩니다. 맨드릴 시료를 디스크로 고정하고, 연마 핀에 하중을 가하면서 슬라이딩시킵니다. 마찰력과 수직력의 비율을 기록합니다. 화학적으로는 선택적 습윤 영향 계수를 측정하며, 연마 후에는 이 값이 낮아집니다.

공정 분석 측정 곡선을 최적화했습니다. 건식 마찰 계수가 높을 때는 윤활제를 첨가했고, 습식 마찰 시에는 냉각제의 효과를 시험했습니다. 이젝터 핀의 텅스텐상은 높은 경도와 낮은 마찰 계수를 나타내며, 바인더상의 비율이 높을수록 가소성이 향상되고 마찰이 더욱 안정됩니다. 측정 변수에는 고온 리벳팅 조건을 모사한 고온 마찰과 이젝터 핀 산화층 형성 시 마찰 계수 증가 현상이 포함되었으며, 이는 코팅 보호로 완화되었습니다. 이젝터 핀 최적화를 위한 마찰 계수 측정의 적용은 생산 관리에도 반영됩니다. 마찰 계수가 높을 때는 표면 조도를 조정하고, 와이어 드로잉을 통해 미려 마찰을 줄입니다.

가이드 구성 요소 측정 결과, 구리상은 높은 결합 계수와 낮은 마찰 계수를 나타내어 맨드릴의 변형이 더욱 원활해지는 것으로 나타났습니다. 열처리 후 계수 변화를 측정한 결과, 어닐링 후 마찰면이 깨끗하고 안정적인 것으로 확인되었습니다. 마찰 계수 측정은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 표면 상호 작용을 최적화하는 정량적 방법을 제공하고, 힘 비율 분석을 통한 공구의 마찰 제어를 지원하며, 리벳 작업 효율 향상에 기여합니다.

### 5.3.2 텅스텐 합금 리벳 상단 바의 마모 메커니즘에 대한 논의

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 마모 메커니즘 연구는 주로 접착 마모, 연삭 마모 및 피로 마모를 포함합니다. 이 연구는 리벳 접촉 시 맨드릴 작업 표면에서 발생하는 재료 제거 과정을 이해하여 내마모성 설계 및 유지 보수 전략을 수립하는 데 도움을 줍니다. 접착 마모는 고온 접촉 시 바인더상이 연화되어 리벳으로 전이된 후, 화학적 계면 반응을 통해 접착층이 형성되어 맨드릴 표면에 페팅이 축적되는 현상입니다. 연삭 마모는 경질 리벳에서 나타나는데, 내장된 입자가 텅스텐상을 긁어 맨드릴 표면에 홈을 형성하는 것입니다. 피로 마모는 반복적인 충격 하에서 나타나며, 미세 진동은 표면층 박리와 맨드릴 접합면에서의 피로 균열 전파를 유발합니다. 마모 시험 시뮬레이션을 통해 메커니즘을 규명하고자 하였으며, 핀-디스크 장치를 이용하여 하중 및 슬라이딩 조건에서의 체적 손실을 기록하고 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 형상을 관찰했습니다. 화학적 산화 마모가 관찰되었으며, 다공성으로 인해 표면층이 빠르게 제거되는 현상이 동반되었습니다. 이러한 연구 결과는 접착력 감소를 위한 표면 경화, 마모 입자로부터 보호하기 위한 코팅, 그리고 피로 저항성 향상을 위한 열처리 등 최적화 방안을 제시합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 마모 메커니즘 연구는 손상 경로에 대한 재료적 이해를 제공하고, 유형 분석을 통해 공구 마모 저항성 향상을 지원하며, 리벳팅 공정에 대한 기계적 통찰력을 제공합니다.

### 5.3.3 텅스텐 합금 리벳 로드의 표면 손상에 대한 마모 분석

텅스텐 합금 리벳 맨드릴 표면 손상에 대한 연삭 마모 연구는 주로 접촉 시 경질 입자의

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

절삭 및 긁힘 효과에 초점을 맞춥니다. 이 분석은 경질 리벳을 체결하거나 불순물이 포함된 환경에서 맨드릴 표면의 변화 메커니즘을 이해하는 데 도움이 됩니다. 연삭 마모는 리벳 꼬리 또는 파편이 맨드릴의 작업 표면에 박히면서 시작됩니다. 상대 운동 중에 입자는 흄을 파거나 표면을 미세하게 절삭합니다. 화학적으로 텡스텐 입자는 경도가 높아 절삭에 저항하는 반면, 결합상은 상대적으로 부드러워 흄을 쉽게 형성합니다. 손상 초기에는 미세한 긁힘이 나타나고, 마모가 지속됨에 따라 흄이 깊어지고 표면 거칠기가 증가합니다.

마모 시험을 통해 분석 과정을 모사했으며, 푸시 로드 시편이 마모 매체에 대해 미끄러지면서 부피 손실과 형태 변화를 기록했습니다. 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하여 흄의 형태를 관찰한 결과, 텡스텐 상 표면에는 얇은 긁힘이, 바인더 상에는 깊은 흄이 나타났습니다. 손상 메커니즘은 단계적으로 진행되었는데, 초기 미세 가공으로 소량의 재료가 제거되었고, 중간 단계에서는 피로 박리가 발생했으며, 후기에는 흄이 축적되어 접착력이 저하되었습니다. 열처리 분석을 통해 열처리의 영향을 확인했습니다. 어닐링은 바인더 상의 인성을 향상시켜 박리를 감소시켰고, 시효 경화는 흄 깊이를 감소시켰습니다.

마모 분석에서는 작업 조건도 고려해야 합니다. 고속 리벳팅은 높은 마모 입자의 운동 에너지와 빠른 손상을 초래하는 반면, 저속의 지속적인 마찰은 긴 흄을 남깁니다. 표면 처리 분석 또한 중요합니다. 코팅이나 경화층은 마모 입자를 완충하여 맨드릴의 손상 속도를 늦춥니다. 화학적 순도 관리는 불순물을 최소화하고 자체 생성되는 마모 입자를 줄입니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴 표면 손상에 대한 마모 분석은 마찰 환경에 대한 재료의 반응을 제공하며, 형태학적 연구는 공구 마모 저항성 최적화를 지원하여 리벳팅 작업에서 손상 메커니즘을 이해하는 데 기여합니다.

#### 5.3.4 텡스텐 합금 리벳 세터의 접촉 과정 중 거동

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 접촉 과정에서 발생하는 접착 마모는 주로 고온 또는 고압 조건에서 표면 재료가 전이되는 현상입니다. 이는 맨드릴과 리벳 테일 사이에 국부적인 접착을 유발하여 분리 및 표면 무결성에 영향을 미칩니다. 접착 마모는 접촉면의 순간적인 고온 연화에서 비롯됩니다. 화학적으로, 용점이 낮은 결합재가 먼저 연화되어 리벳 재료와 미세 용접부를 형성합니다. 상대적인 슬라이딩 과정에서 이러한 용접부가 파손되면서 재료가 반대쪽으로 전이됩니다. 초기에는 표면에 거친 부분이 나타나고, 마모가 지속되면 구멍이나 돌출부가 형성되어 맨드릴 작업면의 표면 조도를 저하시킵니다.

이 메커니즘은 계면에서 나타납니다. 마찰열 축적으로 인해 국부적인 온도 상승이 발생하고, 이로 인해 바인더 상이 유통하여 리벳에 접착됩니다. 냉각 시 접착 부위가 고화됩니다. 접착 부위에서 슬라이딩 전단 파괴가 발생하여 재료가 맨드릴에서 분리되거나 리벳에 부착됩니다. 텡스텐 입자의 높은 경도는 접착 개시를 억제하고 맨드릴에 접착되는 경향을 낮춥니다. 높은 열전도율은 빠른 열 확산, 접착 부위에서의 급격한 온도 하강, 그리고 전이 감소를 초래합니다.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

접착 마모는 하중에도 영향을 받습니다. 높은 압력은 밀착된 접촉과 강한 접착력을 유발하는 반면, 낮은 압력은 분리를 용이하게 합니다. 표면 처리 또한 중요한 역할을 합니다. 연마는 초기 접착력을 감소시키고, 코팅은 반응을 차단하고 감소시킵니다. 우수한 화학적 안정성 또한 중요합니다. 맨드릴 표면에 얇은 산화막이 형성되면 접착 속도가 느려집니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 접촉 시 접착 마모 성능은 고온 마찰 시 재료 간의 상호작용을 반영합니다. 전이 분석은 공구의 표면 관리를 지원하고 리벳팅 작업의 성능 기준을 제공합니다.



CTIA 그룹 LTD 텅스텐 합금 리벳 탑 로드

**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](http://www.ctia.com.cn)

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

## 제 6 장 텡스텐 합금 리벳 핀의 부식 및 내구성

### 6.1 텡스텐 합금 리벳 상단부의 전기화학적 부식 거동

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 부식은 주로 2 상 구조와 주변 환경의 영향을 받습니다. 이러한 현상은 특히 습하거나 화학적으로 세척된 환경에서 두드러지게 나타나며, 맨드릴의 표면 안정성과 장기적인 성능에 영향을 미칩니다. 전기화학적 부식은 양극 용해와 음극 환원을 포함합니다. 텡스텐 상은 화학적으로 불활성인 반면, 니켈이나 구리와 같은 결합체 상은 반응성이 매우 높아 부식 발생 부위가 되기 쉽습니다. 분극 곡선과 임피던스 분광법을 이용하여 부식 거동 분석을 수행했습니다. 전해액 내에서 맨드릴의 전위 스캐닝을 통해 부식 전위와 전류 밀도의 변화를 관찰했습니다.

부식 거동에는 공식 및 균일 부식 경향이 포함되며, 결합재가 우선적으로 용해되어 미세 전지를 형성하고, 텁스텐 입자가 노출된 후에는 부식 속도가 느려집니다. 또한, 화학적 안정성이 우수하여 대기 중에서 자체적으로 부동태화되고 표면에 얇은 보호막을 형성합니다. 환경은 부식 거동에 영향을 미치는데, 산성 환경에서는 결합재의 용해가 가속화되는 반면, 중성 또는 알칼리성 환경에서는 비교적 온화합니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 전기화학적 부식 거동은 복합재료의 전기화학적 반응을 반영합니다. 본 연구는 공구 부식 저항성 최적화에 도움이 되며, 리벳 유지 보수를 위한 환경 적응 참고 자료를 제공합니다.

#### 6.1.1 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 부식 연구에서 분극 곡선의 적용

의 적용은 주로 동적 전위 스캐닝을 통해 이루어집니다. 이 방법은 전해액 내에서 맨드릴의 부식 전위, 부동태화 범위 및 부식 전류 밀도를 평가하는 데 도움이 되며, 내식성 개선을 위한 지침을 제공합니다. 이 시험은 맨드릴 시료를 작업 전극으로 사용하여 3 전극 시스템에서 모의 매질에 담급니다. 전위 스캐닝을 통해 전류 응답을 기록하며, 화학적으로 양극 분기는 용해 거동을, 음극 분기는 환원 과정을 나타냅니다. 곡선은 부식 전위와 부동태화 평탄 영역을 보여주는데, 바인더 상의 활성 영역에서는 전류가 증가하고 텁스텐 상에서는 낮은 부동태화 전류가 나타납니다.

이 과정에서 시편 표면은 균일하게 연마되었고, 염화나트륨 용액이나 황산 용액과 같은 매체를 사용하여 환경을 모사했습니다. 분극 곡선을 이용하여 부식 유형을 구분했는데, 공식 파괴 전위가 낮을 때 높은 감도가 관찰되었고, 상부 로드에 코팅 처리 후에는 넓은 평탄 영역이 나타났습니다. 타펠 외삽법을 사용하여 부식 속도를 정량화했는데, 상부 로드에 접착성이 차지하는 비율이 높을수록 부식 속도가 증가했습니다. 동적 스캐닝을 통해 재부동태화를 관찰한 결과, 손상 후 상부 로드의 강력한 회복 능력이 확인되었습니다.

분극 곡선은 본 연구에서 열처리 효과를 평가하는 데에도 사용되었습니다. 어닐링 처리는 부동태화 범위를 확장시켜 맨드릴의 국부 부식에 대한 저항성을 향상시켰습니다. 조성 차이로 인해 텁스텐-구리 시스템에서는 안정적인 부동태화가 나타났지만, 니켈-철의

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

자기적 특성은 곡선에 직접적인 영향을 미치지 않습니다. 서로 다른 매질에서의 곡선을 비교했을 때, 맨드릴은 산성 환경에서는 빠르게 부식되었고 알칼리성 환경에서는 강한 부동태화를 보였습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 부식 연구에 분극 곡선을 활용함으로써 전기화학적 매개변수에 대한 실험적 관점을 얻을 수 있었습니다. 곡선 분석은 공구의 내식성을 이해하는 데 도움이 되며, 유지보수 실무에 대한 평가 방법을 제공합니다.

### 6.1.2 텅스텐 합금 리벳 상단 바를 보호합니다.

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 부식 방지는 주로 표면에 자연적으로 또는 인위적으로 형성되는 산화막을 통해 이루어 집니다. 이러한 보호막은 습하거나 세척제 환경에서 맨드릴의 부식 속도를 감소시켜 표면 평활도와 기능적 안정성을 유지합니다. 부식 방지층은 공기 또는 중성 환경에서 자연적으로 형성되며, 텅스텐상이 조밀한 산화막을 형성하고 니켈 또는 구리가 결합제로 작용합니다. 화학적으로, 이 얇은 층은 산소 확산과 이온 이동을 차단합니다. 보호 메커니즘은 전기화학적으로 나타나는데, 부식 방지층이 부식 전위를 증가시키고 전해액 전류를 감소시킵니다.

형성 과정은 환경의 영향을 받는데, 대기 중에서는 부동태화가 느리게 진행되고, 전기화학적 양극 처리에 의해 두께가 가속화됩니다. 상부 봉을 연마한 후에는 부동태화가 빠르게 진행되지만, 표면이 거칠고 다공성이어서 보호력이 약합니다. 열처리는 부동태화 형성을 촉진하고, 어닐링은 산소 함량을 조절하여 하부층의 균일성을 확보합니다. 이러한 보호 효과는 공식 부식 저항성으로 나타나는데, 부동태층은 높은 파괴 전위를 가지므로 상부 봉의 국부적인 손상이 줄어듭니다.

マンド릴을 보호합니다. 얇은 막은 강력한 접착력을 보여 리벳팅 마찰 중 박리에 대한 저항성이 뛰어납니다. 화학 세척 후에도 막이 재생되어 맨드릴의 내구성을 향상시킵니다. 막 형성에는 구성 성분이 영향을 미치는데, 구리상 부동태화층은 전기 전도성을 제공하고 니켈상은 치밀한 구조를 형성합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 부동태화층의 보호는 표면 화학의 장벽 효과를 보여주며, 막의 안정성을 통해 공구의 내식성을 강화하고 리벳팅 환경에서 장기적인 내구성을 보장합니다.

### 6.1.2.1 산성 환경에서 텅스텐 합금 리벳 상단 바의 안정성

산성 환경에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 안정성은 주로 매체의 pH 값과 이온 종류에 영향을 받습니다. 이러한 안정성은 특히 세척 또는 산성 미스트 작업장에서 두드러지게 나타나는데, 맨드릴 표면의 부동태화층의 거동이 부식 속도를 결정하기 때문입니다. 산성 조건은 결합제의 용해를 촉진하고, 니켈이나 구리 원소는 쉽게 용해성 이온을 형성합니다. 텅스텐 자체는 화학적으로 비교적 불활성이지만, 계면의 미세 기포는 국부 부식을 가속화합니다. 맨드릴의 전반적인 안정성은 부동태화층의 두께에 따라 달라지는데, 연마된 표면층이 얇을수록 안정성이 약간 감소하는 반면, 도금이나 사전 부동태화 처리 후에는 산성 침식 속도가 느려집니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

안정화 메커니즘은 2 상 상호 작용에서 나타납니다. 결합제 상은 우선적으로 반응하여 수소 이온을 소모하고, 텡스텐 입자가 노출된 후에는 표면 산화층이 재생되며, 맨드릴의 부식 형태는 깊은 구덩이보다는 균일한 형태를 보이는 경향이 있습니다. 산 농도가 증가하면 안정성이 감소하지만, 텡스텐 합금계는 얇은 산에서 상대적으로 안정적이며 맨드릴의 매끄러운 표면이 오랫동안 유지됩니다. 열처리는 안정성에 영향을 미칩니다. 어닐링 처리는 균일한 미세 구조를 생성하지만 산 침투 속도를 늦춥니다. 조성 조정은 안정성을 향상시킵니다. 구리 상의 함량이 높을수록 전도성은 향상되지만 산 용해 속도가 빨라지고, 니켈 상은 약간 더 나은 내산성을 제공합니다. 후 닦아내면 복원이 가능합니다. 표면 처리는 안정성을 향상시키며, 화학적 부동태화는 두꺼운 보호막을 형성하여 산성 미스트 환경에서도 부식을 최소화합니다. 침지 시험을 통해 안정성을 평가할 수 있으며, 맨드릴 질량의 변화가 미미하면 내산성이 우수함을 나타냅니다. 산성 환경에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 안정성은 복합 재료의 매체 적응성을 입증합니다. 보호막은 공구 표면 유지 관리를 지원하여 산성 작업 환경에서의 내구성을 향상시킵니다.

#### 6.1.2.2 알칼리 조건에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 반응

알칼리 조건에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 표면 부동태화 강화 및 경미한 용해 현상을 나타냅니다. 이러한 반응은 알칼리 세척 또는 알칼리 냉각 환경에서 관찰되며, 맨드릴은 전반적으로 우수한 안정성을 보입니다. 알칼리성 환경은 텡스텐 상 표면에 안정적인 산화물 형성을 촉진합니다. 화학적으로 결합제 상인 니켈 또는 구리는 알칼리에 대한 용해도가 낮아 맨드릴의 부식 속도를 늦춥니다. 반응 초기 단계에서는 표면 부동태화층이 두꺼워져 추가 반응을 방지하고 맨드릴의 평활도를 유지합니다. 이러한 반응 메커니즘은 상 선택성에 의해 나타납니다. 텡스텐 입자는 알칼리에서 매우 불활성이며, 결합제 상은 약간 반응하여 보호 침전물을 형성하고, 맨드릴 상단 표면층은 치밀합니다. 알칼리 농도가 증가해도 반응은 거의 변하지 않으며, 맨드릴 상단은 공식보다는 균일 부식을 나타냅니다. 열처리는 이러한 반응에 영향을 미칩니다. 어닐링 처리를 하면 결정립계가 깨끗해지고 알칼리 침투가 감소합니다. 조성 차이로 인해 알칼리 환경에서 니켈상은 더 잘 부동화되는 반면, 구리상은 약간 더 활성이 높지만 일반적으로 안정적입니다.

이제터 핀은 알칼리 조건에서 알칼리 세척 유지 보수에 적합한 반응을 보이며, 침지 후에도 표면에 뚜렷한 손상이 나타나지 않습니다. 표면 전처리는 반응성을 향상시키고, 두꺼운 부동태화층은 알칼리 미스트 조건에서 이제터 핀의 안정성을 보장합니다. 알칼리 침지 시험을 통한 반응 평가 결과, 형태 변화가 최소화되어 우수한 적응성을 나타냅니다. 텡스텐 합금 리벳 이제터 핀의 알칼리 조건에서의 반응은 재료의 알칼리 적응성을 반영하며, 부동태화를 통해 공구 세척 내성을 향상시키고 알칼리 작업에 적합한 표면 기반을 제공합니다.

#### 6.1.3 부식 전위 측정을 통한 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 특성 분석

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 부식 전위 측정은 주로 개방 회로 전위 및 동전위 스캐닝을 통해 이루어 집니다. 이러한 특성 분석은 매질 내에서 맨드릴의 열역학적 안정성을

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

평가하고 내식성을 판단하는 데 도움이 됩니다. 맨드릴 시료를 전해액에 담그고 안정된 전위를 기록합니다. 화학적으로 높은 전위는 강한 부동태화 경향과 부식 발생의 어려움을 나타냅니다. 개방 회로 전위는 시간이 지남에 따라 안정화되며, 맨드릴의 2 상 구조의 전위는 텅스텐 상과 바인더 상의 전위 사이에 위치합니다.

특성 분석 과정에서는 다양한 매질 조건에서의 비교가 이루어졌습니다. 산성 환경에서 낮은 전위는 부식을 쉽게 유발하는 반면, 알칼리성 환경에서 높은 전위는 안정적인 부동태화를 가져왔습니다. 전위 동적 스캐닝을 통해 특성 분석 과정을 확장하여, 전류가 0인 지점이 부식 전위임을 밝혀냈고, 푸시 로드는 넓은 부동태화 범위와 우수한 내식성을 나타냈습니다. 표면 상태는 제한 요소로 작용했는데, 연마 처리는 높은 전위를 유발하는 반면, 표면 거칠기는 전위 변동을 초래했습니다. 열처리 특성 분석 결과, 어닐링 처리는 전위를 증가시키고 더욱 균일한 미세 구조를 형성하는 것으로 나타났습니다.

용도에 대한 적응성을 특성화하는 데 사용됩니다. 전위가 높을수록 습한 환경에서 맨드릴의 안정성이 높아집니다. 구성 성분의 차이도 고려됩니다. 텅스텐-구리 맨드릴은 중간 정도의 전위를 나타내는 반면, 니켈-철 맨드릴은 전위는 약간 낮지만 더 강력한 부동태화를 보입니다. 측정 결과는 보호 조치를 위한 지침을 제공하며, 전위가 낮을수록 코팅 성능이 향상됩니다. 부식 전위 측정은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 전기화학적 안정성에 대한 실험적 관점을 제공하고, 전위 분석을 통한 공구의 부식 평가를 지원하며, 환경 내구성에 대한 특성화 기반을 제공합니다.

#### 6.1.4 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 부식 속도론 연구에서 임피던스 분광 분석의 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 부식 동역학 연구에서 임피던스 분광법의 적용은 주로 교류 임피던스 측정을 통해 이루어집니다. 이 방법은 전해액 내에서 맨드릴의 계면 반응 및 부식 속도 변화를 파악하는 데 도움을 주어 내식성 평가 및 개선에 대한 지침을 제공합니다. 임피던스 분광법은 작은 교류 신호를 인가하고 주파수 응답 곡선을 기록한 후 등가 회로 모델을 적용하는 방식으로 진행됩니다. 화학적으로 맨드릴 표면의 부동태화층은 정전용량-저항 소자처럼 작용하며, 결합제 상의 용해는 전달 저항에 해당합니다. 적용 과정에서 맨드릴 시료를 작업 전극으로 사용하고 모의 매질에 담근 후 주파수를 고주파에서 저주파로 스캔합니다. 곡선의 아크 형태는 부동태화층의 전전성을 나타냅니다.

응용 분야에서 임피던스 분광 분석은 부식 단계를 구분하는 데 사용됩니다. 초기 아크가 크면 안정적인 부동태화를 나타내고, 시간이 지남에 따라 아크가 작아지면 부식이 가속화됩니다. 맨드릴의 이중상 구조는 분석에서 명확하게 드러나는데, 텅스텐상은 높은 임피던스를 나타내고 바인더상은 저주파 확산에 의해 제어됩니다. 등가 회로 피팅을 통해 전해질 저항, 이중층 커패시턴스 및 전달 저항을 통해 계면 거동을 정량화하고, 이를 통해 맨드릴의 부식 속도를 도출할 수 있습니다. 이 분석은 열처리 방향을 제시합니다. 어닐링 후 임피던스 아크가 증가하고 미세 구조가 더욱 균일해지며 내식성이 향상됩니다. 조성에 따라 텅스텐-구리 시스템은 높은 임피던스와 안정적인 부동태화를 나타내는 반면, 니켈-철 시스템은 임피던스가 약간 낮지만 더 빠르게 회복됩니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

임피던스 분광 분석은 표면 처리의 효과를 평가하는 데에도 사용됩니다. 코팅 후 아크 형상의 변화는 보호층의 기여도를 반영합니다. 매체 영향 분석 결과, 산성 환경에서 낮은 임피던스는 빠른 부식을 유발하는 반면, 알칼리성 환경에서 큰 아크는 강력한 부동태화를 촉진하는 것으로 나타났습니다. 이 분석법은 동적 모니터링에도 적용될 수 있으며, 장기간 침지 후 맨드릴의 시간 변화 임피던스 곡선을 통해 수명을 예측할 수 있습니다. 화학적 순도 관리를 통해 불순물을 줄임으로써 깨끗하고 간섭 없는 임피던스 아크를 얻을 수 있습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 부식 동역학에 임피던스 분광법을 적용함으로써 계면 동역학에 대한 주파수 영역 관점을 제공하고, 곡선 맞춤을 통해 공구 부식 메커니즘을 이해하는 데 도움을 주며, 환경 내구성 향상을 위한 분석 방법을 제시합니다.

#### 6.1.5 텅스텐 합금 리벳 상단 바에 대한 산화 반응의 부식 거동

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 산화는 주로 대기 또는 주변 환경의 산소와 관련된 표면 변화와 관련이 있습니다. 이러한 현상은 맨드릴이 공기에 노출되거나 고온에 노출될 때 나타나며, 표면 안정성과 수명에 영향을 미칩니다. 산화 반응은 맨드릴 표면에 산소 분자가 흡착되면서 시작됩니다. 니켈이나 구리와 같은 화학적으로 결합하는 상 원소들이 먼저 산화되어 얇은 막을 형성하는 반면, 텅스텐은 서서히 산화물을 형성합니다. 맨드릴의 부식은 산화층이 형성된 후 완화되는 경향이 있습니다. 두꺼운 산화층은 산소 확산을 억제하지만, 산화층이 다공성일 경우 부식이 가속화됩니다.

작용 메커니즘은 상 선택성으로 나타납니다. 바인더 상의 산화는 산소를 우선적으로 소모하여 산화니켈 또는 산화구리를 생성하는 반면, 텅스텐 상의 산화는 치밀한 층을 형성하여 맨드릴의 전체적인 거동을 급속 산화에서 부동태화 안정성으로 변화시킵니다. 고온은 반응을 가속화하며, 마찰로 인해 맨드릴이 가열되면 두꺼운 국부 산화층이 형성되어 표면 색상이 변합니다. 매질 내의 수분은 산화에 참여하여 습한 환경에서 더욱 활발한 반응을 유발하며, 맨드릴 표면의 수화층은 부식 경향을 증가시킵니다. 산화 반응이 맨드릴의 부식 거동에 미치는 영향은 보호 방법을 결정하는 데 중요한 역할을 합니다. 사전 부동태화는 균일한 층을 형성하여 더욱 안정적인 거동을 가능하게 합니다. 조성 조절 거동도 나타납니다. 구리 상의 산화층은 전도성이 있어 부식을 촉진하는 반면, 니켈 상의 산화층은 치밀합니다. 열처리 또한 거동에 영향을 미칩니다. 어닐링 처리는 표면을 깨끗하게 하고 산화 속도를 늦춥니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 산화 반응에 의한 부식 거동은 산소와 상호 작용하는 표면 공정을 반영하며, 이는 층 형성을 통한 공구 부식 저항성 평가를 뒷받침하고 유지보수 실무에서 행동적 참고 자료를 제공합니다.

#### 6.1.6 텅스텐 합금 리벳 상단부의 화학적 특성 제어

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 화학적 특성에 영향을 미치는 환경 요인은 주로 온도, 습도, 매체 및 대기 조성에 의해 결정됩니다. 이러한 영향은 맨드릴의 표면 반응 속도와 미세 구조 안정성에 영향을 주며, 이는 다양한 작업장 또는 보관 조건에서 나타납니다. 온도가 상승하면 산화 속도가 조절되고, 화학적 및 열적으로 문자 충돌이 활성화되어 맨드릴 표면에 산화층이 빠르게 형성됩니다. 그러나 텅스텐 상의 높은 용점은 이러한 전반적인 거동을 완화합니다. 습도가 증가하면 수증기가 발생하고, 맨드릴 표면에 수분이

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

흡착되어 수산화물 형성이 촉진되어 화학적 특성이 부식에 취약한 상태로 변합니다.

산과 알칼리와 같은 매체는 산에서 결합제를 용해시켜 화학적 활성을 조절하고, 알칼리는 부동태층을 안정화시켜 우수한 내식성을 유지합니다. 산소와 질소와 같은 대기 조성은 산화 및 질화 반응을 조절하며, 상부봉은 깨끗한 공기에서는 화학적으로 안정하지만 오염된 환경에서는 부식이 가속화됩니다. 빛이나 자외선은 표면의 광화학 반응을 조절하며, 상부봉의 화학적 특성은 옥외 보관 중에도 대체로 변하지 않습니다.

진동과 응력을 포함한 환경적 요인 또한 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 화학적 특성에 영향을 미칩니다. 기계적 응력은 균열을 노출시켜 부식 발생을 가속화합니다. 코팅과 같은 보호 조치는 외부 환경으로부터 맨드릴을 보호하고 원래의 화학적 특성을 유지하는데 도움을 줍니다. 구성 성분은 환경적 반응성을 조절하는데, 구리 상의 높은 전도성은 전기화학적 거동을, 니켈 상은 알칼리 저항성을 조절합니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 화학적 특성에 대한 환경적 요인의 영향은 재료와 외부 조건 간의 상호작용을 반영합니다. 요인 분석은 공구의 화학적 적응성을 지원하고 사용 환경 내에서 규제 체계를 구축하는데 기여합니다.

## 6.2 텁스텐 합금 리벳 탑 로드의 고온 산화 메커니즘

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 산화는 주로 표면과 산소 사이의 상호작용에 의해 발생합니다. 이러한 메커니즘은 맨드릴이 고온의 공기나 고온 가공 환경에 노출될 때 나타나며, 표면 안정성과 전반적인 내구성에 영향을 미칩니다. 산화 메커니즘은 산소 분자가 맨드릴 표면에 흡착되면서 시작됩니다. 화학적으로, 니켈이나 철과 같은 결합 원소가 먼저 산소와 결합하여 산화물을 형성하고, 이어서 텁스텐 상이 서서히 산화되어 조밀한 층을 형성합니다. 이 과정은 단계적으로 진행됩니다. 저온에서는 확산에 의해 산화층이 천천히 성장하는 반면, 고온에서는 반응 속도가 증가하여 더 두꺼운 층이 형성됩니다.

핵심 메커니즘은 상 선택성에 있습니다. 반응성이 높은 바인더 상은 우선적으로 산화되어 느슨한 산화막을 형성하는 반면, 반응성이 낮은 텁스텐 상은 치밀한 텁스텐 산화물 층을 형성합니다. 맨드릴의 전체적인 산화 메커니즘은 급속 산화에서 자가 제한 산화로 변화합니다. 계면에서의 원소 확산도 이 메커니즘에 관여하며, 바인더 상의 산화물이 텁스텐과 반응하여 복합층을 형성함으로써 맨드릴 표면 색상이 변합니다. 열처리 또한 이 메커니즘에 영향을 미칩니다. 어닐링 후 미세 구조가 더욱 균일해지고 산화 개시점이 줄어듭니다. 조성 메커니즘의 차이도 중요한 역할을 합니다. 텁스텐-구리 시스템에서는 구리 상의 산화막이 전도성을 띠는 반면, 텁스텐-니켈 시스템에서는 니켈 상의 산화막이 치밀합니다.

고온 산화 메커니즘에는 휘발 혼상도 포함됩니다. 고온에서 산화텅스텐이 기화되면서 표면층이 떨어져 나가고, 결과적으로 맨드릴 질량이 점진적으로 감소합니다. 보호 분위기 제어 메커니즘도 관여하는데, 불활성 가스가 산소와의 접촉을 줄여 맨드릴 표면의 산화층을 얇게 만듭니다. 열중량 분석을 통해 질량 변화를 관찰한 결과, 평탄한 산화

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

곡선은 우수한 내구성을 나타냅니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 고온 산화 메커니즘은 내화 복합재료의 산소 반응을 반영하며, 피복층 형성을 통한 공구 표면 유지 관리를 지원하고 열 환경에서의 작동에 대한 기계적 근거를 제공합니다.

### 6.2.1 산화 반응 속도가 텡스텐 합금 리벳 상단 막대에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 산화 동역학은 주로 반응 속도와 층 성장 거동의 조절에 반영됩니다. 이러한 영향은 고온 노출 시 맨드릴의 표면 손상 정도와 내구성을 결정합니다. 산화 동역학은 산소 확산 및 반응 속도를 나타냅니다. 맨드릴 내 바인더 상은 높은 반응 속도를 보여 초기 층 형성이 빠르게 진행되는 반면, 텡스텐 상은 느린 반응 속도와 자기 제한적인 층 성장을 보입니다. 이러한 영향 메커니즘은 확산 제어에 의해 나타나는데, 화학적 농도 기울기에 의해 산소가 층간 틈을 통해 내부로 이동하고, 맨드릴의 층 두께 증가는 시간이 지남에 따라 점차 느려집니다.

반응 속도론적 효과에는 온도 의존성도 포함됩니다. 온도가 증가하면 활성화 에너지는 낮아지지만 반응 속도는 증가합니다. 고온에서는 모세관층 두께가 증가하지만 부동태화는 안정화됩니다. 조성에 따른 반응 속도론도 다릅니다. 구리상은 열전도율이 높고 열 방출을 돋기 때문에 빠른 반응 속도를 보이는 반면, 밀도가 높은 니켈상은 느린 반응 속도를 보입니다. 열처리 반응 속도론 또한 중요한 역할을 합니다. 어닐링 처리를 하면 결정립계가 깨끗해지고 확산 경로가 짧아져 모세관 산화 속도가 낮아집니다. 표면 상태 반응 속도론도 산화에 영향을 미칩니다. 매끄러운 표면은 초기 산화 속도가 낮고, 거친 표면은 활성 부위가 많아 산화 속도가 높습니다.

열중량 분석 곡선 맞춤을 통한 산화 속도론의 영향 분석은 선형 또는 포물선형 맨드릴 속도론 모델을 사용하여 층 성장 유형을 반영합니다. 이러한 영향은 코팅 변화의 속도론적 시작을 조절하고 맨드릴 내구성을 향상시켜 보호 효과를 높이는 데 도움이 됩니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 산화 속도론은 속도 제어 재료 반응을 보여주고, 확산 분석을 통해 공구 내구성 평가를 뒷받침하며, 고온 작업에 대한 속도론적 근거를 제공합니다.

### 6.2.2 텡스텐 합금 리벳 맨드릴에 보호 코팅 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 보호 코팅을 적용하는 주요 방법은 도금 또는 부동태화를 통해 보호막을 형성하는 것입니다. 이러한 코팅은 맨드릴 표면의 산화 및 부식을 줄여 환경에서의 안정성과 수명을 유지합니다. 코팅 메커니즘은 산소 및 매체의 확산을 차단하고, 화학적으로는 니켈-인 또는 크롬-질소와 같은 도금층이 기판에 단단히 결합되어 맨드릴 표면을 매끄럽게 유지합니다. 적용 공정에는 전기 도금 또는 화학 기상 증착이 포함되며, 맨드릴을 연마한 후 코팅이 균일하게 접착됩니다.

이 코팅의 장점은 선택적 보호에 있습니다. 코팅은 내마모성 맨드릴과의 마찰로 인한 손상을 늦추고 부식성 환경에서 부식을 방지합니다. 부동태화 코팅은 자체적으로 생성되며, 맨드릴 표면의 산화층은 공기 중에서 두꺼워져 기판을 보호합니다. 조성

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

차이에 따라 전도성 코팅(텅스텐-구리계)과 고경도 코팅(텅스텐-니켈 계)을 얻을 수 있습니다. 열처리를 통해 코팅의 안정성을 확보하고, 어닐링을 통해 강력한 접착력을 제공합니다. 맨드릴에 보호 코팅을 적용하면 내구성을 평가할 수 있습니다. 박리 시험을 통해 접착력을 확인하고, 반복 사용에도 코팅이 벗겨지지 않는지 확인할 수 있습니다. 코팅은 표면의 요철을 메워 맨드릴의 마찰 계수를 낮추는 효과가 있습니다. 또한 우수한 화학적 안정성을 보이며, 새로운 부식 원인을 발생시키지 않습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 보호 코팅을 적용하는 것은 표면 엔지니어링 보호 전략의 핵심으로, 보호막 효과를 통해 공구의 내구성을 향상시키고 실제 작업 환경에서의 활용 가치를 높여줍니다.

### 6.2.3 휘발성 산화물 형성에 의한 텅스텐 합금 리벳 상단 바의 손상

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 휘발성 산화물 형성으로 인한 손상은 주로 고온의 공기 환경에서 발생합니다. 이러한 손상은 표면 산화층의 불안정한 변형으로 인해 발생하며, 점진적인 재료 손실을 초래하고 맨드릴의 치수 정확도 및 표면 무결성에 영향을 미칩니다. 텅스텐 산화물과 같은 휘발성 산화물은 고온에서 고체에서 기체 상태로 변하여 맨드릴 표면에서 방출됩니다. 화학적으로 이들은 산화 반응을 통해 텅스텐 산화물을 형성하고, 이는 가열 시 더욱 휘발되어 작업 표면이 얇아지고 표면 거칠기가 증가합니다. 손상 과정은 맨드릴 표면에 산소가 흡착되면서 시작됩니다. 먼저 바인더 상이 산화되어 초기 층을 형성하고, 이어서 텅스텐 상이 산화되면서 휘발성 생성물이 생성됩니다.

손상 메커니즘은 온도 구배에서 나타납니다. 고온 영역에서는 휘발이 빠르게 일어나고, 맨드릴 내부의 국부적인 마찰로 인해 열이 발생하면 표면 산화물이 급속히 기화되어 재료 제거가 가속화되고 피트 또는 불균일성이 형성됩니다. 휘발성 산화물은 맨드릴의 균일성을 저해하며, 가장자리에서는 휘발이 더 많이 일어나고 중심부에서는 휘발이 덜 일어나 맨드릴 형상이 점진적으로 변형되고 리벳 지지력이 불안정해집니다. 화학적 안정성 또한 손상에 영향을 미칩니다. 바인더 산화물 층이 치밀할수록 휘발 속도는 느려지고, 텅스텐 노출로 인해 다공성이 되면 휘발 속도가 빨라집니다.

휘발성 산화물 형성에 의한 손상은 맨드릴 내부까지 확산됩니다. 표면층이 벗겨진 후 새로 형성된 층이 산화되어 누적 질량 손실과 수명 단축을 초래합니다. 열처리 후 손상 양상이 변화하는데, 어닐링 처리는 더욱 균일한 미세구조를 형성하고 휘발 개시점을 줄입니다. 조성 조절 또한 손상에 영향을 미치는데, 구리 함량이 높을수록 열전도율이 향상되고 열 방출이 감소하여 휘발량이 줄어듭니다. 니켈 함량이 높을수록 안정적인 산화물을 형성하여 휘발을 억제합니다. 열중량 분석(TGA)을 통한 손상 분석에서는 질량 변화를 관찰할 수 있으며, 맨드릴에서 휘발 곡선이 평坦하면 내구성이 우수함을 나타냅니다. 휘발성 산화물 형성에 의한 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 손상은 고온 기체-고체 반응으로 인한 재료 소모를 반영합니다. 생성물 유출은 공구 수명 평가에 도움이 되며 고온 환경에서의 손상 메커니즘에 대한 참고 자료를 제공합니다.

### 6.2.4 합금 원소를 이용한 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 산화 저항성 조절

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 특성은 주로 합금 원소를 통해 안정적인 산화층을 형성하거나

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

반응 속도를 조절함으로써 얻어 집니다 . 이러한 조절을 통해 고온의 공기 중에서 표면 손상을 늦추고 평활도와 내구성을 유지할 수 있습니다. 니켈, 철, 구리 등의 합금 원소는 산화 과정에 참여합니다. 화학적으로 니켈은 치밀한 산화니켈층을 형성하여 산소 확산을 차단하고 맨드릴의 산화 저항성을 향상시킵니다. 철은 산화철 복합층을 형성하여 산화 속도를 조절하고 맨드릴 표면의 변색을 늦춥니다 . 구리는 열전도율을 조절하여 빠른 열 방출을 유도하고 국부적인 고온 발생을 억제하며 산화 개시를 지연시킵니다.

조절 메커니즘은 시너지 효과로 나타납니다. 결합제 상은 우선적으로 산화되어 산소를 소모하고, 텡스텐 상을 보호하는 비휘발성 층을 생성하여 맨드릴의 전반적인 산화 저항성을 향상시킵니다. 희토류 원소의 미량 도핑은 결정립계 정화를 조절하여 산화 개시점을 줄이고 맨드릴 층 두께 증가 속도를 늦춥니다. 열처리는 반응을 조절하여 어닐링 후 균일한 원소 확산과 일관된 산화 저항성을 보장합니다. 조성비는 산화 경향을 조절하여 더 두껍고 다층적인 결합제 상을 형성함으로써 더 나은 보호와 맨드릴 내구성 향상을 가져옵니다 .

합금 원소를 이용한 맨드릴의 산화 저항성 조절은 표면 처리를 통해 평가되었습니다. 코팅과 원소들은 시너지 효과를 발휘하여 다층 보호막을 형성함으로써 맨드릴 표면에 얇은 산화막을 생성했습니다. 이러한 보호막은 원소의 선택적 산화를 통해 안정적인 생성물을 얻고 맨드릴 질량 손실을 최소화함으로써 화학적 안정성을 조절하는 데 사용되었습니다. 산화 시험을 통해 층 두께와 형태를 관찰하여 조절 효과를 분석한 결과, 맨드릴의 평탄한 산화 저항 곡선은 효과적인 조절이 이루어졌음을 보여줍니다. 합금 원소를 이용한 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 산화 저항성 조절은 조성 최적화라는 재료 전략을 반영합니다. 이러한 층 형성은 공구의 표면 안정성을 강화하고 고온 작업 중 조절을 위한 기반을 제공합니다.

### 6.3 텡스텐 합금 리벳 상단 바의 환경 내구성 시험

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 성능 유지 여부는 주로 염수 분무 및 습도 변화 시험과 같은 모사 시험을 통해 평가됩니다 . 이러한 시험은 맨드릴 표면과 전체 구조의 장기적인 안정성을 파악하여 재료 선택 및 보호 조치에 대한 지침을 제공합니다. 시험 방법에는 해양 또는 염수 분무 환경을 모사하는 염수 분무 시험과 온도 및 습도 변화의 영향을 평가하는 습도 변화 시험이 포함됩니다. 텁스텐 합금의 이중상 구조는 시험에서 명확하게 나타납니다. 텁스텐 상은 강한 내식성을 보이는 반면, 결합제 상은 염화 이온이나 수분에 취약합니다. 시험 시료에 노출된 후 표면 변화, 질량 손실 및 성능 저하가 관찰되며, 부식 생성물의 화학 분석을 통해 근본적인 메커니즘을 밝힐 수 있습니다. 환경 내구성 시험의 중요성은 실제 작업장이나 옥외 보관 환경에서 맨드릴의 성능을 예측하는 데 있습니다. 염수 분무 시험은 염화 이온으로 인한 공식 부식을 가속화하고, 습도 변화 시험은 응력 부식을 유발합니다. 시험 표준은 산업 규격을 참조하며, 노출 시간과 조건은 실제 적용 시나리오에 맞춰 조정됩니다. 시험 결과는 내구성 향상을 위한 표면 처리, 코팅 또는 부동태화 처리에 대한 지침을 제공합니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 환경 내구성 시험은 복잡한 조건에 대한 재료의 적응성을 입증하고, 실험 시뮬레이션을 통한 공구 수명 예측을 지원하며, 리벳 유지보수에 대한 실질적인 참고 자료를 제공합니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 6.3.1 염수 분무 시험을 통한 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 평가

염수 분무 시험을 통한 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 부식 특성 평가는 주로 중성 또는 산성 염수 분무 환경을 모사하여 맨드릴 시편을 노출시키고 부식 형태 및 속도의 변화를 관찰하는 방식으로 진행됩니다. 이 평가는 염소를 함유한 습한 환경에서 맨드릴의 표면 안정성과 내구성을 판단하는 데 도움이 됩니다. 시험에서 맨드릴은 염수 분무 챔버에 넣어지고 염화나트륨이 분무됩니다. 화학적으로 염화 이온은 표면에 흡착되어 부동태층을 파괴하고, 결합상이 우선적으로 용해되어 공식 또는 균일 부식을 발생시킵니다. 평가 과정에서는 노출 시간 경과 후 표면의 녹 반점, 공식 및 질량 손실을 기록합니다. 맨드릴의 텅스텐상은 강한 내염소성을 나타내며, 부식은 결합상 영역에서 시작됩니다.

평가 메커니즘은 미세 셀에 반영됩니다. 결합제는 양극 갈바닉 부식 끝단에서 용해되고, 텅스텐은 음극 보호 기능을 제공하며, 상부 막대는 낮은 공식 부식 경향을 보이지만 국부적인 손상은 심각합니다. 표면 처리의 효과를 평가한 결과, 코팅은 긴 염수 분무 내성을 보이며 부식 생성물이 거의 생성되지 않습니다. 열처리의 영향을 평가한 결과, 어닐링 처리는 균일한 미세 구조를 형성하고 염소 침투 속도를 늦춥니다. 조성 차이를 평가한 결과, 텅스텐-구리 시스템은 전도도에 의한 부식 감소 효과를 나타내는 반면, 텅스텐-니켈-철 시스템의 자기적 특성은 부식에 직접적인 영향을 미치지는 않지만 계면 결합이 부식 전파를 조절합니다.

염수 분무 시험은 맨드릴의 적용 적합성을 평가하는 데 사용됩니다. 해양 작업장에서 사용되는 맨드릴은 높은 염수 분무 저항성이 요구되는 반면, 일반적인 환경 기준을 충족하는 맨드릴도 충분합니다. 이 평가는 유지보수 방향을 제시하며, 특히 염수 분무에 민감한 맨드릴의 정기적인 세척을 강조합니다. 부식 생성물 및 산화물 유형에 대한 화학 분석은 근본적인 메커니즘을 밝혀줍니다. 염수 분무 시험은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에서 염소에 의해 촉진되는 부식 현상을 모의 실험적으로 보여주며, 형태학적 관찰을 통해 공구의 염수 분무 저항성을 이해하고 습한 환경에서의 작업 시 평가 기반을 마련하는 데 기여합니다.

### 6.3.2 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 내구성에 미치는 습도 변화의 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 내구성에 대한 습도 사이클링은 주로 온도와 습도 변화에 의해 유발되는 응력 부식 및 산화 거동을 모사하는 데 사용됩니다. 이 효과는 다양한 습도 환경에서 맨드릴의 장기 성능을 평가하고 보관 및 사용 조건을 결정하는 데 도움이 됩니다. 사이클링 과정은 고습도 및 고온 환경과 저습도 및 저온 환경이 번갈아가며 진행됩니다. 화학적으로, 표면의 수분 흡착은 산화를 촉진하고, 온도 변화는 열 응력을 발생시켜 맨드릴의 부동태화 증이 반복적으로 손상되고 복구되도록 합니다. 이러한 메커니즘은 수증기 응축으로 나타납니다. 고습도 환경에서는 표면에 액체 막이 형성되어 전해질을 만들고 바인더 상이 약간 용해됩니다. 저습도 환경에서는 건조 응력이 해소됩니다.

이러한 영향에는 피로 누적, 반복적인 사이클링 동안 발생하는 미세 응력, 그리고 맨드릴

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

계면에서의 미세 손상의 느린 전파 등이 포함됩니다. 표면 영향도 중요한데, 산화막 두께는 높은 습도에서 증가하고 낮은 습도에서는 균열이 발생하여 맨드릴 표면의 평활도가 점차 감소합니다. 열처리 또한 영향을 미치는데, 어닐링 처리는 응력을 낮추고 사이클링 손상을 줄여줍니다. 조성 차이도 중요한 역할을 합니다. 구리상은 빠른 열전도율과 열 방출 특성을 가지며 습도의 영향을 최소화하는 반면, 니켈상은 부동태화 안정성과 우수한 사이클링 내성을 제공합니다.

습도 순환 시험은 리벳 상단부의 보관 내구성을 평가하는 데 사용됩니다. 온대 또는 열대 환경에 사용되는 리벳 상단부는 높은 습도 순환 적응성을 요구합니다. 본 연구는 습도 노출을 줄이기 위한 밀봉 포장 등 보호 조치에 대한 지침을 제공합니다. 습도 순환 후 생성물 및 산화물 분포에 대한 화학 분석을 통해 그 메커니즘을 밝혀냈습니다. 텅스텐 합금 리벳 상단부의 내구성에 대한 습도 순환의 역할은 습한 환경에 대한 시뮬레이션 관점을 제공하고, 주기적 반응을 통한 공구 수명 평가를 지원하며, 환경 보관에서의 역할에 대한 기초를 제공합니다.

### 6.3.3 텅스텐 합금 리벳 상단에 다중 스케일 시뮬레이션 통합

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 다중 스케일 시뮬레이션 통합은 주로 원자 수준, 미시적 및 거시적 모델을 결합합니다. 이러한 통합은 복잡한 응력 및 환경 조건에서 맨드릴의 거동을 예측하는 데 도움이 되며, 재료 설계 및 성능 최적화에 대한 지침을 제공합니다. 다중 스케일 접근 방식은 원소 간 상호 작용에 대한 양자 역학적 계산에서 시작하여, 텅스텐과 바인더 상 사이의 결합 에너지에 대한 화학적 분석을 통해 확산 경로를 결정합니다. 이는 전위 운동 및 결정립계 반응에 대한 분자 동역학 시뮬레이션으로 확장되고, 최종적으로 응력 분포를 평가하기 위한 유한 요소 거시적 모델로 이어집니다.

통합 과정을 통해 합금 원소 편성이 원자 규모에서 계면 강도에 미치는 영향을 밝히고, 맨드릴의 응력 집중 영역에서 미세 균열 발생을 예측할 수 있습니다. 충격 변형에 대한 미세 규모의 이산 전위 동역학 시뮬레이션은 맨드릴의 2상 배위 메커니즘을 규명합니다. 거시적 연속체 모델은 미시적 매개변수를 통합하여 맨드릴의 전체 피로 수명을 예측할 수 있도록 합니다. 시뮬레이션 통합은 매개변수 전달을 통해 이루어지며, 원자 시뮬레이션 출력값은 결합 에너지를 미시적 입력값으로 변환하고, 미시적 결과는 거시적 구성 모델을 보정하는 데 사용됩니다.

응용 분야에서 다중 스케일 시뮬레이션은 리벳 하중 하에서 맨드릴의 손상 진행 과정을 평가합니다. 습도와 같은 환경 요인을 부식 모델에 통합하여 맨드릴의 응력 부식 민감도를 예측합니다. 조성 최적화 및 통합을 통해 다양한 바인더 상 비율에 따른 성능 변화를 시뮬레이션하고, 맨드릴의 인성과 강도 사이의 균형을 달성합니다. 열처리 시뮬레이션은 결정립 변화를 보여줌으로써 맨드릴의 내구성을 향상시키는 방안을 명확하게 제시합니다.

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 다중 스케일 시뮬레이션을 통합함으로써 원자 수준부터 부품 수준까지 전 세계적인 관점에서 분석을 수행하고, 모델 중첩을 통해 공구 성능 예측을

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

지원하며, 설계 개선을 위한 시뮬레이션 지침을 제공할 수 있습니다. 이러한 통합적이고 체계적인 접근 방식은 맨드릴 개발을 더욱 미래지향적으로 만들고 내구성 최적화를 위한 새로운 전산적 경로를 열어줍니다.

#### 6.3.4 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 응력 부식 균열에 대한 민감도 시험

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 응력 부식 균열 내구성을 주로 정하중 인장 시험 또는 저속 변형률 인장 시험을 통해 평가 됩니다. 이러한 시험은 모의 부식성 환경에서 응력을 가하고 균열 발생 및 전파 양상을 관찰하여 습윤 조건에서의 내구성을 평가하는 데 사용됩니다. 시편은 미리 노치를 내거나 표면을 매끄럽게 가공한 후 염소 또는 황을 함유한 용액에 담급니다. 화학적으로 응력은 양극 용해를 촉진하여 용액 내 부식과 함께 균열을 발생시킵니다. 정하중 시험은 일정한 응력을 유지하면서 파괴될 때까지의 변화를 관찰합니다. 저속 변형률 인장 시험은 동적으로 하중을 가하고 그 변화 곡선을 기록합니다.

시험 과정은 여러 단계로 나뉩니다. 초기 단계에서는 부동태층이 손상되고 결합상이 용해되어 공식 부식이 발생하며, 응력 집중으로 인해 균열이 시작됩니다. 중간 단계에서는 균열이 결정립계 또는 계면을 따라 전파되고, 상부 시편의 2상 구조에서 균열 경로가 휘어집니다. 후기 단계에서는 파괴가 가속화되지만, 상부 시편의 인성이 우수할수록 파괴 전파 속도는 느려집니다. 시험 환경의 온도와 습도는 제어되며, 염화 이온과 같은 가속 인자는 감도를 증가시킵니다.

감도 시험은 맨드릴 적용 분야의 적합성을 평가합니다. 습한 작업장에서 사용되는 맨드릴은 낮은 감도가 요구되는 반면, 건조한 환경에서 사용되는 맨드릴은 표준을 충족해야 합니다. 열처리 시험은 감도에 영향을 미치는데, 어닐링 응력은 감도를 감소시킵니다. 조성 차이 또한 감도 저하에 기여하며, 니켈-구리 시스템은 감도가 낮고, 이러한 맨드릴은 응력 부식 균열에 대한 저항성이 우수합니다. 시험은 보호 방법을 제시하는데, 코팅은 매체를 차단하여 감도를 감소시킵니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 응력 부식 균열을 통한 감도 시험은 하중-매체 시너지 효과에 대한 실험적 관점을 제공하며, 균열 관찰을 통한 공구 내구성 평가를 지원하고 습한 환경에서의 시험 기반을 구축하는 데 기여합니다. 체계적인 시험 방식은 맨드릴 감도의 배치 간 일관성을 보장하여 공정 개선을 위한 피드백 경로를 제공합니다.



CTIA 그룹 LTD 텅스텐 합금 리벳 탑 로드

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

Precision customization: support high density ( $17-19 \text{ g/cm}^3$ ), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

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

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

100,000+ customers

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

Service commitment

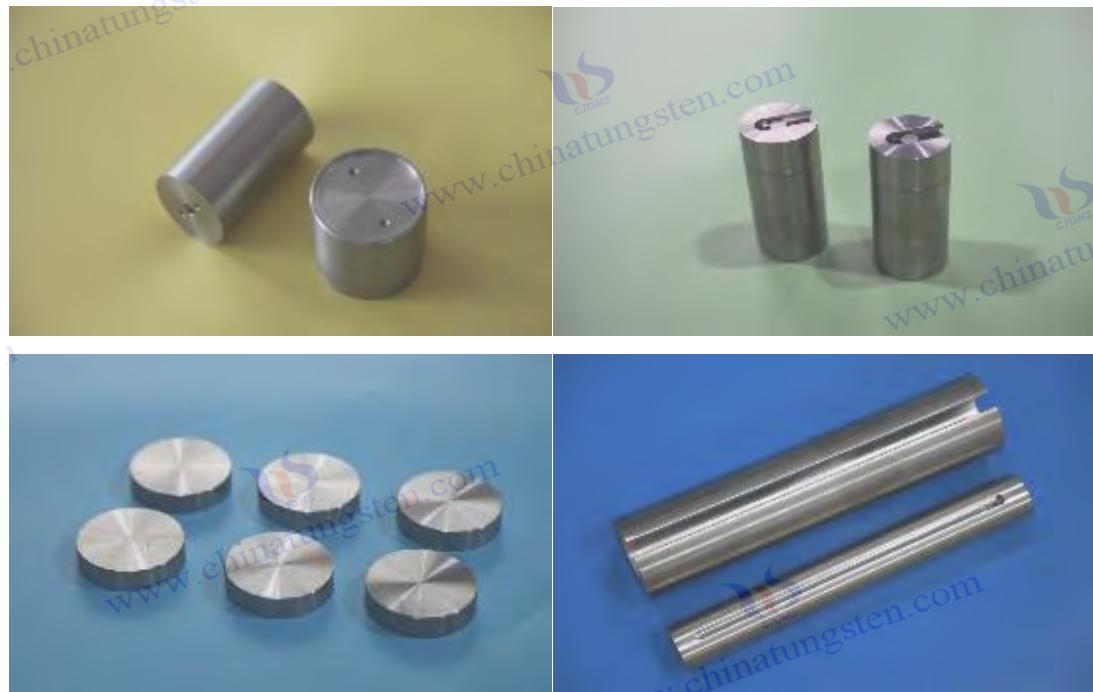
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

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

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

## 제 7 장 텡스텐 합금 리벳 봉의 응용

### 7.1 리벳팅 공정에서 텡스텐 합금 리벳 상단 바의 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 리벳팅 공정에서 역방향 지지 도구로 사용됩니다. 금속판이나 부품을 영구적으로 접합할 때 리벳 끝부분이 고르게 변형되어 견고한 접합부를 형성하도록 돋는 역할을 합니다. 맨드릴은 리벳의 한쪽 끝에 위치하여 망치질이나 압력에 의한 충격을 견뎌냅니다. 텡스텐 합금의 높은 밀도와 경도는 반력을 집중시켜 리벳 머리 부분에서 부드러운 소성 변형을 가능하게 합니다. 적용 분야는 수동 리벳팅, 공압 리벳 건, 자동 조립 라인 등 다양합니다. 맨드릴의 형상은 리벳의 종류와 일치하며, 매끄러운 표면은 마찰을 줄여줍니다.

리벳팅 공정에서 이젝터 핀의 역할은 변형 영역을 제어하는 것입니다. 이젝터 핀의 평평하거나 오목한 작업면은 꼬리 부분의 팽창을 수용하여 일관된 연결 강도를 보장합니다. 내충격성이 뛰어난 텡스텐 합금 이젝터 핀은 고빈도 작업에 적합하고 표면 마모가 느리며 유지보수가 최소화됩니다. 적용 분야는 다양한 재료의 리벳팅으로 확장됩니다. 알루미늄 합금 리벳에는 균형 잡힌 경도의 이젝터 핀이 사용되는 반면, 강철 리벳에는 고강도 이젝터 핀이 필요합니다. 이젝터 핀의 화학적 안정성은 냉각수나 오일 오염에 대한 저항성을 제공하여 다양한 조립 환경에 대한 적응성을 보장합니다.

리벳팅 공정에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 공구 재료의 엔지니어링 가치를 입증하며, 지지 최적화를 통해 연결 효율을 향상시키고 산업 조립에서 안정적인 성능을 제공합니다. 리벳팅 기술의 다양화와 함께 이러한 응용 분야가 확대되고 있으며, 연결 공정에 실질적인 도움을 주고 있습니다.

#### 7.1.1 리벳 성형 중 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 기계적 작용

리벳 성형 공정에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 기계적 역할은 주로 역방향 지지 및 에너지 전달에 있습니다. 이러한 역할 덕분에 리벳 꼬리는 충격이나 압력 하에서 균일한 소성 변형을 일으켜 견고한 접합부를 형성할 수 있습니다. 맨드릴은 강성 반력 부재로서 해머 하중을 지탱합니다. 텡스텐 합금의 높은 밀도와 강한 관성은 반력을 리벳 꼬리에 집중시키는 반면, 머리 부분은 변형 없이 매끄럽게 움직입니다. 이러한 기계적 메커니즘은 응력 분포에서 나타나는데, 맨드릴의 작업면이 꼬리에 밀착되어 균일한 응력을 발생시키고 국부적인 과부하를 방지함으로써 대칭적인 리벳 변형을 이끌어냅니다.

이 소재는 진동 흡수 기능도 갖추고 있으며, 상부 리벳 접합 단계에서 미세 변형과 연동하여 장비의 백래시를 줄이고 원활한 작동을 보장합니다. 화학적으로는 계면 마찰이 적고, 상부 리벳 표면이 매끄러워 열 축적을 줄이며, 리벳 성형 과정에서 온도 상승이 느립니다. 상부 리벳 본체는 강도가 높아 축 방향 하중 하에서도 굽힘을 방지하고 안정적인 지지력을 제공합니다. 기계적 특성은 리벳 종류에 따라 다르게 나타나는데, 블라인드 리벳의 상부 리벳은 팽창을 수용하는 반면, 셀프 피어싱 리벳의 상부 리벳은 전단에 저항합니다.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

맨드릴은 접합 품질을 최적화합니다. 맨드릴의 경도는 리벳 재질과 일치하여 변형을 제어하고 균열을 방지합니다. 실제 적용 시, 맨드릴은 리벳 견을 고정하여 하중을 직접 전달하고 일관된 리벳 체결력을 보장합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 기계적 작용은 지지 도구로서의 역할을 보여주며, 반력 조정을 통해 리벳팅 변형을 안정적으로 제어하여 조립 작업에 필요한 기계적 기반을 제공합니다.

### 7.1.2 탑 로드와 리벳 재료 간의 상호 작용 메커니즘

맨드릴과 리벳 재료 간의 상호작용 메커니즘은 주로 접촉면 마찰, 열전도 및 변형 조화에 의해 좌우됩니다. 이 메커니즘은 리벳팅 과정에서 접합 품질과 맨드릴의 내구성을 결정합니다. 맨드릴의 작업면이 리벳의 꼬리 부분과 접촉하면서 이 메커니즘이 시작됩니다. 충돌 시 마찰로 인해 전단력이 발생하고, 화학적으로 매끄러운 표면은 마찰 계수를 낮춰 리벳의 미끄러짐을 최소화하고 균일한 변형을 보장합니다. 또한 열 교환이 중요한데, 리벳의 소성 변형으로 발생하는 열이 맨드릴로 전달됩니다. 텅스텐 합금은 열전도율을 제공하여 열 방출을 돋고, 온도 구배는 완만하게 유지됩니다.

이 메커니즘에는 재료 이동도 포함됩니다. 리벳이 부드러울 때는 소량의 리벳이 맨드릴에 부착되고, 맨드릴이 단단할 때는 부착되는 재료의 양이 적어 표면 세척이 용이해집니다. 접착층은 미세 변형과 함께 작용하여 리벳의 반동 에너지를 흡수함으로써 맨드릴의 형상을 안정화합니다. 또한 화학적 안정화 메커니즘도 관여합니다. 맨드릴 표면의 부동태화층은 리벳 산화물로 인한 부식을 방지하고, 맨드릴은 리벳과의 접촉 후에도 매끄러운 표면을 유지합니다.

리벳 재질에 따라 상호작용 메커니즘이 달라집니다. 알루미늄 리벳은 부드럽고 온화한 상호작용을 보이는 반면, 강철 리벳은 강한 마찰로 인해 맨드릴의 높은 내마모성이 요구됩니다. 최적화된 표면 처리 메커니즘은 맨드릴 도금층의 접착력을 감소시켜 더욱 매끄러운 리벳 형성을 가능하게 합니다. 맨드릴과 리벳 재질 간의 상호작용 메커니즘은 접촉 상호작용에 대한 재질의 반응을 반영하며, 마찰-열적 조화를 통해 리벳팅 공정의 안정성을 유지하고 접합 공정의 근본적인 메커니즘을 제공합니다.

#### 7.1.2.1 텅스텐 합금 리벳 탑 로드 적용 시 접촉 응력 분포 분석

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 접촉 응력 분포 분석은 주로 맨드릴의 작업면과 리벳 끝단 사이의 압력 전달 및 국부 하중 특성에 초점을 맞춥니다. 이러한 분석은 리벳팅 과정에서 맨드릴의 균일한 지지력과 변형 제어 효과를 이해하는 데 도움이 됩니다. 접촉 응력 분포는 맨드릴 끝면과 리벳 끝단 사이의 반력에서 비롯됩니다. 텅스텐 합금의 높은 경도로 인해 응력은 접촉 중심에 집중되고 가장자리로 갈수록 점차 감소하여 응력 구배 분포를 형성합니다. 화학적으로 계면 마찰은 응력 분포에 영향을 미칩니다. 매끄러운 표면은 보다 균일한 응력 분포를 유도하는 반면, 거친 표면은 국부적인 최대 응력을 증가시킵니다.

본 분석은 유한 요소 시뮬레이션 또는 압입 시험을 통해 수행되었습니다. 맨드릴은 강한

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

축 방향 강성을 보이며, 반경 방향을 따라 응력 감소가 느리고, 리벳 테일의 변형 영역에서 일정한 압력을 유지합니다. 맨드릴의 오목한 디자인은 응력 분포를 조절하여 테일 팽창을 수용하고 응력을 가장자리로 분산시켜 중심부의 과부하를 방지합니다. 열간 가공 후 미세 구조는 섬유질화되어 축 방향 응력 전달이 강화되고 맨드릴의 응력 분포가 더욱 안정화됩니다. 또한, 조성 분석 결과 높은 텅스텐 함량이 높은 강성과 집중된 응력 분포를 유발하는 반면, 높은 결합상 함량은 더욱 유연하고 균일한 응력 분포를 보장하는 것으로 나타났습니다. 접촉 응력 분포 분석은 리벳 재질 적합성도 평가했습니다. 연질 리벳은 넓고 균일한 응력 분포를 보인 반면, 경질 리벳은 높은 경도의 맨드릴이 필요했습니다. 표면 처리 분석 결과, 코팅이 마찰 계수를 감소시키고 응력 분포를 최적화하는 것으로 나타났습니다. 화학적 안정성 분석에서는 맨드릴 표면에 반응층이 형성되지 않고 변화가 없음을 확인했습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 적용 시 접촉 응력 분포 분석은 압력 상호 작용에 대한 기계적 관점을 제공하며, 최적화된 응력 분포는 공구의 지지 성능을 향상시켜 리벳팅 공정에 대한 분석적 근거를 제시합니다.

### 7.1.2.2 텅스텐 합금 리벳 상단의 내구성에 대한 변형 조정의 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 내구성에 대한 변형 조화는 주로 이중상 미세구조의 응력 및 변형에 대한 반응에 반영됩니다. 이러한 영향으로 인해 맨드릴은 리벳팅 충격 시 에너지를 흡수하여 손상 누적을 줄일 수 있습니다. 변형 조화 메커니즘은 텅스텐 입자의 강성 골격과 결합상(binder phase)의 소성 네트워크 간의 시너지 효과에서 비롯됩니다. 충격 시 텅스텐상은 압축에 저항하는 반면, 결합상은 팽창하여 측면 팽창을 완충함으로써 맨드릴의 전체적인 변형을 최소화하고 작업면의 압입을 부드럽게 합니다.

충격 과정은 여러 단계로 진행됩니다. 초기에는 탄성 결합과 균일한 응력이 발생하고, 중간 단계에서는 소성 변형이 일어나며 결합재가 미끄러지면서 에너지를 흡수하여 맨드릴에 최소한의 미세 손상만 발생합니다. 마지막 단계에서는 복원이 일어나 맨드릴의 형상이 유지됩니다. 화학적으로 계면 결합이 강하여 분리 없이 결합이 이루어집니다. 열처리는 결합에 영향을 미치는데, 어닐링 처리를 하면 전위 밀도가 낮아지고 결합이 향상되어 맨드릴의 피로 저항성이 강화됩니다. 조성 또한 결합에 영향을 미치는데, 니켈-구리계는 우수한 연성과 결합성을 보여 충격 후 맨드릴의 복원 속도가 빠릅니다.

변형 조화의 영향은 표면 손상에도 영향을 미칩니다. 양호한 조화는 맨드릴의 균일한 마모와 더 긴 수명을 가져옵니다. 높은 리벳 경도에는 강력한 조화가 필요하며, 적절한 맨드릴 접합 비율이 필수적입니다. 표면 처리는 조화에 영향을 미치며, 유연한 코팅은 변형 흡수를 돋습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 내구성에 대한 변형 조화의 영향은 재료의 계면 반응 메커니즘을 반영하며, 최적화된 조화를 통해 공구 수명 성능을 향상시키고 리벳팅 작업에서 내구성 기반을 제공합니다.

### 7.1.3 고강도 리벳팅에서 텅스텐 합금 리벳 세터의 성능 요구 사항

고강도 리벳팅에 사용되는 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 주요 요구사항은 충격 저항성, 경도 분포 및 치수 안정성입니다. 이러한 요구사항은 티타늄 합금이나 고강도 강철

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

리벳과 같은 고강도 리벳이 변형 과정에서 더 큰 반력과 정밀한 지지력을 필요로 하기 때문입니다. 맨드릴은 리벳 끝부분의 압입 마모에 저항하기 위해 높은 경도를 가져야 합니다. 텅스텐 합금의 텅스텐 입자 골격은 강성을 제공하고, 결합상은 미세 변형을 조절하여 맨드릴 작업면의 급격한 찌그러짐이나 파손을 방지합니다. 화학적으로 강력한 계면 결합을 나타내어 응력 집중으로 인한 분리를 방지하고 전체적인 균일한 하중 지지력을 보장합니다.

요구 사항에는 피로 저항성도 포함됩니다. 고강도 리벳팅은 종종 고빈도 작업을 수반하며, 맨드릴의 반복적인 충격으로 인한 손상 축적은 느리게 진행되지만, 조직 섬유화가 피로 저항성을 향상시킵니다. 높은 열 안정성 또한 매우 중요하며, 리벳팅 열이나 고온 리벳팅 조건에서 맨드릴의 연화 경향이 낮아 치수 변화를 최소화하고 밀착성을 유지해야 합니다. 높은 밀도는 강력한 관성 반력, 리벳 변형 영역의 집중 압력 및 일관된 연결 강도를 보장합니다.

고강도 리벳팅에는 맨드릴의 매끄러운 표면, 열 축적을 줄이기 위한 낮은 마찰 계수, 그리고 느린 온도 상승이 요구됩니다. 냉각수 부식에 대한 내성을 확보하기 위해 화학적 안정성이 필수적이며, 이를 통해 장기간 사용 후에도 맨드릴 표면에 부식이 발생하지 않도록 해야 합니다. 단면 형상은 큰 변형을 수용하고 안정적인 지지력을 제공하기 위해 오목해야 합니다. 고강도 리벳팅에 사용되는 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 성능 요구 사항은 공구의 고하중 적응성을 반영하며, 경도와 인성의 균형을 통해 연결 품질을 향상시키고 까다로운 조립 환경에서도 안정적인 성능을 제공해야 합니다.

#### 7.1.4 자동 리벳팅 장비에서 텅스텐 합금 리벳 상단 바의 적응성

자동 리벳팅 장비에 사용되는 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 주요 장점은 빠른 교체, 정밀한 위치 지정, 그리고 뛰어난 내구성입니다. 이러한 적응성 덕분에 로봇이나 CNC 리벳팅 건과 원활하게 통합되어 조립 효율을 향상시킬 수 있습니다. 맨드릴의 고정단에는 스냅펫 또는 나사식 체결을 통한 빠른 설치가 가능한 표준 인터페이스가 적용되어 있습니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 높은 원형도는 우수한 위치 반복성을 보장하며, 장비에 안정적으로 고정되어 오차 없이 사용할 수 있습니다. 화학 처리된 표면은 매끄럽고 마찰이 적어 장비에 부드럽게 삽입할 수 있습니다.

자동화된 고주파 작동 중 맨드릴의 적응성은 공진 손상을 줄여줍니다. 높은 경도는 고속 충격에 적응하며, 맨드릴 작업면의 균일한 마모는 수명을 연장하여 교체로 인한 가동 중지 시간을 줄여줍니다. 열 안정성은 연속적인 리벳팅에 적응하며, 맨드릴의 열 방출은 온도 상승을 늦춰 치수 변화로 인한 정확도 저하를 최소화합니다. 적절한 밀도는 장비 부하에 적응하며, 맨드릴의 질량은 로봇 팔에 부담을 가중시키지 않습니다.

자동화 장비에서 맨드릴의 적응성은 다양한 리벳을 지원하기 위한 오목면-평면 전환 기능과 표준화된 맨드릴 재고 관리를 필요로 합니다. 화학적 안정성은 냉각 매체에 적응하여 부식 속도를 늦추고 유지보수를 최소화합니다. 자동 리벳팅 장비에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 적응성은 공구와 기계 간의 조화를 보여주며, 인터페이스 및 성능

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

매칭을 통해 조립 자동화를 지원하고 생산 라인의 효율성을 향상시킵니다.

## 7.2 항공우주 구조 연결부에 텅스텐 합금 리벳 상단 바의 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 항공우주 구조물 연결부에서 고강도 리벳팅을 위한 지지 도구로 사용됩니다. 항공기 동체, 엔진 부품, 위성 구조물 조립에 적용되어 경량 고강도 소재의 안정적인 연결을 구현하는 데 도움을 줍니다. 맨드릴의 높은 밀도와 경도는 안정적인 반력을 제공하고, 텅스텐 합금의 2 상 미세구조는 충격 변형을 조절하며, 맨드릴의 매끄러운 작업면은 재료 손상을 최소화합니다. 항공우주 연결부는 경량화와 피로 저항성이 중요한데, 적당한 밀도와 우수한 내구성을 지닌 텅스텐 합금 맨드릴은 반복 하중이 가해지는 환경에 적합합니다.

하며, 단면은 리벳 형상에 맞춰 설계되었습니다. 오목한 면은 리벳 꼬리 부분의 팽창을 수용하고, 평평한 면은 정밀한 임시 지지력을 제공합니다. 또한, 항공우주용 세척제에 대한 내성이 뛰어나 화학적 안정성이 우수하며, 표면 부식이 없어 연결부에 영향을 미치지 않습니다. 표준화된 맨드릴 인터페이스를 통해 자동 리벳팅 장비와의 호환성이 우수하여 고정밀 로봇 작업이 가능합니다. 항공우주 구조 연결부에 텅스텐 합금 리벳 맨드릴을 적용함으로써 공구 재료의 엔지니어링 적응성을 입증하고, 지지력 최적화를 통해 연결 품질을 향상시키며, 경량 구조 조립에서 안정적인 성능을 제공합니다.

### 7.2.1 티타늄 합금 리벳팅에서 텅스텐 합금 리벳 상단 선택 원칙

티타늄 합금 리벳팅에 사용되는 텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 경도 일치, 충격 저항 및 표면 호환성을 기반으로 합니다. 이러한 원칙들은 고강도 티타늄 리벳의 변형 과정에서 맨드릴이 안정적인 지지력을 제공하여 손상이나 불균일한 변형을 방지하도록 합니다. 경도 원칙은 맨드릴의 작업면이 티타늄 합금보다 단단해야 하며, 텅스텐 골격이 압입에 저항하여 맨드릴 압입을 줄이고 반력을 더욱 균일하게 한다는 것을 요구합니다. 충격 저항 원칙은 티타늄 리벳에 요구되는 높은 강도와 텅스텐 합금의 높은 밀도 및 강한 관성을 고려하여 맨드릴을 통해 에너지 전달을 집중시키는 것입니다.

선택 원칙에는 표면 호환성, 티타늄 칩 부착을 줄이기 위한 매끄러운 맨드릴, 갈바닉 부식 위험 없음, 맨드릴 도금 또는 부동태 처리 등이 포함됩니다. 크기 원칙에는 리벳 직경과의 일치, 꼬리 부분을 수용할 수 있도록 약간 더 큰 맨드릴 본체, 미적 매력을 위한 적절한 단면 오목도가 있습니다. 내구성 원칙은 수명 평가에 중점을 둡니다. 텅스텐 합금 맨드릴은 우수한 인성, 느린 피로도, 그리고 고빈도 리벳 작업 시 교체 횟수 감소 등의 장점을 보입니다.

리벳의 열간 리벳팅 공정에서는 열 안정성 원리가 적용되어 리벳 맨드릴이 연화되면서도 치수 안정성을 유지합니다. 화학적 순도 원리는 불순물을 최소화하여 티타늄 표면의 오염을 방지합니다. 티타늄 합금 리벳팅에 사용되는 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 선택 원칙은 공구와 재료 간의 조화를 고려한 것입니다. 이러한 원칙에 기반한 최적의 조합은 고강도 접합을 구현하는 데 기여하며, 항공우주 구조물에 적합한 공구를 선택하는 데

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

중요한 지침을 제공합니다.

### 7.2.2 복합재료 리벳팅 시 텡스텐 합금 리벳 상단 표면 특성에 대한 요구사항

복합재 리벳팅에 사용되는 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 주요 요구사항은 평활도, 마찰제어 및 비파괴 접촉입니다. 이러한 요구사항은 복합재가 표면 긁힘 및 박리에 민감하여 리벳팅 후 구조적 무결성을 보장하기 위한 것입니다. 높은 평활도가 요구되며, 맨드릴의 작업면은 거울처럼 매끄럽게 연마되어 섬유 파손이나 수지 손상을 줄이고, 리벳 꼬리가 변형될 때 입자 탈락 및 충간 오염을 방지합니다.

마찰 제어 요건은 낮은 마찰 계수, 이젝터 핀의 브러시 처리 또는 코팅된 표면, 복합재 기판의 변형을 유발하는 과도한 토크를 방지하기 위한 부드러운 슬라이딩으로 나타납니다. 화학적으로 이젝터 핀은 매우 불활성이며, 수지 경화에 영향을 미치는 반응 생성물이 없어야 합니다. 손상 방지 요건은 이젝터 핀 끝면의 매끄러운 전환, 균일한 압력 분포, 그리고 이젝터 핀에 의해 지지될 때 복합재에 움푹 들어간 곳이나 미세 균열이 발생하지 않아야 함을 요구합니다.

요구 사항에는 적절한 전도성, 리벳에서 발생하는 빠른 정전기 방전, 그리고 탄소 섬유에 대한 스파크 손상 방지가 포함됩니다. 우수한 열 전도성과 리벳팅 중 빠른 열 방출, 그리고 복합재의 열 민감성을 보호하기 위한 리벳의 낮은 온도 상승이 필수적입니다. 또한, 리벳 표면에 수지 잔류물이 흡착되지 않아 세척이 용이해야 합니다. 복합재 리벳팅에 사용되는 텡스텐 합금 리벳의 표면 특성은 공구와 민감한 재료 간의 상호 작용을 반영합니다. 최적화된 특성은 비파괴 접합을 지원하여 항공우주 복합 구조물의 표면 보호 기능을 제공합니다.

### 7.2.3 진동 환경에서 텡스텐 합금 리벳 상단부의 안정성 분석

진동 환경에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 안정성 분석은 주로 주기적인 기계적 하중 하에서의 응답 특성에 초점을 맞춥니다. 이러한 분석은 동적 조립 또는 사용 중 맨드릴의 형상 유지 및 지지 신뢰성을 이해하는 데 도움이 됩니다. 진동 환경은 장비 작동 중 발생하는 기계적 진동이나 조립 라인의 연속 작업에서 흔히 나타납니다. 맨드릴은 지지 도구로서 이러한 하중을 견딜 때 심각한 변형이나 손상을 방지해야 합니다. 텡스텐 합금의 2 상 구조는 분석에 반영됩니다. 텡스텐 입자 골격은 진동에 저항하는 강성을 제공하고, 결합제는 미세 변형 에너지 흡수를 조절합니다. 맨드릴의 전반적인 안정성은 이러한 상들 간의 상호작용에 따라 달라집니다.

진동 시험을 통해 분석 과정을 모사했습니다. 상단 막대를 진동대에 고정하고 다양한 주파수와 진폭을 가했습니다. 변위와 응력 변화를 기록했습니다. 화학적 계면 결합이 강할수록 진동 감쇠 속도가 빨라지고 상단 막대의 공진 경향이 낮아졌습니다. 안정성 분석을 통해 공진 주파수를 평가했습니다. 상단 막대의 종횡비가 클수록 저주파수에서 민감도가 높았으며, 더 짧고 두꺼운 설계가 안정성을 최적화했습니다. 진동에는 열적 영향이 수반되었는데, 마찰열 발생은 상단 막대의 열전도율에 의해 완화되어 열 방출이

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

촉진되었고, 결과적으로 온도 상승 속도가 느려지고 안정성이 향상되었습니다.

진동 분석에는 피로 누적도 포함됩니다. 반복 진동 하에서 맨드릴의 미세 손상 전파는 그리고 결합재는 빠르게 회복되므로 분석을 통해 수명을 예측할 수 있습니다. 조성 분석 또한 중요한 역할을 합니다. 니켈-구리 시스템은 우수한 감쇠 및 높은 진동 흡수율을 보이는 반면, 니켈-철 시스템은 높은 강도와 안정성을 나타냅니다. 표면 처리 분석은 이러한 효과를 더욱 향상시킵니다. 브러싱 처리된 표면은 진동 에너지를 분산시켜 맨드릴의 안정성을 개선합니다. 순도 관리는 불순물을 최소화하여 진동 중 결함 발생 지점을 줄입니다.

진동 조건 하에서의 맨드릴 안정성 분석은 설계에 중요한 지침을 제공합니다. 평평한 단면은 균일한 지지력을 제공하여 진동 중 응력 분포를 원활하게 합니다. 열처리 분석을 통해 어닐링이 잔류 응력을 해소하고 안정성을 향상시키는 효과를 확인할 수 있습니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 진동 안정성 분석은 재료의 동적 반응 평가를 지원하고, 하중 시뮬레이션을 통해 공구 진동 적응을 지원하며, 조립 환경 내 분석적 기반을 구축하는 데 기여합니다. 체계적인 분석을 통해 진동 조건 하에서의 맨드릴 성능을 예측할 수 있으며, 이는 공정 개선을 위한 피드백 경로를 제공합니다.

#### 7.2.4 저온 리벳팅 공정에서 텅스텐 합금 리벳 상단에 대한 특별 요구 사항

극저온 리벳팅 공정에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 요구되는 특수 조건은 주로 저온 인성과 치수 안정성에 중점을 둡니다. 이러한 요구 사항은 저온에서 재료의 취성 증가 및 수축 현상에서 비롯되며, 냉간 조립 과정에서 맨드릴의 안정적인 지지와 조화로운 변형을 보장해야 합니다. 저온 환경은 극저온 창고나 콜드체인 장비의 리벳팅과 같이 맨드릴이 취성 파괴 위험에 저항해야 하는 경우에 흔히 발생합니다. 텅스텐 합금의 이중상 구조는 이러한 요구 사항에 반영되어 있습니다. 텅스텐상은 저온에서 슬립이 적은 반면, 결합상은 팽창 및 조정되어 인성을 향상시킵니다.

요구 사항에는 낮은 저온 취성 전이 온도가 포함되어야 하며, 이는 맨드릴이 영하의 온도에서 충격 시 더 많은 에너지를 흡수하여 갑작스러운 파손을 방지하도록 합니다. 특별한 조성 요구 사항도 있습니다. 니켈-구리 시스템은 맨드릴에서 우수한 저온 인성과 강한 저온 충격 저항성을 나타내며, 니켈-철 시스템은 전이 온도를 조절하기 위한 첨가제가 필요합니다. 열처리에는 저온 시효가 필요하며, 이는 석출을 통해 결정립계를 강화하여 맨드릴의 취성 경향을 낮추는 결과를 가져옵니다.

치수 안정성을 위해서는 저온 수축이 최소화되고, 맨드릴의 열팽창 계수가 낮아야 하며, 지지 과정에서 리벳과의 일관된 밀착이 보장되어야 합니다. 또한, 저온에서 리벳 변형을 지지할 때 마찰을 최소화하고 결로 및 동결 현상을 방지하기 위해 매끄러운 표면이 필요합니다. 화학적 안정성을 위해서는 저온 산소에 대한 내성이 요구되며, 맨드릴 표면에 동결 부식이 발생하지 않아야 합니다. 저온 리벳팅 공정에서 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 요구되는 이러한 특정 조건들은 저온 환경 적응성에 필요한 재료 요구를 반영합니다. 맨드릴의 인성과 안정성은 공구의 저온 성능을 뒷받침하며, 저온 조립의

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기본 요건을 충족하는 데 기여합니다.

### 7.3 자동차 및 철도 운송 장비 제조 분야에서 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 자동차 및 철도 운송 제조 분야에서 리벳팅 지지 도구로 사용됩니다. 자동차 차체, 운전실 또는 새시의 구조적 연결부에 적용되어 경량 소재의 고강도 리벳팅을 구현하는 데 도움을 줍니다. 자동차 제조는 경량화와 고강도를 중시하는 반면, 철도 운송은 내구성과 진동 저항성을 우선시합니다. 맨드릴의 높은 밀도와 경도는 안정적인 반력을 제공하며, 텅스텐 합금의 이중상 구조는 충격 변형을 효과적으로 제어합니다. 알루미늄 합금, 강판 및 복합 재료의 리벳팅에 적용되며, 맨드릴 단면 설계는 리벳 종류에 맞춰 조정됩니다.

자동차 차체 조립 라인에서 탑 로드는 셀프 피어싱 또는 블라인드 리벳팅을 지원하여 일관된 연결 강도와 긴 내충격성을 보장합니다. 철도 운송 차량 제조에서는 스테인리스강 또는 알루미늄 합금 리벳팅에 사용되어 진동 환경에서 안정적인 지지력을 제공합니다. 또한 우수한 화학적 안정성을 보여 작업장 냉각수 및 오일 오염 물질에 대한 내성이 뛰어납니다. 표준화된 인터페이스를 통해 로봇의 원활한 작동을 가능하게 하는 강력한 자동화 호환성도 갖추고 있습니다. 자동차 및 철도 운송 제조 분야에서 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 적용은 공구 재료의 엔지니어링 적응성을 입증하며, 지지력 최적화를 통해 연결 효율을 향상시키고 운송 구조물 조립에서 안정적인 성능을 제공합니다.

#### 7.3.1 경량 차량 차체 리벳팅에서 텅스텐 합금 리벳 상단 바의 적응성

경량 차량 차체 리벳팅에서 텅스텐 합금 리벳 상단 바의 적응성은 주로 알루미늄 합금 또는 고강도 강철 리벳을 지지하는 능력에서 나타납니다. 이러한 적응성은 연결 강도를 유지하면서 무게를 줄이는 데 도움이 됩니다. 경량 차량 차체는 종종 알루미늄 판재 또는 하이브리드 소재를 사용하며, 리벳팅 시 손상을 방지하기 위해 변형을 제어해야 합니다. 상단 바의 높은 경도는 알루미늄 리벳의 압착력을 견디고, 매끄러운 작업면은 극힘을 줄여주며, 균일한 지지력과 대칭적인 리벳 성형을 가능하게 합니다.

적응 메커니즘은 기계적 평형 상태에서 구현됩니다. 텅스텐 합금은 적당한 밀도를 가지고 있어 장비 부하를 증가시키지 않고 반력을 집중시킵니다. 상부 로드의 관성은 에너지 전달을 돋고, 리벳 끝부분은 부드럽게 팽창합니다. 접착층은 최소한의 변형으로 조율되어 상부 로드 충격 시 우수한 진동 흡수를 제공하고 차체 패널에 추가적인 응력을 가하지 않습니다. 화학적 안정성은 조립 라인 냉각수에 적합하며, 상부 로드 표면은 연결부에 영향을 미치는 부식이 발생하지 않습니다. 단면 설계는 평평하거나 약간 오목하게 되어 있어 셀프 피어싱 리벳 또는 솔리드 리벳을 사용할 수 있으며, 상부 로드 장착 시 높은 정밀도를 보장합니다.

경량 리벳팅에 사용되는 텅스텐 합금 리벳 탑 로드의 적응성은 자동화 호환성, 안정적인 로봇 클램핑을 위한 우수한 로드 원형도, 고빈도 작업 중 긴 수명 등을 포함합니다. 열처리 후, 균일한 미세 구조를 가지며, 강한 피로 저항성을 보여 연속 생산 라인에서

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

교체 횟수를 줄여줍니다. 표면 연마 적응성이 우수하고, 마찰이 적으며, 리벳 미끄러짐이 최소화되어 성형 품질이 안정적입니다. 경량 자동차 차체 리벳팅에 사용되는 텡스텐 합금 리벳 탑 로드의 적응성은 경량 소재와의 뛰어난 조화를 보여주며, 최적화된 지지력을 통해 자동차 차체 연결부에 가볍지만 강력한 결합을 구현하여 자동차 제조에 실질적인 가치를 제공합니다.

### 7.3.2 고주파 리벳팅 공정에서 텡스텐 합금 리벳 탑 로드의 마모 거동에 대한 연구

본 연구는 고주파 리벳팅 공정에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 마모 거동을 조사하고, 특히 연속적인 고속 충격 하에서의 표면 손상 진행 양상에 초점을 맞추었습니다. 이 연구는 자동화된 고속 조립 라인에서 맨드릴의 내구성 성능을 이해하는 데 도움을 줍니다. 고주파 리벳팅 공정은 분당 수십 회 또는 그 이상의 충격 빈도를 수반하며, 맨드릴의 작업면이 리벳 끝부분과 반복적으로 접촉합니다. 이러한 마찰과 압흔 축적은 마모를 유발합니다. 본 연구에서는 텡스텐 합금의 이중상 구조가 명확하게 드러납니다. 텡스텐 입자의 높은 경도는 압흔에 대한 저항력을 제공하는 반면, 결합상은 미세 변형을 조절하여 에너지를 흡수함으로써 맨드릴에 균일하고 미세한 마모 형상을 형성합니다.

본 연구는 시뮬레이션 실험 또는 생산 라인 모니터링을 통해 수행되었습니다. 고주파 리벳 건에 상부 로드를 고정하고, 여러 사이클에 걸쳐 표면 거칠기와 부피 손실을 측정하였습니다. 화학적으로, 결합재가 우선적으로 마모되어 얇은 피트가 형성되었습니다. 텡스텐 입자가 노출된 후에는 마모 속도가 느려졌다. 마모 거동은 단계적으로 진행되었습니다. 초기에는 연마된 표면이 매끄럽고 마모가 느리게 진행되었으며, 중간 단계에서는 미세 피트가 축적되어 거칠기가 증가했고, 후기에는 마모율이 안정화되었습니다. 고주파에 따른 열적 영향으로는 마찰열 발생이 산화 마모를 가속화하는 반면, 상부 로드의 열전도는 열 방출을 도와 마모를 완화시켰다.

고주파 공정 연구에서는 단면 형상의 영향도 평가했습니다. 오목한 표면은 변형으로 인해 마모 분포가 넓어지는 반면, 평평한 표면은 일시적이지만 균일한 마모를 보였습니다. 표면 처리 효과를 평가한 결과, 도금이나 경화 처리는 초기 마모를 감소시켰지만, 기판이 노출된 후에는 마모 양상이 역전되었습니다. 조성 차이도 고려되었습니다. 텡스텐-구리 합금은 우수한 열전도율과 마모에 미치는 열적 영향이 적은 반면, 니켈-철 합금은 높은 경도와 뛰어난 내마모성을 나타냈습니다. 고주파 리벳팅 공정은 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 마모 거동을 연속적인 하중 손상 관점에서 분석할 수 있도록 했습니다. 이러한 거동 분석은 공구 수명 평가에 도움이 되었으며, 자동 조립 공정에서 내구성 기준을 제시했습니다.

### 7.3.3 다중 재질 연결부에서 텡스텐 합금 리벳 상단부의 호환성

다양한 재질 접합에 사용되는 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 가장 큰 장점은 다양한 리벳 재질과 판금에 대한 뛰어난 적응성입니다. 이러한 호환성은 알루미늄-강철 또는 알루미늄 복합재 접합과 같은 하이브리드 구조 리벳팅에서 특히 두드러지며, 맨드릴을 통해 안정적이고 손상 없는 지지력을 제공합니다. 이러한 호환성은 맨드릴의 경도와 표면

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

조도의 균형에서 비롯됩니다. 텡스텐 합금의 높은 경도는 강철 리벳의 압입을 방지하는 반면, 매끄러운 표면은 알루미늄이나 복합재 판재의 긁힘을 줄여줍니다. 또한, 맨드릴은 화학적으로 매우 안정적이어서 이종 재질 간의 계면에 영향을 미치는 갈바닉 커플링이나 화학 반응이 발생하지 않습니다.

호환성 메커니즘은 변형 조정에 반영됩니다. 맨드릴의 작업면이 연질 리벳과 접촉할 경우 반력이 완화되어 복합재층이 파손되는 것을 방지합니다. 경질 리벳을 사용할 경우 높은 강성을 보여 변형이 집중되고 성형성이 우수해집니다. 단면 설계는 다양한 용도에 적합하도록 설계되었으며, 얇은 오목부는 알루미늄 리벳의 팽창을 수용하고 평평한 면은 강철 리벳을 임시로 지지합니다. 열전도 호환성은 빠른 열 방출을 보장하며, 맨드릴은 재료에 따라 발생하는 열 발생량이 다르더라도 안정적인 온도 상승을 유지합니다. 표면 처리 호환성은 유연한 코팅을 가능하게 하며, 맨드릴과 복합 수지의 접촉면은 오염되지 않습니다. 다중 재료 접합에서 맨드릴의 호환성은 진동 응답 평가에도 중요한 요소입니다. 하이브리드 구조는 복잡한 진동을 나타내는데, 조화로운 감쇠 기능을 갖춘 맨드릴은 손상을 최소화합니다. 화학적 안정성은 세척제와의 호환성을 보장하여 부식 생성물이 접합 부위를 오염시키는 것을 방지합니다. 텡스텐-구리 전도성으로 인한 정전기 방전 개선을 통해 조성 호환성과 조정이 가능하므로 탄소 섬유 복합재에 적합합니다. 다중 재료 접합에서 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 호환성은 이 공구가 서로 다른 재료에 적용할 수 있음을 보여줍니다. 조화로운 경도와 표면 마감을 통해 하이브리드 구조의 안정적인 리벳팅을 지원하며, 경량 제조 분야에서 호환성의 기반을 마련합니다.

#### 7.4 정밀 기계 조립에서 텡스텐 합금 리벳 봉의 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 정밀 기계 조립에서 소형 또는 고정밀 리벳팅을 위한 지지 도구로 사용됩니다. 이러한 용도는 계측기, 의료 기기, 광학 장비 등의 구조 연결에서 두드러지게 나타나며, 소형 부품을 안정적으로 고정하는 데 도움을 줍니다. 정밀 기계 조립에서는 손상 없는 연결, 정밀한 변형, 그리고 치수 일관성이 중요합니다. 맨드릴의 높은 경도와 매끄러운 표면은 안정적인 반력을 제공하며, 텡스텐 합금의 이중상 구조는 미세 충격을 완화하여 부품에 흡집이 생기거나 응력이 집중되는 것을 방지합니다.

조립에 사용되는 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 직경이 작고 거울처럼 매끄럽게 연마된 작업면을 가지고 있어 마이크로 리벳을 지지할 때 균일한 압력 분포를 보장합니다. 또한 화학적 안정성이 뛰어나 클린룸 환경에 적합하며 정밀 부품을 오염시킬 수 있는 입자 방출을 방지합니다. 수동 및 전동 정밀 리벳 건 모두와 호환 되는 소형 맨드릴 인터페이스는 유연한 작동을 가능하게 합니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 정밀 기계 조립에 적용되어 공구 재료의 정밀한 적용을 보여주며, 최적화된 지지를 통해 미세 연결부의 품질을 향상시키고 고정밀 제조에서 안정적인 성능을 제공합니다.

##### 7.4.1 마이크로 리벳팅에서 텡스텐 합금 리벳 상단 바의 치수 정확도 요구 사항

마이크로 리벳팅에 사용되는 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 주요 요구사항은 맨드릴 직경, 작업면 평탄도 및 동축성입니다. 이러한 요구사항은 작은 리벳을 지지할 때 맨드릴의

###### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

정확한 위치 지정과 균일한 압력을 보장하여 정밀 부품의 변형이나 변위를 방지합니다. 맨드릴 직경은 마이크로 리벳의 꼬리 부분과 최소한의 편차로 일치해야 견고한 결합을 확보할 수 있습니다. 화학적으로 매끄러운 표면은 마찰을 줄이고, 높은 치수 정밀도는 대칭적인 리벳 형성을 가능하게 합니다. 평탄도는 지지 과정에서 국부적인 돌출부가 없고 정밀 기기 부품에 움푹 들어간 자국이 없는 매끄러운 작업면을 요구합니다.

이 메커니즘은 공차 제어에 반영되어야 하며, 편심 하중을 방지하기 위해 로드 본체의 높은 동축성을 확보하고 충격 시 응력 분포를 균일하게 해야 합니다. 일정한 길이 정밀도가 요구되며, 이젝터 핀은 장비 내에서 안정적으로 위치해야 하고, 반복적인 리벳팅 작업 중에도 위치가 변하지 않아야 합니다. 열처리 후 높은 치수 안정성이 요구되며, 이젝터 핀의 열 수축을 최소화하고 조립 환경 온도 변화에도 불구하고 정밀도를 유지해야 합니다.

마이크로 리벳팅용 맨드릴의 치수 정밀도 요구 사항에는 단면 형상 제어, 정밀한 얇은 오목 또는 평면 헤드 성형, 그리고 마이크로 리벳팅 팽창 시 넘침 없이 수용할 수 있는 능력이 포함됩니다. 낮은 표면 조도를 위해서는 추가적인 정밀도가 요구되며, 맨드릴 마찰을 최소화하여 부드러운 변형을 보장해야 합니다. 화학적 순도 관리는 불순물을 최소화하고 일관된 치수 가공을 보장합니다. 마이크로 리벳팅용 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 치수 정밀도 요구 사항은 정밀 공구의 기하학적 제약 조건을 반영합니다. 정밀도 최적화는 작은 연결부의 안정적인 구현을 지원하고 기기 조립의 치수적 기반을 강화하는 데 기여합니다.

#### 7.4.2 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 정밀 적용에서 표면 개질의 역할

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 정밀 가공에서 표면 개질은 주로 도금, 부동태 처리 또는 미세 텍스처링을 통해 이루어집니다. 이러한 공정은 고정밀 리벳팅에서 맨드릴의 표면 안정성과 기능적 적응성을 향상시킵니다. 정밀 가공에서는 비파괴 접촉과 장기적인 평활도가 중요합니다. 표면 개질은 환경 부식을 화학적으로 차단하는 보호층을 형성하고, 맨드릴 작업 면의 마모를 늦추며, 매끄러운 리벳 형성을 촉진합니다. 니켈-인 또는 크롬-질소와 같은 도금은 경도를 증가시켜 맨드릴이 미세 리벳 압착에 저항하도록 돋고, 낮은 표면 거칠기는 긁힘을 줄여줍니다.

개질 효과는 마찰 제어에 반영되어 표면 마찰 계수를 낮추고 이젝터 핀과 리벳 사이의 미끄러짐을 줄여 정밀 부품의 균일한 변형을 가능하게 합니다. 자체 생성 또는 인위적으로 형성된 패시베이션 층은 습한 클린룸 환경에서 이젝터 핀의 산화를 천천히 진행시켜 매끄러운 표면을 유지합니다. 미세 구조 개질은 빛을 산란시켜 이젝터 핀 작동 시 눈부심을 줄이고 시각적 편안함을 향상시킵니다. 개질 후 향상된 화학적 안정성은 세척제에 대한 내성을 부여하여 정밀 조립 과정에서 잔류 오염이 발생하지 않도록 합니다.

표면 개질은 열 관리에도 영향을 미칩니다. 코팅의 열전도율은 열 방출을 돋고, 이젝터 핀의 온도 상승 속도를 늦춰 열에 민감한 부품을 보호합니다. 개질 두께를 제어하면 이젝터 핀의 치수 정확도를 유지할 수 있습니다. 정밀 가공 분야에서는 개질을 통해

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

접촉을 최적화하고, 이젝터 핀이 마이크로 리벳을 효과적으로 고정하여 리벳 유출을 방지합니다. 텡스텐 합금 리벳 이젝터 핀의 정밀 가공 분야에서 표면 개질의 역할은 표면 엔지니어링의 정교한 기여를 보여줍니다. 보호층을 통해 공구 표면 성능을 항상시키고 고정밀 조립을 위한 안정적인 기반을 제공합니다.

#### 7.4.3 텡스텐 합금 리벳 탑 로드 재질의 순도에 대한 클린룸 환경 요구사항

클린룸 환경에서 텡스텐 합금 리벳 탑 로드의 순도 요구 사항은 주로 입자 탈락 및 화학적 오염 방지 필요성에서 비롯됩니다. 이러한 요구 사항은 정밀 기기 또는 의료 기기의 리벳팅에서 특히 중요하며, 탑 로드가 조립체의 청결도에 영향을 줄 수 있는 불순물을 유입시키지 않도록 해야 합니다. 고도의 클린룸 환경에서는 탑 로드 재질의 분진 발생량이 매우 낮아야 합니다. 텡스텐 합금 분말 야금 공정은 불순물을 제거하고, 화학적으로 낮은 산소 및 탄소 함량은 산화물 탈락을 줄여 탑 로드 표면에 미세 입자가 없도록 합니다.

요구 메커니즘은 표면 청결도에 반영됩니다. 연마 후 이젝터 핀은 잔류물을 최소화하여 작동 중 분리 위험을 줄입니다. 바인더 상에 휘발성 원소가 없어 높은 부품 순도를 자랑하며 고온 또는 진공 상태에서도 안정성을 보장합니다. 열처리에는 진공 어닐링이 포함되어 내부의 기체 불순물을 완전히 제거함으로써 사용 중 방출을 방지합니다. 화학 세척에는 순한 용제가 사용되므로 이젝터 핀 표면의 잔류물을 쉽게 제거할 수 있습니다.

클린룸 환경에서 사용되는 탑 로드에 대한 클린룸 환경 요구사항에는 비자성 변형 제품도 포함됩니다. 텡스텐-구리 시스템은 자성 분진 흡착을 방지합니다. 코팅에는 탑 로드의 보호 층이 벗겨지는 것을 방지하기 위해 불활성 재료가 필요합니다. 순도 요구사항은 분진 배출 시험을 통해 평가되며, 탑 로드는 요구되는 기준을 충족하기 위해 진동이나 마찰로 인한 입자 발생이 최소화됩니다. 클린룸 환경에서 사용되는 텡스텐 합금 리벳 탑 로드의 순도 요구사항은 고청정 조립 공정의 재료 제약 조건을 반영합니다. 정제 공정은 공구의 오염 없는 성능을 보장하고 정밀 환경에서 깨끗한 기반을 구축하는 데 기여합니다.



CTIA 그룹 LTD 텡스텐 합금 리벳 탑 로드

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## 제 8 장 텡스텐 합금 리벳 상단의 일반적인 문제점

### 8.1 텡스텐 합금 리벳 탑 제조 공정에서의 결함 발생

텅스텐 합금 리벳 맨드릴 제조 과정에서 발생하는 결함은 주로 분말 야금 공정의 여러 단계에서 발생하는 변동에서 비롯됩니다. 이러한 결함은 맨드릴의 미세 구조 균일성과 기계적 특성의 일관성에 영향을 미칩니다. 결함 유형에는 잔류 기공, 입자 분리, 균열 및 개재물이 포함되며, 이는 원료 혼합부터 소결 후 처리까지 다양한 단계에서 발생할 수 있습니다. 불균일한 혼합은 결합재 상의 국부적인 농축을 초래하고, 응력 구배 압축은 박리를 유발하며, 소결 온도 범위의 편차는 불충분한 재배열 또는 과도한 유동을 초래합니다.

결함 형성 메커니즘은 계면 상호 작용에서 나타납니다. 텁스텐 입자가 결합제와 충분히 젖지 않으면 계면에 많은 기공이 발생하고, 화학적으로 불순물이 산소 및 탄소와 반응하여 기체로 채워진 기공을 생성합니다. 열 응력의 부적절한 해소는 미세 균열을 유발하며, 상단 막대의 막대형 형상 비율은 끝단 결함을 증폭시킵니다. 결함 제어는 매개변수 최적화 및 보조 공정을 통해 달성되며, 볼 밀링은 균일성을 향상시키고 고온 등방압 성형은 기공을 폐쇄합니다.

제조 공정 중 발생하는 결함 분석은 품질 개선에 도움이 되며, 현미경 관찰 및 밀도 시험을 통해 문제점을 파악하고, 맨드릴 성능 분석을 통해 공정 조정을 위한 피드백을 얻을 수 있습니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴 제조 과정에서 발생하는 결함은 분말 야금 공정의 어려움을 보여줍니다. 공정 제어는 신뢰할 수 있는 공구 생산을 지원하고 리벳팅 작업에 필요한 품질 기반을 마련합니다.

#### 8.1.1 불균일 소결이 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 미세구조에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 미세구조에 나타나는 소결 불균일성은 주로 밀도 구배 및 상분포 편차로 나타납니다. 이러한 현상은 맨드릴 빌렛의 긴 방향에서 더욱 두드러지게 나타나며, 전체적인 강도 및 충격 저항의 균일성에 영향을 미칩니다. 소결 불균일성은 온도 분포 또는 분위기 변동, 빌렛 중심부와 가장자리 사이의 액상 출현 시점, 그리고 재배열 정도에 의해 발생합니다. 액상 흐름이 불충분한 영역에서는 텁스텐 입자 간의 접촉이 적고 잔류 기공이 더 많이 발생합니다.

영향 메커니즘은 입자 재배열에 반영됩니다. 불균일한 영역에서 텁스텐 입자는 구형화가 불량하고, 날카로운 모서리에서 응력이 집중되며, 맨드릴의 국부적인 취성이 높아집니다. 바인더 상 분리 영역은 인성은 좋지만 강도가 낮아 맨드릴의 축 방향 특성에 변동을 초래합니다. 불균일한 계면 결합과 화학 확산 영역의 두께 변화는 충격 시 맨드릴 분리 위험을 증가시킵니다. 열간 가공 후에는 불균일성이 더욱 심화되고, 섬유 조직이 불연속적으로 변하며, 맨드릴의 굽힘 강도가 감소합니다.

소결 불균일성은 결정립 크기 차이에도 영향을 미쳐 고온 영역에서는 결정립이

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

조대화되고 저온 영역에서는 미세 결정립이 형성되어 맨드릴에 피로 균열 발생 지점이 증가합니다. 불균일한 불순물 휘발은 이러한 영향을 더욱 악화시켜 맨드릴에 국부적인 취성상 형성을 유발합니다. 단면 금속 조직 관찰을 통한 밀도 분포 분석은 다중 구역으로 온도 제어에 활용됩니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 미세 구조에 미치는 소결 불균일성의 영향은 고온 공정에서 균일성을 확보하는 것이 얼마나 어려운지를 보여줍니다. 현장 최적화를 통해 안정적인 미세 구조 형성이 가능해졌으며, 이는 공구 내구성을 위한 구조적 기반을 제공합니다.

### 8.1.2 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 불순물 오염 발생원 및 제어

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 오염은 주로 원료 분말, 공정 분위기 및 장비 접촉에서 비롯됩니다. 이러한 오염은 맨드릴의 순도와 미세 구조에 영향을 미쳐 취성이나 부식 결함을 유발할 수 있습니다. 원료 오염원으로는 잔류 산소 및 탄소, 텡스텐 분말의 불완전한 환원으로 인한 산화물 형성, 바인더 분말에 의한 가스 흡착 등이 있습니다. 공정 분위기 오염원으로는 높은 수소 이슬점과 수증기 반응으로 인한 휘발성 폐쇄 셀 또는 취성상 생성 등이 있습니다.

오염원에는 장비 마모, 금형이나 보트에서 떨어져 빌릿에 혼입되는 입자 등이 포함됩니다. 잔류 볼 밀링 매체와 이젝터 로드의 국부적인 경화 부위 또한 오염을 유발합니다. 오염 제어 조치에는 원료 정제, 산소 함량을 줄이기 위한 텡스텐 분말의 다단계 환원, 합금 분말의 표면 불순물 제거를 위한 화학 세척 등이 있습니다. 분위기 제어는 수소 건조 및 여과를 통해 이루어지며, 재산화를 방지하기 위해 낮은 이슬점을 유지합니다. 진공 소결 방식은 가스 오염을 줄여 이젝터 로드의 청정도를 높입니다.

제어 조치에는 장비 관리, 금형 라이닝용 불활성 재료, 그리고 탈락 방지를 위한 고순도 보트 사용 등이 포함됩니다. 매체가 없는 재료 또는 세라믹 볼을 사용한 혼합은 오염 물질 유입을 최소화합니다. 열처리 후 화학 세척을 통해 휘발성 잔류물을 제거합니다. 텡스텐 합금 리벳 이젝터 펀의 불순물 발생원 및 제어는 순도 관리라는 재료 공학 원칙을 구현합니다. 다중 발생원 제어는 재료의 청결도를 유지하여 이젝터 펀 성능의 기반을 마련합니다. 이러한 체계적인 제어는 이젝터 펀 불순물의 배치 간 일관성을 보장하여 내구성을 위한 순도를 확보합니다.

### 8.1.3 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 프레스 성형 단계 중 균열 발생 메커니즘

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 프레스 성형 단계에서 균열 발생 메커니즘은 주로 분말 입자 간의 응력 집중 및 변형 불일치와 관련이 있습니다. 이러한 메커니즘은 성형 초기 단계에서 나타나 후속 소결 및 완제품의 견전성에 영향을 미칩니다. 프레스 성형 과정에서 분말이 금형을 채우고 압력이 전달되는 동안 입자 재배열 및 소성 변형이 발생합니다. 텡스텐 분말은 높은 경도와 높은 변형 저항성을 가지고 있습니다. 화학적으로 입자 간 마찰은 국부적인 전단 응력을 발생시키고, 모서리나 가장자리에서의 응력 구배가 급격하게 나타나 미세 균열 발생으로 이어집니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

메커니즘은 여러 단계로 나뉩니다. 초기 단계에서는 탄성 압축 응력이 균일합니다. 중간 단계에서는 입자 간 슬라이딩 마찰이 증가하고, 약한 계면 접합부에서 균열이 발생합니다. 후기 압축 단계에서는 스프링백 효과가 발생하고, 맨드릴의 큰 종횡비 끝부분에서 응력 방출이 불균일해져 표면 균열 전파로 이어집니다. 유탈이 불충분하면 이 메커니즘이 악화되어 입자가 금형에 달라붙어 높은 인장 응력과 다수의 균열이 발생합니다. 분말 입자 크기의 불균일성 또한 균열 발생 메커니즘에 영향을 미치는데, 조립자와 미립자가 혼합되어 기공 충진이 불량해지고 응력 집중점이 다수 발생합니다. 균열 발생 메커니즘은 압축 방식에도 영향을 받습니다. 균일한 액상 압력을 사용하는 냉간 등방압 성형은 균열 발생을 줄이는 반면, 큰 단방향 압력 구배를 이용한 성형은 균열 발생을 쉽게 유발합니다. 온도가 상승함에 따라 균열 발생 메커니즘도 변화합니다. 온간 성형은 바인더를 연화시켜 입자 간 결합을 개선하고 균열 발생을 줄입니다. 화학적 순도 관리는 불순물과 취성 입자를 줄여 균열 발생 원인을 감소시킵니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 프레스 성형 단계에서 발생하는 균열 발생 메커니즘은 성형 응력에 대한 재료의 반응을 반영합니다. 압력 제어는 성형체의 건전성을 유지하고 공정 최적화에 있어 해당 메커니즘을 이해하는 데 기여합니다.

#### 8.1.4 텅스텐 합금 리벳 상단 바의 기공 잔류물 발생 원인 분석

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 기공 잔류물 발생 원인 분석은 주로 프레스 및 소결 단계에서의 가스 간힘과 불충분한 입자 충진에 초점을 맞춥니다. 이는 맨드릴 밀도의 불균일성과 국부적인 강도 저하를 초래합니다. 프레스 단계에서 분말 입자 사이의 공기 또는 흡착 가스가 압축되어 밀봉되고, 화학적으로 잔류 수증기 또는 수소가 닫힌 기공을 형성합니다. 성형체 밀도가 낮을수록 기공이 더 많이 발생합니다. 입자 크기 분포가 넓은 것이 명확한 원인인데, 조립자는 큰 틈을 가지고 있어 충진이 어렵고, 미립자는 간힌 가스를 연결하는 역할을 합니다. 또한, 불충분한 소결 재배열, 액상이 작을 때 제한된 입자 이동, 느린 기공 수축, 그리고 더 많은 잔류 기공도 원인이 됩니다. 낮은 온도 범위는 중요한 원인 중 하나인데, 이는 불완전한 용융과 결합재 상의 불량한 젖음성을 나타냅니다. 대기 이슬점이 높으면 수증기가 반응하여 휘발성 물질을 생성하고 잔류 기공을 남겨 기공 발생이 더욱 악화됩니다. 길고 막대 모양의 상단 부분은 액상 흐름이 느리고 양 끝 부분에 기공이 집중되어 있어 이러한 현상을 증폭시킵니다.

잔류 기공의 원인 분석은 공정의 영향을 평가합니다. 고온 등방압 성형(HIP)은 닫힌 기공을 감소시키고, 재가압 과정에서의 기계적 압축은 잔류 기공을 더욱 감소시킵니다. 화학적 순도 관리는 불순물 휘발을 최소화하고 기공 발생 원인을 줄입니다. 원인 분석은 최적화를 위한 지침을 제공합니다. 사전 가압 및 벤트는 가스 배출을 줄이고, 장기간 단열은 수축을 촉진합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 잔류 기공 원인 분석은 체적 결함에 대한 재료적 관점을 제공하고, 원인 추적을 통해 치밀화 공정 개선을 지원하며, 맨드릴 품질에 대한 분석적 기반을 제공합니다.

## 8.2 사용 중인 텅스텐 합금 리벳 상단의 고장 모드

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 사용 중 주로 기계적 과부하 파손, 마모 축적 및 피로

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

순상으로 인한 고장을 겪습니다. 이러한 고장 유형은 특히 고빈도 또는 고하중 리벳팅 환경에서 발생하며, 맨드릴의 지지 안정성과 수명에 영향을 미칩니다. 고장의 원인은 맨드릴과 리벳 끝단 사이의 반복적인 상호 작용이며, 기계적 응력, 마찰열 및 환경적 요인의 복합적인 영향으로 발생합니다. 과부하 고장은 갑작스러운 파손으로 나타나고, 마모 고장은 표면 재료의 탈락을 동반하며, 피로 고장은 미세 손상의 전파를 특징으로 합니다.

파괴면 관찰 및 마모 측정을 통해 파손 모드 분석을 수행했습니다. 맨드릴의 2 상 구조는 파손 경로에 영향을 미치는데, 텅스텐 입자는 손상에 강한 반면, 결합재 상은 변형을 조절하지만 피로에 취약합니다. 화학적 표면 산화는 마모를 가속화하고, 매체 부식은 파손을 악화시킵니다. 파손 모드 연구는 맨드릴의 선택 및 유지 관리에 유용한 지침을 제공합니다. 고강도 맨드릴은 과부하에 강하고, 내마모성 맨드릴은 수명이 길입니다. 사용 중인 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 파손 모드는 공구 하중 반응에 대한 재료의 특성을 반영합니다. 파손 모드 분석은 내구성 최적화를 지원하고 리벳 작업에서 파손 예방을 위한 참고 자료를 제공합니다.

### 8.2.1 기계적 과부하로 인한 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 파손 메커니즘

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 기계적 과부하로 인한 손상은 주로 순간적인 고응력 하에서의 손상 진행과 관련이 있습니다. 이러한 메커니즘은 맨드릴이 지지 부품으로서 설계 용량을 초과하는 하중을 받게 되는 우발적인 강충격이나 장비 고장 시에 나타납니다. 손상은 맨드릴의 작동면이나 모서리 부분에서 국부적인 변형이 크게 발생하는 응력 집중 현상으로 시작됩니다. 화학적으로는 결합재가 먼저 소성 변형을 겪고, 텅스텐 입자 골격이 주요 하중을 받게 됩니다. 과부하는 전위 축적을 증가시키고 계면 응력을 상승시키며, 결합재 또는 입자 사이에서 미세 균열을 발생시킵니다.

파괴 메커니즘은 단계적으로 전개됩니다. 초기에는 연성 결합을 통해 에너지가 흡수되고, 중간 단계에서는 균열이 약한 계면을 따라 전파되는데, 상부 막대의 2 상 구조가 굽힘을 통해 균열 전파 속도를 늦춥니다. 후기 단계에서는 급격한 파괴가 발생하며, 파괴면은 딤플과 벽개면이 혼합된 형태로 나타납니다. 결합재 상은 깊은 딤플을, 텅스텐 상은 평평한 벽개면을 보입니다. 과부하에 따른 열 효과는 마찰열을 발생시켜 결합재 상을 연화시키고 파괴를 가속화합니다. 조성 차이로 인해 니켈-구리 시스템은 연성 결합을 보이며 파괴 속도가 느린 반면, 니켈-철 시스템은 강도는 높지만 취성 파괴 경향이 약간 더 강합니다.

기계적 과부하로 인한 파괴 메커니즘은 표면 상태의 영향을 받습니다. 매끄러운 리벳 맨드릴은 균일한 응력 분포와 늦은 균열 발생을 보이는 반면, 긁힘은 초기 균열 발생으로 이어집니다. 최적화된 열처리 메커니즘은 어닐링 후 낮은 잔류 응력과 우수한 과부하 내성을 제공합니다. 제어된 화학적 순도는 불순물을 최소화하고 취성 발생 지점을 줄입니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 기계적 과부하로 인한 파괴 메커니즘은 고하중 반응 재료 파손을 반영합니다. 경로 분석은 공구 하중 평가를 지원하고 리벳팅 안전에 대한 메커니즘적 이해에 기여합니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 8.2.2 텡스텐 합금 리벳 상단의 마모 및 피로 누적 효과

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 마모와 피로 누적 효과는 주로 반복적인 접촉과 주기적 응력의 시너지 효과를 통해 나타납니다. 이러한 효과는 고주파 리벳팅에서 점진적으로 나타나 맨드릴의 표면 조도와 전반적인 내구성에 영향을 미칩니다. 마모 누적은 표면 재료 제거를 초래하고, 피로 누적은 미세 손상 전파를 유발하며, 이 두 가지가 상호 작용하여 파손을 가속화합니다. 마모 초기 단계에서는 마찰로 인해 작업 표면이 긁히고, 결합상이 화학적으로 연화되어 전이되며, 텁스텐 입자가 마모 작용에 노출됩니다. 피로 초기 단계에서는 전위가 축적되고 주기적인 진동 중에 미세 균열이 발생합니다. 맨드릴의 2상 구조에서 결합상이 먼저 피로 파괴를 겪습니다.

누적 효과 메커니즘은 다음과 같은 상호작용에서 나타납니다. 마모되고 거친 표면은 응력 집중 지점이 많아져 피로 균열이 빠르게 발생하고, 피로 미세 균열은 새로운 표면을 노출시켜 마모를 가속화합니다. 누적된 열 효과에는 마찰열 발생으로 표면이 연화되고 마모가 증가하는 것과 이젝터 핀 온도가 상승하여 피로를 촉진하는 것이 포함됩니다. 습한 환경에서의 상승 부식과 같은 누적된 환경적 요인 또한 이젝터 핀의 손상을 빠르게 유발합니다.

마모 및 피로 누적은 사용 빈도의 영향을 받으며, 특히 사용 빈도가 높을수록 그 영향이 더욱 커져 리벳 표면에 깊은 홈과 수많은 균열이 발생합니다. 표면 처리는 이러한 누적을 늦추고, 코팅은 초기 마모를 줄이고 우수한 피로 보호 기능을 제공합니다. 조성 차이 또한 마모 누적에 영향을 미칩니다. 텁스텐-구리 합금은 열 방출 및 마모 누적이 느린 반면, 경도가 높은 니켈-철 합금은 마모 속도가 느립니다. 텁스텐 합금 리벳의 마모 및 피로 누적 효과는 장기간 하중에 의한 복합적인 손상을 반영합니다. 이러한 영향 분석은 공구 수명 관리에 도움이 되며, 리벳 유지 보수를 위한 누적적인 참고 자료를 제공합니다.

### 8.2.3 부식성 환경으로 인한 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 수명 단축

부식성 환경으로 인한 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 수명 단축은 주로 표면 재료의 용해와 구조적 손상의 축적에 의해 발생합니다. 이러한 수명 단축은 특히 습하거나 화학 처리된 작업장에서 두드러지게 나타나는데, 맨드릴의 표면 마감이 저하되어 지지 안정성에 영향을 미치기 때문입니다. 부식성 환경에는 습기, 염수 분무 또는 세척제가 포함됩니다. 화학적으로, 결합상 구성 요소는 반응성이 매우 높아 주변 환경과 쉽게 반응하여 용해되거나 다공성 층을 형성하고, 이는 점차 맨드릴 표면에 피팅을 유발합니다. 이러한 수명 단축 메커니즘은 미세 환경에서도 관찰되는데, 결합상은 양극 용해를 겪는 반면, 상대적으로 비활성인 텁스텐상은 계면에서 부식이 진행되어 맨드릴의 국부적인 두께 감소를 초래합니다.

부식 저감 과정은 단계적으로 진행됩니다. 초기 단계에서는 표면의 부동태층이 파괴되어 부식 속도가 느립니다. 중간 단계에서는 점식 또는 균일 부식이 발생하여 이젝터 핀의 표면 거칠기와 마찰이 증가합니다. 후기 단계에서는 손상이 누적되어 이젝터 핀의 반발력이 불균일해지고 리벳 형성이 불량해집니다. 습도가 높으면 수분이 이온 이동을

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

촉진하여 부식이 가속화됩니다. 산성 환경에서는 바인더 상이 빠르게 용해되어 심각한 부식이 발생합니다. 알칼리성 환경은 비교적 온화하지만 장기간 노출되면 다공성 층이 형성됩니다. 열적 영향도 부식에 동반됩니다. 온도가 상승함에 따라 반응 속도가 증가하여 이 젝터 편의 수명이 단축됩니다.

부식성 환경은 내부 부품의 수명을 단축시켜 피팅으로 인한 응력 집중과 조기 피로 균열 발생을 초래합니다. 표면 처리는 수명 단축을 점진적으로 유발하는 반면, 코팅은 환경으로부터 리벳을 보호하고 내구성을 향상시킵니다. 조성 차이 또한 수명 단축에 영향을 미칩니다. 텡스텐-구리 시스템은 전도성을 향상시키지만 구리상은 부식에 취약한 반면, 니켈-철 시스템은 우수한 부동태화를 제공합니다. 부식성 환경으로 인한 텡스텐 합금 리벳 수명 단축은 환경과의 상호작용으로 인한 재료 소모를 반영하며, 손상 누적을 통한 공구 수명 평가를 지원하고, 유지보수 작업에 대한 환경적 기준을 제공합니다.

#### 8.2.4 열충격으로 인한 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 균열

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 열충격으로 인한 균열은 주로 급격한 온도 변화 하에서 발생하는 열응력 집중에서 비롯됩니다. 이러한 현상은 고온 리벳팅이나 교류 온도 조건에서 두드러지게 나타나며, 맨드릴 표면 또는 내부에 미세 균열이 전파되어 내구성에 영향을 미칩니다. 열충격 과정에서 급격한 가열 및 냉각과 열팽창 차이가 결합되어 인장 및 압축 응력이 발생합니다. 결합재와 텁스텐 상의 열팽창 계수가 완전히 일치하지 않으면 계면 응력이 높아지고 균열이 시작됩니다. 균열은 단계적으로 발생합니다. 초기에는 열응력이 탄성 변형을 일으켜 맨드릴이 손상되지 않습니다. 중간 단계에서는 반복적인 충격으로 잔류 응력이 축적되고 표면 또는 결합재 영역에 미세 균열이 발생합니다. 후기 단계에서는 균열이 전파되어 맨드릴 파손 또는 작업면의 박리가 발생합니다. 마찰열과 강한 국부 충격은 균열 발생 경향을 증가시킵니다. 미세구조 또한 중요한 역할을 합니다. 입자가 굽을수록 균열이 생기기 쉽지만, 입자가 미립자일수록 응력을 효과적으로 완충합니다.

열충격 균열은 매질의 영향도 받습니다. 수분 응축은 응력을 악화시키고, 맨드릴의 습열 사이클링은 균열을 가속화합니다. 표면 상태 현상 또한 중요한데, 느슨한 산화층은 균열 발생 지점을 증가시킵니다. 조성 차이도 영향을 미칩니다. 구리상은 빠른 열전도율과 열 방출을 보여 균열 진행 속도를 늦추는 반면, 철상은 안정적인 열팽창 조절을 나타냅니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 열충격 유발 균열은 온도에 따른 손상 거동을 보여줍니다. 응력 분석은 공구의 열 적응을 지원하고 가변 온도 작업 환경에서의 현상을 이해하는 데 기여합니다.

#### 8.2.5 표면 박리가 텁스텐 합금 리벳 세터의 기능에 미치는 영향

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 기능에 미치는 표면 박리의 영향은 주로 재료 층 분리로 인해 접촉면이 고르지 않게 되고 지지력이 불안정해지는 데서 비롯됩니다. 이러한 현상은 고주파 마찰이나 피로 누적 후에 나타나며, 맨드릴 작업면의 손상은 리벳 성형 품질을 저하시킵니다. 박리는 표면 피로 또는 접착 마모, 화학적으로 이완된 산화막 또는 전이층,

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

그리고 반복 하중 하에서의 박리에서 발생합니다. 초기에는 표면이 거칠어져 맨드릴의 마찰 상승으로 인해 리벳의 미끄러짐이 어려워지고, 중간 단계에서는 박리 구덩이가 형성되어 불균일한 반력으로 인해 리벳이 휘어집니다.

손상 축적 메커니즘은 미세 균열이 표면층까지 확장되어 박리를 유발하고, 이로 인해 표면 조도가 저하되고 세척이 어려워지는 형태로 나타납니다. 열적 영향도 박리에 영향을 미치는데, 온도가 상승하면 결합재가 연화되어 박리가 빠르게 진행됩니다. 주변 환경 또한 부식층에 영향을 미쳐 부식층을 느슨하게 만들고 박리를 용이하게 합니다. 구성 성분 또한 박리에 영향을 미칩니다. 구리상은 접착력이 강하고 쉽게 전이되어 박리가 더 강하게 일어나는 반면, 니켈상은 더 안정적이어서 박리가 더 느리게 진행됩니다.

표면 박리는 맨드릴의 기능에 심각한 영향을 미치며, 특히 정밀도 저하를 초래합니다. 박리 후 치수 변화가 발생하여 부정확한 지지력을 유발합니다. 또한, 박리된 맨드릴은 연마 또는 교체가 필요하므로 유지보수 측면에서도 상당한 부담이 됩니다. 표면 처리는 박리 현상을 억제하고 경화 과정을 지연시켜 맨드릴의 내구성을 향상시킵니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 기능에 미치는 표면 박리의 영향은 표면 손상으로 인한 성능 저하를 보여줍니다. 박리 분석은 공구의 표면 관리에 도움이 되며, 리벳팅 내구성에 미치는 영향을 파악하는 데 중요한 참고 자료가 됩니다.

### 8.3 텅스텐 합금 리벳 상단부의 성능 최적화 및 결합 진단

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 조성 조정, 공정 개선 및 비파괴 검사를 통해 제조됩니다. 이러한 최적화 및 진단은 사용 중 발생하는 결함을 줄이고 공구의 내구성을 향상시키는 데 도움이 됩니다. 최적화는 조성 및 열처리에 중점을 두고, 진단은 결합식별 및 고장 분석에 중점을 둡니다. 조성 조정은 취성이나 마모를 완화하고, 공정 최적화는 균일한 미세구조를 촉진하며, 비파괴 검사는 내부 문제를 조기에 감지합니다. 최적화와 진단의 결합은 폐쇄 루프를 형성하여 진단 결과가 다시 최적화에 반영됨으로써 맨드릴 성능을 지속적으로 개선합니다. 화학적으로는 원소 비율 및 불순물 제어가 최적화의 핵심이며, 물리적 검사 및 현미경 관찰은 진단의 기초가 됩니다.

#### 8.3.1 텅스텐 합금 리벳 상단의 일반적인 문제점 완화를 위한 조성 조정

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에서 흔히 발생하는 문제점은 주로 텅스텐 대 바인더 비율 최적화 또는 미세합금화를 통해 해결할 수 있습니다. 이러한 조정을 통해 취성 파괴, 마모 및 파로와 같은 결함을 해결하는 균형 잡힌 재료 솔루션을 제공할 수 있습니다. 텅스텐 함량을 높이면 마모가 줄어들고, 맨드릴 작업 면의 경도가 증가하며, 리벳 압입 저항성이 강화되고, 표면 압입이 감소합니다. 바인더 비율을 개선하면 취성이 완화되고, 맨드릴의 충격 인성이 향상되며, 갑작스러운 파손 경향이 감소합니다.

조정 메커니즘은 2 단계 시너지 효과에 반영됩니다. 니켈-구리 시스템은 파로를 완화하고, 반복 응력을 분산 및 조절하며, 맨드릴의 고빈도 사용 중 손상을 줄입니다. 희토류 미량 도핑은 산화 및 결정립계 약화를 완화하여 고온 또는 습한 환경에서 맨드릴 표면의

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

안정성을 보장합니다. 철 첨가는 자성을 조절하고 결합상을 강화하여 맨드릴의 안정적인  
피로 저항성을 제공합니다. 화학적으로는 불순물 제거를 통해 순도를 조절하고 산소 및  
탄소 함량을 낮추며 취성 원인을 최소화하여 맨드릴의 전체적인 결함 수를 줄입니다.

조성 조정은 고강도 맨드릴에는 높은 텡스텐 함량을, 내구성이 뛰어난 맨드릴에는 적절한  
결합재 함량을 적용하는 등 생산 배합에 반영됩니다. 용체화 처리 및 시효 석출 강화와  
같은 열처리 조정을 통해 일반적인 맨드릴 문제를 크게 완화할 수 있습니다. 또한,  
귀금속을 경제적인 원소로 대체하여 맨드릴의 활용도를 높이는 등 비용 효율성도  
고려되었습니다. 조성 조정은 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 일반적인 문제점을 해결하기  
위한 배합 수준의 재료 최적화를 제공하고, 비례 조정을 통해 공구 결함 제거를  
지원하며, 리벳팅 내구성 향상에 기여합니다.

### 8.3.2 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 결함 식별을 위한 비파괴 검사 방법의 적용

텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 결함 식별에 비파괴 검사법을 적용할 때 주로 초음파, X 선,  
자분 탐상검사 등의 기술을 사용합니다. 이러한 방법은 맨드릴에 손상을 주지 않고  
내부의 기공, 균열 또는 개재물을 검출하여 품질 관리 및 결함 예방에 도움을 줍니다.  
초음파 검사는 음파 반사를 이용하여 결함을 찾아냅니다. 맨드릴 시료에 종파를 스캔하면  
계면 불연속 부위에서 강한 신호가 나타나고 기공 내 가스에 의한 화학적 산란이 크게  
나타납니다. X 선 투과 이미징은 밀도 차이를 보여주어 맨드릴 내부의 저밀도 영역을  
확인할 수 있으므로 배치 검사에 적합합니다.

검사 과정은 시료 세척 및 위치 조정으로 시작되며, 초음파 프로브 커플링제가 신호  
전송을 보조하고, 푸시 로드의 축 방향 단면을 다각도로 스캔하여 포괄적인 검사를  
수행합니다. 자분 탐상 검사는 표면 균열을 감지하며, 푸시 로드의 자성 시스템을  
활용하고 분말이 결합선을 흡착합니다. 이러한 비파괴 검사 방법의 조합은 심부 초음파  
검사, 전체 X 선 분포 분석, 표면 민감형 자분 탐상 검사를 사용합니다. 검사 결과는  
결함의 크기와 위치를 정량화하며, 심각한 결함이 있는 푸시 로드는 제거하거나  
수리합니다.

비파괴 검사(NDT)는 생산 품질 검사에서 중요한 역할을 합니다. 소결 후에는 초음파  
검사를 통해 기공 여부를 확인하고, 가공 후에는 X 선 검사를 통해 균열을 검증합니다.  
높은 화학적 순도는 오탐지를 줄이고 정확한 검출을 보장합니다. 열처리 후 미세구조  
변화를 감지함으로써 맨드릴의 응력 균열을 조기에 발견할 수 있습니다. 텡스텐 합금  
리벳 맨드릴의 결함 식별에 NDT 방법을 적용하면 비파괴적인 재료 평가가 가능하고,  
다양한 기술 간의 협업을 통해 공구 품질 보증을 지원하며, 신뢰할 수 있는 리벳팅을  
위한 기반을 마련할 수 있습니다.

### 8.3.3 열처리 공정을 통한 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 내구성 향상

텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 열처리를 통해 미세구조를 조절하고 내부 응력을  
해소함으로써 강도와 인성을 향상 시킵니다. 이러한 개선은 반복적인 충격 및 마찰

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

환경에서 손상 축적을 늦춰 전반적인 성능 안정성을 높입니다. 열처리에는 어닐링, 용체화 처리, 시효 처리 등의 단계가 포함됩니다. 어닐링은 진공 또는 보호 분위기 하에서 특정 온도로 가열 및 유지하는 과정으로, 화학적 확산에 의해 전위 이동 및 소멸이 일어나 맨드릴의 잔류 응력이 감소하고 사용 중 미세 균열 발생을 방지합니다. 유지 시간 동안 결정립계 이동으로 결정립이 미세화되어 맨드릴의 강도와 인성이 동시에 향상됩니다.

개선 메커니즘은 두 단계의 상호작용에 반영됩니다. 텡스텐 입자의 구상화는 표면 에너지를 감소시키고, 결합상은 계면을 균일하게 코팅하여 강력한 결합력을 형성하며, 맨드릴의 피로 저항성을 향상시킵니다. 용체화 처리는 고온에서 원소를 용해시키고 급속 냉각을 통해 과포화 상태를 유지함으로써 맨드릴의 경도를 증가시키고 내마모성을 향상시킵니다. 시효 석출은 전위를 고정하는 미세상을 생성하여 반복 하중 하에서 변형에 대한 강한 저항성을 제공합니다. 열처리 개선에는 표면 안정성, 균일한 산화층 제어, 맨드릴 마찰 시 박리 감소 등이 포함됩니다.

열처리 기술의 적용은 후처리 과정에서 분명하게 드러납니다. 소결 빌릿의 어닐링은 압축 응력을 해소하고, 후처리 시효는 표면을 강화합니다. 온도 범위는 조성에 따라 조정됩니다. 텡스텐-니켈-철 시스템에서는 고온에서 회복이 촉진되는 반면, 텡스텐-니켈-구리 시스템에서는 열전도율이 빠르고 열 방출이 더욱 균일합니다. 화학적 순도 관리는 불순물을 최소화하여 지속적인 품질 향상을 가져옵니다. 열처리는 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 내구성을 향상시키는 미세구조 최적화를 제공하고, 응력 해소 및 강화를 통해 공구 수명 성능을 향상시켜 리벳팅 공정에서 중요한 기술적 가치를 제공합니다.

#### 8.3.4 표면 강화 기술을 이용한 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 내마모성 향상

표면 강화 기술은 이온 주입, 도금 또는 질화 처리와 같은 방법을 통해 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 내마모성을 향상시킵니다. 이러한 개선을 통해 맨드릴의 작동면이 리벳 마찰 및 압입에 대한 저항성을 높여 표면 부식 및 재료 손실을 줄입니다. 이온 주입은 고에너지 입자로 표면을 충격하여 화학적으로 경사 경화층을 형성함으로써 맨드릴의 표면 경도와 내스크래치성을 향상시킵니다. 니켈-인 또는 크롬-질소 도금과 같은 도금은 조밀한 코팅을 형성하여 마찰 계수를 낮추고 마모 속도를 늦춥니다.

강화 메커니즘은 표면 개질에 반영됩니다. 질화 처리를 통해 질소 원자가 확산되어 질화물을 형성함으로써 맨드릴 표면의 취성을 낮추고 박리 저항성을 향상시킵니다. 강화층은 기지재와 잘 접착되어 충격 시 박리를 방지하고 맨드릴의 형상을 유지합니다. 또한, 강화층은 매체 침식을 차단하고 맨드릴에 대한 환경적 손상을 최소화하여 화학적 안정성을 향상시킵니다. 열처리, 강화 처리 및 시효 석출이 시너지 효과를 내어 표면을 경화시킵니다.

가공 후 표면 강화 기술의 적용이 확연히 드러납니다. 이온 주입은 치수 변화를 일으키지 않으면서 얇은 코팅 제어를 가능하게 합니다. 텡스텐-구리 계열은 조성 차이로 인해 전도성 코팅을 더 쉽게 얻을 수 있는 반면, 텡스텐-니켈-철 계열은 높은 경도와

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

우수한 이온 주입 성능을 제공합니다. 강화된 맨드릴은 마모 시험에서 부피 손실이 적고 수명이 연장됩니다. 표면 강화 기술은 표면 엔지니어링을 통해 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 내마모성을 향상시켜 내구성을 최적화합니다. 또한 표면 개질을 통해 공구 표면 성능을 향상시키고 리벳팅 마찰 성능 개선에 기여합니다.

### 8.3.5 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 최적화에서 고장 사례 분석의 역할

텅스텐 합금 리벳 맨드릴 최적화에서 고장 사례 분석의 역할은 주로 과단면 관찰 및 사용 기록 추적 메커니즘을 통해 이루어집니다. 이는 일반적인 문제점을 파악하고 재료 및 공정 개선을 위한 방향을 제시하여 맨드릴의 전반적인 신뢰성을 향상시키는 데 도움이 됩니다. 분석 과정에는 고장난 맨드릴을 수집하고, 주사전자현미경을 이용하여 과단형상을 관찰하고, 화학적 파괴 흔적이나 벽개 특성을 통해 파괴 모드를 규명하고, 사용 조건에서의 하중 빈도와 환경을 기록하는 것이 포함됩니다.

작용 메커니즘은 피드백 루프에 반영됩니다. 사례 연구에 따르면 마모 속도가 너무 빠를 경우 표면 강화가 개선되고, 피로 균열이 많을 경우 열처리가 최적화됩니다. 파괴면 분석을 통해 과부하 파손과 부식 파손을 구분할 수 있으며, 이젝터 바 설계는 단면 또는 재질을 조정합니다. 사례 연구는 빈번하게 발생하는 문제점을 파악하고, 이젝터 바의 배치 최적화를 집중적으로 지원합니다.

고장 사례 분석은 생산 개선에 적용되며, 표면 박리 사례는 코팅 업그레이드로, 취성 파괴 사례는 접착력 향상으로 이어집니다. 부식 생성물의 화학 분석은 맨드릴 보호 조치 개선에 활용됩니다. 또한 사용자 피드백을 통해 맨드릴 작동 절차를 조정하여 인적 오류로 인한 고장을 줄이는 데에도 기여합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 최적화에서 고장 사례 분석은 실제 손상에 대한 재료적 관점을 제공하고, 사례 추적을 통한 지속적인 공구 개선을 지원하며, 리벳팅 내구성에 대한 분석적 가치를 제공합니다.

## 8.4 텅스텐 합금 리벳 맨드릴과 다른 맨드릴 재료의 특성 비교

텅스텐 합금 리벳 맨드릴과 다른 맨드릴 재료의 특성 비교는 주로 경도, 인성, 충격 저항성 및 가공성에 중점을 둡니다. 이러한 비교를 통해 리벳팅 지지대에서 텅스텐 합금 맨드릴의 상대적인 성능과 적용 가능성을 이해할 수 있습니다. 일반적인 비교 대상으로는 초경합금 맨드릴, 고속도강 맨드릴, 세라믹 맨드릴 등이 있으며, 각 재료는 강도와 인성 사이의 균형에 있어 고유한 특징을 가지고 있습니다. 텅스텐 합금 맨드릴의 2 상 구조는 경도와 인성의 균형을 제공하는 반면, 초경합금 맨드릴은 뛰어난 경도를 지니지만 인성은 상대적으로 중간 정도입니다.

비교 분석은 기계적 특성부터 시작합니다. 텅스텐 합금 맨드릴은 우수한 충격 저항성과 인성을 나타내고, 고속도강은 탁월한 가공성을 제공하며, 세라믹은 내열성이 뛰어나지만 취성이 있습니다. 화학적 안정성 측면에서 텅스텐 합금은 우수한 내식성을 보이는 반면 고속도강은 녹이 슬기 쉽습니다. 열적 특성과 관련하여 텅스텐 합금은 적당한 열전도율을 보이는 반면 세라믹은 단열 효과를 제공합니다. 이러한 성능 비교는 맨드릴 선택에

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

중요한 지침이 됩니다. 텡스텐 합금은 고강도 리벳팅에 적합한 균형 잡힌 특성을 제공하는 반면 세라믹은 정밀 마이크로 리벳팅 시 손상을 일으키지 않습니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴과 다른 맨드릴 재료의 성능 비교는 다양한 공구 재료 선택의 폭을 넓히고 특성 비교를 통해 리벳팅 공정 최적화를 지원하여 조립 공정에 유용한 참고자료를 제공합니다.

#### 8.4.1 초경 이젝터 로드와 텡스텐 합금 리벳 이젝터 로드의 성능 비교

초경합금 맨드릴과 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 주로 경도, 충격 인성 및 가공성에 중점을 두며, 이는 리벳 체결 지원에 있어 두 재료의 서로 다른 강조점을 반영합니다. 주로 텡스텐 카바이드 입자와 코발트 결합상으로 구성된 초경합금 맨드릴은 높은 경도, 작업면에서의 리벳 압입 및 마모에 대한 강한 저항성, 그리고 표면 압입의 느린 누적을 나타냅니다. 니켈-구리 또는 니켈-철 결합상과 결합된 이중상 텡스텐 입자 골격을 갖는 텡스텐 합금 맨드릴은 적당한 경도와 더 나은 인성을 제공합니다. 충격 하중을 받을 때 맨드릴은 변형되어 에너지를 흡수함으로써 취성 파괴를 방지합니다.

이젝터 핀의 충격 저항성은 상당한 차이를 보였다. 초경합금 이젝터 핀은 높은 강성과 집중된 반력을 나타냈지만, 고하중에서 파손되기 쉬웠다. 반면, 결합재의 분포가 넓고 완충 작용을 하는 텡스텐 합금 이젝터 핀은 전반적으로 안정적인 피로 저항성을 보였다. 열 안정성 측면에서 초경합금은 고온에서도 우수한 경도를 유지하여 열간 리벳팅 시 연화 현상이 적었다. 텡스텐 합금은 전도성이 뛰어나 열 방출을 촉진하여 이젝터 핀의 온도 상승 속도를 늦췄다. 화학적 안정성 측면에서 초경합금의 코발트상은 산화되기 쉬워 표면에 다공성 증이 형성되는 문제가 있었다. 반면, 결합재가 산화를 제어하는 텡스텐 합금은 산화 속도가 느리고 환경 부식에 대한 저항성이 우수했다.

가공 적응성을 비교해 보면, 초경합금 맨드릴은 연삭 및 성형이 어렵고 취성이 높아 가공 중 균열 발생 위험이 높습니다. 반면 텡스텐 합금 맨드릴은 열간 및 냉간 가공 모두에서 유연성을 제공하며 다양한 형상으로 제작할 수 있습니다. 피로 거동을 비교해 보면, 초경합금 맨드릴은 반복 하중 하에서 미세 균열이 빠르게 전파되는 반면, 텡스텐 합금 맨드릴은 손상 정도가 더 완만하고 관리가 용이합니다. 초경합금과 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 이러한 성능 비교는 재료 선택에 대한 공학적 관점을 제공하고, 특성 균형을 통해 다양한 리벳팅 조건에 적합한 맨드릴을 선택하는 데 도움을 주며, 공구 적용에 대한 비교 기준을 제시합니다.

#### 8.4.2 텡스텐 합금 리벳 탑 로드 대체재로서 강철 탑 로드의 성능 비교

강철 리벳 맨드릴과 텡스텐 합금 리벳 맨드릴의 성능 비교는 주로 경도, 충격 인성, 밀도 및 비용 측면에서 이루어집니다. 이러한 비교를 통해 특정 리벳팅 조건에서 강철 리벳 맨드릴의 적용 가능성을 평가할 수 있습니다. 강철 리벳 맨드릴은 일반적으로 고강도 합금강 또는 공구강으로 제작되며, 열처리를 통해 경도를 조절합니다. 맨드릴의 작업면은 압입에 대한 저항성이 강하지만, 텡스텐 합금에 비해 경도가 상대적으로 낮습니다. 텡스텐 합금 리벳 맨드릴은 텡스텐 상 골격으로 인해 경도가 높고 표면 압입 측적이

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

느려 고강도 리벳을 지지하는 데 적합합니다. 비교 결과 충격 인성에서 상당한 차이가 나타났습니다. 강철 리벳 맨드릴은 우수한 소성을 가지며 충격을 흡수하여 충격 시 변형이 고르게 일어나도록 하고 취성 파괴를 방지합니다. 텅스텐 합금 리벳 맨드릴은 텅스텐 입자가 결합되어 높은 밀도와 강력한 관성 반력을 가지면서도 균형 잡힌 인성을 구현합니다. 밀도 측면에서 강철 리벳 맨드릴은 밀도가 낮아 가볍고 조작이 용이한 반면, 텅스텐 합금은 밀도가 높아 에너지 전달이 더욱 집중됩니다. 열 안정성 측면에서는 강철 리벳 맨드릴의 연화점이 비교적 낮은 반면, 텅스텐 합금은 내열성이 우수하고 고온 리벳팅 시 변형이 적습니다.

가공 적응성 측면에서 강철 맨드릴은 열간 및 냉간 가공이 용이하고 다양한 형상을 제공하며 가격이 저렴합니다. 텅스텐 합금 맨드릴은 열처리가 필요하지만 높은 정밀도를 제공합니다. 피로 특성 측면에서 강철 맨드릴은 반복 하중 조건에서 손상 축적이 느린 반면, 텅스텐 합금은 높은 피로 저항성과 고빈도 사용 환경에서의 안정성을 보입니다. 화학적 안정성 측면에서 강철 맨드릴은 녹이 슬기 쉬워 보호 조치가 필요한 반면, 텅스텐 합금은 내식성이 우수하고 유지 보수가 적게 필요합니다. 강철 맨드릴과 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 성능 비교는 재료 선택 시 고려해야 할 엔지니어링상의 장단점을 보여줍니다. 이러한 특성 차이는 저하중 또는 비용에 민감한 용도에서 맨드릴 대체재로 활용될 수 있음을 뒷받침하며, 리벳팅 작업에 대한 비교 기준을 제공합니다.

#### 8.4.3 세라믹 재질 맨드릴과 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 성능 비교

세라믹 리벳 맨드릴과 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 성능 비교는 주로 경도, 내열성 및 인성의 차이에 초점을 맞춥니다. 이러한 비교는 특수한 리벳팅 환경에서 세라믹 맨드릴의 성능 특성을 반영합니다. 세라믹 맨드릴은 알루미나 또는 질화규소와 같은 재질로 만들어져 매우 높은 경도를 나타냅니다. 작업 표면은 긁힘과 놀림에 대한 저항성이 뛰어나며 오랫동안 매끄러운 표면을 유지합니다. 텅스텐 합금 맨드릴은 적당한 경도를 가지지만 인성이 우수하며, 변형을 통해 충격 에너지를 흡수합니다. 내열성 측면에서 두 재료의 차이는 상당합니다. 세라믹 맨드릴은 고온에서 경도 저하가 적고 고온 리벳팅이나 고온 환경에서도 형상 안정성을 유지합니다. 반면 텅스텐 합금 맨드릴은 열전도율이 우수하여 열 방출이 용이하고 온도 상승 속도가 느립니다. 인성 측면에서 세라믹 맨드릴은 취성이 강하고 충격 시 파손되기 쉽지만, 텅스텐 합금 맨드릴은 접합력과 파괴 저항성이 우수합니다. 마지막으로 세라믹 맨드릴은 밀도가 낮아 가볍고 취급이 용이한 반면, 텅스텐 합금 맨드릴은 밀도가 높아 반력 집중도가 높습니다.

가공 적응성 측면에서 세라믹 맨드릴은 주로 연삭이 어렵고 형상이 단순하다는 단점이 있는 반면, 텅스텐 합금 맨드릴은 열간 및 냉간 가공 모두에서 유연성이 뛰어납니다. 마모 특성에 있어서는 세라믹 맨드릴이 표면 손상이 최소화되면서 매우 높은 내마모성을 보이는 반면, 텅스텐 합금 맨드릴은 균형 잡힌 인성과 균일한 마모 특성을 나타냅니다. 화학적 안정성 측면에서 세라믹 맨드릴은 매우 불활성이며 부식성이 강한 반면, 텅스텐 합금 맨드릴은 결합재 보호가 필요합니다. 세라믹 맨드릴과 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 성능 비교는 무기 재료의 특성을 잘 보여줍니다. 무기 재료의 경도와 내열성은 고온 또는 손상 없는 환경에서의 적용을 뒷받침하며, 정밀 리벳팅에 필수적인 요소입니다.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

Precision customization: support high density ( $17-19 \text{ g/cm}^3$ ), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

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

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

100,000+ customers

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

Service commitment

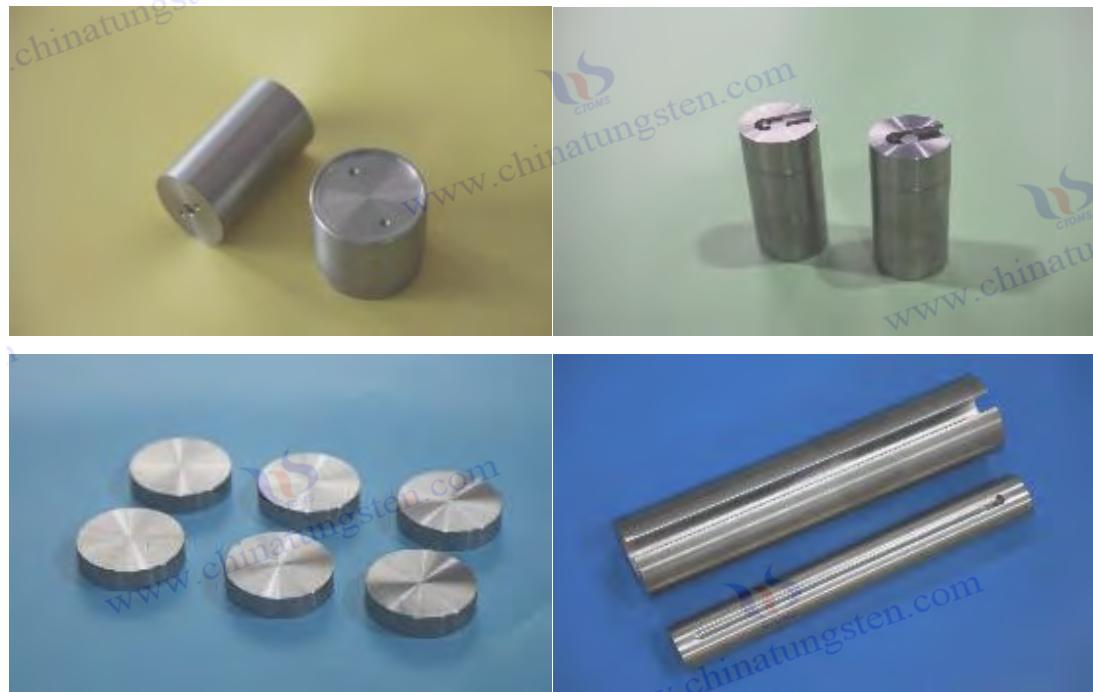
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

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

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

## 부록 A: 텡스텐 합금 리벳 상단봉에 대한 중국 표준

중국의 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 표준은 주로 관련 비철금속 산업 규격 및 분말야금 공구재료 표준을 참고합니다. 이러한 표준은 국가비철금속표준화기술위원회의 소관이며, 구성, 성능, 치수 및 시험 방법을 포함합니다. 고밀도 공구재료인 텁스텐 합금 리벳 맨드릴 표준은 리벳 체결 시 경도와 인성의 균형을 확보하기 위해 텁스텐 함량, 결합재상 비율 및 미세구조 균일성을 중점적으로 다룹니다. 표준 체계는 국가 표준(GB/T 시리즈)과 산업 표준(YS/T 시리즈)으로 구성되며, 텁스텐-니켈-철, 텁스텐-니켈-구리 및 기타 유사 합금계의 맨드릴 제품에 적용됩니다.

본 표준은 화학 조성, 밀도 분포, 경도 및 충격 인성 지표의 범위를 규정합니다. 맨드릴의 표면 마감 및 치수 공차는 조립 요구 사항을 충족해야 합니다. 표준화된 화학 분석 방법을 통해 불순물 관리를 보장합니다. 또한, 열처리 조건 및 표면 처리 요구 사항을 다루어 산업용 리벳팅에서 맨드릴의 안정적인 사용을 지원합니다. 최근 표준 개정에서는 환경 보호 및 자원 활용을 고려하여 텁스텐 소재의 재활용을 장려하고 있습니다. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 중국 표준은 생산 및 품질 관리를 위한 규범적 틀을 제공하고, 조성 및 성능 지침을 통해 안정적인 공구 성능을 달성하며, 조립 분야에 실질적인 가치를 제공합니다.

### 국가 표준(GB/T 시리즈)

국가 표준(GB/T 시리즈)은 텁스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 일반적인 기술 요구 사항을 제공합니다. 이러한 표준은 고밀도 합금의 화학 조성, 기계적 특성 및 시험 방법을 다루어 리벳 공구의 맨드릴 일관성을 보장합니다. 관련 GB/T 표준은 텁스텐을 주성분으로 하고 인성을 유지하기 위해 균형 잡힌 결합상 비율을 갖는 텁스텐 합금 봉의 조성 범위를 명시합니다. 이 표준에는 밀도 및 경도 지표가 포함되어 있으며 소결 및 열간 가공 후 맨드릴의 균일성을 검증합니다.

이 표준은 분말 야금 공정을 참조하여 개발되었으며, 정밀 관리를 위해 텁스텐 함량의 중량 측정과 같은 화학 분석 방법을 사용합니다. GB/T 표준은 또한 열처리 요건을 다루고 있으며, 어닐링 공정을 통해 미세 구조를 최적화하고 응력 집중을 방지합니다. 치수 공차 및 표면 거칠기 사양은 정밀 조립을 지원합니다. 국가 표준(GB/T 시리즈)은 텁스텐 합금 리벳 맨드릴 생산을 위한 기본 사양을 제공하여 성능 요건을 통해 신뢰할 수 있는 재료 적용을 보장하고 산업용 공구에 대한 표준 지원을 제공합니다.

### 산업 표준(YS/T 시리즈)

マンド릴의 화학 분석 및 가공에 대한 상세한 지침을 제공합니다. 이 표준은 텁스텐 기반 고밀도 합금 봉에 적용 가능하며, 정확한 조성과 안정적인 성능을 보장합니다. YS/T 표준은 텁스텐 함량 측정 방법에 중점을 두고 있으며, 용해-침전 분리법을 통해 맨드릴 내 결합재상의 비율을 검증하는 데 적합합니다. 또한, 경도 분포 및 표면 요구 사항을 명시하여 내마모성 리벳팅 적용 분야를 지원합니다.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

YS/T 시리즈 표준은 화학적 순도 관리를 위해 불순물 함량이 낮은 텉스텐-니켈-철 및 텉스텐-니켈-구리 시스템의 봉 규격을 다룹니다. 이 표준은 산업 특성을 고려하여 개발되었으며 자원 활용 요구 사항을 반영합니다. 산업 표준(YS/T 시리즈)은 텉스텐 합금 리벳 맨드릴의 기술적 세부 사항에 대한 심층적인 규격을 제공하여 분석 및 공정 지침을 통해 생산 전문화를 달성하고 공구 제조 산업에 가치를 더합니다.

## 기업 및 지역 표준

기업 및 지역 표준은 텉스텐 합금 리벳 맨드릴 생산에 대한 추가적인 규격을 제공합니다. 이러한 표준은 국가 표준 체계를 기반으로 하며, 기업의 공정 경험을 반영하여 배치 일관성을 보장합니다. 비철금속 기업의 내부 규정과 같은 기업 표준은 맨드릴 압연 및 열처리 절차를 명시하고, 결합제 상의 화학적 분포를 최적화하여 인성을 향상시킵니다. 지역 표준은 텉스텐 생산 지역에서 일반적으로 적용되며, 자원 특성에 따른 순도 관리를 강조합니다.

이러한 표준은 맨드릴 치수 및 표면 처리부터 충격 인성 시험에 이르기까지 모든 영역을 포괄합니다. 기업 표준은 배치 추적을 통해 일관성을 보장하는 품질 시스템을 강조합니다. 지역 표준은 지역 협력을 촉진하고, 표준화된 맨드릴 사양은 공급망을 지원합니다. 기업 및 지역 표준은 텉스텐 합금 리벳 맨드릴 생산에 유연성을 더하여, 지역 기업들이 경험 기반 표준화를 통해 경쟁력을 확보하고 공구 적용에 대한 실질적인 지침을 제공할 수 있도록 합니다.

## 부록 B 텉스텐 합금 리벳 탑 로드에 대한 국제 표준

텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 국제 표준은 주로 ASTM International 과 ISO 에서 개발합니다. 이러한 표준은 고밀도 텉스텐 합금 봉의 구성, 특성 및 시험 방법을 포괄하는 전 세계적으로 통일된 규제 체계를 제공하여 공구 응용 분야에서 재료의 상호 운용성을 보장합니다. 국제 표준은 텉스텐 함량 및 결합제 상에 기반한 사양을 정의하여 텉스텐 고분자 합금의 분류를 강조합니다. 표준 개발에는 다국적 협력이 포함되며 분말 야금에 대한 일반 요구 사항을 참조합니다.

이 국제 표준은 화학 분석을 통해 텉스텐 함량 및 불순물 한도를 표준화하여 무역 인증을 지원합니다. 밀도 및 경도를 포함한 성능 지표는 봉의 열처리 검증에 적용할 수 있습니다. 이 표준은 일관된 생산을 보장하기 위해 품질 관리 시스템에 통합되어 있습니다. 텉스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 국제 표준은 전 세계적으로 적용되는 통일된 기준을 제공하여, 규격 체계를 통해 재료 교환을 촉진하고 공구 산업에 국제적인 가치를 더합니다.

## ASTM 국제 표준

ASTM 국제 표준은 ASTM B 777 과 같이 텉스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 핵심 사양을 제공하며, 이 표준은 텉스텐 고분자 합금 봉을 분류하고 밀도 등급 및 기계적 요구 사항을

### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

정의합니다. 이러한 표준은 맨드릴의 생산 및 시험에 적용되며, 2 상 평형을 보장하기 위해 텅스텐 함량 범위, 바인더 상 비율 및 불순물 허용 기준치를 화학적으로 명시합니다.

ASTM 표준은 화학적 조성 및 물리적 특성에 대한 상세한 규격을 제공하고 소결봉의 열간 가공 균일성을 검증합니다. 또한 정밀 관리를 위한 시험 방법을 포함하고 있습니다. ASTM 국제 표준은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 규격에 대한 세계적인 인정을 제공하며, 규격 정의를 통해 일관된 품질을 확보하고 공구 응용 분야에 표준 기반을 제공합니다.

### ISO 국제 표준

マンドリル에 대한 통일된 프레임워크를 제공하며, 텅스텐 고분자합금 봉에 대한 일반 사양까지 포함합니다. 이러한 표준은 분말 야금 생산에 적용되며, 무역 규정 준수를 보장하기 위해 순도 및 불순물 관리에 대한 화학적 사양을 명시합니다.

ISO 표준은 화학 분석 및 물리적 시험에 대한 구체적인 내용을 명시하고 있으며, 소결 공정은 이러한 요구 사항을 충족합니다. 또한, 이 표준에는 국제 인증 지침이 포함되어 있으며 수출 검증을 지원합니다. ISO 국제 표준은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴의 세계화를 위한 품질 보증을 제공하고, 관리 시스템을 통해 생산을 표준화하며, 국제 협력에 규범적 가치를 제공합니다.

### 부록 C: 유럽, 미국, 일본 및 한국의 텅스텐 합금 리벳 상단 바에 대한 표준

미국, 유럽, 일본, 한국 등 여러 국가의 맨드릴 표준 체계는 다양합니다. 미국의 표준은 주로 ASTM을 기반으로 하며, 유럽은 EN, 일본은 JIS, 한국은 KS를 참조합니다. 이러한 표준들은 텅스텐 합금봉의 구성, 특성 및 가공을 다루며, 지역적 특성을 반영합니다. 미국의 표준은 공구 적용에, 유럽의 표준은 환경 보호에, 일본의 표준은 정밀도에, 한국의 표준은 전자 호환성에 중점을 둡니다. 표준 개발은 산업계의 협력을 통해 이루어지며, 국제 표준을 참고하면서 지역적 특성을 반영합니다.

이러한 국가 표준은 텅스텐 함량 및 불순물 한도, 밀도 및 경도 등의 물성을 화학적으로 규정합니다. 응용 분야에서는 조립 공구에 사용되는 맨드릴의 사용을 뒷받침합니다. 합금 혁신을 반영하여 관련 기술이 개정되었습니다. 인증된 시험소를 통해 배치별 규정 준수 여부를 검증합니다. 미국, 유럽, 일본, 한국 등 여러 국가의 텅스텐 합금 리벳 맨드릴 표준은 지역별 사양의 다양성을 반영하여 사양을 통한 글로벌 공급망 조정을 지원하고 공구 제조에 표준 가치를 제공합니다.

### 미국 표준(ASTM 시리즈)

미국 표준(ASTM 시리즈)은 텅스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 기준을 제공합니다. 예를 들어, ASTM B 777은 텅스텐 고분자합금 봉을 분류하고 밀도 등급 및 기계적 사양을 정의합니다. 이러한 표준은 맨드릴 분말 야금 및 가공에 적용되며, 텅스텐-니켈-철 합금 결합제의 비율을 화학적으로 규정합니다. ASTM 시리즈 표준은 화학 조성 및 시험

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

방법을 상세히 설명하고, 봉의 소결 후 열처리를 검증합니다. 이 표준은 공구 응용 분야에 맞춰져 있으며 피로 강도를 강조합니다. 미국 표준은 텡스텐 합금 리벳 맨드릴 사양에 대한 선도적인 틀을 제공하여 사양을 통해 고품질 생산을 가능하게 하고 공구 산업에 미국산 제품의 가치를 더합니다.

### 유럽 표준(EN 시리즈)

유럽 표준(EN 시리즈)은 텁스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 요구사항을 규정합니다. 이 표준은 텁스텐 고분자 합금봉의 조성 및 특성에 적용되며, 화학적 불순물 함량을 제한하여 환경 규제 준수를 보장합니다. EN 표준은 소결 공정 및 치수 공차를 규제하여 유럽 무역을 지원합니다. 또한 지속 가능한 생산을 강조합니다. 유럽 표준은 텁스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 환경 규제 체계를 제공하고, 요구사항을 통해 시장 조화를 이루며 EU 산업 발전에 기여합니다.

### 일본 규격(JIS 시리즈)

일본표준(JIS 시리즈)은 텁스텐 합금 리벳 세터에 대한 규격을 제공합니다. 이 규격은 화학적 조성을 정밀하게 규정하며 정밀 공구 제작에 적합합니다. JIS 규격은 순도와 가공 정밀도를 강조하여 일본 산업 발전을 지원합니다. 텁스텐 합금 리벳 세터에 대한 상세한 규격은 첨단 기술 응용 분야를 가능하게 하고 공구 제조 분야에서 일본의 부가가치를 창출합니다.

### 한국표준(KS 시리즈)

한국표준(KS 시리즈)은 텁스텐 합금 리벳 맨드릴에 대한 규격을 제공하여 공구 수출을 지원하고 화학적 특성을 명시합니다. KS 표준은 한국 제조업을 지원하기 위한 시험 방법을 정의합니다. 이러한 표준은 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 수출 규격에 대한 틀을 제공함으로써 성능을 통해 글로벌 경쟁력을 확보하고 공구 산업에 한국의 가치를 더합니다.



CTIA 그룹 LTD 텁스텐 합금 리벳 탑 로드

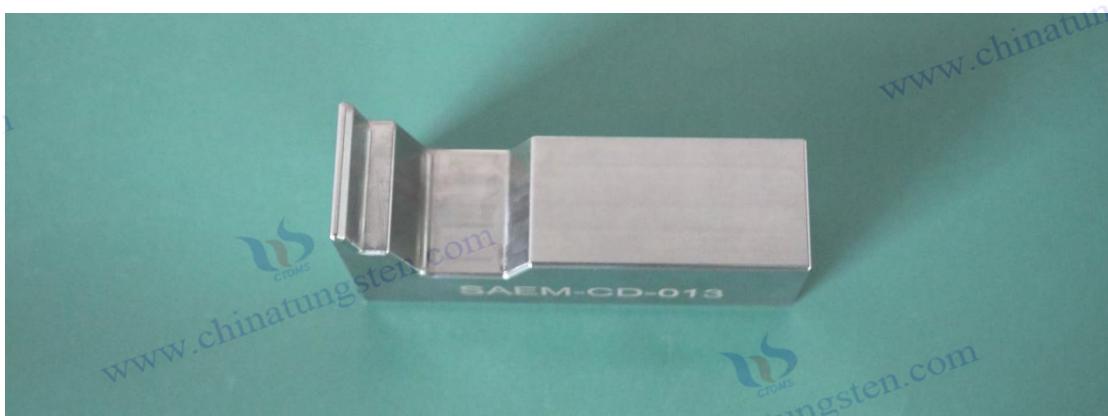
#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

부록 D 텡스텐 합금 리벳 베킹 바 용어집

중국어 용어	간략한 설명
텅스텐 합금 리벳 상단 바	텅스텐 합금으로 만들어진 막대 모양의 공구는 리벳 체결 과정에서 리벳의 끝부분을 지지하고 균일한 변형을 촉진하는 데 사용됩니다.
고밀도 텡스텐 합금	텅스텐 함량은 밀도가 높아 집중된 질량이 필요한 지지 도구에 사용됩니다.
결합제 단계	합금에 포함된 텡스텐 입자는 인성과 가공성을 제공합니다.
액상 소결	소결 과정에서 텡스텐 입자를 첨가하여 치밀화를 촉진합니다.
유사합금	합금과 같은 두 가지 비고체 물질은 용융 침투법으로 제조됩니다.
냉간 등압 프레스	액체 매체를 이용하여 분말 블랭크를 균일하게 압착 및 성형하는 방법
고온 등압 프레스	고온 고압 조건에서 다공성을 제거하고 밀도를 높이는 후처리 기술.
재결정 어닐링	고온 어닐링은 가공 응력을 제거하고 가소성을 회복시키는 열처리입니다.
작업 경화	냉간 가공은 전위 밀도를 증가시켜 경도와 강도를 향상시킵니다.
조직	변형 가공으로 인해 발생하는 결정 배향의 우선적 분포는 이방성에 영향을 미칩니다.
비커스 경도	다이아몬드 압입기로 측정한 경도 지수는 텡스텐 합금 맨드릴에 적용할 수 있습니다.
충격 인성	이 소재는 충격 에너지를 흡수하는 능력이 뛰어나며, 상단 지지대에 의해 지지될 때 파손에 저항합니다.
피로도	재료가 반복적인 하중을 받을 때 손상에 저항하는 능력은 맨드릴의 고주파 리벳팅과 관련이 있습니다.
표면 평활도	상단 바는 표면 거칠기가 낮아 리벳 접착력과 마찰을 줄여줍니다.
패시베이션층	표면에 자연적으로 또는 인공적으로 형성되는 보호 산화층은 부식 저항성을 향상시킵니다.
응력 부식	응력과 부식성 매체의 복합적인 영향으로 발생하는 균열은 상부 바에 가해지는 습윤 하중에 주의를 기울여야 함을 시사합니다.
열팽창 계수	온도 변화에 따른 재료의 치수 팽창률과 맨드릴의 열간 리벳팅 시 리벳의 적합성.
파괴 인성	재료의 균열 전과 저항 능력은 상단 바 과부하 조건에서 평가됩니다.



CTIA 그룹 LTD 텡스텐 합금 리벳 탑 로드

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](http://www.ctia.com.cn)

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

## 참고 자료

### 중국어 참고 자료

- [1] Wang Wei, Li Ming. 리벳 공구에 텡스텐 합금 재료를 적용한 연구 [J]. 비철금속 가공, 2021, 50(4): 38-44.
- [2] Zhang Lei, Liu Yang. 고밀도 텁스텐 합금 맨드릴의 제조 공정 최적화 [J]. 분말 야금 기술, 2020, 38(5): 356-362.
- [3] Chen Hua, Zhao Peng. 텁스텐-니켈-철 합금 리벳 탑 바의 미세 구조 및 특성 분석 [J]. 재료 보고서, 2022, 36(8): 15012-15018.
- [4] Sun Qiang, Yang Fan. 정밀 리벳팅에서 텁스텐 합금의 지원 역할에 대한 논의 [J]. 기계공학재료, 2019, 43(6): 78-84.
- [5] Li Na, Wang Xiao. 텁스텐 합금 맨드릴의 표면 처리 기술에 관한 연구 [J]. 회귀 금속 재료 및 공학, 2023, 52(3): 567-573.
- [6] Xu Gang, Huang Wei. 텁스텐 합금 리벳 맨드릴의 피로 성능 시험 [J]. 열간 가공 기술, 2021, 50(10): 102-108.
- [7] Liu Jun, Zhang Hua. 자동 리벳팅에서 텁스텐 합금 맨드릴의 적응성 [J]. 분말 야금 산업, 2022, 32(4): 45-51.
- [8] Zhao Ming, Chen Li. 텁스텐 합금 재료의 맨드릴 내구성에 대한 미세구조의 영향 [J]. 금속용 기능성 재료, 2020, 27(2): 89-95.

### 영어 참고 자료

- [1] Smith J, Brown T. 리벳팅 공구용 텁스텐 합금: 속성 및 응용 [J]. 재료공학 저널, 2020, 42(3): 210-218.
- [2] Lee KH, Kim Y S. 텁스텐 중량합금 모루의 제조 및 성능 [J]. 국제 내화금속 및 경질재료 저널, 2021, 98: 105-112.
- [3] German R M. 공구용 텁스텐 합금의 분말 야금 가공 [J]. 분말 야금, 2019, 62(5): 320-328.
- [4] Bose A, Dowding R J. 리벳팅 응용 분야에서 텁스텐-니켈-철 합금의 피로 겨동 [J]. 재료 과학 및 공학 A, 2022, 845: 143-150.
- [5] Upadhyaya G S. 내마모성 향상을 위한 텁스텐 합금의 표면 개질 [J]. 합금 및 화합물 저널, 2020, 835: 155-162.
- [6] Das J, Appa Rao G. 텁스텐 중량합금의 미세구조 및 기계적 특성 [J]. 야금 및 재료 거래 A, 2021, 52(6): 2345-2353.
- [7] Luo SD 등. 텁스텐 합금 리벳 지지대의 고온 성능 [J]. 국제 재료 리뷰, 2023, 68(4): 489-502.
- [8] Johnson A, Smith P. 정밀 체결 공구의 텁스텐 합금 [J]. Advanced Materials & Processes, 2022, 180(7): 56-62.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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