

텅스텐 합금 차폐 캔이란 무엇입니까

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

텅스텐, 몰리브덴 및 희토류 산업을 위한 지능형 제조 분야의 글로벌 리더

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA 그룹 소개

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

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

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

CTIA 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 쌓아 온 한 박사는 국내외 텅스텐 및 몰리브덴 제품 분야의 저명한 전문가입니다. CTIA GROUP 팀은 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하며, 생산 관행 및 시장 고객 요구에 기반한 기술 연구 논문, 기사 및 산업 보고서를 지속적으로 작성하여 업계에서 폭넓은 호평을 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA 그룹의 기술 혁신, 제품 홍보, 업계 교류에 대한 탄탄한 지원을 제공하며, 이를 통해 회사가 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조와 정보 서비스 분야에서 선두주자로 발돋움하는 데 기여할 것입니다.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

목차

1장 텅스텐 합금 차폐 캔의 세계로 들어가기

- 1.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 개념
 - 1.1.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 정의
 - 1.1.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 기본 구성 요소
 - 1.1.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 기본 특성
- 1.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 재료 선택 논리
 - 1.2.1 텅스텐 합금과 주류 차폐 재료 간의 성능 비교
 - 1.2.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 성능의 핵심 장점
 - 1.2.3 장면 적용에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 선택 논리
- 1.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 개발 역사 및 산업적 가치
 - 1.3.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 기술 발전 단계
 - 1.3.2 차폐 캔 응용 분야에서 텅스텐 합금의 기술적 혁신 노드
 - 1.3.3 산업용 텅스텐 합금 차폐캔의 핵심 지지 가치 반영

제 2장 텅스텐 합금 차폐캔의 차폐 메커니즘 및 성능 지표

- 2.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 방사선 차폐 기본 원리
 - 2.1.1 텅스텐 합금 차폐 캔에 의한 이온화 방사선의 전파 특성 분석
 - 2.1.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 메커니즘(흡수 및 감쇠)
 - 2.1.2.1 텅스텐 원자 구조와 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 성능 간의 상관 관계
 - 2.1.2.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 다양한 방사선에 대한 작용 과정
 - 2.1.2.3 텅스텐 합금 차폐캔의 차폐 메커니즘에 대한 합금 조성 최적화 효과
 - 2.1.3 텅스텐 합금 차폐캔의 차폐 효과에 영향을 미치는 요인 분석
 - 2.1.3.1 텅스텐 합금 재료의 고유 특성
 - 2.1.3.2 차폐구조 설계변수의 계수
 - 2.1.3.3 방사선원 자체의 특성
 - 2.1.3.4 서비스 환경 조건의 영향 요인
 - 2.1.3.5 제조 공정 정밀 제어 요소
- 2.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 핵심 성과 지표 시스템
 - 2.2.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 밀도 표시기
 - 2.2.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 경도 지표
 - 2.2.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 인장 강도 지표
 - 2.2.4 텅스텐 합금 차폐 캔의 밀봉 성능 지표
 - 2.2.5 텅스텐 합금 차폐 캔의 내식성 지표
 - 2.2.6 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 효율
 - 2.2.7 텅스텐 합금 차폐 캔의 연성 지표
 - 2.2.8 텅스텐 합금 차폐 캔의 고온 저항 표시기
- 2.3 CTIA GROUP LTD 의 텅스텐 합금 차폐 캔 MSDS

제 3장 텅스텐 합금 차폐 캔의 설계 논리 및 유형 분류

- 3.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 구조적 구성
 - 3.1.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 주요 차폐 구조(캔 본체, 캔 커버)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 3.1.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 보조 기능 구조(라이닝, 연결 부품)
- 3.1.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 구조적 조정의 차폐 원리
- 3.2 차폐 시나리오에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 주요 유형
 - 3.2.1 원자력 산업에 특화된 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 3.2.2 의료 분야용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 3.2.3 산업 테스트에 특화된 텅스텐 합금 차폐 캔
- 3.3 구조적 형태에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 일반적인 유형
 - 3.3.1 고정 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 3.3.2 휴대용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 3.3.3 밀봉된 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 3.3.4 개방형 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 3.3.5 단층 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 3.3.6 다층 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 3.3.7 통합 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 3.3.8 모듈형 텅스텐 합금 차폐 캔

제 4장 텅스텐 합금 차폐캔 제조 공정

- 4.1 텅스텐 합금 차폐 캔용 원자재의 구성 및 요구 사항
 - 4.1.1 텅스텐 합금 차폐캔의 주요 원료 비율
 - 4.1.2 텅스텐 합금 차폐 캔용 원료의 순도 및 입자 크기 요구 사항
 - 4.1.3 텅스텐 합금 차폐 캔용 보조 재료의 선정 기준 및 요구사항
- 4.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 제조 공정
 - 4.2.1 텅스텐 합금 차폐캔의 기본 분말 야금 공정(분말 준비, 혼합, 압착)
 - 4.2.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 주요 소결 공정 및 매개변수 제어
 - 4.2.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 가공 공정
 - 4.2.4 텅스텐 합금 차폐 캔의 표면 처리 공정
- 4.3 텅스텐 합금 차폐 캔 제조 공정의 품질 관리 포인트
 - 4.3.1 텅스텐 합금 차폐캔 원료에 대한 수입 검사 기준 및 방법
 - 4.3.2 텅스텐 합금 차폐 캔 중간 공정의 품질 검사 노드
 - 4.3.3 완성된 텅스텐 합금 차폐 캔의 납품 전 전체 품목 검사 프로세스

제 5장 텅스텐 합금 차폐 캔의 응용 분야

- 5.1 원자력 산업에서의 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용
 - 5.1.1 사용후핵연료 저장 및 운반용 텅스텐 합금 차폐캔
 - 5.1.2 방사성 폐기물 처리용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.1.3 핵지질 탐사 시료용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.1.4 원자로 보조 장비용 텅스텐 합금 차폐 캔
- 5.2 의료 및 건강 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용
 - 5.2.1 방사성 약물 저장 및 운송을 위한 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.2.2 방사선 치료원용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.2.3 의료 영상 장비를 지원하는 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.2.4 방사성 폐기물의 임시 저장을 위한 텅스텐 합금 차폐 캔

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 5.2.5 체외진단시약 보호용 텅스텐 합금 차폐 캔
- 5.3 산업 테스트 및 전자 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용
 - 5.3.1 산업용 방사선 검사원용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.3.2 전자 부품 간섭 방지용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.3.3 반도체 제조 테스트용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.3.4 비파괴 검사 장비용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.3.5 정밀 전자 기기 보호를 위한 텅스텐 합금 차폐 캔
- 5.4 항공우주 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용
 - 5.4.1 항공우주 방사선 시험용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.4.2 항공우주 부품 보호용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.4.3 항공우주 재료 시험용 텅스텐 합금 차폐 캔
- 5.5 과학 연구 실험 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용
 - 5.5.1 핵물리학 실험 샘플용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.5.2 입자물리학 실험을 위한 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.5.3 환경 방사선 모니터링을 위한 텅스텐 합금 차폐 캔
- 5.6 기타 특수 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용
 - 5.6.1 특수 환경을 위한 맞춤형 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.6.2 국방 및 군수 산업에 특화된 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.6.3 지질 탐사 및 채굴용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.6.4 항공우주 방사선 시험용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.6.5 핵물리학 실험 샘플용 텅스텐 합금 차폐 캔
 - 5.6.6 특수 환경을 위한 맞춤형 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용

제 6장 텅스텐 합금 차폐 캔의 선택, 사용 및 유지 관리

- 6.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 과학적 선정 방법
 - 6.1.1 방사선 특성에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 선정 기준
 - 6.1.2 서비스 시나리오에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 선택 지점
 - 6.1.3 산업 표준에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 선택 검증
- 6.2 텅스텐 합금 차폐 캔 사용 시 안전 작동 사양
 - 6.2.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 기본 작동 절차 및 사양
 - 6.2.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 이동 및 운송에 대한 안전 요구 사항
 - 6.2.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 긴급 폐기 및 결함 처리
- 6.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 일상 유지 관리 및 서비스 수명 연장 기술
 - 6.3.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 정기 청소 및 유지 관리 방법
 - 6.3.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 정기 검사 및 성능 교정
 - 6.3.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 취약 부품 교체 및 유지 관리

제 7장 텅스텐 합금 차폐 캔과 다른 차폐 캔의 비교

- 7.1 텅스텐 합금 차폐 캔과 납 합금 차폐 캔의 비교
 - 7.1.1 텅스텐 합금 차폐 캔과 납 합금 차폐 캔의 성능 비교(차폐 효율, 밀도 등)
 - 7.1.2 텅스텐 합금 차폐 캔과 납 합금 차폐 캔의 환경 친화성 비교
 - 7.1.3 텅스텐 합금 차폐 캔과 납 합금 차폐 캔의 적용 가능한 시나리오 비교

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1.4 텅스텐 합금 차폐 캔과 납 합금 차폐 캔의 전체 수명 주기 비용 비교

7.2 텅스텐 합금 차폐 캔과 강철 차폐 캔의 비교

7.2.1 텅스텐 합금 차폐 캔과 강철 차폐 캔의 차폐 성능 비교

7.2.2 텅스텐 합금 차폐 캔과 강철 차폐 캔의 기계적 성능 비교

7.2.3 텅스텐 합금 차폐 캔과 강철 차폐 캔의 환경 적응성 비교

7.2.4 텅스텐 합금 차폐 캔과 강철 차폐 캔의 비용 효율성 비교

7.3 텅스텐 합금 차폐 캔과 복합 차폐 재료 캔의 비교

7.3.1 텅스텐 합금 차폐 캔과 복합 차폐 재료 캔 간의 재료 구성 비교

7.3.2 텅스텐 합금 차폐 캔과 복합 차폐 재료 캔의 차폐 메커니즘 비교

7.3.3 텅스텐 합금 차폐 캔과 복합 차폐 재료 캔 간의 안정성 비교

7.3.4 텅스텐 합금 차폐 캔과 복합 차폐 재료 캔의 적용 전망 비교

부록:

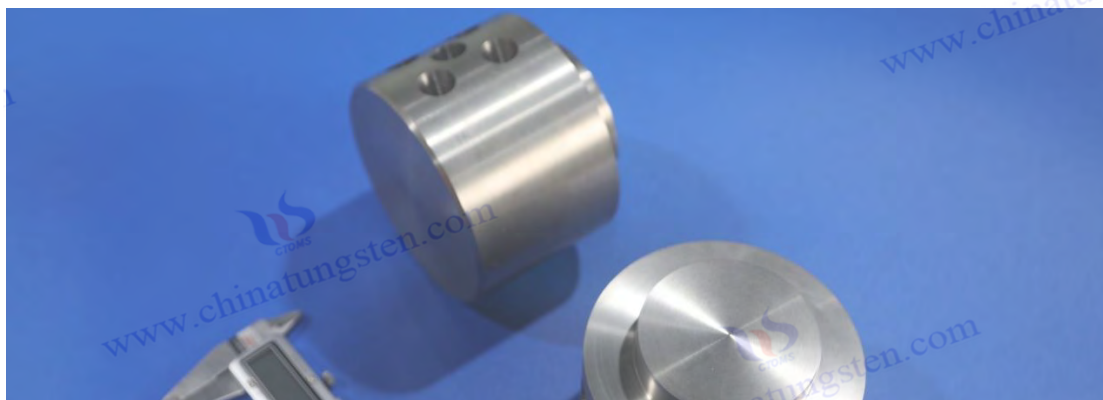
부록 A 텅스텐 합금 차폐 캔에 대한 중국 표준

부록 B 텅스텐 합금 차폐 캔에 대한 국제 표준

부록 C 유럽, 미국, 일본, 한국 및 기타 국가의 텅스텐 합금 차폐 캔에 대한 표준

부록 D 텅스텐 합금 차폐 캔 용어집

참고문헌



CTIA GROUP LTD 텅스텐 합금 차폐 캔

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

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

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

100,000+ customers

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

Service commitment

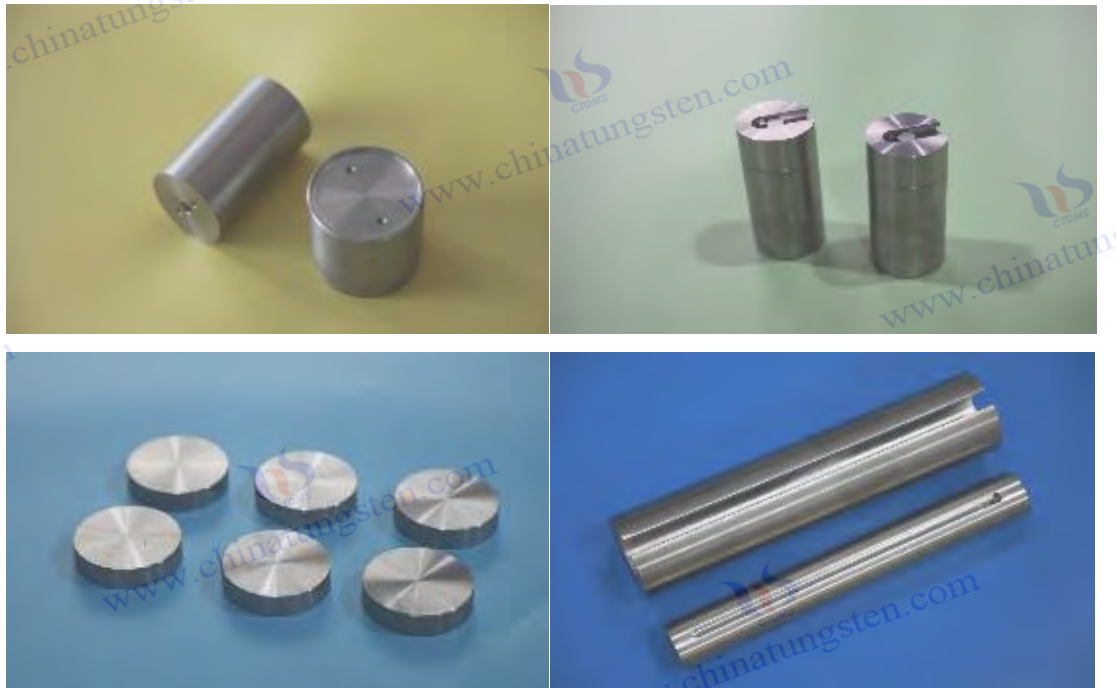
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

1 장 텅스텐 합금 차폐 캔의 세계로 들어가기

1.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 개념

텅스텐 합금 차폐 용기는 방사성 물질을 보관하고 차폐하기 위해 특별히 설계 및 제작된 기능성 용기로, 현대 방사선 방호 공학의 주요 소재로 텅스텐 기반 고밀도 합금을 사용합니다. 납, 철 또는 콘크리트에 비해 텅스텐 합금의 현저히 높은 체적 밀도와 감마선, X 선 및 중성자 플럭스에 대한 탁월한 감쇠 성능을 최대한 활용하여 매우 제한된 공간에서 고효율 방사선 차폐를 달성합니다. 동시에 충분한 구조적 강도, 열 안정성, 화학적 불활성 및 장기 격납 신뢰성을 갖추고 있습니다. 기존 차폐 방식과 비교하여 텅스텐 합금 차폐 용기는 "더 나은 보호, 더 큰 부피, 더 무거운 무게"라는 본질적인 모순을 완전히 깨고, 동일한 수준의 보호에 대한 전체 부피와 무게를 크게 줄임으로써 시설의 공간 활용도, 운영 유연성 및 인력 접근성을 향상시킵니다.

실제 응용 분야에서 텅스텐 합금 차폐 용기는 방사성 물질이나 방사성 폐기물에 대한 최초의 물리적 격납 장벽이자 방사선량 제어를 위한 핵심 공학적 장벽 역할을 합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 핵의학 영상 장비, 동위원소 생산 고온 챔버, 산업용 X 선 검사 암실, 연구용 원자로의 조사 채널, 고에너지 물리 실험 터미널, 그리고 방사성 폐기물의 임시 저장 및 이송 등 다양한 분야에서 널리 사용되어 "최적의 방호" 및 "최소화된 선량"이라는 원칙을 달성하는 핵심적인 물리적 구성 요소가 되고 있습니다. 방사선 응용 분야가 더 높은 방사능, 소형화, 그리고 이동성을 향해 발전함에 따라, 텅스텐 합금 차폐 용기는 기존의 납 용기, 납 유리 용기, 그리고 무거운 콘크리트 용기를 점차 대체하여 오늘날 방사선 방호 분야에서 고급, 친환경, 장수명 차폐 솔루션의 대표 주자로 인정받고 있습니다.

1.1.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 정의

텅스텐 합금 차폐 용기는 텅스텐 함량이 90% 이상인 텅스텐-니켈-철, 텅스텐-니켈-구리, 또는 텅스텐-니켈-철-구리 고밀도 합금으로 제작된 복합 엔지니어링 용기로, 준정형 성형, 소결, 단조 또는 정밀 가공 공정을 통해 제조되며, 방사성 물질 격납 및 방사선 차폐 기능을 모두 갖추고 있습니다. 텅스텐 합금 차폐 용기의 설계는 방사성 물질 운반 용기에 대한 국제원자력기구(IAEA)의 기계적 및 열적 요건, 저장 및 취급 용기에 대한 국가 원자력 안전 규제 기관의 형식 승인 조건, 그리고 의료 및 산업 방사선 방호를 위한 가장 엄격한 표면 선량률 한도를 동시에 충족해야 합니다.

재료 과학 관점에서 볼 때, 텅스텐 합금은 방사선 방호 분야에서 고밀도 합금의 전형적인 구조-기능 통합 응용 분야를 나타냅니다. 시스템 공학 관점에서는 포괄적 차폐 시스템의 핵심 노드이며, 규제 및 표준 관점에서는 A 형, B 형 또는 C 형 방사성 물질 운반 용기, 산업용 방사선원 용기, 의료용 방사선원 용기 또는 폐기물 용기의 특정 구현 중 하나입니다. 이처럼 다양한 속성이 고도로 통합되어 있기 때문에 텅스텐 합금 차폐 용기는 현대 방사선 안전 시스템에서 대체 불가능한 존재가 됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.1.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 기본 구성 요소

일반적인 텅스텐 합금 차폐 탱크는 탱크 본체, 상부 커버 또는 엔드 커버, 밀봉 및 잠금 시스템, 리프팅 및 핸들링 인터페이스, 표면 기능 코팅, 내부 캐비티 세척 라이닝, 그리고 다양한 보조 기능 인터페이스로 구성됩니다. 탱크 본체는 일반적으로 일체형 소결 블랭크 또는 다중 세그먼트 단조 링 용접 공정으로 제작되어 연속적인 차폐층 두께와 접합 간극을 보장합니다. 상부 커버는 대부분 매립형 또는 볼록형 구조를 채택하고 정밀 연삭을 통해 마이크론 수준의 맞춤을 구현합니다.

밀봉 시스템은 일반적으로 다단계 미로 밀봉과 내방사선성 탄성 밀봉 링 또는 주름진 금속 밀봉 링을 사용한 이중 안전 설계를 채택합니다. 이 설계는 고온 조사 후에도 분리성을 유지하면서 방사성 에어로졸의 누출을 방지합니다. 잠금 장치는 주로 클락 클램프, 다중 나사 조인트 또는 유압식 잠금 링을 사용하여 빠른 작동과 장기적인 풀림 방지 요구 사항의 균형을 유지합니다. 리프팅 및 취급 인터페이스에는 상단의 일체형 단조 리프팅 러그, 측면의 지게차 슬롯 또는 하단의 표준화된 팔레트가 포함되어 차폐형 운송 차량, 갠트리 크레인 또는 로봇 팔의 전체 공정 운영 요구 사항을 충족합니다.

표면은 내식성과 제염 효율을 향상시키기 위해 무전해 니켈 도금, 흑색 산화 처리 또는 특수 제염 코팅으로 코팅되는 경우가 많습니다. 또한, 이 제품은 납 유리 관측창, 선량을 모니터링 프로브 인터페이스, 압력 밸런싱 밸브, 내장형 방사선원 작동 메커니즘 또는 교체 가능한 라이너를 통합하여 단일 용기를 모니터링, 작동 및 운반을 포함한 여러 기능을 갖춘 통합 차폐 시스템으로 전환합니다. 이러한 요소들은 처음부터 격납, 차폐, 작동성 및 제염 능력이라는 시스템 원칙에 따라 설계되었으며, 궁극적으로 고도로 조율되고 안전 중복성을 갖춘 전체 구조를 형성합니다.

1.1.3 텅스텐 합금 차폐 용기의 기본 특성

텅스텐 합금 차폐 용기의 가장 중요한 특징은 높은 차폐 효과와 작은 크기 및 무게입니다. 동일한 방사선 에너지 및 방호 요건 하에서 납 용기보다 벽 두께가 훨씬 얇으면서도 동일하거나 더 나은 선량 감소 효과를 얻을 수 있어 귀중한 열실 공간과 건물 하중을 크게 절감할 수 있습니다. 둘째, 우수한 종합적인 기계적 특성과 고온 안정성을 갖추고 있습니다. 장기간의 방사선 조사 및 온도 순환에도 납의 크리프 연화나 콘크리트의 미세 균열 및 누수가 발생하지 않아 구조물 및 밀봉의 영구적인 신뢰성을 보장합니다.

셋째, 뛰어난 내식성과 손쉬운 세척 기능을 자랑합니다. 텅스텐-니켈-구리 시스템은 습한 환경, 산성, 알칼리성 또는 염분 환경에서도 안정적입니다. 경면 마감 처리된 내부 캐비티와 결합하여 반복적인 세척 작업을 간단하고 효율적으로 수행하여 2차 폐기물의 양을 크게 줄입니다. 넷째, 완전히 무독성이며 납을 사용하지 않아 기존 납 용기의 환경 및 건강 위험을 근본적으로 제거하고 방사성 폐기물의 최종 처분 및 친환경 방사선 방호에 대한 가장 엄격한 요건을 충족합니다. 마지막으로, 매우 높은 설계 자유도와 제조 정밀도를 제공합니다. 벽 두께, 캐비티 형상 및 인터페이스 유형은 방사선원의 특정 에너지 스펙트럼, 활동도, 화학적 형태 및 적용 시나리오에 따라 세부적으로 맞춤 제작할

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

수 있어 소형 의료용 용기부터 대형 폐기물 이송 용기까지 전 스펙트럼을 포괄합니다.

이러한 상호 연결되고 뛰어난 장점 덕분에 텅스텐 합금 차폐 용기는 방사선 방호의 경제성과 작동 용이성을 크게 개선했을 뿐만 아니라 핵의학, 동위원소 생산, 산업용 결함 탐지 및 과학적 방사선 조사 시설의 소형화, 모듈화 및 친환경화를 향한 깊은 발전을 촉진하여 현대 방사선 안전 공학에서 기술적으로 가장 진보되고 대표적인 차폐 구성 요소 중 하나가 되었습니다.

1.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 재료 선택 논리

후보 차폐재 중에서도 두각을 나타내며 고급 차폐 탱크의 구조재로 선호되어 왔습니다. 이는 방사선 감쇠 성능, 기계적 특성, 열 안정성, 화학적 불활성, 가공성, 환경 적합성 등 여러 측면에서 최적의 균형을 이루었기 때문입니다. 기존의 차폐 설계는 오랫동안 납, 콘크리트, 붕소 화 폴리에틸렌, 또는 일반 강철에 의존해 왔지만, 이러한 재료들은 각각 극복할 수 없는 단점을 가지고 있습니다. 납은 밀도가 높지만 독성이 강하고 고온 크립 현상이 심합니다. 콘크리트는 차폐 효율이 낮고 고정되어 있습니다. 붕소화 폴리에틸렌은 중성자에만 효과가 있고 감마선에는 거의 효과가 없으며, 일반 강철은 매우 두꺼운 벽으로 간신히 요건을 충족할 수 있습니다. 재료 선택의 기본 논리는 항상 "제한된 공간 및 중량 예산 내에서 최대 방사선 감쇠, 가장 수명, 최저 유지 보수 비용, 그리고 최고의 환경 적합성 달성"이라는 핵심 목표를 중심으로 이루어져 왔습니다. 이론에 가까운 밀도의 미세 구조, 고품질 감마선 감쇠 계수, 적절한 중성자 감쇠 성능, 그리고 뛰어난 종합적인 기계적 특성을 갖춘 텅스텐 합금은 이러한 목표를 완벽하게 충족합니다. 특히 핵의학 고온 챔버, 동위원소 생산 라인, 산업 결함 검출 무반향 챔버, 고에너지 물리학 실험 터미널과 같이 공간이 매우 민감하고 제염 요건이 엄격한 환경에서 텅스텐 합금 차폐 용기는 규정, 엔지니어링, 그리고 경제성의 제약 조건을 동시에 충족하는 거의 유일한 현실적인 솔루션이 되었습니다.

1.2.1 텅스텐 합금과 주류 차폐 재료의 성능 비교

납과 비교했을 때, 텅스텐 합금은 납과 동등하거나 그보다 더 높은 감마선 차폐 성능을 제공하는 동시에 납 과 관련된 높은 독성, 크리프 연화 및 2 차 오염 위험을 완전히 제거합니다. 납 용기는 장시간 방사선 조사 및 고온 노출 시 비가역적 변형에 매우 취약하여 밀봉 불량 및 표면 선량률 증가로 이어집니다. 반면, 텅스텐 합금 용기는 고온 방사선 조사 시에도 기하학적 정밀도와 구조적 강도를 유지하여 이러한 위험을 완전히 방지합니다. 또한, 텅스텐 합금은 무독성이어서 의료 및 동위원소 생산 분야에서 규제 기관의 선호도가 높습니다. 오염 제거 후 일반 금속 폐기물로 바로 폐기할 수 있지만, 납 용기는 특수한 친환경 폐기 절차가 필요한 경우가 많습니다.

일반 강철 및 스테인리스강에 비해 텅스텐 합금은 훨씬 높은 체적 밀도를 가지고 있어 훨씬 얇은 벽으로도 동일한 차폐 효과를 얻을 수 있습니다. 이로 인해 전체 중량 분포가 더욱 합리적이어서, 잦은 리프팅이 필요하거나 설치 공간이 제한된 분야에 특히 적합합니다. 스테인리스강은 우수한 내식성을 제공하지만, 고에너지 감마선에서 동일한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

감쇠율을 얻으려면 텅스텐 합금보다 몇 배 더 두꺼운 두께가 필요하기 때문에 용기 무게와 고온 챔버 부하가 과도하게 발생합니다. 반면 텅스텐 합금은 더 얇은 벽으로도 필요한 선량률을 달성할 수 있어 토목 공사 비용과 리프팅 장비 요구량을 줄일 수 있습니다.

엔지니어링 세라믹이나 사파이어와 같은 초경도 취성 소재와 비교했을 때, 텅스텐 합금은 금속 인성을 유지하면서도 매우 높은 경도를 유지하여 충격이나 열 충격 시 세라믹 소재에서 발생하는 심각한 균열을 방지합니다. 세라믹 차폐 부품은 특정 에너지의 방사선에 대해 높은 감쇠 효율을 제공하지만, 제조가 어렵고 비용이 많이 들며 수리가 불가능합니다. 미세 균열이 발생하면 부품을 사용할 수 없게 됩니다. 반면, 텅스텐 합금 차폐 용기는 국소 손상 후 레이저 재용해 수리가 가능하여 전반적인 수명 주기 경제성을 크게 향상시킵니다.

붕소 함유 폴리에틸렌 및 기타 중성자 차폐 재료와 비교했을 때, 텅스텐 합금은 수소 함유 재료보다 열중성자 감속 효과는 떨어지지만 감마선과 고속 중성자에 대한 복합 차폐 성능이 훨씬 뛰어납니다. 더 중요한 것은 텅스텐 합금이 붕소 함유 또는 수소 함유 층을 국부적으로 매립함으로써 동일한 용기 내에서 감마선과 중성자를 동시에 차폐할 수 있다는 것입니다. 반면 플라스틱 재료는 고온에서 노화 및 변형되기 쉬워 구조적 용도로는 적합하지 않습니다.

고갈 우라늄 차폐재와 비교했을 때, 텅스텐 합금은 방사능과 규제 제한 문제를 완전히 피하면서도 뛰어난 기계적 특성과 가공성을 갖추고 있어 민간 핵의학, 산업용 결함 탐지, 과학 연구 시설에서 방해받지 않고 사용할 수 있습니다.

1.2.2 차폐 성능에 있어서 텅스텐 합금 차폐 캔의 핵심 장점

텅스텐 합금 차폐 용기의 차폐 성능은 주로 감마선과 X 선에 대한 매우 높은 체적 감쇠 능력에 달려 있습니다. 텅스텐은 원자 번호가 높고 전자 구름 밀도가 크기 때문에 광전 효과, 콤프턴 산란, 전자쌍 효과를 모두 합친 단면적이 납이나 철과 같은 기존 금속보다 훨씬 뛰어납니다. 이를 통해 동일한 질량의 차폐층으로 더 많은 고에너지 광자를 차단할 수 있으며, 동일한 선량률 제어 수준에서 벽 두께가 크게 감소하고, 용기 모양이 더욱 컴팩트해지며, 사용 가능한 내부 부피가 크게 증가합니다. 핵의학 핫셀, 동위원소 분배실, PET-CT 실과 같이 공간이 제한된 곳에서는 더 많은 기능의 장비를 설치하거나 차폐벽의 두께를 크게 줄일 수 있어 전반적인 엔지니어링 경제성이 크게 향상됩니다.

둘째, 텅스텐 합금은 고속 중성자에 대한 우수한 감속 및 흡수 능력을 나타냅니다. 특히 텅스텐-니켈-철 시스템에서 철의 높은 비탄성 산란 단면적과 텅스텐의 고밀도 탄성 산란은 시너지 효과를 발휘하여 중성자 에너지를 효과적으로 감소시킵니다. 외부 또는 내부에 수소 또는 붕소를 포함하는 서방형 층과 결합하면, 납 용기에 필요한 이중 재료의 추가 층 없이도 감마-중성자 복합 차폐를 달성할 수 있습니다. 단일 재료로 광범위한 차폐를 달성할 수 있으므로 용기 구조 설계가 크게 간소화되고 층간 계면 파손 위험이 제거됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

더 중요한 것은, 텅스텐 합금의 차폐 성능은 온도 증가에 따라 거의 감소하지 않으며, 고온 방사선 조사에서도 완전한 미세구조와 거시적 형상을 유지할 수 있다는 것입니다. 반면, 납은 고온에서 상당한 크리프(creep) 현상을 보이고, 콘크리트는 수분 손실로 인해 미세균열이 발생하며, 붕소화 폴리에틸렌은 연화 및 노화됩니다. 텅스텐 합금의 낮은 열팽창 계수와 높은 재결정 온도는 화재 사고나 장기간의 고온 조사 상황에서도 차폐 용기가 설계된 차폐 두께를 유지하도록 하여 선량률이 한계를 초과하지 않도록 하고 비상 대응에 귀중한 시간을 확보할 수 있도록 합니다.

마지막으로, 텅스텐 합금 표면은 연마, 도금 또는 화학적 부동태화를 통해 조밀하고 안정적인 산화막을 형성하여 2 차 방사성 핵종의 흡착이 매우 낮고, 제염 계수가 높으며, 반복적인 오염 후에도 배경 수준으로 회복되는 특성을 보입니다. 반면, 납 표면은 다공성이어서 비가역적인 오염에 취약한 반면, 콘크리트는 거칠기와 다공성으로 인해 방사성 분진의 장기 운반체가 됩니다. 이러한 특성을 고려할 때, 텅스텐 합금 차폐 용기는 차폐 효율, 스펙트럼 적응성, 환경적 견고성, 그리고 장기 제염 능력 측면에서 다차원적인 선도적 위치를 차지하며, 현대의 첨단 방사선 방호 시설에 적합한 차폐 매체로 자리매김하고 있습니다.

1.2.3 시나리오 적용에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 선택 논리

실제 공학에서 텅스텐 합금 차폐 용기의 선택은 "방사선원, 시나리오, 규정, 수명 및 비용"을 통합하는 체계적인 논리를 따릅니다. 먼저, 필요한 차폐 두께와 재료 시스템은 방사성원의 유형, 에너지 스펙트럼 및 방사능에 따라 결정됩니다. 고에너지 감마선원의 경우 중성자 차폐 기능을 제공하기 위해 텅스텐-니켈-철 시스템이 선호됩니다. 자기장에 민감한 의료 환경에서 순수 감마선원의 경우 비자성 텅스텐-니켈-구리 시스템이 선택됩니다. 불소 함유 또는 강산성 방사성 폐액을 처리할 때는 내부 부식 방지 라이닝 층을 추가하거나 공식 부식 방지성이 더 강한 텅스텐-니켈-구리 합금을 선택해야 합니다.

둘째, 벽 두께 분포와 구조적 형태는 사용 시나리오의 공간 및 중량 제약에 따라 결정됩니다. 핫 챔버 고정형 대형 탱크는 균일한 벽 두께와 전체 강성을 추구하고 일체형 소결 또는 다층 슬리브 구조를 채택합니다. 이동식 운송 컨테이너는 최적의 중량과 낙하 저항성을 강조하고 종종 외부는 얇고 내부는 두꺼운 경사 디자인을 채택하고 충격 흡수 바닥으로 보완합니다. 클러브 박스에 내장된 소형 소스 탱크는 작동 편의성에 더 많은 주의를 기울이고 빠르게 열리는 뚜껑과 가벼운 리프팅 러그를 사용합니다.

또한, 규제 요건을 엄격히 준수하는 것이 필수적입니다. 의료 폐기물 이송 탱크는 국가의약품감독관리국과 국가원자력안전국의 이중 등록을 준수해야 하며, 표면 선량률, 오염제거 계수, 생체적합성은 모두 유형 시험에 합격해야 합니다. 산업 폐기물 이송 탱크는 유형 A 또는 유형 B 운송 용기 기준을 충족해야 하며 낙하, 적재, 화재 시험이 필수적입니다. 과학 연구 실험에 사용되는 탱크는 인터페이스 다양성과 신속한 수정 능력에 더 중점을 둡니다.

마지막으로, 총 수명 주기 비용(TLC)과 유지보수 전략을 고려해 볼 때, 텅스텐 합금의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

초기 구매 비용은 납보다 높지만, 유지보수가 필요 없고 납 오염이 전혀 없으며 수리가 용이하고 수명이 매우 길어 기존 소재보다 총 소유 비용이 훨씬 낮습니다. 특히 빈번한 개봉, 분배 및 오염 제거가 필요한 핵의학 및 동위원소 생산 라인에서 텅스텐 합금 차폐 용기는 인건비 절감, 폐기물 양 감소, 가동 중단 손실 방지를 통해 3 년 이내에 투자 비용을 회수할 수 있는 경우가 많습니다.

위 논리의 긴밀한 폐쇄 루프로 인해 텅스텐 합금 차폐 탱크의 선택은 초기의 "성능 우선 순위"에서 오늘날의 "시나리오 중심, 규정 안내, 수명 주기 경제" 시스템 엔지니어링 관행으로 발전하여 공장에서 출고되는 모든 차폐 탱크가 방사선 안전을 위한 견고한 장벽일 뿐만 아니라 시설 운영 효율성과 친환경 규정 준수를 위한 최적의 운반체임을 보장합니다.

1.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 개발 역사 및 산업적 가치

텅스텐 합금 차폐 용기는 고밀도 합금 재료 과학, 방사선 방호 공학의 요구, 그리고 핵의학 및 동위원소 산업의 급속한 성장이라는 세 가지 요소가 결합된 결과입니다. 납 용기의 "고급 대안"으로서의 초기 역할에서 핵의학 고온 챔버 및 동위원소 생산 라인의 표준 구성 요소로서 현재 지위를 차지하고 있으며, 산업 결합 검출, 과학적 방사선 시설, 그리고 방사성 폐기물 관리의 전체 사슬에 점진적으로 침투하면서 텅스텐 합금 차폐 용기는 "선택 사항"에서 "필수 사항"으로 놀라운 변화를 겪었습니다. 이러한 변화의 이면에는 텅스텐 합금 야금 및 가공 기술의 지속적인 혁신, 무연, 장수명, 제염 저항성 재료에 대한 국제 방사선 안전 규정의 의무적 요건, 그리고 점점 더 비싸지는 우주 자원과 엄격한 개인 선량 제한이라는 절박한 현실이 있습니다. 산업적 가치는 시설의 안전 수준과 운영 효율성을 크게 개선하는 데 있을 뿐만 아니라, 방사선 응용 산업 전체의 구조적 업그레이드를 소형화, 친환경화, 지능화 방향으로 추진하는 데 있습니다.

1.3.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 기술 발전 단계

첫 번째 단계(1990 년대 이전)는 개념 증명 및 소규모 시험 사용 기간이었습니다. 당시 텅스텐 합금은 주로 국소 방사선 콜리메이터용 단순 블록이나 판 형태로 사용되었으며, 차폐 용기는 여전히 납 주조 또는 납 벽돌 조형으로 주로 제작되었습니다. 일부 연구 기관과 고급 의료 센터에서 텅스텐 합금을 가공하여 소형 의료용 방사선원 용기나 주사기 보호 슬리브를 제작하려고 시도했지만, 텅스텐 합금의 준정형 성형 기술의 미숙, 높은 비용, 그리고 방사선 조사 후 성능 데이터 부족으로 인해 적용 범위가 매우 좁아 실험실 맞춤형 제작 수준에 머물렀습니다.

두 번째 단계(1990 년대 후반부터 21 세기 초)에는 획기적인 발전이 있었습니다. 진공 소결 및 열간 등압 성형 공정의 산업화로 텅스텐 합금 블랭크의 크기와 밀도가 크게 증가하여 복잡하고 불규칙한 모양의 용기를 단일 작업으로 거의 정형(near-net shape)으로 성형할 수 있게 되었습니다. 동시에 핵의학 PET-CT 와 사이클로트론의 급속한 대중화는 고온 챔버 공간 제약과 납 오염 문제를 부각시켰고, 이로 인해 텅스텐 합금 차폐 용기는 소규모 의료용 소스 용기에서 중형 운반 용기 및 고온 챔버 고정

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

용기로 확장되었습니다. 비자성 텅스텐-니켈-구리 시스템의 완성도는 MRI 호환 환경에서의 적용에 대한 장애물을 더욱 제거하여, 이 기간 동안 텅스텐 합금 차폐 용기를 시장에서 "고급 대체 소재"로 자리매김했습니다.

세 번째 단계(21 세기 첫 10 년)는 표준화 및 대량 생산 단계에 진입했습니다. 국제원자력기구(IAEA)와 각국 원자력 안전 규제 기관은 방사성 물질의 운송 및 저장에 대한 권장 지침에 "무연"을 순차적으로 포함시켰고, 텅스텐 합금 차폐 용기는 A 형 및 B 형 운송 용기의 선택 재질 목록에 공식적으로 처음으로 포함되었습니다. 동시에, 대형 동위원소 생산 기업들은 텅스텐 합금 고온 챔버 차폐 부품을 완전한 세트에 구매하기 시작했으며, 이는 텅스텐 합금 대형 빌릿 단조, 심공 가공, 다층 복합 용접 기술의 성숙으로 이어졌습니다. 단일 용기의 무게는 수 킬로그램에서 수 톤으로 증가했고, 제품군은 초소형에서 대형까지 폭넓게 적용되었습니다.

네 번째 단계(21 세기 20 년대부터 현재까지)는 통합, 지능화, 친환경 기술 분야에서 포괄적인 도약 발전이 이루어지는 시기입니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 더 이상 단순한 "금속 용기"가 아니라 선량 모니터링, 자동 방사선원 재배치, 압력 평형, 원격 개폐, 자가 진단 기능을 통합한 지능형 차폐 시스템으로 진화했습니다. 표면 기능성 코팅, 내방사선 밀봉재, 내장형 납유리 관측창과 같은 핵심 지원 기술은 모두 국산화되었거나 독립적으로 제어 가능하여 비용을 크게 절감했습니다. 동시에 페 텅스텐 합금 차폐 용기의 재활용 및 재사용을 위한 폐쇄 루프 시스템이 구축되어 진정한 친환경 전체 수명 주기 특성을 갖추게 되었습니다. 오늘날 텅스텐 합금 차폐 용기는 초기의 "비싼 사치품" 상태에서 핵의학 센터, 동위원소 공장, 산업용 결합 탐지 작업장 의 표준 "인프라 수준" 구성 요소로 완전히 변모하여 이 기술이 실험실에서 산업의 주요 전장으로 진화를 완료했음을 알립니다.

1.3.2 차폐 캔에 텅스텐 합금을 적용하는 기술적 혁신

텅스텐 합금 차폐 용기는 몇 차례의 결정적인 기술적 혁신을 거쳐 실험실 개념에서 핵의학, 동위원소 생산, 그리고 산업용 방사선 조사 시설의 표준 부품으로 자리 잡았습니다. 이러한 혁신은 제조의 어려움과 비용을 크게 줄였을 뿐만 아니라 공간, 무게, 수명, 그리고 규제 준수 측면에서 그 적용 범위를 근본적으로 확장하여 궁극적으로 "고급 대안"에서 "유일한 합법적 선택지"로 탈바꿈했습니다.

첫 번째 중요한 이정표는 크고 복잡한 블랭크를 위한 준정형 성형 기술의 성숙이었습니다. 초기 텅스텐 합금 차폐 용기는 블랭크의 크기와 형태에 제약을 받아 모듈식 가공과 브레이징 조립이 필요했으며, 이로 인해 접합부가 차폐의 약점이 되고 세척이 어려운 사각지대가 발생했습니다. 냉간 등방성 가압 성형, 열간 등방성 가압 성형, 그리고 초대형 금형 기술의 획기적인 발전으로 일체형 소결 블랭크의 무게와 복잡성이 크게 증가했습니다. 용기 본체 전체와 불규칙한 형상의 내부 캐비티를 일체형으로 성형하여 접합부를 완전히 제거하고 동시에 차폐 연속성과 구조적 강도를 향상시켰습니다. 이러한 획기적인 발전은 소형 의료용 용기부터 대형 폐기물 이송 용기까지 다양한 제품군의 개발을 촉진했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

두 번째 이정표는 비자성, 내식성 텅스텐-니켈-구리(TTC-CCP) 시스템 개발입니다. 기존의 TTC-니켈-철 합금은 높은 강도를 제공하지만, MRI 호환 핵의학 환경에서는 허용할 수 없는 수준의 자기 간섭을 발생시키고 상대적으로 내식성이 부족합니다. TTC-CCP 시스템은 구리 함량과 소결 공정을 정밀하게 제어하여 완벽한 비자성을 달성하는 동시에 습한 환경, 염소 함유 세제, 산성 폐액에서도 거의 화학적 불활성을 유지합니다. 이 획기적인 기술 덕분에 텅스텐 합금 차폐 용기를 PET-CT 실, 사이클로트론 고온 챔버, 고활성 분주 라인에서 최초로 대규모로 사용할 수 있게 되어, 기존 의료 환경에서의 적용에 대한 장애물을 완전히 제거했습니다.

세 번째 핵심 혁신은 깊은 블라인드 홀 가공과 초후벽용 일체형 성형 기술을 완벽하게 구현한 것입니다. 차폐 탱크는 매우 깊은 내부 캐비티와 국부적으로 매우 두꺼운 차폐 영역을 필요로 하는 경우가 많은데, 이 경우 기존 드릴링 방식은 비효율적이고 높은 스크랩률을 초래합니다. 건 드릴링, 심공 호닝, 초음파 보조 전해 가공, 그리고 고중형비 텅스텐 합금 빌렛의 단조성 향상을 통해 중형비 20 을 초과하는 블라인드 홀의 일회성 성형이라는 과제를 해결할 수 있었습니다. 이를 통해 탱크 내부 표면의 경면 마감을 달성하는 것이 일반적인 관행이 되었고, 오염 제거 효율이 크게 향상되었으며 2 차 폐기물의 양도 감소했습니다.

네 번째 이정표는 기능성 코팅 및 통합 설계 분야의 체계적인 혁신입니다. 초기 텅스텐 합금 차폐 용기는 표면 연마만 단순했기 때문에 긁힘 및 오염 방지 성능이 제한적이었습니다. 무전해 니켈 도금, 내방사선 세정 코팅, 고온 MoSi₂ 산화 방지층, 내장형 납 유리 관측창, 선량 모니터링 인터페이스, 압력 밸런싱 밸브와 같은 기능 모듈의 표준화를 통해 차폐 용기는 단순한 격납 및 차폐 용기에서 모니터링, 작동, 운반 등 다양한 기능을 갖춘 지능형 시스템으로 탈바꿈하여 전반적인 사용 편의성과 안전성을 크게 향상시켰습니다.

다섯 번째 단계는 폐텅스텐 합금 차폐 용기의 완전한 재활용 및 재사용을 위한 폐쇄 루프 시스템을 구축하는 것입니다. 텅스텐 합금은 완전히 무독성이며, 반복적으로 용융 및 분쇄될 수 있기 때문에 폐차폐 용기는 거의 100% 재활용률로 생산 라인에 재투입되어 진정한 친환경 수명 주기를 달성할 수 있습니다. 이 획기적인 기술은 중금속 축적 및 최종 폐기에 대한 고객의 우려를 완전히 해소하고, 가장 엄격한 방사성 폐기물 관리 규정에 따라 영구적으로 면제되는 텅스텐 합금 차폐 용기를 진정한 "친환경 차폐재"로 만들어줍니다.

이 다섯 가지 핵심 분야에서 단계적으로 발전하고 상호 연계된 획기적인 발전은 궁극적으로 텅스텐 합금 차폐 용기를 방사선 방호 공학의 최전선으로 이끌었습니다. 이러한 기술들은 재료, 성형, 가공, 표면 처리, 재활용에 이르는 완전한 기술 사슬을 구성하여 텅스텐 합금 차폐 용기가 성능 면에서 납 용기와 콘크리트 용기를 능가할 뿐만 아니라 경제성, 규정 준수, 환경 친화성 측면에서도 비교할 수 없는 종합적인 이점을 확보하여 현대 방사선 안전 분야에서 가장 전형적이고 성공적인 재료 대체 사례 중 하나로 자리매김했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.3 산업 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 핵심 지원 가치

텅스텐 합금 차폐 용기는 오랫동안 단일 부품의 수준을 넘어섰습니다. "핵심 지원 기술 + 체계적인 비용 절감 플랫폼 + 친환경 규정 준수 인프라"라는 3 가지 요소를 결합하여 방사성 동위원소 및 방사선 응용 산업 체인 전체의 운영 효율성, 안전 수준, 그리고 지속 가능한 개발 역량을 근본적으로 재편하고 지속적으로 지원해 왔습니다. 첫째, 핵의학 및 동위원소 산업의 공간 및 비용 혁명을 이끄는 진정한 원동력입니다. 기존 납 차폐 시스템은 두껍고 무거운 고온 챔버 벽, 거대한 설치 공간, 그리고 높은 토목 및 리프팅 비용이 필요합니다. 반대로 텅스텐 합금 차폐 탱크는 납보다 훨씬 얇은 벽 두께로 동일하거나 더 나은 선량 제어를 달성하여 새로 건설된 PET-CT 센터, 사이클로트론 제약 공장, 고활성 분주 라인 의 고온 챔버 면적을 30~50% 줄였습니다. 이로 인해 건물 및 차폐 투자가 크게 감소했습니다. 더 중요한 것은 컴팩트한 설계로 장비 배치의 유연성이 향상되어 단일 건물에 더 많은 생산 라인이나 가속기를 수용할 수 있다는 것입니다. 이로 인해 단위 면적당 출력 효율이 배가되어 지난 15 년 동안 전 세계 핵의학 영상 및 방사성 의약품 생산 용량의 기하급수적 확장을 직접적으로 뒷받침합니다.

규제 하에서 산업 사슬의 친환경적 전환을 위한 유일한 현실적인 방법입니다 . 전 세계적으로 "무연"은 권장 사항에서 의무 사항으로 격상되었습니다. 납 용기의 조달, 사용, 오염 제거 및 최종 폐기는 점점 더 높아지는 환경적 기준과 경제적 불이익에 직면하고 있습니다. 그러나 텅스텐 합금 차폐 탱크는 본질적으로 가장 엄격한 규정을 충족하며 추가적인 규정 준수 수정 없이도 바로 면제될 수 있습니다. 이는 제조업체가 납 오염 관리에 막대한 비용을 절감할 뿐만 아니라 납 용기 로 인한 프로젝트 환경영향평가 방해 또는 생산 중단 위험을 방지하여 신규 동위원소 공장 및 기존 공장 개보수에 대한 표준 "규정 준수" 통과 요건이 됩니다 . 셋째, 전체 수명 주기 동안 2 차 오염이 전혀 발생하지 않고 거의 100% 재활용 가능하여 기존 차폐재가 "사용 시 비싸고 폐기 시 더 비싸다"는 악순환을 완전히 끊습니다. 폐기된 텅스텐 합금 차폐 캔은 고품질 원자재로 제련로에 바로 반환될 수 있지만, 납 캔은 유해 폐기물 처리 절차를 거쳐야 하며, 폐기 비용은 구매 비용보다 몇 배나 높은 경우가 많습니다. 텅스텐 합금 차폐 캔의 이러한 폐쇄 루프 특성 덕분에 8~10 년 사용 후 총소유비용(TCO)이 납 캔보다 훨씬 낮아져 산업 체인의 장기적인 경제적 생존 가능성에 결정적인 요인이 됩니다.

넷째, 높은 신뢰성과 긴 수명은 운영 및 유지보수의 강도와 예상치 못한 가동 중단 위험을 크게 줄여줍니다. 고품질 텅스텐 합금 차폐 탱크는 정상적인 사용 조건에서 20 년 이상의 사용 수명을 제공하며, 이 기간 동안 유지보수가 거의 필요하지 않고 정기적인 라이닝 교체나 용접 수리도 필요하지 않습니다. 반면, 납 탱크는 약 5년 후 크리프, 균열, 그리고 돌이킬 수 없는 오염이 발생하는 경우가 많습니다. 즉, 동일한 생산 용량에서 텅스텐 합금 차폐 시스템은 예비 탱크가 더 적고, 핫 챔버 개방 빈도가 낮으며, 작업자의 방사선량도 감소합니다. 전반적인 운영 효율성과 직업 건강 수준은 기존 시스템 보다 훨씬 높습니다. 마지막으로 , 텅스텐 산업 체인 에서 가장 높은 부가가치를 창출하는 최종 제품 중 하나인 텅스텐 합금 차폐 캔은 텅스텐 분말, 빌릿, 심층 가공, 표면 처리 등 전체 상류 체인에 걸쳐 기술 업그레이드와 용량 확장을 주도하여 상당한 긍정적 피드백 효과를 창출했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제 2 장 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 메커니즘 및 성능 지표

2.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 방사선 차폐 기본 원리

텅스텐 합금 차폐 용기는 고밀도 합금에 의한 이온화 방사선의 복합 감쇠 메커니즘을 기반으로 합니다. 핵심은 재료의 매우 높은 전자 밀도와 원자 번호를 통해 감마선, X 선, 중성자 플럭스의 빠른 에너지 축적과 지수적 감쇠를 달성하는 것입니다. 동시에, 구조-기능 통합 설계를 통해 격납 차폐, 작동 편의성, 그리고 제염 친화성을 모두 갖추고 있습니다. 광전 효과에만 의존하는 기존의 납 차폐나 정위 감속 에 의존하는 콘크리트와 달리, 텅스텐 합금 차폐는 광전 효과, 콤프턴 산란, 전자쌍 생성, 그리고 비탄성 및 탄성 중성자 산란의 시너지 효과를 기반으로 하는 광범위하고 고효율적인 차폐 시스템을 형성합니다. 이를 통해 제한된 공간과 중량 예산 내에서 선량률 제어, 최적화된 보호 및 규정 준수를 동시에 충족할 수 있는 핵의학, 동위원소 생산, 산업 결함 탐지 및 과학적 방사선 시설 분야의 유일한 기술적 접근 방식이 탄생했습니다.

2.1.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 이온화 방사선 전파 특성 분석

텅스텐 합금 차폐 캔은 실제로 감마선, X선, 고속 중성자, 열 중성자, 그리고 이와 관련된 2차 복사선을 주로 처리합니다. 이들의 전파 특성과 에너지 스펙트럼 분포는 차폐 재료와 구조 설계의 기본 원리를 결정합니다.

감마선과 고에너지 X 선은 강력한 투과력을 가진 간접 이온화 방사선입니다. 물질 내에서 에너지 손실은 주로 광전 효과, 콤프턴 산란, 그리고 전자-전자쌍 생성이라는 세 가지 메커니즘을 통해 발생합니다. 텅스텐 합금은 높은 원자번호와 높은 전자 밀도로 인해 넓은 에너지 범위에서 매우 높은 질량 붕괴 계수를 유지합니다. 특히 핵의학, 의료용 선형 가속기 및 사이클로트론에서 흔히 사용되는 코발트-60 과 세슘-137 이 생성하는 특징적인 감마선 에너지 범위에서는 광전 효과와 전자-전자쌍 생성이 지배적이어서 납, 철 또는 콘크리트보다 에너지 축적 효율이 훨씬 뛰어납니다. 동시에, 텅스텐 합금의 높은 밀도는 동일한 질량의 차폐층에 대해 평균 자유 행로를 단축시킵니다. 선은 용기 벽 내에서 더 많은 상호작용을 겪게 되어 지수적으로 더 빠르게 붕괴되고 외부 표면 선량률이 10 배 감소합니다.

고속 중성자와 열 중성자는 주로 연구용 원자로 조사 채널, 붕소 중성자 포획 치료 장치, 그리고 일부 동위원소 생산 공정에서 발견됩니다. 고속 중성자는 비탄성 및 탄성 산란을 통해 에너지를 빠르게 손실합니다. 텅스텐 합금은 매우 높은 핵자 밀도로 인해 우수한 고속 중성자 감속재입니다. 반면, 열 중성자는 주로 포획되어 2 차 감마선을 생성합니다. 텅스텐-니켈-철 시스템에 철과 미량의 희토류 원소를 첨가하면 열 중성자 흡수 단면적을 크게 향상시킬 수 있으며, 텅스텐-니켈-구리 시스템은 외부 또는 내부 봉화물 층을 통해 동일한 효과를 달성합니다. 실용적인 차폐 용기는 구조적 강도를 유지하면서 감마-중성자 차폐를 결합하기 위해 "텅스텐 합금 본체 + 국소 복합 중성자 흡수층"의 하이브리드 설계를 사용하는 경우가 많습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2차 방사선에는 콤프턴 산란 광자, 소멸 광자, 특성 X선, 브렘스슈트랄룽 방사선, 그리고 중성자 포획 감마선이 포함됩니다. 이러한 2차 방사선은 일반적으로 1차 방사선보다 에너지가 낮지만, 용기 외부 표면에 더 가깝게 위치하기 때문에 선량 제어에 있어 중요한 병목 현상이 됩니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 정밀한 벽 두께 구배 설계와 내부 표면의 저-Z 라이닝을 통해 2차 방사선이 방출되기 전에 재흡수되거나 산란되도록 하여 기존 납 용기에서 흔히 발생하는 "2차 방사선 누출" 문제를 완전히 제거합니다.

더욱이, 텅스텐 합금은 장기간 방사선 조사 시 매우 안정적인 미세 구조를 나타내어 활성화 생성물이나 가스 팽윤을 거의 생성하지 않아 시간 경과에 따른 차폐 성능 저하가 최소화됩니다. 반면, 납, 콘크리트, 붕소 함유 플라스틱과 같은 재료는 동일한 방사선량에서도 성능 저하 정도가 다릅니다. 앞서 언급한 전과 특성 및 상호작용 메커니즘에 대한 이러한 심층적인 이해와 체계적인 접근을 통해 텅스텐 합금 차폐 용기는 복잡한 혼합 방사선장에서 진정한 "광범위하고 효율적이며 긴 수명"의 차폐를 달성할 수 있으며, 현대 방사선 방호 공학 분야에서 과학적으로 가장 견고하고 엔지니어링 수준의 차폐 솔루션이 되었습니다.

2.1.2 텅스텐 합금 차폐재의 차폐 메커니즘(흡수 및 감쇠)

텅스텐 합금 차폐재는 고밀도 복합 재료 내에서 고에너지 광자와 중성자 간의 다중 상호작용으로 발생하는 에너지 축적 및 세기 지수 감쇠 과정으로, 단순한 기하학적 막힘 현상이 아닙니다. 그 붕괴 메커니즘은 입사 입자의 종류와 에너지에 따라 단계적으로 상당한 특성을 나타내지만, 항상 매우 높은 전체 효율을 유지하여 유한한 두께의 벽 내에서 고방사능 방사성원으로부터 외부 표면의 배경 수준까지 선량을 획기적으로 감소시킵니다.

감마선과 고에너지 X선의 경우, 텅스텐 합금은 저에너지 영역에서 광전 효과 우세를 보입니다. 텅스텐 원자의 K, L, M 껍질 전자는 직접 방출되며, 거의 모든 에너지가 광전자 운동 에너지와 특성 X선으로 변환됩니다. 이러한 특성 X선은 주변 원자에 의해 다시 광전 흡수되어 빠른 국소 에너지 증착을 초래합니다. 중간 에너지 영역에서는 콤프턴 산란이 우세해집니다. 입사 광자는 최외각 전자와 비탄성 충돌을 일으켜 산란된 광자의 에너지와 방향을 무작위로 만듭니다. 반복적인 산란은 결국 광전 흡수가 일어날 때까지 광자 에너지의 점진적인 감소로 이어집니다. 고에너지 영역에서는 전자쌍 형성이 우세해집니다. 입사 광자는 원자핵의 강한 전기장에서 전자-양전자 쌍으로 변환됩니다. 이 쌍들은 모든 에너지가 증착될 때까지 이온화와 제동복사를 통해 계속 에너지를 잃습니다. 텅스텐 합금은 평균 자유 행로가 매우 짧기 때문에 이 세 가지 메커니즘이 서로 크게 겹치며, 그 결과 X선 강도가 엄격하게 지수적으로 감소하고 납이나 강철보다 반가층이 훨씬 작아집니다.

고속 중성자의 경우, 텅스텐 합금은 먼저 비탄성 산란을 통해 중성자와 텅스텐 핵 사이에 격렬한 충돌을 유도하여 대량의 운동 에너지를 순간적으로 전달하고 2차 중성자와 감마선을 생성합니다. 이후 여러 차례의 탄성 산란 과정을 통해 중성자 에너지가 더욱 감소하여 궁극적으로 열 중성자 영역으로 진입하게 되고, 여기서 철, 희토류 원소 또는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

외부 붕소 층에 의해 효율적으로 포획됩니다. 이 전체 과정은 핵자 밀도가 높은 물질에서 매우 빠르게 완료되어 고속 중성자의 침투력을 크게 약화시킵니다. 열 중성자 포획 후 생성된 순간 감마선은 낮은 에너지를 가지며, 이후 텅스텐 합금 자체에 의해 광전 흡수되거나 콤프턴 산란되어 페루프 차폐를 달성합니다.

2 차 방사선 제어는 기존 소재에 비해 텅스텐 합금 차폐 용기의 주요 장점입니다. 낮은 광전 흡수 후 고에너지 특성 X 선을 생성하여 방출되기 쉬운 반면, 텅스텐은 저에너지 특성 X 선을 생성하여 두꺼운 벽에 더 쉽게 흡수됩니다. 동시에, 텅스텐 합금의 매우 높은 전자 밀도는 브렘스슈트랄룽 방사선과 소멸 광자를 내부 표면 근처에서 생성하여 방출 확률을 매우 낮춥니다. 이러한 "생성 및 흡수"의 국부적인 특성은 텅스텐 합금 차폐 용기의 외부 표면에 기존 납 용기에서 흔히 볼 수 있는 2 차 방사선 "핫스팟"이 거의 없다는 것을 의미하며, 이로 인해 선량 분포가 매우 균일해집니다.

다중 메커니즘 시너지, 국소 에너지 축적, 2 차 방사선 자가 소모라는 시스템 특성 덕분에 텅스텐 합금 차폐 용기는 복잡한 혼합 방사선장에서 실제로 광범위하고 효율적인 감쇠를 달성할 수 있으며, 핵의학 핫셀, 동위원소 생산 라인, 산업용 방사선 시설에서 가장 신뢰할 수 있는 선량 제어 장벽이 됩니다.

2.1.2.1 텅스텐 원자구조와 텅스텐 합금 차폐캔의 차폐성능의 상관관계

고유한 전자 배열과 핵 특성을 가진 텅스텐 원자는 텅스텐 합금 차폐 용기의 우수한 차폐 성능을 위한 미시적 토대를 마련합니다. 텅스텐 원자는 원자 번호가 높고, 외부 전자 배열은 완전한 내부 껍질 구조를 보입니다. K, L, M 껍질의 결합 에너지는 순차적으로 증가하며 핵의학 및 산업 결합 검출에 일반적으로 사용되는 감마선 에너지와 매우 일치합니다. 이로 인해 이러한 특성 에너지에서 광전 흡수 단면적이 크게 증가하여 자연적인 "흡수 창"을 형성합니다. 입사 광자 에너지가 특정 껍질 결합 에너지보다 약간 높으면 광전 효과의 가능성이 급증하여 거의 모든 에너지가 단일 버스트(burst)로 광전자로 전달됩니다. 결과적으로 낮은 에너지로 인해 특성 X 선은 주변 원자에 의해 빠르게 재흡수됩니다. 이러한 계단식 흡수 과정은 원자 간 간격이 매우 작기 때문에 고텅스텐 합금에서 매우 효율적입니다.

텅스텐 원자의 무거운 핵 질량과 강한 쿨롱장은 핵 근처에서 전자쌍을 생성하는 고에너지 광자의 문턱 효과를 더욱 크게 만들어, 저-Z 원소보다 훨씬 높은 변환 효율을 달성합니다. 동시에, 텅스텐 핵에서 최외각 전자의 강한 결합은 콤프턴 산란 전자에 더 큰 역임펄스 에너지를 제공하여 원자 궤도를 벗어나 2 차 이온화 사슬을 촉발하기 쉽게 만들고, 궁극적으로 더욱 철저한 에너지 증착을 유도합니다. 텅스텐의 작은 원자 반경과 높은 충전 밀도는 단위 부피당 더 많은 상호작용 표적을 허용하여 평균 자유 행로를 크게 단축시키며, 이는 매우 얇은 벽에서도 거시적으로 수차의 크기 감소로 나타납니다.

중성자 차폐에서 텅스텐 원자핵의 높은 질량과 풍부한 동위원소는 우수한 비탄성 산란 능력을 부여하여 단일 충돌로 중성자로부터 많은 양의 운동 에너지를 제거할 수 있습니다. 한편, 텅스텐 원자의 매우 높은 핵자 밀도는 빈번한 탄성 산란을 유발하여 빠르게

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

감속하는 채널을 형성합니다. 텅스텐의 낮은 중성자 활성화 단면적은 장기간 조사 후 새로운 방사선원이 되지 않도록 보장하며, 이는 차폐 용기의 장기 격납 용량에 매우 중요합니다.

텅스텐 원자는 앞서 언급한 미시적 장점을 거시적 규모로 완전히 이전할 수 있도록 합니다. 결합체는 텅스텐 원자의 지배적인 위치를 약화시키지 않고 구조를 연결하고 강화하는 역할만 합니다. 궁극적으로, 이를 통해 텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 저에너지 X 선에서 고에너지 감마선, 고속 중성자에서 열 중성자에 이르기까지 전체 스펙트럼에 걸쳐 심각한 취약 창 없이 고효율 감쇠 특성을 나타낼 수 있습니다. "원자 구조 → 미시적 메커니즘 → 거시적 성능"이라는 이러한 엄격한 인과 관계 사슬은 텅스텐 합금 차폐 캐니스터가 기존 소재보다 훨씬 얇은 두께로도 동일하거나 더 나은 보호 효과를 얻을 수 있는 근본적인 이유이며, 현대 방사선 차폐 재료 과학에서 구조-기능 통합의 가장 완벽한 사례입니다.

2.1.2.2 텅스텐 합금 차폐 용기와 다양한 유형의 방사선의 상호 작용 과정

텅스텐 합금 차폐 탱크는 실제 혼합 방사선장에서 다양한 유형의 방사선과 상호 작용하여 명확한 단계와 상승효과를 나타내며, 고에너지 입사 방사선에서 배경 출력까지 완전한 에너지 축적 체인을 형성합니다.

고에너지 감마선은 용기 내벽 근처에서 주로 광전 효과 또는 전자-전자 쌍 형성을 통해 처음 생성됩니다. 이 에너지는 단일 단계 또는 단계적으로 광전자, 양전자, 그리고 소멸 광자로 변환됩니다. 이러한 대전 입자는 이온화와 제동복사를 통해 고전자 밀도 물질 내부의 결정 격자로 운동 에너지를 빠르게 전달하며, 이때 열 거리는 마이크로미터 단위의 매우 짧습니다. 생성된 2 차 광자는 에너지가 크게 감소한 후 콤프턴 산란이나 외층에서 추가적인 광전 흡수를 받아 "내층에서는 강한 흡수, 외층에서는 약한 산란"이라는 전형적인 경사 붕괴 모드를 형성합니다. 궁극적으로 고에너지 광자는 외층에서 거의 빠져나가지 않습니다.

중에너지 X선과 의료용 진단용 X선은 콤프턴 산란이 지배적입니다. 입사 광자는 용기 벽 내에서 여러 방향으로 무작위화되고 에너지가 감소합니다. 반사된 광자와 반동 전자는 고밀도 매질에서 매우 짧은 평균 자유 경로를 가지며, 이후 원자에 의해 빠르게 산란되거나 다시 흡수되어 궁극적으로 균일하게 분포된 저에너지 산란 광자와 열에너지로 변환됩니다. 이러한 다중 산란 과정으로 인해 X 선 강도는 기하급수적으로 감소하며, 산란된 광자는 특정 방향으로 누출될 가능성이 낮습니다.

용기 외층에서 텅스텐 핵과의 비탄성 산란을 통해 운동 에너지의 대부분을 잃어 2 차 중성자와 감마선이 생성됩니다. 이후 내층에서는 텅스텐과 철 핵과의 탄성 산란을 통해 열중성자 영역으로 더욱 감속됩니다. 열중성자는 철, 미량 희토류 원소, 또는 붕소 층에 의해 효율적으로 포획됩니다. 포획된 감마선은 상대적으로 낮은 에너지를 가지며, 텅스텐 합금 자체에 의해 다시 광전 흡수됩니다. 이 전체 과정에서 고에너지 2 차 복사선의 누출은 거의 발생하지 않습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

열중성자와 저에너지 감마선은 주로 텅스텐 합금에 직접 포획되거나 광전 흡수되어, 매우 국부적인 에너지 축적을 초래하고 이차 입자의 탈출을 거의 방지합니다. 텅스텐 합금은 활성화 단면적이 매우 낮고 재결정 온도가 높아 장기간 조사 후에도 새로운 방사선원이 되지 않으며, 차폐 성능은 시간이 지나도 일정하게 유지됩니다.

다양한 에너지와 입자의 "접침, 메커니즘, 점진적 고갈" 과정을 통해 텅스텐 합금 차폐 캔은 복잡한 혼합 필드에서 진정한 "누설 제로" 광대역 차폐를 달성할 수 있으며, 특정 에너지 범위에서 납과 콘크리트와 같은 기존 소재의 자연적으로 약한 창을 완전히 능가합니다.

2.1.2.3 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 메커니즘에 대한 합금 조성의 최적화 효과

합금 조성의 정밀한 제어는 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 메커니즘을 "텅스텐 우세의 자연적 이점"에서 "상황 맞춤형 최적 솔루션"으로 전환하는 핵심입니다. 결합체의 종류, 비율 및 미량 원소를 체계적으로 최적화함으로써 특정 방사선 유형, 화학적 환경 및 사용 수명에 대한 심층적인 적응을 달성할 수 있습니다.

핵심 결합상인 니켈은 텅스텐 입자를 위한 연속적인 골격 형성을 보장하는 동시에 순수 텅스텐의 취성 파괴를 방지할 만큼 충분한 인성을 제공합니다. 또한 액상 소결 밀도를 증가시켜 거시적인 차폐 성능을 이론적인 한계에 가깝게 만듭니다. 철을 첨가하면 중성자 비탄성 산란 및 열 중성자 포획 능력이 크게 향상되고, 고온 강도와 방사선 팽윤에 대한 저항성이 향상되어 텅스텐-니켈-철 시스템이 감마 중성자 혼합장 및 고온 조사 시나리오에 적합한 선택이 됩니다. 구리를 첨가하면 자성이 완전히 제거되고 산성 세제, 염소 함유 폐액 및 습한 환경에서의 공식 및 균일 부식에 대한 저항성이 크게 향상되어 텅스텐-니켈-구리 시스템이 MRI 호환 핵의학 핫셀 및 액체 폐기물 용기에 대한 유일한 선택이 됩니다.

미량 희토류 원소(란탄, 이트륨 등) 또는 붕소, 가돌리늄을 선택적으로 첨가하면 열중성자 포획 단면적과 방사능 구멍 팽창 저항성이 더욱 최적화되는 동시에, 결정립 미세화, 결정립계 미끄러짐 억제, 장기 사용 시 기하학적 안정성 향상 등의 효과를 얻을 수 있습니다. 결합재상의 비율은 합금의 강도-인성 균형을 직접적으로 제어합니다. 고텅스텐, 저결합재상 시스템은 강도와 차폐 효율이 우수하지만 가공이 어렵고 고정형 두꺼운 벽의 탱크에 적합합니다. 결합재상의 함량을 적당히 증가시키면 냉간 및 열간 가공성과 내충격성이 크게 향상되어 운송 용기 및 자주 개방되는 고온 챔버 탱크에 적합합니다.

조성 최적화는 궁극적으로 "시나리오-방사선 스펙트럼-화학적 환경-수명"을 포괄하는 4 차원 매칭 등급 시스템을 구축했습니다. 순수 감마선 고방사능 의료용 선원 탱크는 고텅스텐, 텅스텐-니켈-구리, 비자성 및 내식성 등급을 사용합니다. 연구용 원자로 조사 채널 탱크는 텅스텐-니켈-철 + 미량 가돌리늄 강중성자 흡수 등급을 사용합니다. 폐액 저장 탱크는 고구리, 고니켈, 초내식성 등급을 사용합니다. 고온 고온 챔버 탱크는 저결합재상 고강도 등급을 사용합니다. 이러한 조성 기반 최적화 메커니즘은 텅스텐 합금 차폐 탱크를 단일 범용 재료 에서 정밀하게 맞춤형 "차폐 솔루션 세트"로 탈바꿈시켜

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

차폐 성능과 실제 엔지니어링 요구 사항을 완벽하게 통합했습니다.

2.1.3 텅스텐 합금 차폐관의 차폐 효과에 영향을 미치는 요인 분석

텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 재료의 이론적 특성을 단순히 선형적으로 매핑한 것이 아니라, 재료의 고유 특성, 구조적 형상 설계, 제조 공정 수준, 표면 상태, 사용 환경 조건 등 여러 요인의 결합 효과에 의한 체계적인 결과입니다. 이러한 요인 중 하나라도 약간만 어긋나도 외부 표면 선량률이 배경 수준에서 허용할 수 없는 수준으로 상승할 수 있습니다. 따라서 엔지니어링 실무에서는 모든 영향 요인을 전체 공정에 걸쳐 폐쇄 루프 제어 시스템에 통합하여 각 차폐 캐니스터가 가장 가혹한 작동 조건에서도 충분한 안전 여유를 유지하도록 해야 합니다.

2.1.3.1 텅스텐 합금 재료의 고유 특성

텅스텐 합금 소재의 고유한 특성은 차폐 효과를 결정하는 기본적인 내부 요인으로, 주로 텅스텐 함량 및 밀도, 바인더 상의 유형 및 균일성, 미세 구조, 불순물 제어 수준, 조사 안정성이라는 5가지 주요 차원을 포함합니다.

텅스텐 함량과 밀도는 거시적 체적 밀도와 원자번호 밀도를 직접적으로 결정하며, 이는 차폐 효율의 주요 결정 요인입니다. 텅스텐 함량이 높고 소결 밀도가 높을수록 단위 두께당 상호작용 표적이 더 많아지고, 평균 자유 경로가 짧아지며, 지수적 감쇠가 더 빨라집니다. 기공, 개재물 또는 용해되지 않은 텅스텐 입자는 국소적인 저밀도 약화 영역이 되어 잠재적인 X 선 "터널링 효과"를 형성하고 전반적인 차폐 성능을 크게 약화시킵니다.

바인더 상의 종류와 균일성은 높은 밀도를 보장하는 동시에 2 차 방사선 제어 및 장기 성능에 큰 영향을 미칩니다. 니켈-철 바인더는 중성자 감속 및 열중성자 포집 능력을 향상시킬 수 있지만, 불균일한 분포는 국부적인 철 함량이 높은 영역에서 더 높은 에너지의 감마선을 포집할 수 있습니다. 니켈-구리 바인더는 비자성이며 우수한 내식성을 갖지만, 과도한 구리 함량은 텅스텐 원자 밀도를 약간 희석시킬 수 있으므로 내식성과 차폐 사이의 균형을 맞춰야 합니다. 바인더 상 또는 액상 잔류물의 분리는 마이크론 단위의 저밀도 채널을 생성하여 고에너지 광자의 바람직한 탈출 경로가 될 수 있습니다. 미세구조는 동적 차폐 거동과 방사선 저항성에 매우 중요합니다. 이상적으로 텅스텐 입자는 작고 둥글며 균일하게 분포되어 연속적인 구조를 형성하고, 결합제 상은 그 틈새를 완전히 채웁니다. 충분한 2 차 소성 변형을 거친 미세구조는 방사선 팽윤 및 기공 이동에 대한 저항성을 크게 향상시켜, 매우 높은 누적 선량에서도 차폐 용기의 기하학적 정확도와 차폐 두께를 유지할 수 있도록 합니다. 반대로, 거친 텅스텐 입자나 재결정된 미세구조는 장기간 방사선 조사 시 결정립계 균열 및 밀도 감소가 발생하기 쉬워 차폐 효과가 서서히 저하됩니다.

불순물 관리 수준은 2 차 방사선 및 활성화 생성물과 직접적인 관련이 있습니다. 산소, 탄소, 황, 인과 같은 과도한 불순물은 소결 과정에서 취성 상이나 기공을 형성할 수

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

있습니다. 더 심각한 것은, 이러한 불순물이 방사선 조사 시 장수명 방사성 핵종을 생성하여 차폐 용기 자체의 내부 오염원이 될 수 있다는 것입니다. 특히, 탄소 불순물은 텅스텐과 반응하여 취성 텅스텐 카바이드 층을 형성하는데, 이는 인성을 감소시킬 뿐만 아니라 고에너지 입자 충격 시 추가적인 중성자와 감마선을 생성합니다. 방사선 안정성은 재료 특성 중 장기 차폐 효과에 가장 결정적인 요소이면서도 간과하기 쉬운 요소입니다. 고품질 텅스텐 합금은 고선량 조사 시 체적 팽창, 강도 저하 또는 활성화 생성물이 거의 나타나지 않는 반면, 저품질 합금은 입계 공극 축적, 결합재 상 석출 또는 미세 균열 전파를 경험할 수 있으며, 궁극적으로 효과적인 벽 두께 감소 및 선량 누출로 이어질 수 있습니다. 이러한 다섯 가지 특성은 텅스텐 합금 차폐 용기의 "높고 안정적인" 차폐 기반을 구성하며, 납이나 콘크리트와 같은 기존 재료와 비교하여 수명 주기 성능의 근본적인 차이를 결정합니다.

2.1.3.2 차폐 구조 설계 매개변수

차폐 구조의 설계 매개변수는 텅스텐 합금 차폐 탱크가 "재료적 장점"을 "시스템 차폐 효과"로 전환하는 데 있어 핵심적인 역할을 합니다. 차폐 구조에는 주로 벽 두께 분포, 캐비티 형상, 접합 및 계면 처리, 경사층 설계, 그리고 내장 보조 차폐 부품의 다섯 가지 핵심 요소가 포함됩니다.

벽 두께 분포의 균일성과 최소 벽 두께는 가장 약한 연결 부위의 감쇠 능력을 직접적으로 결정합니다. 이상적인 설계는 모든 광선 경로의 최소 투과 두께가 일정해야 하며, 이는 국소적인 얇은 영역이 선량 누설 경로가 되는 것을 방지하기 위함입니다. 실제 공학에서는 외부 표면의 선량률 동일 원칙을 자주 채택합니다. 유한 요소 광선 추적을 통해 벽 두께를 국소적으로 두껍게 하거나 얇게 하여 외부 표면의 선량장을 매우 균일하게 만듭니다.

공동의 기하 구조는 산란 및 2 차 방사선 재흡수에 상당한 영향을 미칩니다. 원통형 또는 구형 공동은 벽 내 광선의 평균 경로 길이를 최대화하여 직접 누출을 줄입니다. 그러나 직사각형 공동은 모서리에서 산란 광자 축적이 발생하기 쉬우므로 모서리를 둥글게 하거나 국소적으로 두껍게 하는 등의 보상이 필요합니다. 깊은 블라인드 홀 구조는 바닥 벽 두께가 계산된 최소 두께보다 작지 않도록 해야 합니다. 그렇지 않으면 일반적인 "광선 굴뚝 효과"가 발생합니다.

이음매, 뚜껑 개구부, 그리고 인터페이스는 기존 차폐 용기의 가장 흔한 약점입니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 일체형 몰딩, 미로처럼 얽힌 계단형 뚜껑, 내장된 밀봉 링, 그리고 야금 등급 용접 또는 전자빔 용접을 통해 관통 밀봉을 완전히 제거하여 이음매 영역의 감쇠 용량을 본체와 동일하거나 그보다 더 우수하게 만듭니다. 관찰창, 프로브 구멍, 주입관 인터페이스와 같은 기능성 개구부는 납 유리 또는 붕규산 폴리에틸렌과 결합된 텅스텐 합금 중첩 구조의 계단형 차폐 구조를 사용하여 개방 방향으로 직접적인 빛 경로를 차단합니다.

그래디언트 층과 내장된 보조 차폐는 광대역 성능을 더욱 최적화합니다. 외부의 저텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

전이층은 고에너지 2차 전자의 방출을 약화시키는 반면, 내부의 고봉소 또는 고수소 복합 라이너는 열중성자를 효율적으로 흡수하고 감마선 포획을 억제합니다. 내장된 텅스텐 합금 그리드 또는 콜리메이터는 고농도 선원을 사용하는 의료용 선원 용기에 사용되어 정밀한 방향 차폐를 달성합니다. 이러한 설계 변수의 정밀한 결합을 통해 텅스텐 합금 차폐 용기는 "균일한 두꺼운 벽 용기"에서 "기능적 분할 및 지능형 그라디언트"를 갖춘 3세대 차폐 시스템으로 진정으로 진화할 수 있었습니다.

2.1.3.3 방사선원의 고유 특성

방사선원의 에너지 스펙트럼, 활동도, 기하학, 화학적 형태, 시간 분포 특성은 텅스텐 합금 차폐캔의 실제 차폐 난이도에 직접적인 영향을 미치며, 설계 여유도와 선정 전략에도 영향을 미칩니다. 고에너지 감마선원(예: 코발트-60 및 의료용 선형 가속기 부산물)은 매우 강한 투과력을 가지므로 가장 두꺼운 벽 두께를 필요로 합니다. 동시에, 2차 제동복사선과 소멸 광자의 비율이 크기 때문에 더 두꺼운 외벽과 더욱 정교한 경사 설계가 필요합니다. 저에너지 및 중에너지 감마선원(예: 요오드-125 및 이리듐-192)은 광전 효과에 의해 지배되며, 동일한 활성도에서 벽 두께 요구 사항이 상당히 감소합니다. 그러나 저에너지 산란 광자의 축적을 방지하기 위해 더 높은 재료 밀도와 표면 청결이 필요합니다.

방사능 수준은 총 선량률과 열 부하를 결정합니다. 고방사능원은 매우 높은 단일 통과 감쇠 성능을 갖춘 차폐 용기를 필요로 하며, 벽 내부에 상당한 열이 축적되면 대류 환기구 또는 열전도성 라이닝을 고려해야 합니다. 반면, 저방사능원은 장기 누적 선량 하에서 물질의 활성화 및 제염의 어려움과 더 관련이 있습니다.

선원 형은 공동 설계 및 부식 마진에 영향을 미칩니다. 점선 선원은 깊은 공동과 두꺼운 바닥 구조를 사용하여 최적의 기하학적 감쇠를 달성할 수 있습니다. 체적 또는 액체 선원은 더 큰 공동과 부식 방지 라이닝이 필요하며, 사각지대에 방사성 에어로졸이 증착되는 것을 방지해야 합니다. 분말 또는 기체 선원은 밀봉 구조와 압력 밸런싱 밸브에 더 큰 요구 사항을 가합니다.

시간적 분포 특성은 동적 차폐 요건을 결정합니다. 반감기가 짧은 방사선원(예: 플루오린-18)은 사용 수명이 짧고 초기 선량률이 약간 더 높아도 견딜 수 있습니다. 반감기가 긴 방사선원(예: 세슘-137 및 스트론튬-90)은 차폐 용기가 수십 년 동안 기하학적 및 성능 상수를 유지해야 하므로, 재료의 방사선 안정성이 결정적인 요소입니다.

끊임없이 변화하는 방사선원의 특성으로 인해 텅스텐 합금 차폐 용기는 단일 표준 제품에서 "방사선원 맞춤형" 모델로 전환되었으며, 이를 통해 각 유형의 방사선원이 가장 경제적이고 안전한 전용 차폐 솔루션을 얻을 수 있게 되었습니다.

2.1.3.4 환경 조건 사용에 영향을 미치는 요인

환경 조건은 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 효과에 대한 최종 "수용 테스트"로, 온도장,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

습도 및 부식성 매체, 기계적 부하, 누적 방사선량, 예상치 못한 작업 조건 등 5 가지 측면을 포함합니다.

고온 환경은 텅스텐 합금의 밀도를 약간 감소시키고 결합제 상의 확산을 가속화할 수 있지만, 핵의학 핫셀의 일반적인 온도에서는 고품질 텅스텐 합금의 성능 저하는 무시할 수 있습니다. 화재 사고와 같은 극한의 고온은 재료의 재결정 온도와 산화 방지 코팅의 무결성을 시험합니다. 코팅이 손상되면 표면 산화로 인해 국소적인 밀도 감소와 미량 누출이 발생합니다. 습기, 산 및 알칼리 세제, 바닷물 튀김 또는 염소가 함유된 폐액이 가장 흔한 화학적 위협입니다. 텅스텐-니켈-구리 시스템은 안정적인 표면 부동태 피막을 나타내며 이러한 환경에서 사실상 부식이 발생하지 않습니다. 텅스텐-니켈-철 시스템은 더 강하지만 장기간 노출되면 입계 부식이 발생하기 쉬우므로 니켈 도금이나 특수 세척 코팅으로 보완해야 합니다. 부식으로 인해 표면이 벗겨지거나 구멍이 생기면 우선적으로 방사선이 빠져나가는 저밀도 채널이 됩니다.

기계적 하중에는 정적 하중(자중, 폐기물 적재), 동적 하중(운반 진동, 낙하), 그리고 열응력 사이클이 포함됩니다. 텅스텐 합금은 우수한 고온 강도와 낮은 열팽창 계수를 가지고 있어 이러한 하중 하에서 기하학적 변형이 최소화되고 차폐 두께가 일정합니다. 반면, 기존 납 캔은 동일한 조건에서 크리프가 발생하기 쉬워 두께 감소 영역이 확장됩니다.

장기간 고선량 조사는 홀 팽창, 헬륨 취성화, 그리고 활성화 생성물 축적을 유발할 수 있습니다. 고품질 텅스텐 합금은 결정립 미세화, 희토류 정제, 그리고 사전 변형된 섬유 구조를 통해 팽창과 취성을 현저히 억제하여 활성화 생성물의 함량을 매우 낮게 유지합니다. 반면, 저품질 합금은 높은 누적 선량에서 미세균열이 확산되어 차폐 효과가 서서히 저하될 수 있습니다.

화재, 홍수, 지진, 낙하 등 예상치 못한 상황은 차폐 효과의 궁극적인 시험대입니다. 텅스텐 합금은 높은 용융점, 불연성, 그리고 높은 인성을 갖추고 있어 화재 발생 시 구조적 무결성을 유지하고, 낙하 시에도 파손되지 않으며, 지진 발생 시에도 전복되지 않아 납 탱크의 용융 및 유출, 콘크리트 탱크의 균열 및 붕괴와 같은 치명적인 결과를 완벽하게 방지합니다.

이러한 엄격한 환경 요인의 조합으로 인해 텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 설계 단계에서 다중물리 결합 시뮬레이션과 추가 설계 마진을 적용해야 합니다. 이를 통해 가장 불리한 조건에서도 외부 표면 선량률을 배경 수준에서 확실하게 제어할 수 있으며, 방사성 물질의 격리 및 차폐를 위한 최고의 신뢰성을 갖춘 방벽이 탄생합니다.

2.1.3.5 제조 공정 정밀 제어에 영향을 미치는 요인

제조 정밀도는 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 효과를 "이론적 최적성"으로부터 실현하는 마지막 단계이며, 가장 간과되기 쉽지만 동시에 가장 치명적인 변수이기도 합니다. 미세한 기하학적 편차, 표면 결함 또는 내부 잔류 결함은 방사선 누출 경로나 2차 방사선

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

핫스팟으로 직접 이어질 수 있으며, 이로 인해 캔 전체의 실제 차폐 효과는 설계값보다 훨씬 낮아질 수 있습니다.

밀도와 형상 일관성은 블랭크 성형 단계의 시작점입니다. 냉간 등방성 가압 성형, 열간 등방성 가압 성형 또는 대형 금형 가압 성형은 사각지대 없이 균일한 텅스텐 분말 충전 및 압력 전달을 보장해야 합니다. 그렇지 않으면 국소적인 저밀도 영역에 기공이 형성되거나 후속 소결 과정에서 불균일한 수축이 발생하여 용입이 약한 영역이 됩니다. 소결 공정 변수(온도 프로파일, 분위기 순도, 유지 시간)의 작은 변동도 불균일한 텅스텐 입자 성장 또는 바인더 상 편석을 초래하여 미세 차폐의 균일성에 직접적인 영향을 미칠 수 있습니다.

깊은 막힌 구멍과 복잡한 내부 공동의 가공 정밀도는 최소 벽 두께와 표면 상태를 결정합니다. 드릴 편차, 호닝 진원도 편차, 그리고 구멍 바닥의 잔류 응력 집중은 모두 실제 최소 벽 두께가 설계값보다 몇 퍼센트 포인트 낮아지게 할 수 있으며, 이는 고에너지 감마선 영역에서 측정 가능한 선량 서지를 초래합니다. 내부 표면의 거칠기와 굴곡은 거울 수준에서 제어되어야 합니다. 그렇지 않으면 미세한 구멍이 방사성 분진과 에어로졸의 영구적인 흡착 지점이 되어 제염을 어렵게 하고 장기 축적 후 국부적인 오염원을 형성하게 됩니다.

뚜껑과 캔 사이의 맞춤, 미로형 갭과 밀봉 표면의 평행도는 접합부의 차폐 연속성을 직접적으로 결정합니다. 기존 납 캔은 뚜껑 변형으로 인해 맞춤 불량이 발생하는 경우가 많지만, 텅스텐 합금 캔은 고정밀 CNC 연삭 및 온라인 광학 측정을 통해 뚜껑과 캔 입구 사이의 마이크론 수준의 완벽한 맞춤을 구현하여 관통 갭을 완전히 제거합니다. 용접 또는 전자빔 용융 용접 영역의 미세 구조 제어 또한 매우 중요합니다. 열영향부의 재결정된 조직이나 미세 균열은 용납할 수 없는 약점이 될 수 있습니다.

표면 기능성 코팅과 최종 연마 공정 간의 일관성은 표면 부식 및 2 차 전자 누출을 방지하는 최후의 방어선입니다. 불균일한 무전해 니켈 도금 두께, 세정 코팅의 불충분한 접착력, 또는 연마로 인한 잔류 스크래치는 장기간의 세정 및 조사 후 공식 부식의 시작점이나 전자 방출원으로 이어질 수 있습니다. 고급 텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 모든 주요 치수와 표면 매개변수를 SPC 통계 관리의 전체 프로세스에 통합했으며, X 선 CT 비파괴 검사, 초음파 위상 배열, 헬륨 질량 분석 누출 감지 기술을 통해 공장 출고 시 각 캐니스터의 실제 차폐 성능이 이론 계산값과 완벽하게 일치하도록 보장합니다.

2.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 핵심 성능 지수 시스템

텅스텐 합금 차폐 캔은 차폐 효과, 구조적 안전성, 사용 수명, 작동 편의성, 규정 준수라는 다섯 가지 측면을 포괄하는 완전하고 엄격하며 정량화 가능한 지표 시스템으로 개발되었습니다. 이러한 지표는 더 이상 고립된 재료 매개변수가 아니라, 설계 및 제조부터 승인에 이르기까지 전체 평가 기준을 구성하는 상호 연결된 시스템 요건입니다.

차폐 효과 지표는 등가 벽 두께, 외부 표면 선량률, 방사선 누출 각도 분포, 그리고 2 차

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

방사선 제어 수준을 중심으로 합니다. 가장 불리한 선원 조건과 가장 긴 사용 수명 조건에서 외부 표면의 모든 지점에서 선량률이 규제 한계의 일부 미만이어야 하며, 방향성 누출이 없어야 합니다. 구조적 안전 지표에는 낙하 저항성, 정하중 적층 저항성, 화재-열충격 저항성, 지진 전복 저항성이 포함되어 가장 심각한 예상치 못한 조건에서도 격납이 손실되지 않도록 보장합니다. 사용 수명 지표에는 방사선 노화로 인한 고장 제로, 영구적인 기하학적 정확도, 일정한 표면 제염 계수, 그리고 밀봉 시스템의 장기 신뢰성이 포함되며, 일반적으로 최소 20년의 무정비 기간이 필요합니다.

작동 편의성 지표는 신속한 1 인 개폐, 로봇 팔 호환성, 적절한 무게 분배, 그리고 가열 챔버 또는 글러브 박스 내 작동 시간 최소화 및 인원 방사선량 최적화를 위한 표준화된 인터페이스에 중점을 둡니다. 규제 준수 지표는 무독성 및 무연 면제, 직접 재활용 가능성, 운송 용기 형식 승인, 닦아낼 수 있는 표면 오염, 그리고 최종 폐기 부담 제로를 포함하며, 국제원자력기구(IAEA), 국가원자력안전청(NSA), 그리고 환경보호부의 가장 엄격한 요건을 철저히 충족합니다.

위의 다섯 가지 지표는 형식 시험, 가속 노화 시험, 낙하 발사 복합 시험, 그리고 장기 물리적 추적을 통해 검증되었으며, 완전한 자격 기준을 형성합니다. 모든 기준을 동시에 충족하는 텅스텐 합금 차폐 용기만이 핵의학 핫셀, 동위원소 생산 라인 또는 폐기물 이송 스테이션에 투입될 수 있으며, 진정한 "평생 신뢰할 수 있는 차폐 솔루션"이 됩니다. 이 시스템의 구축은 텅스텐 합금 차폐 용기가 초기 "재료 대체재"에서 방사선 방호 공학 분야에서 가장 성숙하고 신뢰할 수 있는 시스템 수준의 제품으로 완전히 전환되었음을 의미합니다.

2.2.2.1 텅스텐 합금 차폐 탱크의 밀도 지수

용기의 가장 중요하고 기본적인 성능 지표는 단위 두께당 방사선의 원자 번호 밀도와 평균 자유 경로를 직접 결정합니다. 이는 차폐 효과의 "주요 매개변수"입니다. 고급 텅스텐 합금 차폐 용기는 용기의 어느 부분에서든 밀도 편차를 최소화하면서 안정적이고 매우 높은 체적 밀도를 요구합니다. 이를 통해 방사선이 용기 벽 내에서 완전히 일관된 지수적 감쇠 과정을 거쳐 국소적인 저밀도 약화 영역으로 인한 선량 누출을 방지합니다.

실제 엔지니어링에서 밀도 지표는 이론 밀도 달성률, 최소 국부 밀도, 밀도 균일성 및 장기 밀도 안정성의 네 가지 하위 요구 사항으로 세분됩니다.이론적 밀도 달성률은 소결된 블랭크의 전체 밀도가 텅스텐과 바인더 상의 이론적 가중 평균의 매우 높은 비율에 가까워야 함을 요구합니다 . 모든 기공, 개재물 또는 용해되지 않은 텅스텐 입자는 치명적인 결함으로 간주됩니다.최소 국부 밀도는 구멍 바닥, 모서리 및 용접 열 영향부를 포함한 모든 영역에 눈에 띄는 저밀도 영역이 없는지 확인하기 위해 X 선 CT 또는 감마선 투과 스캐닝을 사용하여 층별로 검증됩니다.밀도 균일성은 전체 배치의 밀도 변동을 매우 좁은 범위 내에서 제어하여 X 선 산란 방향 편향 및 밀도 구배로 인한 2 차 방사선의 비대칭적 방출을 방지해야 함을 요구합니다 . 장기 밀도 안정성은 가속 조사 팽창 시험과 고온 진공 노화 시험을 통해 평가되며, 설계 수명 내에 밀도 감소가 거의 없어야 합니다.밀도는 차폐 효과에 결정적인 영향을 미치기 때문에 텅스텐 합금 차폐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

용기는 원자재 인수, 소결, 열간 등압 성형, 가공, 최종 검사에 이르기까지 전체 공정에 걸쳐 엄격한 밀도 제어 시스템을 구축했습니다. 이 시스템을 통해 텅스텐 합금 차폐 용기는 업계에서 "밀도 우선" 문화를 대표하는 기업으로 인정받았습니다. 밀도 기준을 완전히 충족하는 차폐 용기만이 핵의학 핫셀 및 고방사능 동위원소 생산 라인에 투입될 수 있습니다.

2.2.2 텅스텐 합금 차폐 탱크의 경도 지수

경도는 밀도와 같은 방사선 감쇠에 직접적인 영향을 미치지 않지만, 텅스텐 합금 차폐 용기의 수명 주기 전반에 걸쳐 전반적인 신뢰성에 있어 대체할 수 없는 역할을 합니다. 경도는 굽힘, 마모, 피팅, 방사선으로 인한 표면 박리 및 세척 용이성에 대한 내성을 종합적으로 반영합니다. 고급 텅스텐 합금 차폐 용기는 경도에 대한 체계적인 접근 방식, 즉 "표면 경도, 내부 인성, 내구성"을 요구합니다. 표면 경도는 반복적인 기계적 세척과 우발적인 충격에 견딜 수 있을 만큼 충분히 높아야 하며, 코어는 취성 균열을 방지할 수 있을 만큼 충분한 인성을 유지해야 합니다. 또한, 전반적인 경도는 장기간의 방사선 조사 및 열 사이클링 후에도 거의 변하지 않아야 합니다. 경도 지수는 구체적으로 매트릭스 미세경도, 표면 보강층 경도, 경도 균일성, 그리고 장기 경도 안정성의 네 가지 측면으로 나뉩니다. 매트릭스 미세경도는 텅스텐 입자와 바인더상 계면 사이에 연화 띠가 없는 견고한 결합을 요구하며, 이는 낙하, 진동 또는 열충격 시 탱크에 미세균열이 발생하지 않도록 보장합니다. 표면 보강층 경도는 붕소화, 이온 질화, 다이아몬드 유사 탄소 코팅 또는 나노결정 층의 초음파 분사를 통해 달성됩니다. 이러한 공법은 최외각층을 중심부보다 훨씬 단단하게 만들어 "외부는 단단하고 내부는 튼튼한" 보호막을 형성하여 강철 브러시 세척과 산세척 모두에 강하고 방사선에 의한 표면 스퍼터링 및 박리를 방지합니다.

경도의 균일성을 위해서는 탱크 내외부 표면 전체, 구멍 바닥, 용접 부위의 경도 변동을 최소화하여 국부적인 연약점이 부식 및 오염의 시작점이 되는 것을 방지해야 합니다. 장기 경도 안정성은 고온 다습 조건에서의 대량 방사선 조사 시험과 가속 노화를 통해 검증되었으며, 설계 수명 내에 표면 경도 저하가 매우 낮고, 보강층 박리가 없으며, 모재가 연화되지 않아야 합니다. 경도 지수의 진정한 가치는 단순한 방사선 감쇠에서 "반복적인 제염 및 2 차 오염 제로"라는 친환경적이고 완전한 수명 주기로 "차폐 효과"를 확장하는 데 있습니다. 텅스텐 합금 차폐 캔은 높은 표면 경도와 높은 제염 계수 덕분에 수십 회 또는 수백 회의 고효율 작업 후에도 원래의 깨끗한 상태로 돌아갈 수 있으며, "사용할수록 더러워지고 결국 사용할 수 없게 되는" 납 캔의 운명을 완전히 없애 진정으로 지속 가능한 차폐 플랫폼이 될 수 있습니다.

2.2.3 텅스텐 합금 차폐 탱크의 인장 강도 지수

핵심 기계적 보장은 전체 수명 주기 동안 구조적 무결성과 차폐 형상을 유지하는 것입니다. 정상적인 작동 조건에서 정적 하중, 적재 및 열 응력 요건을 충족해야 할 뿐만 아니라, 낙하, 지진, 화재, 운송 중 충격과 같은 극한 사고 상황에서 탱크 본체가 균열, 변형 또는 진원도를 잃지 않도록 보장해야 합니다. 이를 통해 최소 차폐 두께가

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

감소하지 않고 밀봉 표면이 뒤틀리지 않도록 해야 합니다.

고급 텅스텐 합금 차폐 용기는 "상온에서 높은 강도, 고온에서 연화 없음, 방사선 조사 시 취성 없음, 그리고 뛰어난 피로 저항성"을 갖춘 종합적인 시스템으로 구현됩니다. 상온 인장 강도는 리프팅, 운송 및 설치 중 갑작스러운 인장 응력을 견뎌내기 위해 기존 구조용 강철보다 훨씬 높아야 합니다. 고온 인장 강도는 납 용기와 유사한 크리프 붕괴를 방지하기 위해 핵의학 고온 챔버에서 흔히 발생하는 고온이나 화재 사고 온도에서도 충분한 잔류 강도를 유지해야 합니다. 방사선 조사 후 인장 강도 감소는 장기간의 높은 주입 속도로 인한 방사선 취성 및 강도 손실을 방지하기 위해 거의 0이어야 합니다. 반복 하중 하의 피로 강도는 수만 회의 개방 사이클, 열 사이클 및 진동 후에도 미세 균열이 발생하지 않도록 보장해야 합니다.

위의 목표를 달성하기 위해 텅스텐 합금 차폐 용기는 일반적으로 텅스텐-니켈-철 또는 텅스텐-니켈-구리 시스템을 사용하여 큰 변형을 수반하는 2 차 소성 가공을 거친 섬유 강화 구조물을 사용합니다. 이를 통해 섬유 간극을 따라 결합재 상이 고르게 분포된 고배향의 길쭉한 섬유상 텅스텐 입자가 생성되어 자연스러운 "철근 콘크리트" 복합 보강 구조를 형성합니다. 이 구조물은 인장 방향으로 매우 높은 하중 지지력과 균열 전파 저항성을 나타내며, 사소한 결합도 불안정한 전파 없이 신속하게 부동태화될 수 있습니다. 실제 성능 평가에는 상온 인장 시험, 특정 고온 인장 시험, 방사선 조사 후 인장 시험, 그리고 고주기 및 저주기 피로 시험이 포함되며, 이 모든 시험은 필수적입니다. 모든 테스트를 통과한 배치만 대형 폐기물 운반 용기, 운송 용기 및 영구 고정형 고온 챔버 용기에서 사용할 수 있으며, 가장 혹독한 기계-열-조사 결합 환경에서도 차폐 형상과 격리 기능이 결코 실패하지 않도록 보장합니다.

2.2.4 텅스텐 합금 차폐 탱크의 밀봉 성능 지표

밀봉은 텅스텐 합금 차폐 용기와 일반 구조 용기를 구분하는 가장 중요한 기능 지표 중 하나입니다. 이는 방사성 분진, 에어로졸, 휘발성 핵종이 허용 가능한 수준을 초과하는 양으로 운영 환경으로 누출되는지 여부를 직접적으로 결정합니다. 이는 "누출 제로 및 인명 피해 최소화"라는 규제 목표 달성을 위한 마지막 장애물입니다.

텅스텐 합금 차폐 용기는 정적 밀봉, 동적 밀봉, 비상 밀봉의 세 단계로 구분됩니다. 정적 밀봉은 헬륨 질량 분석 누출 감지율이 실온부터 최대 사용 온도 및 누적 방사선량 상한선까지의 범위 내에서 매우 낮은 수준으로 일관되게 유지되어 분자 수준의 누출을 방지해야 합니다. 동적 밀봉은 수만 회의 개폐 사이클, 열 사이클, 그리고 미세한 진동 후에도 밀봉 표면이 영구적인 변형이나 풀림 없이 초기 맞춤 정확도와 탄성 회복 성능을 유지해야 합니다. 비상 밀봉은 지정된 높이 낙하, 고온 화재, 외부 충격, 심지어 부분적인 소성 변형 조건에서도 라비린스 + 밀봉 링 복합 구조가 충분한 압축을 유지하여 격납 용기가 손상되지 않도록 해야 합니다.

구현 측면에서 텅스텐 합금 차폐 용기는 일반적으로 "삼중 보호" 설계를 채택합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 첫 번째 단계는 텅스텐 합금의 매우 낮은 열팽창 계수와 높은 강성을 활용해 마이크로 수준의 접합을 달성하는 단단하고 단단한 금속 미로 모양의 계단형 표면을 고정밀로 성숙시키는 것입니다.
- 방사선, 고온, 강산 및 강알칼리에 대한 저항성이 있는 불소고무, 실리콘 고무 또는 금속 으로 만들어진 C 형/Ω형 밀봉 링으로, 탄성 보상 및 분자 수준의 장벽을 제공합니다.
- 캔 뚜껑 자체의 무게로 압력을 가하고, 킥락 클램프나 다중 나사 클램프를 사용해 장시간 동안 느슨해지지 않도록 보장합니다.

한편, 밀봉 표면은 일반적으로 경면 연마 및 이온 주입 또는 DLC 코팅 처리되어 매우 높은 표면 경도와 강력한 화학적 불활성을 가지므로 금함에 강하고 노화 속도가 매우 느립니다. 각 용기는 공장 출고 전 진공, 가압, 헬륨 질량 분석법을 포함하는 단계별 누출 시험을 거쳐야 하며, 10년 이상의 가속 열 노화 및 방사선 노화 시험을 통해 밀봉 수명을 검증해야 합니다. 이처럼 거의 강박적인 밀봉 성능 지표 시스템을 통해 텅스텐 합금 차폐 용기는 세계에서 가장 까다로운 핵의학 핫셀과 고방사능 폐기물 임시 저장 시설에서 진정한 "누출 제로" 운영 기록을 달성하여 격납 차폐 용기 분야의 절대적인 기준이 되었습니다.

2.2.5 텅스텐 합금 차폐 탱크의 내식성 지표

내식성은 텅스텐 합금 차폐 탱크가 "반복 세척, 장기간 무보수 작동, 2 차 오염 제로"를 달성하는 데 있어 필수적인 요소입니다. 내식성은 탱크가 산성 세제, 알칼리성 세척액, 염소 함유 소독제, 습하고 뜨거운 공기, 심지어 액체 방사성 폐기물에 장기간 침지되어도 표면 무결성과 기하학적 진위성을 유지할 수 있는지 여부를 직접적으로 결정합니다. 이를 통해 공식, 입계 부식 또는 균일 용해가 방사선 누출 경로가 되거나 방사성 분진의 영구적인 부착 지점이 되는 것을 방지할 수 있습니다.

고급 텅스텐 합금 차폐 탱크의 내식성은 이중 트랙 시스템을 형성합니다. 1 차 비자성 내식성 텅스텐-니켈-구리 시스템과 강화 코팅된 2 차 텅스텐-니켈-철 시스템입니다. 텅스텐-니켈-구리 시스템은 결합제 상에서 구리에 의해 형성되는 치밀한 자가 부동태화 피막 덕분에 매우 높은 내식성을 나타내며, 1~14 의 넓은 pH 범위, 강력한 산화성 세제 및 해수 비산 환경에서 화학적 불활성에 가깝습니다. 표면은 눈에 띄는 부식 흔적이 거의 없고, 매우 높은 공식 발생 가능성을 보이며, 장기간 침수 후에도 거울처럼 매끈한 표면을 유지합니다. 텅스텐-니켈-철 시스템은 강도가 더 높지만, 산성 및 염소 함유 매체에서 입계 부식 경향이 약간 있습니다. 따라서 텅스텐-니켈-구리 수준 이상의 표면 내식성을 달성하기 위해 무전해 니켈 도금, PVD CrN 또는 다층 복합 세정 코팅 으로 보완해야 합니다 .

내식성을 위한 구체적인 시험에는 염수 분무 노화, 강산 및 강알칼리 침지, 세제를 이용한 반복 세척, 전기화학적 분극 곡선, 공식 부식 유도 시험, 그리고 실제 방사성 폐액과의 장기 접촉 검증 등이 포함됩니다. 가장 가혹한 제염 사이클 및 폐액 저장 조건에서 표면 부식 깊이가 거의 0 에 가깝고, 질량 손실이 미미하며, 제염 계수가 매우

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

높은 수준 이상으로 지속적으로 유지되고, 표면 거칠기가 증가하지 않아야 합니다. 바로 이러한 엄격한 내식성 지표 덕분에 텅스텐 합금 차폐 탱크는 수십 년간의 고효율 운전 후에도 원래 상태로 쉽게 세척할 수 있습니다.

2.2.6 텅스텐 합금 차폐 캔의 차폐 효율

모든 성능 . 더 이상 단일 반값층이나 10 분의 1 층 개념이 아니라, "가장 불리한 선원 조건, 가장 긴 사용 수명, 가장 가혹한 환경" 하에서 외부 표면의 모든 지점에서 선량률을 유일한 기준으로 사용합니다. 이는 감마선, X 선, 중성자 및 모든 2 차 방사선에 대한 광범위한 스펙트럼, 긴 수명 및 전방위 제어 능력을 포괄합니다.

실제 차폐 효율 지수는 다음의 5 가지 하위 지표로 구성됩니다.

- 외부 표면의 최대 선량률: 설계된 소스 향의 전체 활동과 가장 짧은 소스-캐니스터 거리에서 규제 한도의 일부보다 지속적으로 낮아야 하며, 어느 방향으로든 핫스팟이 없어야 합니다.
- 방사선 누출 각도 분포: 방향성 누출이나 "굴뚝 효과" 없이 모든 방향으로 균일한 선량이 필요합니다.
- 2 차 방사선 제어 수준: 제동복사선, 소멸 광자, 특성 X 선 및 포획된 감마선을 포함한 모든 방사선은 탱크 벽에 국부적으로 흡수되어야 하며, 외부 표면에는 탐지 가능한 2 차 피크가 나타나서는 안 됩니다.
- 장기 차폐 효과 안정성: 설계 수명 내에서 누적 최대 플러스 조사, 고온 고습 노화, 반복적인 오염 제거를 거치면 차폐 효율은 거의 0으로 감소해야 합니다.
- 최악의 시나리오에서의 차폐 무결성: 지정된 낙하, 화재, 적재 및 지진의 복합 시험을 거친 후에도 외부 표면의 선량률은 여전히 표준을 초과해서는 안 됩니다.

설계 단계에서 몬테카를로 풀 스펙트럼 시뮬레이션과 다중물리 결합 분석을 활용하여 가장 얇은 벽 두께, 가장 복잡한 형상, 그리고 가장 불리한 선원향 조합 하에서의 선량 분포를 정확하게 예측합니다. 제조 단계에서는 감마선 이미징, 코발트-60 실선원 조사 교정, 그리고 고온 챔버 실선원향 검증을 통해 공장 출고 시 각 캐니스터의 실제 차폐 효율이 이론적 계산 결과와 완전히 일치하는지 확인합니다.

매우 엄격한 차폐 효율 요건 덕분에 텅스텐 합금 차폐 용기는 세계에서 가장 까다로운 핵의학 센터, 고방사능 동위원소 공장, 그리고 가장 엄격한 규제를 받는 폐기물 저장 시설에서 장기간 안정적인 외부 표면 선량률을 유지할 수 있습니다. 이는 "방사능원을 용기 내에 가두고 사람과 환경을 완전히 해방시킨다"는 궁극적인 보호 목표를 진정으로 달성하며, 현대 방사선 차폐 공학의 명실상부한 정점을 이루었습니다.

2.2.7 텅스텐 합금 차폐 캔의 연성 지표

연성은 텅스텐 합금 차폐 캔이 극한의 예상치 못한 조건에서도 그 무결성을 유지하고 취성 파괴를 방지하는 생명선입니다. 연성은 캔 본체가 낙하 충격, 지진 전복, 운송 중

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

충격, 심지어 국부적인 과부하에도 세라믹처럼 즉시 부서지지는, 아니면 고품질 강철처럼 제어된 소성 변형을 거쳐 에너지를 흡수하고 심각한 균열을 방지하는지를 결정합니다. 텅스텐 합금 차폐 캔의 연성 지수는 기존 내화 금속에서 "강도가 높으면 필연적으로 취성이 생긴다"는 선입견을 오랫동안 뛰어넘어 강도와 인성 간의 높은 일치도를 달성했습니다.

고품질 텅스텐 합금 차폐 용기는 충분히 높은 상온 연신율을 요구합니다. 벽 두께가 가장 두껍고 결합상 함량이 가장 낮은 고강도 등급에서도 인장 시편은 플러시 과단보다는 상당한 necking(necking)을 보여야 하며, 굽힘 시험은 균열 없이 거의 직각을 달성해야 합니다. 또한 샤르피 충격 에너지는 순수 텅스텐 및 대부분의 고온 합금보다 훨씬 높아야 합니다. 고온 연성 또한 매우 중요합니다. 핵의학 핫셀(hot cell)의 일반적인 온도와 화재 사고 온도에서도 연신율과 충격 인성은 느리게 감소할 수 있으며, 취성 영역으로의 급격한 감소는 절대 용납될 수 없습니다. 방사선 조사 후 연성 유지가 매우 중요합니다. 설계 수명 동안 누적 주입량 이후, 방사선 조사로 인한 취성으로 인한 지연 균열 위험을 제거하기 위해 연신율과 충격 에너지의 감소는 무시할 수 있어야 합니다.

이 목표를 달성하는 열쇠는 가느다란 섬유질 텅스텐 입자와 균일하게 분산된 바인더 상이 형성하는 천연 복합 구조에 있습니다. 텅스텐 입자는 높은 강도를 지니고, 바인더 상은 튼튼한 연결을 제공하며, 균열이 시작되면 바인더 상에 의해 반복적으로 수동화, 휘어짐, 연결이 이루어져 결국 전파 에너지가 소진됩니다.

2.2.8 텅스텐 합금 차폐 캔의 고온 저항 표시기

고온 내성은 텅스텐 합금 차폐 용기가 화재 사고, 고온 챔버 또는 장기간의 열 부하 조건에서 차폐 두께, 밀봉 무결성 및 구조적 안정성을 유지할 수 있도록 하는 근본적인 보장입니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 화재에 노출되면 녹아 흘러내리는 납 용기와 고온에서 탈수 및 균열되는 콘크리트 용기의 치명적인 결함을 완전히 제거하여 극한의 고온에서도 "견딜 수 있고 보호"할 수 있는 유일한 차폐 용기입니다.

고급 텅스텐 합금 차폐 용기는 핵의학 사이클로트론의 고온 챔버에서 흔히 발생하는 지속적인 고온 환경에서도 시간 경과에 따른 강도, 경도, 연성 및 치수 정확도의 감소가 거의 없어야 합니다. 단기 화재 온도에서는 용기 표면에 약간의 산화가 발생할 수 있지만, 내부 구조와 기하 구조는 그대로 유지되고, 차폐벽 두께가 감소하지 않으며, 밀봉 표면이 휘어지지 않고, 잠금 장치는 정상적으로 작동합니다. 주요 지표로는 고온 순간 강도, 거의 0 에 가까운 고온 크리프율, 열충격 균열 저항성, 고온 산화 후 차폐 효과 유지율 등이 있습니다.

텅스텐 합금은 본질적으로 매우 높은 재결정 온도와 매우 낮은 열팽창 계수를 가지고 있습니다. 표면 MoSi_2 , Al_2O_3 확산 코팅 또는 고온 부동태화층을 갖는 무전해 니켈 도금과 함께 사용하면 수천 °C 의 짧은 화염에서도 얇고 치밀한 산화막을 형성할 수 있으며, 내부는 원래의 기계적 특성과 밀도를 유지합니다. 장시간 고온에서 미세한 텅스텐 입자와 분산된 결합제상은 결정립계를 효과적으로 고정하여 재결정 조대화 및

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

크리프 슬립을 방지하고, 캔의 치수와 밀봉 표면의 평탄성을 유지합니다. "화재에 노출되어도 연화되지 않고, 가열되어도 팽창하지 않으며, 연소 후에도 단단함을 유지하는" 이러한 탁월한 고온 저항성은 텅스텐 합금 차폐 캔이 가장 위험한 화재 상황에서도 비상 대응을 위한 귀중한 시간을 벌어주어 방사성 물질을 격리하는 최고의 "방화벽"이 될 수 있도록 합니다.

2.3 CTIA GROUP LTD 의 텅스텐 합금 차폐 캔 MSDS

CTIA GROUP LTD Co., Ltd.에서 제조하는 텅스텐 합금 차폐 용기용 안전 데이터 시트(MSDS)는 당사의 텅스텐 기반 고밀도 차폐 용기에 맞춰 제작된 표준화된 화학 안전 문서입니다. 원자재 조달, 제조, 운송 및 보관부터 현장 사용, 유지보수, 오염 제거 및 최종 폐기에 이르기까지 전체 수명 주기에 걸쳐 포괄적이고 신뢰할 수 있는 위험 식별, 보호 지침 및 비상 대응 솔루션을 제공하는 것을 목표로 합니다. 텅스텐 소재의 선도적인 글로벌 공급업체인 CTIA GROUP LTD 의 MSDS 는 유엔 화학물질 분류 및 라벨링에 관한 세계 조화 시스템(GHS)과 중국 국가 표준 GB/T 16483 의 요구 사항을 엄격히 준수합니다. 여기에는 기본 물질 정보, 잠재적 위험 분류, 응급 처치, 화재 및 폭발 위험 대응, 유출 대응, 운영 노출 관리 및 개인 보호 장비, 물리화학적 특성, 재료 안정성 및 반응성, 독성 정보, 생태 독성 영향, 폐기 지침, 운송 정보, 규제 책임 진술과 같은 핵심 모듈이 포함됩니다.

기본 정보 모듈은 먼저 텅스텐 합금 차폐 캔의 화학적 정체성을 명확히 합니다. 이 캔은 주로 텅스텐(CAS 7440-33-7)으로 구성되어 있으며, 니켈(CAS 7440-02-0), 철(CAS 7439-89-6) 또는 구리(CAS 7440-50-8)가 보충되어 있으며, 은회색 금속 광택이 특징인 고밀도 금속 복합재 형태입니다.

잠재적 위험 분류는 직업적 노출 위험에 중점을 둡니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 불활성 금속 제품이며, 정상적인 격리 및 차폐 사용 시 급성 독성, 발암성 또는 생식 독성을 나타내지 않습니다. 전체 위험 평가에서는 차폐 용기를 "저위험 고체"로 분류합니다.

물리화학적 특성 부분에서는 텅스텐 합금 차폐 용기를 물에 녹지 않는 고융점, 고온 내성 금속 복합재로 설명합니다. 재료 안정성 부분에서는 차폐 용기가 실온에서는 매우 안정하지만, 고온에서는 표면 산화가 발생할 수 있음을 나타냅니다. 건조하고 통풍이 잘 되는 곳에 보관하고 강산 및 강알칼리와의 직접 접촉을 피하는 것이 좋습니다.

운송 정보는 텅스텐 합금 차폐 용기를 비위험물로 분류하며, 일반 금속 제품과 마찬가지로 운송할 수 있도록 허용합니다. 규제 정보에는 REACH 및 RoHS 준수 선언과 중국 GB 30000 시리즈 표준 준수 사항이 나와 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

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

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

100,000+ customers

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

Service commitment

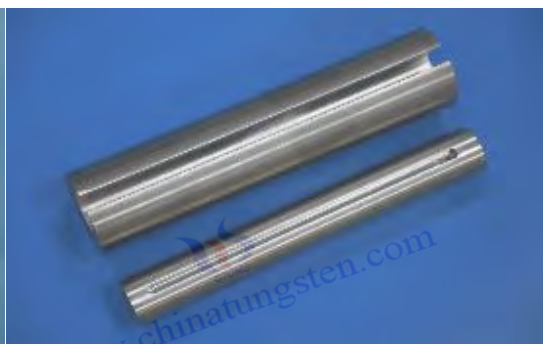
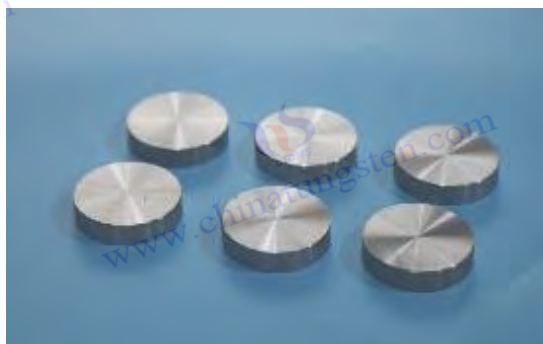
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

제 3장 텅스텐 합금 차폐 캔의 설계 논리 및 유형 분류

3.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 구조적 구성

텅스텐 합금 차폐 용기는 "격리-차폐-운영-오염 제거-운송"이라는 5 가지 핵심 시스템 엔지니어링 원리를 따릅니다. 각 구성 요소는 기능, 역학, 열역학, 방사선 조사 및 규정 측면에서 서로 분리되어 있지 않고 긴밀하게 결합되어 궁극적으로 고도로 중복되고 안전하며 검증 가능하고 예측 가능한 수명을 가진 하나의 완전한 구조를 형성합니다. 이 설계는 기존의 "금속 캔 + 납 라이닝"과 같은 단순한 적층 방식을 훨씬 뛰어넘어 고밀도, 고강도, 무독성 및 긴 수명 측면에서 텅스텐 합금의 장점을 극대화하여 마이크로 주사기 보호 슬리브부터 수톤 폐기물 이송 용기까지 전 범위를 포괄합니다.

탱크 본체는 전체 구조물의 핵심 하중 지지 및 차폐 장치입니다. 일반적으로 단일 거의 그물 모양 소결 빌릿 또는 단면 용접된 대형 단조 링으로 제작되어 모든 방향의 최소 벽 두께가 가장 불리한 방사선에 대한 감쇠 요건을 충족하도록 합니다. 내부 공동은 방사선원의 모양에 따라 정밀하게 설계되어 원통형, 직사각형, 다각형 또는 복잡하고 불규칙한 공동을 형성합니다. 모든 내부 표면은 사각지대와 오염 지점을 완전히 제거하기 위해 경면 연마됩니다. 외부 표면에는 리프팅 요건에 따라 통합 리프팅 러그, 지게차 슬롯 또는 표준화된 팔레트 인터페이스가 장착되어 있습니다. 또한 예약된 선량을 모니터링 구멍, 배기 밸런스 밸브 및 제염 스프레이 인터페이스가 있어 탱크를 단순한 격납 구성 요소에서 모니터링 및 운영 기능을 갖춘 통합 플랫폼으로 업그레이드합니다.

캔 뚜껑과 밀봉 시스템은 밀폐를 위한 최후의 방어선이며 일상 작업에서 가장 자주 움직이는 부품이기도 합니다. 고급 설계는 일반적으로 내장형 계단식 미로 뚜껑을 사용하여 고정밀 CNC 연삭을 통해 뚜껑과 캔 입구 사이에 완벽한 맞춤을 구현합니다. 방사선 저항성 불소 고무 O-링, 금속 C-링 또는 이중 안전 복합 셸과 결합하여 수만 번의 개폐 사이클 후에도 정적 누출과 동적 누출이 전혀 발생하지 않습니다. 잠금 장치는 종종 퀵락 클램프, 회전식 잠금 링 또는 유압식 퀵오프닝 구조를 사용하여 한 사람이 글러브 박스 안에서 몇 초 만에 캔을 열고 닫을 수 있도록 합니다. 또한 화재나 고온 사고 후에도 수동으로 열 수 있어 비상 시 회수할 시간을 확보할 수 있습니다.

텅스텐 합금 차폐 용기를 기존 납 용기와 차별화하는 사용자 친화적인 특징이 있습니다. 내장된 납 유리 관찰창은 텅스텐 합금 프레임과 다층 경사 차폐 설계를 사용하여 작업자가 전반적인 차폐 연속성을 손상시키지 않고 방사선원 변위 과정을 직접 관찰할 수 있도록 합니다. 선량을 모니터링 포트, 배출 밸브, 방사선원 작동 막대 채널, 폐액 입구 및 출구는 모두 미로형 + 텅스텐 합금 중첩 구조를 채택하여 개방 방향으로 직접적인 누출이 발생하지 않도록 합니다.

표면 기능층은 내식성과 손쉬운 세척을 위한 최종 보증입니다. 화학 니켈 도금, 내방사선 세척 코팅, 고온 산화 방지 코팅 또는 복합 다층 시스템은 반복적인 산 세척, 알칼리 세척, 증기 퍼징, 심지어 강력한 산화 세제 사용 후에도 탱크 표면이 깨끗하고 새것처럼 유지되도록 보장하여 피팅 및 영구 오염층을 완전히 제거합니다. 바닥과 측벽에는 교체

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

가능한 희생 라이닝 또는 내부 스테인리스 스틸 부식 방지 라이닝이 장착되어 폐액 저장 탱크의 수명을 더욱 연장합니다.

리프팅 및 운송 인터페이스는 구조적 안전과 실제 물류를 완벽하게 통합합니다. 통합 단조 리프팅 러그, 측면 충격 보호판, 바닥 충격 흡수 팔레트, 그리고 표준화된 컨테이너 잠금 장치를 통해 차폐된 컨테이너는 브리지 크레인으로 정밀하게 리프팅될 수 있으며, 도로, 철도 및 해상 운송 전반에 걸쳐 컨테이너의 밀폐 및 차폐 무결성을 유지할 수 있습니다.

이러한 모든 구성 요소는 처음부터 다중물리 결합 시뮬레이션(방사선 전달-열-기계-노화)을 통해 최적화되었으며, 낙하, 적재, 화재, 침수, 방사선 노화를 포함한 다양한 유형 시험을 통해 검증 시험을 거쳤습니다. 모든 구성 요소가 가장 엄격한 기준을 충족하도록 함께 작동할 때에만, 텅스텐 합금 차폐 용기 전체가 "신뢰할 수 있는 격납, 높은 차폐 효율, 편리한 작동, 그리고 초장수명"을 특징으로 하는 현대 방사선 방호의 궁극적인 운반체라고 할 수 있습니다. 이제 단순한 금속 용기가 아닌, 재료 과학, 정밀 제조, 방사선 물리학, 그리고 시스템 엔지니어링을 완벽하게 통합한 산업 예술 작품입니다.

3.1.1 텅스텐 합금 차폐캔의 주요 차폐 구조(캔 본체, 캔 커버)

캔 본체와 캔 뚜껑은 텅스텐 합금 차폐 캔의 주요 차폐 구조를 이루며, 이는 전반적인 차폐 연속성, 최소 벽 두께, 그리고 기하학적 충실도를 결정하는 핵심 골격입니다. 두 재료 모두 일반적으로 동일한 배치 및 등급의 고밀도 텅스텐 합금 블랭크로 가공되어 재료 특성과 차폐 효과가 완벽하게 일치하도록 보장하며, 기존 납 캔에서 뚜껑과 캔 본체 사이의 재료 차이로 인해 발생하는 접합 부분의 취약성을 방지합니다.

캔 본체는 깊은 막힌 구멍의 정밀 가공과 결합된 거의 그물 모양(near-net-shape) 성형 공정을 채택합니다. 먼저, 초대형 냉간 또는 열간 등압 프레스를 통해 고밀도의 이음매 없는 블랭크를 얻습니다. 그런 다음, 건 드릴링, 다단계 호닝, 초음파 전기분해를 사용하여 깊이 대 직경 비율이 매우 높은 내부 공동을 한 번에 완성합니다. 이를 통해 구멍 바닥과 측벽의 모든 위치에서 최소 벽 두께가 가장 불리한 광선 경로의 감쇠 요건을 충족합니다. 외부 윤곽은 사용 시나리오에 따라 원통형, 사각 기둥형 또는 점진적으로 얇게 만드는 불규칙한 모양으로 설계되어 사용 가능한 내부 용적을 극대화하고 호이스트 및 운반 시 최적의 무게 중심 분포를 달성합니다. 캔 개구부는 고정밀 CNC 연삭을 통해 다단계 계단식 미로 표면을 형성하며, 평탄도와 진원도를 마이크론 단위로 제어하여 후속 뚜껑 장착을 위한 금속 등급 밀봉 기반을 제공합니다.

캔 뚜껑은 구조에서 가장 활동적이고 정밀한 구성 요소로, 일상적인 개폐 효율과 장기적인 밀봉 신뢰성을 직접적으로 결정합니다. 고급 설계는 일반적으로 내장형 자동 중심 맞춤 구조를 채택합니다. 뚜껑의 외경은 캔 입구의 내정보다 약간 작으며, 중력과 가이드 리브를 사용하여 자동으로 정렬됩니다. 뚜껑 바닥면은 캔 입구와 완벽하게 일치하는 다단계 미로로 가공되어 여러 개의 금속 대 금속 경질 접점과 장착 후 탄성 밀봉 링 연질 접점으로 구성된 복합 차폐 밴드를 형성합니다. 뚜껑 상단에는 통합 단조

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

리프팅 링 또는 클릭 클램프 인터페이스가 있어 로봇 그리프를 용이하게 하고 화재로 인한 고온 후에도 작동성을 유지합니다. 일부 대형 폐기물 용기는 이중 뚜껑 디자인을 채택하기도 합니다. 내부 뚜껑은 영구적으로 밀봉된 일회용 텅스텐 합금 용접 뚜껑이고, 외부 뚜껑은 반복적으로 열고 닫을 수 있는 퀵 오픈 뚜껑으로, 밀폐성과 작동성 간의 최적의 균형을 이룹니다.

탱크 본체와 뚜껑 사이의 연결 부분은 전체 차폐 구조에서 가장 간과하기 쉽지만 동시에 가장 중요한 연결 부분입니다. 텅스텐 합금 차폐 탱크는 일체형 단조 링 용접, 전자빔 용접 또는 진공 브레이징을 통해 야금 등급의 접합을 달성합니다. 용접 열영향부의 미세 구조와 특성은 모재 수준으로 완벽하게 복원되어 기존 나사산 연결이나 납 탱크 플랜지 연결에서 발생하는 관통 간극 연결 위험을 완전히 제거합니다. 궁극적으로 탱크 본체와 뚜껑은 약점이나 방향성 누출 없이 완벽한 텅스텐 합금 차폐 셀을 형성하여, 방사선이 코팅도 재료 내에서 에너지가 소진될 때까지 반복적으로 충돌하고 탈출 경로를 찾지 못하도록 합니다.

3.1.2 텅스텐 합금 차폐 탱크의 보조 기능 구조(라이닝, 커넥터)

보조 기능 구조물은 주요 차폐 기능을 직접 수행하지는 않지만, 내식성, 세척 용이성, 편리한 작동, 그리고 장기적인 내구성 측면에서 대체할 수 없는 역할을 합니다. 정밀 기기의 스프링이나 와셔처럼 중요하지 않아 보일 수 있지만, 전체 차폐 용기가 "평생 사용, 단 한 번의 닦음으로 새 것처럼"이라는 궁극적인 목표를 진정으로 달성할 수 있는지 여부를 결정합니다.

라이닝 시스템은 화학적 오염과 방사성 오염 모두에 대한 이중 보호층 역할을 합니다. 적용 시나리오에 따라 교체형 희생 라이닝, 고정형 내식성 라이닝, 그리고 기능성 복합 라이닝의 세 가지 유형으로 분류됩니다. 교체형 희생 라이닝은 일반적으로 저활성화 스테인리스강 또는 티타늄 합금의 얇은 시트로, 클램프 또는 자석 부착을 통해 내부 캐비티의 바닥과 측면에 고정됩니다. 이 라이닝은 액체 폐기물이나 분말 형태의 방사성 잔류물을 포집하도록 특별히 설계되었으며, 포화되면 완전히 제거되고 교체되므로 텅스텐 합금 본체가 오염원에 직접 접촉하지 않습니다. 고정형 내식성 라이닝은 PVD, 용사 또는 확산 공정을 사용하여 CrN 을 형성합니다. 텅스텐 합금 표면에 수십 마이크로미터 두께의 TiN , 즉 다이아몬드 유사 탄소막을 형성하여 강산, 강알칼리, 산화성 세제에서도 텅스텐 합금 본체가 손상되지 않도록 합니다. 기능성 복합 라이닝은 강력한 중성자 차폐가 요구되는 탱크에서 흔히 사용됩니다. 이러한 라이닝은 텅스텐 합금 내부 표면에 붕소 함유 폴리에틸렌 또는 수소가 풍부한 리튬 층을 결합하여 열중성자를 흡수하고 감마선 포집을 억제하여 감마-중성자 복합 차폐의 최적 통합을 달성합니다.

커넥터와 작동 보조 장치는 차폐 용기를 정적 용기에서 동적으로 상호 작용하는 지능형 단말기로 업그레이드합니다. 빠른 잠금 클램프는 고강도 텅스텐 합금 또는 티타늄 합금으로 만들어졌으며 썰기 자체 잠금 원리로 몇 초 만에 톤 크기의 덮개를 안정적으로 조일 수 있습니다. 소스 작동 레버 채널은 다단계 텅스텐 합금 슬리브 + 벨로우즈 씰을 사용하여 로봇 팔이나 원격 제어 장치가 채널 방향으로 누출이 전혀 없도록 하면서 공동

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

내부 깊숙이 방사선원을 이동할 수 있습니다. 배기 압력 밸런싱 밸브에는 텅스텐 합금 필터 요소와 방사선 방지 다이어프램이 내장되어 있어 용기 내부의 온도 변화로 인해 발생하는 미세한 압력 차이를 자동으로 밸런싱하는 동시에 방사성 에어로졸이 빠져나가는 것을 방지합니다. 하단 폐액 배출 밸브는 이중 밸브 시리즈 + 텅스텐 합금 밸브 시트 설계를 사용하여 배출 프로세스가 전체 격납을 손상시키지 않도록 합니다.

모든 보조 기능 구조는 "제거 가능, 교체 가능, 검사 가능, 추적 가능" 원칙에 따라 설계되었습니다. 각 라이닝 플레이트, 실링 링, 그리고 각 작동 레버에는 고유한 식별 코드와 수명 기록이 있어 열 환경 외부에서도 사용자가 신속하게 유지 관리 및 규정 준수 감사를 수행할 수 있습니다. 주요 차폐 구조와 함께 고도로 모듈화되고 업그레이드 가능한 시스템을 구성하여 텅스텐 합금 차폐 탱크가 제조 당시 최고 수준의 성능을 제공할 뿐만 아니라 보조 부품을 교체하여 20 년 또는 30 년 후에도 지속적으로 성능을 발휘하도록 보장합니다. 이는 "일회성 투자로 평생 안심"이라는 의미를 진정으로 구현합니다.

3.1.3 텅스텐 합금 차폐 캔 구조의 차폐 원리

텅스텐 합금 차폐 용기의 성능은 단일 부품의 두께나 단단함이 아니라 용기 본체, 뚜껑, 미로, 셀, 라이닝, 관찰창, 기능적 인터페이스를 포함한 모든 구조가 심포니 오케스트라처럼 함께 작동하여 가능한 모든 방사선 유출 경로를 차단하고 현장에서 모든 유형의 2 차 방사선을 제거하여 궁극적으로 "용기 외부는 완전한 고요함, 내부의 고도의 질서"라는 완벽한 차폐 상태를 달성하는 데 달려 있습니다.

첫째, 기하학적 시너지가 있습니다. 탱크 본체의 깊은 공동과 뚜껑의 여러 단계 미로가 최소 3 개의 연속된 금속 차폐 대역을 형성하여 모든 방향에서 오는 직접 광선이 빠져나가려면 텅스텐 합금 벽 두께의 최소 3 배를 통과해야 합니다. 동시에 공동의 둥근 모서리, 뚜껑의 자체 중심화, 바닥의 점차 두꺼워지는 디자인은 모든 기하학적 사각을 제거하여 산란된 광자가 에너지가 소진될 때까지 탱크 벽 내부에서 반복적으로 반사될 수 있도록 합니다.

두 번째로, 재료적 시너지가 있습니다. 본체는 고텅스텐, 고밀도 등급을 사용하여 1 차 감쇠를 보장하는 반면, 국부적으로 중첩된 봉소, 수소 또는 카드뮴 함유 층은 열 중성자를 정밀하게 흡수하고, 표면 기능 코팅 또는 내부 라이닝은 저에너지 특성 X 선 및 2 차 전자를 처리하도록 특별히 설계되어 광범위한 스펙트럼, 사각 지대 없는 전체 에너지 범위를 달성합니다.

셋째, 밀봉 시너지 효과가 있습니다. 단단한 금속 미로는 기하학적 차단 및 구조적 강성을 담당하고, 탄성 밀봉 링은 분자 수준의 차단을 담당하며, 클램프 또는 다중 나사산은 지속적인 클램핑력을 제공합니다. 이 세 가지 요소는 겹겹이 작용하여 "탄성 링이 노화되더라도 금속 표면이 누출되지 않고, 금속 표면이 약간 변형되더라도 탄성 링이 여전히 누출을 보상할 수 있도록" 이중 안전 시스템을 형성합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

넷째, 기능적 시너지: 납유리 관찰창은 텅스텐 합금 계단형 프레임으로 완전히 둘러싸여 있고, 선량 모니터링 포트에는 텅스텐 합금 나사 플러그와 미로형 플러그가 장착되어 있으며, 폐액 밸브에는 이중 밸브 직렬 연결과 텅스텐 합금 밸브 시트가 장착되어 각 개구부가 자체적인 차폐 기능을 갖추고 본체 벽의 두께에 의존하여 보상하지 않습니다.

마지막으로 예상치 못한 작동 조건에서의 시너지 효과가 있습니다. 낙하 사고가 발생해도 고연성 텅스텐 합금 본체는 깨지지 않고 충격 에너지를 흡수하며, 높은 정도로 인해 미로와 밀봉 표면이 변형되지 않습니다. 화재가 발생하면 고융점 텅스텐 합금과 산화방지 코팅으로 탱크가 녹거나 붕괴되지 않고, 밀봉 링이 타더라도 금속 미로는 여전히 기본적인 격납 상태를 유지할 수 있습니다. 장기간 조사 후에도 재료는 팽창, 활성화, 취성이 전혀 나타나지 않아 모든 시너지 효과가 수십 년 동안 효과적으로 유지됩니다.

이러한 상호 연결되고 중복되며 상호 백업하는 구조적 시너지 효과 덕분에 텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 가장 복잡한 혼합 방사선장, 가장 까다로운 작동 환경, 그리고 가장 긴 서비스 주기에서도 외부 표면 선량률을 배경 수준으로 일관되게 유지할 수 있습니다. 더 이상 단순한 부품 조립체가 아니라, 살아 숨 쉬는 자체 보호 차폐 장치입니다.

3.2 차폐 시나리오에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 주요 유형

텅스텐 합금 차폐 캔은 단일 표준 제품의 한계에서 벗어나 오래전부터 발전해 왔습니다. 실제 차폐 시나리오에 따라 고도로 전문화되고 일련화된 다양한 유형의 시리즈를 구성해 왔습니다. 각 유형은 특정 원료, 공간, 작동 모드 및 규제 요건에 맞춰 심도 있게 맞춤 제작되었지만, 동일한 소재 유전자와 디자인 철학을 공유합니다.

의료용 소스 캐니스터 시리즈는 핵의학 PET-CT 센터, 사이클로트론 제약 공장, 감마 나이프 치료실용으로 특별히 설계되었습니다. 소형, 경량, 자기 간섭 없음, 그리고 매우 빠른 개폐 속도가 특징입니다. 대표적인 제품으로는 주사기 보호 슬리브, 폴리브덴-테크네튬 발생기 캐니스터, 불소-18 운반 캐니스터, 요오드-125 시드 소스 저장 캐니스터 등이 있습니다. 일반적으로 비자성, 내식성 텅스텐-니켈-구리 합금을 사용하며, 정밀한 벽 두께 변화, 빠르게 열리는 뚜껑, 그리고 한 손으로 조작할 수 있는 손잡이가 특징입니다. 표면은 초경면 코팅 처리되어 MRI 실과 무균 수술실에 직접 접근할 수 있습니다.

당사의 고정형 핫 챔버 탱크 시리즈는 고활성 동위원소 분배 및 타겟 처리용으로 설계되었습니다. 두꺼운 벽, 깊은 캐비티, 높은 집적도를 자랑하며, 수명 기간 동안 유지보수가 필요 없습니다. 일반적인 용량은 수십 리터에서 수 세제곱미터까지 다양합니다. 고강도 텅스텐-니켈-철 합금으로 제작된 이 탱크는 일체형으로 성형되었으며, 자동 소스 전환 메커니즘, 교체 가능한 희생 라이닝, 대형 납 유리 관찰창, 그리고 여러 개의 로봇 팔 인터페이스를 갖추고 있습니다. 핫 챔버를 제거하지 않고도 20년 이상 연속 작동할 수 있습니다.

이 운송 컨테이너 시리즈는 국제원자력기구(IAEA)의 A 형 및 B 형 표준을 엄격히

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

준수하여 설계되었으며, 낙하 방지, 내화성, 내침수성 및 전 세계 적용 가능성을 갖추고 있습니다. 외부는 ISO 컨테이너 표준을 준수하며, 모서리 피팅, 래치, 충격 흡수 바닥을 갖추고 있습니다. 내부 구조는 다층 중첩 및 쿠션 패딩을 사용하며, 염수 분무 방지 코팅 처리되어 있습니다. 9 미터 높이에서 낙하해도 누출 없이 800°C 의 화염에 30 분간 노출되어도 안전하며, 고방사성 방사성 물질 및 폐기물의 국가 간 및 대륙 간 운송을 위한 유일한 합법적 운송 수단입니다.

당사의 폐기물 이송 및 임시 저장 탱크 시리즈는 폐쇄된 방사선 조사 시설, 중앙 집중식 폐기물 수거 및 저장, 그리고 지중 처분 전 임시 저장을 위해 설계되었습니다. 초대용량, 초장수명, 그리고 최대 이중화 기능을 갖추고 있습니다. 이중 또는 삼중 뚜껑 구조를 채택하는 경우가 많으며, 영구 용접된 내부 탱크, 빠르게 열리는 중간 탱크, 그리고 도난 방지 외부 탱크가 있습니다. 다양한 모니터링 인터페이스와 원격 관독이 가능한 상태 센서를 갖추고 있어 수십 년 동안 별도의 유지 보수 없이 무인 창고에 폐기물을 안전하게 보관할 수 있습니다.

산업용 결합 검출 및 과학 연구용 조사 캐니스터 시리즈는 지향성 콜리메이션과 국소 원도잉을 강조합니다. 일반적으로 코발트-60 및 이리듐-192 결합 검출 소스 캐니스터와 원자로 조사 채널 캐니스터가 사용됩니다. 이 캐니스터들은 지향성 원뿔형 원도우와 회전식 텅스텐 합금 콜리메이터를 채택하여 X 선 빔의 정밀한 조사와 비표적 방향에 대한 강력한 차폐를 제공합니다.

각 유형의 텅스텐 합금 차폐 용기는 특정 시나리오와 문제점에 맞춰 최적화된 구조, 기능 및 인체공학을 갖춘 통합 소재 플랫폼 및 제조 시스템을 기반으로 개발됩니다. 또한 모듈식 상호 교환을 통해 신속한 전환이 가능합니다. 이러한 "플랫폼 기반 설계 + 시나리오 기반 맞춤 제작" 분류 모델은 텅스텐 합금 차폐 용기가 방사선 방호를 위한 진정한 원스톱 솔루션을 제공하도록 보장하며, 병원, 공장, 실험실 또는 폐기물 저장 시설 등 어떤 환경에서든 가장 적합한 맞춤형 솔루션을 얻을 수 있도록 지원합니다.

3.2.1 원자력 산업용 텅스텐 합금 차폐 용기

원자력 산업 전용 텅스텐 합금 차폐 용기는 동위원소 생산 고온 챔버, 연구용 원자로 조사 채널, 방사성 화학 물질 분배 라인, 그리고 고준위 폐기물 임시 저장 시설에 최적화된 "중요 요소"입니다. 이 용기의 설계 목표는 단 하나, 최고 수준의 방사능, 가장 복잡한 혼합 방사선장, 가장 긴 사용 수명, 그리고 가장 많은 무인 운전 환경에서 완벽한 격리와 영구적인 차폐를 달성하는 것입니다.

이러한 캐니스터는 일반적으로 매우 높은 텅스텐 함량과 벽 두께 구배(외부는 더 얇고 내부는 더 두껍음)를 갖는 고강도 텅스텐 -니켈-철 합금을 사용하여 단일 캐니스터의 무게가 수 톤에 달할 수 있습니다. 구조적으로 일반적으로 깊은 블라인드 홀 정밀 가공과 결합된 거의 그물 모양의 일체형 성형 공정을 사용하여 모든 광선 경로에 대한 최소 관통 두께가 전체 붕괴 기간 동안 코발트-60, 세슘-137 및 스트론튬-90 과 같은 장수명 핵종의 붕괴 요구 사항을 충족하도록 합니다. 캐니스터 뚜껑 시스템은 종종 이중 또는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

삼중 뚜껑으로 중복됩니다. 내부 뚜껑은 영구 밀봉을 위해 전자빔 완전 관통 용접을 사용하고, 중간 뚜껑은 빠르게 열리는 유압 잠금 장치이며, 외부 뚜껑에는 도난 방지 및 상태 모니터링 센서가 장착되어 있습니다. 전체 내부 공동에는 교체 가능한 희생 라이닝과 봉소/리튬 복합 중성자 흡수층이 장착되어 전체 γ -중성자- α 스펙트럼의 결합된 차폐를 달성합니다.

고도로 통합된 기능: 내장형 자동 리프팅 메커니즘, 원격 조작이 가능한 로봇 팔 인터페이스, 다점 투여량 및 온도/압력 센서, 자동 제염 스프레이 링, 그리고 온라인 폐수 여과 및 배출 시스템을 갖추고 있습니다. 표면은 고온 산화 방지 및 초내식성 다층 복합 코팅으로 코팅되어 증기 퍼징, 농축 질산 침지, 그리고 습한 염수 분무에 장시간 노출되어도 광택이 손상되지 않습니다. 운송 인터페이스는 B(U)형 또는 C 형 컨테이너 표준에 따라 설계되어 표준 차폐 운송 차량 또는 선적 컨테이너에 직접 적재할 수 있습니다.

3.2.2 의료용 텅스텐 합금 차폐 용기

의료용 텅스텐 합금 차폐 용기는 금속에 "사람 중심"이라는 개념을 진정으로 구현한 제품입니다. 비자성 간섭, 경량, 초고속 개폐, 세척이 간편한 거울 표면, 그리고 무균실과의 호환성이라는 요건을 동시에 충족해야 합니다. 또한, 의료진이 가장 피곤한 야간 근무 중에도 한 손으로 몇 초 만에 수술을 완료할 수 있어야 합니다.

재료 시스템은 거의 전적으로 텅스텐-니켈-구리 비자성 및 내식성 등급을 사용하여 MRI실에서 자기장 왜곡 위험을 완전히 제거합니다. 벽 두께는 정밀한 경사 설계를 채택하여 몰리브덴-테크네튬 발생기, 불소-18 및 요오드-131 과 같은 의료용 방사성 핵종의 선량률이 표준을 충족하도록 보장하는 동시에 무게는 납 용기의 일부로 줄어들어 간호사가 한 손으로 쉽게 들어 올릴 수 있습니다. 구조는 극도의 사용자 친화성을 강조합니다. 빠른 개방 뚜껑은 단일 손가락 손잡이 또는 발 작동 클램프를 사용하여 3 초 안에 열리고 1 초 안에 잠깁니다. 뚜껑은 중력 자동 중심 조정 및 자기 지원 위치 조정 기능을 갖추고 있어 장갑을 세 겹 착용하더라도 한 번 정렬할 수 있습니다. 전체 내부 공간은 큰 둥근 모서리와 거울 광택 마감 처리되어 특수 세척 물티슈로 한 번 닦아 원래 청결을 복원할 수 있습니다.

대표적인 제품으로는 주사기 보호 슬리브, 몰리브덴-테크네튬 발생기 용기, FDG 디스펜싱 용기, 요오드-125 시드 소스 이식 용기, 스트론튬-90 드레싱 보관 용기 등이 있습니다. 이러한 용기는 더 이상 차갑고 산업적인 회색이 아닌, 양극 산화 처리 또는 PVD 금색/청색 장식 코팅으로 무균 환경의 미관을 향상시키고 다양한 핵종을 시각적으로 구분하는 데 도움을 줍니다. 또한 표면에는 핵종 기호, 방사능 한계, 유효기간이 레이저로 영구적으로 새겨져 있어 스티커 벗겨짐으로 인한 라벨 오류를 완전히 방지합니다.

바로 이러한 사소한 보이는 의료 관련 세부 사항 덕분에 텅스텐 합금 차폐 용기는 가장 바쁜 PET-CT 센터와 가장 엄격한 GMP 제약 공장에 완벽하게 통합될 수 있으며, 의료진은 차폐나 오염에 대한 걱정 없이 환자에게 모든 에너지를 집중할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2.3 산업용 시험용 텅스텐 합금 차폐 용기

산업 검사 전용 텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 비파괴 검사, 파이프라인 용접 검사, 구조 내시경 검사, 세관 보안 검사 장비에 최적화된 "이동식 요새 + 정밀 창문"의 조합입니다. 전방위 고강도 차폐 기능을 제공하는 동시에 정밀하고 제어 가능한 빔 방출을 통해 "차단되어야 할 곳에서 단 하나의 광자 누출도 없고, 방출되어야 할 곳에서 단 1mm 도 벗어나지 않아야" 합니다.

사용되는 재료는 대부분 고강도 텅스텐-니켈-철 등급으로, 현장 시공, 잦은 크레인 조작, 심지어 우발적인 낙하 상황에서도 탱크가 변형되지 않습니다. 가장 두드러지는 구조적 특징은 방향성 콜리메이션 창 설계입니다. 탱크 본체는 두꺼운 벽으로 360 도 완전히 둘러싸여 있으며, 한쪽 또는 여러 면에 윈쉴, 부채꼴 또는 슬릿 형태의 회전식 텅스텐 합금 콜리메이터가 장착되어 있습니다. 빔 각도와 빔 폭은 외부 핸드휠 또는 모터로 정밀하게 조절되어 용접부 또는 검사 대상 공작물에 X 선을 정확하게 투사하는 동시에 작업자와 주변 환경에 탁월한 차폐 효과를 제공합니다.

대표적인 제품으로는 이리듐-192 결함 검출 소스 캐니스터, 셀레늄-75 파이프 크롤러 캐니스터, 코발트-60 대형 작업물 조사 캐니스터, 그리고 X 선 장비 헤드용 통합 차폐 커버가 있습니다. 이러한 캐니스터는 바퀴 달린 새시 또는 지게차 적재함을 갖춘 통합 이동식 플랫폼으로 설계되는 경우가 많아 결함 검출 암실이나 현장 작업 현장으로 직접 이동할 수 있습니다. 콜리메이터는 다층 중첩 텅스텐 합금판과 스테퍼 모터 드라이브를 사용하여 산란 없이 매우 높은 각 분해능을 달성합니다. 표면은 오일 및 모래에 강한 산업용 폴리우레아 코팅으로 코팅되어 있어 유전, 조선소, 건설 현장과 같은 극한 환경에 적합합니다.

밀봉 시스템은 신속한 소스 교체 기능을 강조합니다. 덮개는 빠른 잠금 클램프와 이중 O-링, 특수 소스 교체 피그를 사용하여 작업자가 암실 외부에서 소스 장착 및 제거를 완료할 수 있으며, 프로세스 전반에 걸쳐 인력이 거의 제로 방사선에 노출됩니다.

3.3 구조적 형태에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 일반적인 유형

구조 및 설치 방식 측면에서 텅스텐 합금 차폐 용기는 고정형, 휴대용, 이동형, 모듈형의 네 가지 주요 시리즈로 구분할 수 있습니다. 고정형과 이동형은 전 세계적으로 가장 큰 시장 점유율을 차지하며 실제 수요의 거의 90%를 차지합니다.

3.3.1 고정 텅스텐 합금 차폐 캐니스터

고정형 텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 "고온 챔버의 진정한 심장"입니다. 일단 설치되면 수명 동안 거의 움직이지 않습니다. 무게와 부피에 대한 타협보다는 최고의 차폐 효율, 매우 긴 유지보수 없는 수명, 그리고 최고 수준의 통합을 추구합니다.

이러한 탱크는 일반적으로 거의 정형에 가까운 성형 공정을 사용하여 제작되며, 단일

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

블랭크의 무게는 수 톤 또는 수십 톤에 달합니다. 벽 두께는 수십 밀리미터에서 200~300 밀리미터까지 다양하며, 이는 전적으로 고온 챔버 내부의 최악의 상황을 고려하여 계산됩니다. 탱크 본체는 미리 매립된 텅스텐 합금 또는 고강도 강철 앵커 볼트를 사용하여 기초에 단단히 고정되어 있어 장기 진동으로 인한 프레팅 마모 및 쉘 파손 위험을 완전히 제거합니다. 탱크 커버 시스템은 주로 유압식 또는 공압식 신축 개방 커버를 사용하며, 고온 챔버 크레인과 로봇 팔을 결합하여 완전 자동화된 개폐를 구현합니다. 대형 고온 챔버는 이중 또는 삼중 커버 구조를 채택하기도 합니다. 가장 안쪽 층은 영구 용접된 텅스텐 합금 내부 탱크이고, 중간 층은 일상 작업을 위한 신축 개방 커버이며, 가장 바깥쪽 층은 방진 및 사고 방지 안전 커버입니다.

기능적 통합은 타의 추종을 불허합니다. 내부 공동에는 다층 교체형 희생 라이너, 자동 소스 리프팅 플랫폼, 폐액 수집 탱크, 그리고 온라인 제염 스프레이 링이 장착되어 있습니다. 측벽에는 대형 납 유리 관측창, 다채널 로봇 팔 인터페이스, 그리고 선량률, 온도 및 압력 센서가 미리 내장되어 있습니다. 바닥은 자동 펌핑 및 여과를 위해 핫 챔버 폐액 시스템에 직접 연결됩니다. 전체 표면은 고온 산화 방지 및 초내식성 다층 코팅으로 코팅되어 수십 년간의 스팀 퍼징과 강산 세척에도 광택을 잃지 않습니다.

고정형 텅스텐 합금 차폐 용기는 일반적으로 30 년 이상 사용할 수 있도록 설계되었으며, 이 기간 동안 유지 보수, 예비 부품, 그리고 전체 교체가 거의 필요하지 않습니다. 마치 소형 텅스텐 합금 건물처럼, 이 용기는 고온 챔버 중앙에 단단히 매립되어 가장 위험한 방사선원을 가장 안전한 위치에 영구적으로 고정시켜, 이 고동치 않는 "텅스텐 심장"에서 고온 챔버 전체가 수십 년 동안 작동할 수 있도록 합니다.

3.3.2 휴대용 텅스텐 합금 차폐 용기

휴대용 텅스텐 합금 차폐 용기는 "손에 들고 다닐 수 있는 요새"와 같습니다. 고정형 용기의 차폐 용량 대부분을 간호사, 기술자 또는 현장 작업자가 쉽게 들어 올리거나 밀거나 심지어 등에 메고 다닐 수 있는 크기로 압축하여, 텅스텐 합금의 경량성과 실용성 사이의 균형을 보여줍니다.

무게 조절은 휴대성을 위해 매우 중요합니다. 설계팀은 정밀한 몬테카를로 광선 추적 및 토폴로지 최적화를 통해 텅스텐 합금의 모든그램이 효과적으로 사용되도록 했습니다. 가장 두꺼운 부분은 광원의 상단과 하단에 위치하며, 주변으로 갈수록 유선형의 경사각으로 얇아집니다. 그런 다음 얇은 텅스텐 또는 티타늄 합금 충격 방지 쉘을 외부 표면에 추가하여 모든 방향으로 적절한 선량률을 보장하는 동시에 전체 무게를 납 용기의 몇 분의 일로 줄였습니다. 일반적인 의료용 휴대용 용기의 무게는 수 킬로그램에서 수십 킬로그램까지 다양하여 기술자가 한 손으로 쉽게 들어 올리고, 간호사가 카트에 실어 밀고, 의사가 중재적 수술실로 직접 운반할 수 있습니다.

디자인은 미니멀리즘과 스피드를 강조합니다. 뚜껑은 일반적으로 한 손가락 손잡이 또는 자석식 퀵 오픈 메커니즘을 사용하여 3 초 만에 열리고 1 초 만에 잠기므로 장갑을 세 겹 착용하더라도 안전하게 잡을 수 있습니다. 손잡이는 일체형으로 제작되어 인체공학적으로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

설계되어 장시간 편안하게 사용할 수 있습니다. 바닥의 네 모서리에는 의료용 캐스터와 전자기 브레이크가 장착되어 있어 주사대나 침대 옆에서 부드럽게 밀어 정확한 정지가 가능합니다. 전체 표면은 고풍택 마감 처리되었으며, 의료용 블루 또는 골드 아노다이징 처리되어 세척이 쉽고 멸균 환경에 완벽하게 통합되는 미적으로 아름다운 마감을 자랑합니다.

대표적인 제품으로는 불소-18 주사 보호 용기, 폴리브덴-테크네튬 발생기 운반 용기, 요오드-131 처리 용기, 게르마늄-68 교정선원 용기, 휴대용 폐기물 수집 용기 등이 있습니다. 이러한 용기에는 선량률 표시, 잔류 방사선량 알림, NFC 식별 기능이 내장되어 있어 병원 HIS 시스템과 직접 연동하여 방사선원의 종단 간 전자 추적을 가능하게 합니다.

최소한의 크기, 가장 가벼운 무게, 가장 빠른 개폐 속도를 갖춘 휴대용 텅스텐 합금 차폐 용기는 고정된 용기의 "텅스텐 요새"와 같은 안정감을 병동, 수술대, 구급차, 심지어 환자의 집까지 전달하여 방사성 의약품 생산부터 투여까지 모든 순간을 완벽하게 통제할 수 있도록 보장합니다.

3.3.3 밀봉된 텅스텐 합금 차폐 캐니스터

밀봉된 텅스텐 합금 차폐 용기는 최고의 격납 및 차폐 기능을 제공합니다. 이 용기는 "어떤 형태로든 방사성 물질이 용기 밖으로 유출되는 것을 절대적으로 차단"한다는 유일한 원칙을 고수합니다. 고방사능 폐기물 수거 탱크부터 대륙간 운송을 위한 B 형 용기까지, 누출 방지, 장기 보관, 운송 또는 무인 운전이 필요한 모든 상황에 적합합니다.

구조적으로, 밀폐형 탱크는 반복적으로 열 수 있는 이동식 캡을 완전히 제거하고, 대신 일회성 영구 폐쇄 또는 최소한의 사용으로 매우 안정적인 개폐 기능을 갖춘 미니멀리스트 디자인을 채택했습니다. 일반적으로 소스 로딩 후, 탱크 본체와 캡은 전자빔 완전 용입 용접, 진공 브레이징 또는 폭발 용접을 통해 야금 등급의 영구 밀봉을 달성합니다. 용접 이음매는 헬륨 질량 분석 누출 감지 및 X선 결함 탐지를 통해 검증되어 계측기로 감지할 수 없을 정도로 낮은 누출률을 보장합니다. 간헐적으로 소스 로딩이 필요한 일부 모델은 초대형 직경의 빠른 개방 캡을 유지하지만, 캡과 탱크 개구부는 3 단 이상의 경질 금속 미로, 이중 방사선 내성 금속 C 형 밀봉 링, 유압 클램프 잠금 장치를 갖춘 "삼중 보험" 구조를 채택하여 여러 번의 개폐 사이클에도 분자 수준에서 누출이 전혀 발생하지 않습니다.

내부 전체 캐비티에는 교체 가능한 희생 라이너와 다단계 필터 요소가 장착되어 있습니다. 방사성 에어로졸, 휘발성 요오드, 삼중수소 증기는 첫 번째 층에 물리적으로 흡착되고, 두 번째 층에 화학적으로 포집되며, 세 번째 HEPA 필터 층에 의해 완전히 제거됩니다. 여러 개의 압력, 온도, 선량률, 수소 농도 센서가 탱크 측면에 내장되어 있어 외장 케이블 또는 무선으로 실시간 데이터를 전송하여 깊은 지하 저장 시설이나 운송 컨테이너에서도 원격 모니터링이 가능합니다. 외부 표면은 초두께의 염분 분무 방지 및 자외선 차단 폴리우레아 코팅으로 코팅되어 해양 환경에서 수십 년 동안 분말화나 기포 발생을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

방지합니다.

3.3.4 개방형 텅스텐 합금 차폐 용기

개방형 텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 완전히 반대 방향으로 작동합니다. 의도적으로 하나 이상의 상시 개방된 창을 유지하여 "X 선은 내가 원하는 곳으로만 간다"라는 정밀 제어 철학을 적극적으로 수용합니다. 이 제품은 주로 산업용 감마선 결함 검출, 과학 연구용 방사선 조사 실험, 세관용 X선 보안 검사 헤드, 의료용 선형 가속기 콜리메이션 시스템에 사용됩니다.

탱크 본체는 고밀도, 두꺼운 벽의 텅스텐 합금 구조를 유지하지만, 테이퍼형, 부채꼴형, 직사각형 또는 슬릿형 빔 출구 창은 한 면 이상에서 정밀하게 가공됩니다. 각 창 내부에는 독립적으로 회전하거나 이동할 수 있는 여러 겹의 텅스텐 합금 콜리메이팅 블록이 있습니다. 빔 각도와 빔 폭은 외부 리드 스크류, 핸드휠 또는 서보 모터를 통해 무한히 조정할 수 있습니다. 비빔 출구 방향은 산란되고 누출된 광선이 완전히 흡수되도록 매우 두꺼운 벽으로 완전히 밀폐되어 있습니다. 마이크로미터 수준의 도브테일 가이드 또는 볼 베어링 선형 가이드는 콜리메이팅 블록 사이에 사용되어 장기간의 빈번한 조정 후에도 간격이 증가하지 않고 위치가 어긋나지 않도록 합니다.

작동 안전을 보장하기 위해 개방형 탱크에는 일반적으로 연동 보호 커버와 여러 안전 연동 장치가 장착됩니다. 콜리메이션 창이 완전히 닫히거나 보호 커버가 완전히 재설정된 경우에만 소스가 작동 위치로 올라갈 수 있습니다. 보호 커버가 실수로 열리면 소스가 자동으로 긴급하게 탱크 바닥의 안전 구역으로 가라앉습니다. 표면 처리도 밀폐형 탱크와 완전히 다르며, 오일 얼룩, 모래 및 먼지, 기계적 굽힘에 대한 내성에 더욱 중점을 둡니다. 일반적으로 경질 양극 산화 처리, 텅스텐 카바이드의 초음파 화염 분사 또는 폴리우레아 탄성 코팅이 사용되며, 현장 결함 탐지 차량, 조선소 갠트리 크레인 또는 세관 항구의 혹독한 조건에서도 10 년 동안 색상을 유지할 수 있습니다. 개방형 상단 텅스텐 합금 차폐 탱크는 텅스텐 합금의 매우 높은 밀도를 "제어 가능한 칼"로 바꾸어 X 선이 용접부를 정확하게 절단하고, 종양을 비추거나, 메스처럼 짐을 투시할 수 있게 하면서도 작업자와 환경에 대한 "칼의 뒷면"의 부드러움을 항상 유지합니다.

3.3.5 단층 텅스텐 합금 차폐 캔

단일층 텅스텐 합금 차폐 용기는 텅스텐 합금 차폐 기술의 가장 순수하고 진정한 표현입니다. 이 용기는 모든 차폐 기능을 단일 소재와 단일 두께의 벽으로 구성된 텅스텐 합금 본체에 위임하며, 복합 라이닝, 경사 전이층, 또는 외부 저밀도 소재는 전혀 사용되지 않습니다. 모든 것은 텅스텐 합금 자체의 고밀도, 높은 균일성, 그리고 높은 안정성에 의해 처리됩니다. 겉보기에 투박해 보이는 이러한 미니멀리즘은 실제로는 소재 성능에 대한 극도의 자신감의 산물입니다. 텅스텐 합금의 밀도, 조성 균일성, 미세 구조의 미세함, 그리고 장기 방사선 안정성이 최고 수준에 도달할 때에만 이처럼 타협 없는 설계가 구현될 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

탱크 본체 전체는 내부와 외부 모두 동일한 등급 및 배치의 텅스텐-니켈-철 또는 텅스텐-니켈-구리 합금으로 제작됩니다. 벽 두께는 설계 단계에서 가장 보수적인 소스 조건과 가장 긴 사용 수명을 고려하여 보수적으로 계산되며, 이후 "추가 두께 여유" 원칙에 따라 엄격하게 제조됩니다. 내부 표면은 경면 연마되어 거울처럼 매끄럽게 마감되며, 외부 표면은 얇은 내식성 코팅 또는 세척 코팅만 적용되어 무게가 증가하지 않고 차폐 성능도 저하되지 않습니다. 뚜껑과 탱크 본체는 완전히 대칭적인 통합 디자인을 특징으로 합니다. 미로, 밀봉 표면 및 잠금 장치는 모두 텅스텐 합금으로 직접 가공되어 열팽창 불일치, 조사 팽창 차이 또는 이종 재료 인터페이스로 인한 갈바닉 부식의 잠재적 위험을 완전히 제거합니다.

단층 구조의 장점은 극한 상황에서 충분히 입증됩니다. 고온 화재 시 저융점 라이닝이 녹아 흘러내릴 위험이 없습니다. 장기간 고선량 방사선 조사 시 복합재 계면의 박리 및 균열 발생 가능성이 없습니다. 또한, 강산 및 강알칼리로 반복적으로 세척할 때 외층이 벗겨져 저밀도 기판이 노출되는 난처한 상황이 발생하지 않습니다. 차폐 효과는 방사선원 자체의 붕괴로 인해 시간이 지남에 따라 서서히 증가할 뿐, 재료 노화로 인해 감소하지 않습니다.

이러한 유형의 탱크가 가장 일반적으로 사용되는 분야는 거의 강박적인 신뢰성 요구 조건을 가진 시나리오입니다. 영구 폐기물 탱크, 심층 지질 처리 전 임시 저장 탱크, 위성 동위원소 열원 보호 탱크, 그리고 절대적인 비자성 및 절대적인 내식성이 요구되는 특정 고급 의료용 소스 탱크 등이 있습니다. 이러한 탱크는 크기가 작고, 놀라울 정도로 무겁고, 외관이 단순하지만, 가장 단순한 형태로 궁극적인 장기 격납 및 차폐 보호 기능을 제공합니다.

3.3.6 다층 텅스텐 합금 차폐 캔

다층 텅스텐 합금 차폐 탱크는 차폐 용기 분야에서 시스템 엔지니어링 사고의 정점을 보여줍니다. 텅스텐 합금을 단일 재료로 사용하는 대신, 다양한 텅스텐 합량, 다양한 바인더 상 시스템, 그리고 다양한 기능적 배향을 갖는 여러 개의 하위 층으로 분해합니다. 정밀 야금 복합재, 열간 등방성 가압 클래딩 용접 또는 진공 브레이징을 통해 원자 수준의 결합이 달성되어, 명확한 기능적 구획, 지속적인 성능 변화, 그리고 완벽한 전체 구조를 갖춘 "텅스텐 합금 샌드위치"를 구성합니다.

가장 전형적인 구조는 내부에서 외부로 살펴보면 다음과 같습니다.

- 가장 안쪽 층은 초 고밀도 등급의 텅스텐과 낮은 결합제 상을 사용하는데, 이는 주요 감마선의 강력한 흡수를 위해 특별히 설계되었습니다.
- 중간층에 희토류 원소나 붕소, 카드뮴을 미량 첨가하면 충분한 강도를 유지하면서도 열 중성자를 효율적으로 포획할 수 있습니다.
- 외부 층은 표면 내식성과 내충격성을 모두 고려한 텅스텐-니켈-구리 비자성 내식성 시스템 또는 고인성 텅스텐-니켈-철 전이층으로 전환됩니다.
- 가장 바깥쪽 층은 미적 요구와 최종 세척 요구를 모두 충족시키기 위해 초박형

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기능성 코팅이나 희생적 장식 셀이 될 수 있습니다.

텅스텐 합금의 각 층은 조성, 소결 공정 및 2 차 변형이 정밀하게 구분되어 있지만, 거시적인 계면, 미세한 공극 또는 급격한 성능 변화 없이 전이 확산 영역을 통해 계면에서 완전한 금속 결합을 달성합니다. 이 다층 복합체는 세 가지 혁신적인 이점을 제공합니다. 첫째, 차폐 효율이 크게 향상되었습니다. 내부 층의 강한 흡수는 고에너지 광자 방출 가능성을 줄이고, 중간 층은 열중성자를 정밀하게 포집하여 감마선 트래핑을 억제하며, 외부 층은 저에너지 산란을 더욱 완화합니다. 전체 시스템은 동일한 무게의 단일 층 캔보다 몇 자릿수 더 많은 감쇠 효과를 제공합니다. 둘째, 무게와 부피의 최적화입니다. 동일한 차폐 성능을 유지하면서 총 무게를 크게 줄일 수 있어 운송 용기 및 휴대용 의료 분야에 특히 적합합니다. 마지막으로, 수명과 유지 보수성이 크게 향상되었습니다. 표면층은 내식성이 뛰어나 국부적으로 보수가 가능하며, 내부층은 고순도 고밀도로 내구성이 뛰어납니다. 캔 전체는 양과와 같아서 각 층이 보호 기능을 제공하고 벗겨낼 수 있습니다.

다층 텅스텐 합금 차폐 용기는 분말 배합, 층별 분말 도포, 경사 소결, 클래딩 용접, 최종 가공에 이르기까지 전체 공정에 걸쳐 정밀한 제어가 필요하여 매우 까다롭습니다. 그러나 일단 성공하면, 이 용기는 종합적인 성능과 광범위한 적용 범위를 통해 소형 의료용 용기부터 대형 폐기물 운반 용기까지 거의 모든 고급 요구 사항을 충족합니다. 이제 단순한 텅스텐 합금이 아니라, 각 층이 고유 주파수 대역에서 가장 강력한 음을 연주하고, 함께 완벽한 차폐 화음을 만들어내는 정교하게 안무된 텅스텐 합금 심포니와 같습니다.

3.3.7 통합 텅스텐 합금 차폐 캔

통합형 텅스텐 합금 차폐 탱크는 텅스텐 합금을 위한 준정형 성형 기술의 정점을 보여줍니다. 핵심 특징은 탱크 본체, 탱크 커버 베이스, 리프팅 러그, 미로형 밀봉 표면, 기능 인터페이스의 내장 부품, 그리고 일부 콜리메이션 구조까지 모두 단일 블랭크에서 한 번에 성형 및 정밀 가공된다는 것입니다. 이를 통해 용접, 브레이징 또는 기계적 조립 이음매를 완전히 제거하고 내부에서 외부, 그리고 위에서 아래까지 완벽하게 이음매 없는 텅스텐 합금 연속체를 구현합니다.

블랭크 제조는 일반적으로 초대형 냉간 등압 성형과 고온 진공 수소 2 단계 소결을 결합한 공정 또는 직접 열간 등압 성형 클래딩 공정을 사용 하여 수 톤 이상의 무게를 가진 단일 블랭크를 생산하며, 밀도, 조성 균일성 및 미세 구조 일관성 측면에서 이론적 한계를 달성합니다. 이후 깊은 블라인드 홀은 고강성 건 드릴, 다축 호닝, 초음파 보조 전해 복합 가공을 사용하여 가공하여 단일 패스로 매우 높은 깊이 대 직경 비율의 공동을 관통합니다. 외부 윤곽, 리프팅 러그, 미로형 계단, 관찰 창 프레임, 선량 모니터링 홀을 위한 사전 매립 나사산은 모두 5 축 이상의 고정밀 CNC 와이어 방전 가공 및 경면 연삭을 사용하여 완성됩니다. 최종 제품은 거시적으로 개폐 가능한 커버 접합 표면이 하나만 유지되며, 나머지 영역에는 계면, 열 영향부 및 잔류 응력 집중원이 전혀 없습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이러한 철저한 통합 설계는 여러 가지 중요한 엔지니어링 이점을 제공합니다.

- 차폐 연속성이 물리적 한계에 도달하면 광선은 저밀도 채널이나 인터페이스 산란 강화 영역을 찾을 수 없습니다.
- 구조적 강성과 충격 저항성이 크게 향상되었으며, 극한의 낙하 또는 지진 하중 하에서도 용접 균열이나 계면 분리가 발생하지 않습니다.
- 장기 조사 하에서 기하학적 충실도가 최적이며, 각 부위의 팽창계수 차이로 인한 뒤틀림이나 밀봉 불량이 발생하지 않습니다.
- 이 제품은 먼지와 때가 끼는 사각지대, 틈새, 미세한 계단이 없어 표면 세척 성능이 가장 뛰어나며, 폐기할 때까지 거울과 같은 마감을 유지할 수 있습니다.

통합 텅스텐 합금 차폐 용기는 주로 신뢰성 요구 사항이 가장 높고 무게와 부피 제한이 비교적 느슨한 시나리오에서 사용됩니다. 대형 동위원소 생산 고온 챔버용 코어 용기, 연구용 원자로의 조사 채널용 영구 삽입 용기, 위성 동위원소 열원용 통합 보호 용기, 국가 전략 폐기물 용기 등이 여기에 해당합니다.

3.3.8 모듈형 텅스텐 합금 차폐 캔

모듈형 텅스텐 합금 차폐 용기는 통합 철학을 완전히 뒤집어, 고도로 모듈화되고 확장 가능하며 현장에서 조립 및 업그레이드 가능한 시스템 접근 방식을 채택합니다. 이 용기는 복잡한 차폐 작업을 일련의 표준 또는 준표준 기능 모듈(본체 섹션, 상부 밀봉 어셈블리, 하부 지지 어셈블리, 중성자 흡수체, 콜리메이션 윈도우 어셈블리, 모니터링 인터페이스 어셈블리, 표면 보호 셀 등)로 분해하여 고정밀 플랜지, 클램프, 킥라킹 핀 또는 진공 브레이징 접합부를 통해 안정적인 연결을 구현합니다. 이를 통해 방사선원 매개변수 변경, 공간 제약 또는 규정 업그레이드 에 따라 현장에서 최종 구성을 유연하게 조정할 수 있습니다.

모듈형 설계의 핵심은 인터페이스의 표준화 및 상호 호환성에 있습니다. 모든 원통형 섹션은 완전히 균일한 외경, 내경, 벽 두께 구매, 미로 패턴 및 밀봉 표면 거칠기를 가지므로 두 섹션 간의 원활한 연결이 가능합니다. 기능적 플러그인은 서랍형 또는 방사형 삽입 구조를 채택하여 열 교환 영역 외부에서 생산을 중단하지 않고 중성자 흡수층의 추가 또는 제거, 콜리메이션 창 교체 및 모니터링 프로브 업그레이드가 가능합니다. 외부 보호 셀과 충격 흡수 트레이도 모듈형이어서 도로, 철도, 해상 또는 항공 운송 요구 사항에 따라 신속하게 전환할 수 있습니다. 연결 지점은 일반적으로 이중 O-링 + 금속 벨로우즈 + 헬륨 질량 분석기 누출 감지 포트의 3중 안전 시스템을 채택하여 조립 후 전체 누출률이 통합 탱크의 누출률과 완전히 동일하도록 보장합니다.

이 모듈형 아키텍처는 전례 없는 엔지니어링 유연성과 수명 주기 경제성을 제공합니다.

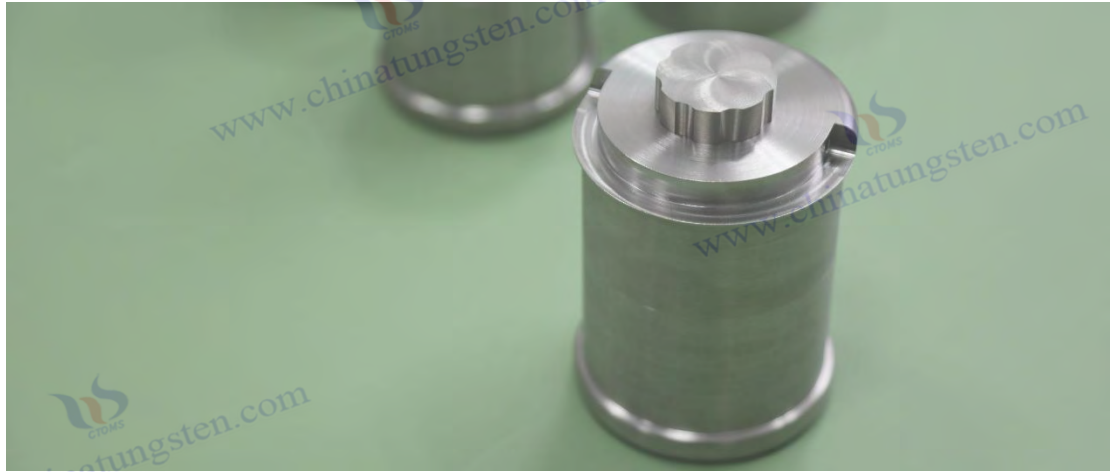
- 초기 투자는 단계적으로 시행할 수 있으며, 코어 차폐 실린더 섹션부터 시작하여 생산 용량이 증가함에 따라 점진적으로 기능 모듈을 추가할 수 있습니다.
- 소스 항목을 업그레이드하는 경우 일부 플러그인만 교체하면 되며, 전체 항목을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

폐기하고 다시 빌드할 필요가 없습니다.

- 유지보수 및 오염 제거는 모듈 수준에서 수행할 수 있으며, 오염된 부품은 별도로 제거하여 외부 열처리를 통해 인력의 방사선 노출과 2 차 폐기물의 양을 크게 줄일 수 있습니다.
- 해체 후에는 텅스텐 합금 본체, 기능적 구성 요소, 썰이 모두 다른 재사용 채널로 들어가 층별로 분해 및 재활용이 가능하여 진정한 녹색 폐쇄 루프를 구현합니다.

모듈형 텅스텐 합금 차폐 용기는 세계에서 가장 분주한 동위원소 생산 기지, 가장 붐비는 도시 핵의학 센터, 그리고 빈번한 업그레이드와 확장이 필요한 산업용 방사선 조사 시설에서 가장 널리 사용됩니다. 표준화된 모듈을 기반으로 현장 조립을 통해 단일 제품이었던 텅스텐 합금 차폐 시스템을 지속적으로 확장하고 발전할 수 있는 개방형 플랫폼으로 업그레이드하여, 신속한 반복 및 다중 시나리오 적응을 요구하는 현대 방사선 방호 엔지니어링의 기본적인 요구 사항을 완벽하게 충족합니다.



CTIA GROUP LTD 텅스텐 합금 차폐 캔

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

제 4 장 텅스텐 합금 차폐 캔 제조 공정

4.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 원료 구성 및 요구 사항

텅스텐 합금 차폐 캔은 일반적인 구조 부품이나 방사선 방호 재료의 성능을 훨씬 능가합니다. 이는 본질적으로 텅스텐 분말, 니켈 분말, 철 분말, 구리 분말, 그리고 미량 기능성 첨가제의 극한 정제, 정밀한 입자 크기 제어, 일관된 활성화, 그리고 배치별 안정화를 포함하는 체계적인 엔지니어링 프로젝트입니다. 분말 1g 이 제약 등급에 가까운 품질에 도달해야만, 수십 년간의 대량 방사선 조사, 반복적인 강한 부식 및 오염 제거, 그리고 예상치 못한 극한의 작동 조건에서도 최종 제품이 결함, 감소, 오염 없이 유지될 수 있습니다.

원료 시스템은 주로 고순도 텅스텐 분말, 바인더상 금속 분말(니켈, 철, 구리), 중성자 흡수 기능성 분말(붕소화물, 카드뮴 화합물, 희토류 산화물 등), 그리고 공정 보조 분말(성형제, 탈지제, 소결 활성화제)로 구성됩니다. 모든 분말은 광석 채굴, 파라텅스텐산 암모늄 결정화, 텅스텐/청색 텅스텐 환원부터 텅스텐 분말의 최종 수소 환원까지 완벽하게 추적 가능한 시스템을 거쳐야 하며, 각 단계는 고유한 배치 코드와 완전한 물리화학적 시험 기록을 보유하고 있습니다. 배치 간의 미세한 차이조차도 텅스텐 입자 크기 분포, 산소 함량, 불순물 프로파일 또는 환원 활성화에 허용할 수 없는 차이를 초래할 수 있으며, 궁극적으로 차폐 캔의 가장 얇거나 깊은 부분에 약한 밀도 영역 또는 활성화 핫스팟이 형성될 수 있습니다.

4.1.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 주요 원료 비율

텅스텐 합금 차폐 캔은 이미 오래전부터 전통적인 "경험 기반 비율" 단계를 넘어, 소스 스펙트럼, 서비스 환경, 규제 요건 및 수명주기비용을 기반으로 하는 정밀한 다목적 최적화 시스템으로 발전해 왔습니다. 비율 설계의 핵심은 텅스텐 분말을 절대적인 주성분으로 사용하고, 바인더 상과 기능성 첨가제를 정밀하게 제어 가능한 "기능 유전자"로 사용하는 것입니다. 구성, 미세 구조, 성능 및 적용 시나리오의 페루프 매핑을 통해 각 유형의 차폐 캔에 대한 최적의 솔루션을 도출합니다.

텅스텐 분말은 조성을 일관되게 지배하며, 최대 거시적 밀도, 원자 번호 밀도, 그리고 광전 흡수 단면적을 확보하기 위해 의도적으로 질량 분율을 극도로 높게 설정했습니다. 동시에 후속 2 차 변형을 위한 충분한 텅스텐-텅스텐 직접 접촉 구조를 제공합니다. 바인더 상 시스템은 최종 용도에 따라 세 가지 주요 기술 경로로 나뉩니다.

- 니켈-철 시스템은 뛰어난 동적 기계적 특성과 중성자 감속 성능으로 인해 원자력 산업의 고온 챔버 탱크 및 고강도 수송 탱크에 가장 많이 선택되는 소재입니다. 니켈-철 비율을 미세 조정함으로써 강도, 인성, 그리고 중성자 포집 성능의 정확한 균형을 달성할 수 있습니다.
- 니켈-구리 시스템은 완벽한 비자성, 높은 내식성, 그리고 탁월한 냉간 및 열간 가공성으로 인해 핵의학 및 폐액 저장 탱크에 적합한 유일한 선택입니다. 구리

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

함량의 미세한 변화는 표면 부동태막의 두께와 공식 발생 가능성을 직접적으로 결정합니다.

- 니켈-철-구리 3 원 시스템은 고급형 질층안으로 강도, 비자성, 내식성이 결합되었으며 가장 엄격한 종합적 성능 요구 사항을 갖춘 B 형 운송 컨테이너에 사용됩니다.

중성자 흡수 기능 원소는 결합제상 용융 및 침투 단계 또는 분말 혼합 단계에서 화합물 형태로 정밀하게 첨가됩니다. 붕소는 탄화붕소 또는 질화붕소 형태로 분산되고, 희토류 원소는 산화물 또는 금속 분말 형태로 분산되며, 카드뮴 또는 가돌리늄은 사전 합금화된 분말 형태로 도입됩니다. 이를 통해 텅스텐 골격의 연속성을 손상시키지 않으면서 열중성자 흡수 단면적을 최적 수준으로 향상시키고, 포집된 감마선의 2 차 복사 에너지를 엄격하게 제어합니다.

공정 활성화제와 성형제의 선택 또한 중요합니다. 미량의 팔라듐, 백금족 원소 또는 희토류 산화물을 소결 활성화제로 사용하여 텅스텐 순도를 저하시키지 않고 액상 표면 온도를 낮출 수 있으며, 이를 통해 텅스텐 입자가 결합제 상에 완전히 젖도록 할 수 있습니다. 성형제는 탈지 단계에서 완전히 휘발되어 잔류 탄소나 재를 남기지 않는 의료용 폴리머여야 하며, 소결 후 기공과 탄소 오염이 전혀 발생하지 않도록 해야 합니다.

최종 제형은 실험실에서 소량 배치로 검증된 후, 파일럿 규모 증폭, 배치 안정성 평가, 조사 노화 시험, 제염 및 부식 시험, 그리고 실제 탱크 방사선 교정을 포함한 전체 공정 확인 절차를 거쳐야 합니다. 모든 성능 지표가 동시에 설계 목표를 충족하고 배치 간 편차가 최소 허용 오차 미만일 때에만 제형은 회사 내부 표준에 공식적으로 반영되고 각 차폐 탱크의 재료 인증서에 기재됩니다.

4.1.2 텅스텐 합금 차폐 탱크용 원료의 순도 및 입자 크기 요구 사항

텅스텐 합금 차폐 용기는 텅스텐 재료 과학 분야에서 극한 수준에 도달했습니다. 그 근본적인 논리는 미량 의 유해 불순물이나 입자 크기 분산이 고선량 조사 시 장수명 활성 핵종으로 변하고, 강한 부식 및 제염 시 공식 부식의 시작점이 되며, 깊은 블라인드 홀의 가장 얇은 부분에 밀도가 낮은 영역을 형성하여 전체 용기의 장기 신뢰성을 완전히 파괴할 수 있다는 것입니다.

텅스텐 분말의 순도는 총 불순물 함량이 극히 낮고 개별 유해 원소 (몰리브덴, 니오븀, 탄탈륨, 티타늄, 인, 황, 산소, 탄소, 수소, 질소, 칼륨, 나트륨 등)의 함량이 엄격하게 관리되는 "초약품 등급" 수준을 달성해야 합니다. 산소 함량은 소결 과정에서 잔류 산소가 텅스텐과 반응하여 휘발성 산화물을 형성하고 마이크론 크기의 기공을 생성하기 때문에 가장 큰 위험 요소로 간주됩니다. 탄소 함량은 정밀하게 균형을 이루어야 합니다. 함량이 너무 높으면 텅스텐 카바이드가 부서지기 쉽고, 함량이 너무 낮으면 비정상적인 입자 성장을 억제하는 능력이 상실됩니다. 모든 불순물 검출은 배치 간 일관성을 보장하기 위해 글로우 방전 질량 분석법, 불활성 가스 용융 적외선-열 전도도, 유도 결합 플라즈마 질량 분석법을 사용한 3중 검증을 사용합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

입자 크기 분포는 매우 좁은 단봉 정상 범위 내에서 제어됩니다. 지나치게 미세한 분말은 불균일한 소결 수축을 유발하지 않으며, 거친 분말은 텅스텐-텅스텐 프레임워크에 국부적인 균열을 유발하지 않습니다. Fisher 입자 크기, 레이저 회절 입자 크기 및 주사 전자 현미경 통계는 완벽하게 일치해야 하며, 편차가 발생할 경우 전체 배치가 폐기됩니다. 바인더 상 니켈, 철 및 구리 분말의 순도 요건도 마찬가지로 엄격합니다. 니켈 분말은 코발트, 황 및 인과 같은 자성 및 부식 유도 원소가 없어야 하며, 철 분말은 매우 낮은 수준의 실리콘, 망간 및 산소가 필요하고, 구리 분말은 비소, 비스무트 및 텔루륨과 같은 저융점 불순물이 전혀 없어야 합니다. 모든 분말은 공장에 들어가기 전에 진공 탈기, 2차 수소 환원 및 플라즈마 구형화를 거쳐 일관된 표면 활성, 흡착 가스 없음 및 응집 없음을 보장합니다.

4.1.3 텅스텐 합금 차폐 탱크의 보조 재료에 대한 선택 기준 및 요구 사항

탱크 제조 시스템에서 보조재는 최종 구성에는 포함되지 않지만, 성형, 탈지, 소결, 후가공의 각 단계에서 중요한 역할을 합니다. 보조재는 "공정에 필수적이어야 하고, 사용 중 완전히 소멸되어야 하며, 소멸 후 잔류물이 없어야 하며, 유해한 잔류물이 없어야 한다"는 엄격한 네 가지 원칙을 충족해야 합니다.

선호하는 성형제는 의료용 폴리에틸렌 글리콜-폴리비닐알코올 공중합체 또는 고급 파라핀 기반 복합 시스템입니다. 저온 사출 성형 또는 냉간 등압 성형 시 우수한 유동성과 형태 유지성을 제공해야 하며, 후속 탈지 단계에서 소결 온도보다 훨씬 낮은 온도에서 완전히 열분해 및 휘발되어 잔류 탄소 및 회분 함량이 거의 0에 가까워야 합니다. 잔류 유기물은 고온 수소 소결 시 텅스텐과 반응하여 취성 텅스텐 카바이드 상을 형성하거나, 진공 소결 시 휘발되어 노를 오염시켜 배치 간 교차 오염을 유발할 수 있습니다.

탈지 촉매와 소결 분위기 정화 장치는 일반적으로 고순도 질산 또는 과산화수소 미량 도핑 시스템으로, 성형제의 분해를 촉진하고 잔류 산소와 탄소를 포집하는 데 사용됩니다. 탈지 단계가 끝나면 이러한 물질들을 완전히 제거해야 하며, 노 내 잔류 산소 분압과 탄소 분압을 계측기 검출 한계에 도달할 때까지 실시간으로 모니터링해야 합니다.

소결 지지재와 블랭크용 이형제는 초고순도 알루미늄, 이트륨 산화물 또는 질화붕소로 코팅되어 있어 최고 소결 온도에서 텅스텐 합금과의 반응, 접착, 원소 확산이 전혀 발생하지 않습니다. 지지재의 벗겨짐이나 이형제 잔여물은 블랭크 표면에 얇은 구멍을 형성하여 향후 세척 시 사각지대가 되거나 공식 부식의 시작점이 될 수 있습니다.

표면 처리 보조재(무전해 니켈 도금액, 세척 및 코팅 수지, 이온 질화 가스, 다이아몬드 유사 탄소 전구체) 또한 제약 등급 순도 기준을 준수합니다. 도금액에는 시안화물 및 중금속 안정제가 함유되어서는 안 되며, 코팅 수지에는 벤젠계 용매와 포름알데히드가 함유되어서는 안 됩니다. 또한, 질화 가스의 순도, 수분 및 산소 함량은 매우 낮은 수준으로 관리되어야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

생산 전 전체 공정 시뮬레이션 검증 : 실제 텅스텐 합금 블랭크를 사용하여 실제 공정 매개변수에 따라 성형-탈지-소결-표면 처리의 전체 사이클을 완료한 후, 완제품에 대해 잔류 글로우 방전 질량 분석(GDMS) 심층 분석 및 방사선 활성화 분석을 수행합니다. 공정 과정에서 불순물이 유입되지 않았음을 확인한 후에야 일괄 생산을 승인할 수 있습니다.

4.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 제조 공정

텅스텐 합금 차폐 캔은 고도로 밀폐되고, 완벽하게 추적 가능하며, 오염이 전혀 없는 이송 전용 생산 라인을 구축했습니다. 핵심 컨셉은 분말 1g의 잠재력을 최종 캔 본체의 가장 깊고 얇은 부분의 진정한 성능으로 완벽하고 균일하게, 그리고 손상 없이 변환하여, 공정 변동으로 인한 국소적인 밀도 약화, 불균일한 구조 또는 잔류 결함을 제거하는 것입니다.

4.2.1 텅스텐 합금 차폐 탱크를 위한 기본 분말 야금 공정(분말 준비, 혼합, 압착)

분말화, 혼합, 압축의 세 가지 주요 단계는 전체 제조 체인의 "유전자 조작" 단계로 간주되며, 이로 인해 이후의 모든 고온 공정은 케이크에 장식을 더하는 것에 불과하며, 결코 필수적인 지원을 제공할 수 없습니다.

분말 제조 단계는 기존의 단일 수소 환원법에서 완전히 벗어나, 다단계 가변 온도, 가변 수소 이슬점, 가변 유량을 사용하는 "구배 정밀 환원 + 플라즈마 재구형화" 복합 공정을 채택했습니다. 텅스텐 분말은 먼저 저온, 저이슬점 영역에서 최외곽 산화층을 부드럽게 환원한 후, 점차 온도를 높여 더 깊은 환원 영역으로 진입합니다. 마지막으로, 고순도 아르곤 플라즈마 구형화 챔버에서 입자 구형화 및 최종 탈기 과정을 거쳐 매우 좁은 입도 분포, 완벽한 구형도, 매우 낮은 산소 및 탄소 함량, 그리고 매우 높은 겉보기 밀도를 가진 텅스텐 분말을 생산합니다. 니켈, 철, 구리 분말은 각각 카르보닐법과 분무-진공 탈기-수소 2차 환원법을 사용하여 생산되며, 이를 통해 내부 공극이나 표면 흡착층 없이 거의 구형의 입자를 유지합니다.

혼합은 텅스텐 합금 차폐 용기의 "충실한 균일성"을 결정하는 중요한 공정입니다. 업계를 선도하는 공장들은 일반적으로 이중 운동 유성-와류 복합 분말 혼합기 또는 초대용량 3차원 혼합기를 사용합니다. 혼합 용기의 내벽과 로터는 고순도 텅스텐 또는 이트륨 산화물로 완전히 코팅되어 외부 철 그룹 오염을 완전히 제거합니다. 혼합 공정은 건식 혼합, 습식 혼합, 진공 탈기, 그리고 2차 건식 혼합의 네 가지 하위 단계로 구성됩니다. 먼저, 고순도 아르곤의 보호 하에 텅스텐 분말과 바인더상 분말의 예비 공간 균질화를 수행합니다. 그런 다음, 의료용 무수 에탄올 또는 고순도 이소프로판올을 첨가하여 심층 와류 분산을 위한 현탁액을 형성합니다. 이어서, 용매를 진공 회전 하에 천천히 증발시킵니다. 마지막으로, 잔류 응집물을 제거하기 위해 건식 혼합을 다시 수행합니다. 전체 혼합 사이클은 수십 시간 동안 지속되며, 이 기간 동안 레이저 입자 크기 분석, SEM 및 화학 조성 크로마토그래피를 위한 실시간 샘플링을 수행하여 텅스텐 입자와 바인더 상 입자가 미크론 규모에서 통계적으로 완벽한 균일성을 달성하는지 확인합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

프레스 공정은 기존의 단방향 성형 방식에서 완전히 벗어나 냉간 등압 성형을 주로 사용하고, 사출 성형으로 보완하며, 열간 등압 성형으로 사전 성형하는 "3-in-1" 성형 시스템으로 전환됩니다. 소형 및 중형 캔 블랭크의 경우, 냉간 등압 성형의 습식 백 방식을 사용하여 압력이 블랭크의 가장 깊은 부분까지 고르게 전달되도록 하여 표면에서 중심부까지 일관된 밀도를 보장합니다. 초대형 또는 복잡하고 불규칙한 형상의 블랭크의 경우, 저온 사출 성형을 통해 고정밀 블랭크를 먼저 얻은 후, 전체 블랭크를 유연한 슬리브에 싸서 냉간 등압 성형으로 틸새를 메웁니다. 매우 높은 밀도가 요구되는 일체형 캔 블랭크의 경우, 냉간 등압 성형 직후 열간 등압 성형을 수행하여 소결로에 들어가기 전에 블랭크가 이론 밀도에 가까워지도록 합니다. 모든 프레스 공정은 100,000 등급 이상의 청정실에서 완료되며, 작업자는 완벽한 장비를 갖추고 빈 표면은 지문, 땀, 먼지 오염을 방지하기 위해 특수 보호 필름으로 덮여 있습니다.

이 세 가지 기본 공정을 최종적으로 개선하여 텅스텐 합금 차폐 탱크의 재료적 기초를 마련하고, "밀도의 약점 없음, 구조의 차이 없음, 성능의 변동 없음"을 보장하며, 이후의 고온 소결 및 정밀 가공을 위한 가장 완벽한 시작점을 제공합니다.

4.2.2 텅스텐 합금 차폐 탱크의 주요 소결 공정 및 매개변수 제어

소결은 텅스텐 합금 차폐 탱크의 핵심적인 변형 단계로, "고밀도 블랭크"에서 "진정한 고성능 소재"로 전환됩니다. 또한 가장 높은 온도, 가장 긴 지속 시간, 가장 복잡한 변수가 존재하며 전체 공정 체인에서 최종 차폐 효과에 가장 큰 영향을 미치는 단계입니다. 소결 중 비가역적인 결함(과도한 국부 액상, 결합재 상 분리, 텅스텐 입자의 비정상적인 성장 또는 미세 균열 등)이 발생하면 탱크 전체가 폐기됩니다.

고급 텅스텐 합금 차폐 용기는 일반적으로 진공-수소 2 단계 소결 공정과 열간 등압 가압(HIP) 후처리를 결합한 3 단계 공정 경로를 사용합니다. 첫 번째 단계는 저온 고상 예비 소결로, 바인더 상이 고진공 상태에서 용융되기 전에 온도가 임계점까지 천천히 상승합니다. 이 공정은 잔류 성형제, 흡착된 가스 및 휘발성 불순물을 완전히 제거하는 동시에 텅스텐 입자 간의 초기 넥 연결을 완료하여 후속 액상 단계에서 모세관 재배열을 견딜 수 있는 충분한 강도를 형성합니다. 두 번째 단계는 액상 본 소결로, 용광로가 고순도 유동 수소로 전환됩니다. 정밀하게 제어된 온도 범위 내에서 바인더 상이 완전히 용융되어 텅스텐 골격을 완전히 적십니다. 액상의 모세관력은 텅스텐 입자의 빠른 재배열, 기공 구형화 및 수축, 그리고 최종 치밀화를 촉진합니다. 이 단계에서는 가열 속도, 유지 시간, 수소 이슬점, 그리고 노 압력 구배가 페루프 시스템을 통해 실시간으로 제어됩니다. 매개변수 편차가 발생하면 즉시 노 정지 보호 기능이 자동으로 작동합니다. 세 번째 단계는 최종 치밀화 및 미세 구조 균질화를 위한 열간 등압 가압입니다. 아르곤 가스 라이너에 균일한 고압을 가하여 잔류 폐쇄 기공을 완전히 평탄화하고 텅스텐 입자 경계를 따라 바인더 상이 균일하게 확산되도록 합니다. 궁극적으로 한계에 매우 가까운 이론 밀도를 달성하는 동시에 미세한 편석 띠를 제거합니다.

전체 로 챔버는 텅스텐-몰리브덴 복합 발열체와 다층 텅스텐-몰리브덴 복사 스크린을 사용합니다. 빌릿은 초고순도 이트륨 산화물 도가니 또는 질화 봉소로 코팅된 텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

판에 놓입니다. 모든 지지재 및 절연재는 텅스텐 합금과 전혀 반응하지 않습니다. 로 내부의 온도장 균일성, 분위기 순도, 압력 안정성 및 가열/냉각 곡선은 모두 몇 초 이내에 수집 및 영구 보관되어 각 용기의 소결 공정을 완벽하게 추적할 수 있습니다. 로에서 나온 빌릿은 즉시 깨끗한 냉각 챔버로 들어가 아르곤 보호 하에서 서서히 냉각되어 수소 취성 및 열응력 균열을 방지합니다.

4.2.3 텅스텐 합금 차폐 탱크의 가공 공정

기계 가공은 텅스텐 합금 차폐 용기를 "고성능 블랭크"에서 "고정밀 기능성 용기"로 변환하는 최종 단계이며, 이전의 모든 기술적 성과에 대한 최종 승인 시험이기도 합니다. 흠집, 필렛 반경 부족, 또는 벽 두께의 1 마이크론 편차조차도 향후 방사선 누출의 온상이 되거나 미처리된 영역의 온상이 될 수 있습니다.

가공 체인은 황삭, 정삭, 초정삭, 경면 정삭의 4 단계로 진행됩니다. 황삭 단계에서는 특수 텅스텐 합금 인덱서블 절삭 공구와 초고압 내부 냉각 시스템을 갖춘 고강성, 고하중 CNC 밀링 및 터닝 센터를 사용하여 대부분의 초과 재료를 빠르게 제거하고 기준 표면을 설정합니다. 절삭 공구 재료는 초미립자 시멘트 카바이드 또는 입방정 질화붕소이며 절삭유는 의료용 합성 에스테르로 염소, 황 또는 인 오염이 없습니다. 정삭 단계에서는 초고정밀 5 축 이상 머시닝 센터로 전환하여 절삭 공구를 천연 다이아몬드 또는 다결정 다이아몬드로 업그레이드합니다. 절삭 깊이와 이송은 마이크로미터 수준으로 엄격하게 제한되어 탱크 외부 윤곽, 리프팅 리그, 미로형 계단형 표면 및 기능적 인터페이스를 위한 사전 매립 구멍의 고정밀 성형을 달성합니다. 초정밀 가공은 깊은 막힌 구멍과 내부 캐비티 가공에 특화되어 있으며, 건 드릴링 + 다단계 익스팬션 호닝 + 초음파 전해 연마의 "샌드위치" 공정을 사용합니다. 건 드릴링은 구멍 깊이와 직진도를 보장하고, 익스팬션 호닝은 균일한 벽 두께와 진원도를 달성하며, 초음파 전해 연마는 표면 미세 균열과 응력층을 제거하여 내부 표면 거칠기를 거울면 수준으로 향상시킵니다. 경면 마감 최종 가공은 탱크 개구부 밀봉면, 관측창 프레임, 밸브 장착면 등 노출된 모든 표면을 덮으며, 자기유변 연마, 이온 빔 연마 또는 플라즈마 보조 화학 연마를 사용하여 표면에 공구 자국, 가공으로 인한 열화층, 잔류 인장 응력이 없도록 합니다.

전체 가공 공정은 항온항습 Class 100,000 클린룸에서 수행됩니다. 철족 원소의 이동을 방지하기 위해 공작물과 절삭 공구 및 고정구 사이에 일회용 고순도 텅스텐 또는 지르코늄 산화물 절연 패드를 사용합니다. 중요한 치수는 좌표 측정기, 레이저 추적기, 온라인 광학 프로파일로미터를 사용하여 실시간으로 모니터링합니다. 최소 벽 두께와 홀 바닥 두께는 초음파 위상 배열 및 감마선 이미징을 통해 검증합니다. 최종 제품은 표면 기능성 코팅 공정으로 진행하기 전에 클린룸에서 헬륨 질량 분석법과 표면 청정도 형광 검출법을 이용한 전체 누출 검사를 거칩니다.

4.2.4 텅스텐 합금 차폐 탱크의 표면 처리 공정

표면 처리는 텅스텐 합금 차폐 탱크를 "고성능 금속 본체"에서 "친환경적이고 장수명 기능 시스템"으로 변환하는 최종 연금술적 공정입니다. 이 공정은 탱크에 매우 높은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

내식성, 매우 강한 굽힘 방지성, 매우 낮은 얼룩 제거제, 우수한 장식적 특성, 그리고 반복적인 접촉에도 전혀 무독성이며 무해한 안전성을 동시에 부여해야 합니다. 이러한 지표 중 하나라도 충족되지 않으면 탱크 전체를 10 년 이내에 조기에 폐기해야 할 것입니다.

고급 표면 처리 시스템은 "하층 강화 + 중층 보호 + 세척 용이 표면층"의 3 중 복합 구조를 형성합니다. 하층 강화는 이온 질화, 붕소화 또는 저온 플라즈마 침탄 공정을 사용하여 텅스텐 합금 표면에 수십에서 수백 마이크로미터 깊이의 고경도 질화물, 붕소화물 또는 고용체 강화 상을 형성하여 비커스 경도를 크게 향상시킵니다. 동시에, 표면에 양호한 압축 응력층이 형성되어 미세 균열의 발생 및 확산을 효과적으로 방지합니다. 중층 보호는 주로 무전해 니켈-인 합금 도금을 사용하며, 정밀하게 제어된 두께와 최적의 내식성 범위에 맞춰 최적화된 인 함량을 제공합니다. 도금은 기공과 편향이 전혀 없으며, 기관에 야금학적으로 접합됩니다. 이후 진공 또는 보호 분위기에서 저온 확산 열처리를 수행하여 니켈 도금층과 텅스텐 합금 기관 사이에 수십 마이크로미터 폭의 전이 확산 영역을 생성하여 도금 박리 위험을 완전히 제거합니다. 일부 핵의학 및 폐기물 탱크 응용 분야에서는 PVD CrN 이 사용됩니다. TiN 또는 DLC 다이아몬드 유사 탄소 코팅은 초고경도와 생물학적 불활성의 균형을 이루며 직접 선택됩니다. 쉽게 오염 제거되는 표면 코팅은 의료용 불소 중합체, 실란 변성 폴리우레탄 또는 나노 세라믹 복합 시스템을 사용합니다. 원자 수준의 접착력은 플라즈마 활성화 후 진공 증착 또는 초임계 CO₂ 분무를 통해 달성됩니다. 코팅은 매우 낮은 표면 에너지와 매우 높은 접촉각을 나타내므로 방사성 오염 물질은 매우 약한 반데르발스 힘으로만 흡착됩니다. 젖은 천으로 한 번 닦으면 코팅이 원래의 청결 상태로 복원됩니다. 코팅 자체는 방사선에 의한 황변, 강력한 산화 세제 및 고온 증기 노화에 강하며 수명은 텅스텐 합금 기관과 완벽하게 일치합니다.

모든 표면 처리 공정은 10 만 클래스 이상의 클린룸에서 자동화된 폐쇄 루프 생산 라인에서 완료됩니다. 모든 공정 폐가스 및 폐액은 폐쇄 루프 방식으로 재활용 및 처리되어 시안화물, 중금속 또는 휘발성 유기 화합물의 배출을 제거합니다. 각 탱크는 출고 전 수백 시간 동안 염수 분무-산 분무-자외선-조사 복합 노화 시험을 거치고, 실제 세제로 세척하여 검증합니다. 블리스터링, 광택 손실, 중량 증가, 잔류 오염이 없는 탱크만 배출됩니다.

4.3 텅스텐 합금 차폐 캔 제조 공정의 품질 관리 핵심 사항

텅스텐 합금 차폐 탱크는 "샘플링 검사 + 최종 검사"라는 기존의 수동적인 모델을 훨씬 뛰어넘어 전체 공정, 모든 요소, 모든 인력, 그리고 모든 기록을 포괄하는 폐쇄 루프 방식의 선제적 예방 및 제어 시스템으로 발전했습니다. 이 시스템의 핵심 개념은 모든 공정, 매개변수, 또는 작업자의 사소한 오류도 다음 공정으로 전달될 가능성이 전혀 없다는 것입니다. 10년 후 고온 챔버 사용자에게 책임을 떠넘기는 것은 더더욱 용납될 수 없습니다.

품질 관리는 원자재가 공장에 입고되는 순간부터 포괄적으로 시작됩니다. 텅스텐 분말,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

바인더 분말, 그리고 보조재의 각 배치는 글로우 방전 질량 분석법, 불활성 가스 용융법, 레이저 입도 분석법, 그리고 SEM-EDS 의 네 가지 독립적인 검사를 거칩니다. 검사 보고서는 실제 배치와 일대일로 대응하며 영구적으로 보관됩니다. 지표에서 벗어나는 부분이 있을 경우 전체 배치는 반송됩니다. 혼합, 가압, 소결, 가공, 표면 처리를 포함한 모든 주요 공정은 SPC 통계 공정 관리(SPC)의 적용을 받습니다. 온도, 압력, 시간, 회전 속도, 절삭 깊이 등 수백 가지 핵심 매개변수는 실시간으로 수집, 경보 및 잠금 처리됩니다. 소결로, 열간 등압 프레스 장비, 그리고 심공 가공 센터에는 모두 블랙박스 수준의 기록 장치가 장착되어 있어 이상 징후를 초 단위까지 정확하게 재현할 수 있습니다.

비파괴 검사는 전체 공정에 걸쳐 수행됩니다. 프레스된 빌릿은 산업용 CT 스캐닝을 사용하여 내부 균열 및 밀도 분포를 검사합니다. 소결 후, 빌릿은 초음파 위상 배열 및 감마선 이미징을 이용한 이중 검증을 거칩니다. 가공 후, 탱크의 전체 헬륨 질량 분석 누출 검출률은 진공 수준 기준을 충족해야 합니다. 표면 처리 후, 형광 침투 탐상 검사, X 선 잔류 응력 검사 및 접촉각 측정을 통해 각 항목을 확인합니다. 중요 치수(최소 벽 두께, 구멍 바닥 두께, 밀봉 표면 평탄도, 미로 간극)는 좌표 측정기, 레이저 추적기 및 온라인 광학 프로파일로미터를 사용하여 독립적으로 측정하며, 결과는 다음 공정으로 진행하기 전에 완전히 일치해야 합니다.

가장 엄격한 기준은 추적성과 책임성입니다. 텅스텐 분말의 첫 그램부터 최종 코팅까지, 각 차폐 탱크의 모든 공정 매개변수, 작업자, 시험 기록, 장비 번호, 그리고 환경 온도 및 습도는 고유 QR 코드와 블록체인 기반의 전자 아카이브에 기록됩니다. 모든 링크에서 발생하는 문제는 몇 초 이내에 담당자를 추적할 수 있습니다. 각 탱크는 출고 전 코발트-60 또는 세슘-137 의 최악의 방사선원을 시뮬레이션하는 실제 방사선원 조사 교정을 거쳐야 합니다. 외부 표면 선량률, 누설각 분포, 그리고 2 차 방사선 수준이 모두 실제 측정 기준을 통과한 후에야 "평생 책임 강철 스탬프"를 찍을 수 있습니다.

4.3.1 텅스텐 합금 차폐 탱크에 대한 수입 검사 표준 및 방법

텅스텐 합금 차폐 탱크는 전체 품질 관리 과정에서 가장 엄격한 첫 단계이자 가장 엄격한 기준이며, 가장 엄격한 기준이기도 합니다. 분말 배치에서 어떤 지표라도 기준을 초과하면, 해당 배치 전체는 협상의 여지 없이 광물 분말 단계로 반송됩니다.

수입 검사는 화학적 순도, 물리적 특성, 방사성 순도, 배치 일관성의 네 가지 주요 모듈로 나뉩니다. 모든 테스트는 독립적인 제 3 자 실험실과 회사 내부 실험실에서 동시에 수행됩니다. 화학적 순도 테스트는 전체 원소 스캐닝을 갖춘 글로우 방전 질량 분석법(GFMS), 산소, 탄소, 황 측정을 위한 불활성 가스 용융 적외선-열 전도도(IR-TIR), 금속 및 비금속 불순물 측정을 위한 ICP-MS 를 사용합니다. 텅스텐 분말의 총 불순물은 업계의 일반적인 상한선보다 상당히 낮아야 하며, 몰리브덴, 니오븀, 탄탈륨, 티타늄, 칼륨, 나트륨, 인, 황과 같은 주요 유해 원소의 개별 함량은 매우 낮은 수준으로 관리되어야 합니다. 니켈, 철, 구리 분말은 동일한 기준이 적용되며, 내식성 및 활성화 제품에 치명적인 영향을 미치는 코발트, 비소, 비스무트, 텔루륨 과 같은 원소 는 엄격히

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

금지됩니다. 물리적 특성 시험에는 Fisher 입자 크기 분포, 레이저 회절 입자 크기 분포, Scott 느슨한 충전 밀도, 탭 밀도, SEM 형태 및 BET 비표면적이 포함됩니다. 텅스텐 분말과 바인더상 분말은 모두 거의 구형이어야 하며, 매우 좁은 입자 크기 분포를 가져야 하며, 위성 분말, 응집체 및 내부 공극이 없어야 합니다. 방사능 순도는 토륨, 우라늄, 플루토늄, 아메리슘 및 코발트-60 과 같은 천연 및 인공 방사성 핵종의 배경 수준을 확인하기 위해 전체 스펙트럼 스캐닝을 위한 고순도 게르마늄 감마 분광기를 사용하여 시험했습니다. 배치 일관성은 소량 시료 혼합, 압착, 소결, 밀도, 경도 및 금속 조직학에 대한 신속한 시험을 통해 검증하여 새로운 배치의 분말이 미세 구조 및 특성 측면에서 검증된 기준 배치와 완전히 동일함을 확인했습니다.

모든 원시 스펙트럼, 원시 데이터, 기기 교정 기록 및 물리적 샘플은 영구적으로 보관되어 회사의 블록체인 품질 시스템에 업로드되어야 합니다.

4.3.2 텅스텐 합금 차폐 탱크 중간 공정의 품질 검사 노드

중간 공정 품질 검사 노드는 여러 단계의 체크포인트와 잠금 메커니즘을 갖춘 전체 공정 차단 네트워크로 설계되었습니다. 어떤 공정이든 실패하면, 하위 공정은 즉시 물리적으로 분리되고, 블랭크는 다음 공정으로 진입하지 않습니다.

주요 노드는 다음과 같습니다.

- 혼합 후, 여러 샘플을 채취하여 레이저 입자 크기 재측정과 SEM-EDS 조성 크로마토그래피를 실시하여 텅스텐-바인더 상의 미세한 균일성을 확인했습니다.
- 프레스된 빌릿을 탈형한 후, 산업용 CT 3 차원 밀도 스캐닝과 초음파 전체 결합 검사를 수행합니다. 밀도가 기준치 미만이거나 내부 균열이 있는 부분은 즉시 폐기합니다 .
- 소결 후, 블랭크는 먼저 헬륨 질량 분석기를 통해 전체 누출을 감지하여 관통공이 없는지 확인합니다. 그런 다음, 감마선 투과 밀도 이미징과 초음파 위상 배열 차별 스캐닝을 수행하여 코어와 표면의 밀도가 일정하고 폐쇄 기공이나 편석대가 없는지 확인합니다.
- 거친 가공 후, 첫 번째 초음파 두께 측정과 좌표 측정기 치수 조사를 수행하여 영구적인 벤치마크를 설정합니다.
- 깊은 블라인드 홀 가공 후, 내시경과 레이저 윤곽 스캐너를 사용하여 홀의 바닥 반경과 표면 품질을 확인합니다. 동시에 두 번째 초음파 두께 측정을 통해 최소 벽 두께를 확인합니다.
- 각 표면 처리 하위 층이 완료된 후, 접착 교차 절단 시험, 두께 와전류 측정, 염수 분무 사전 부식 및 접촉각 측정을 수행하여 각 층이 독립적으로 적격인지 확인합니다.

각 노드에는 A와 B라는 두 개의 독립적인 검사 스테이션이 설치되어 있습니다. 데이터는 실시간으로 중앙 품질 서버에 업로드됩니다. 두 스테이션의 결과가 일치하고 시스템이 자동으로 테스트 통과를 판단할 때만 전자 잠금 장치가 다음 작업 공간으로 향하는 문을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

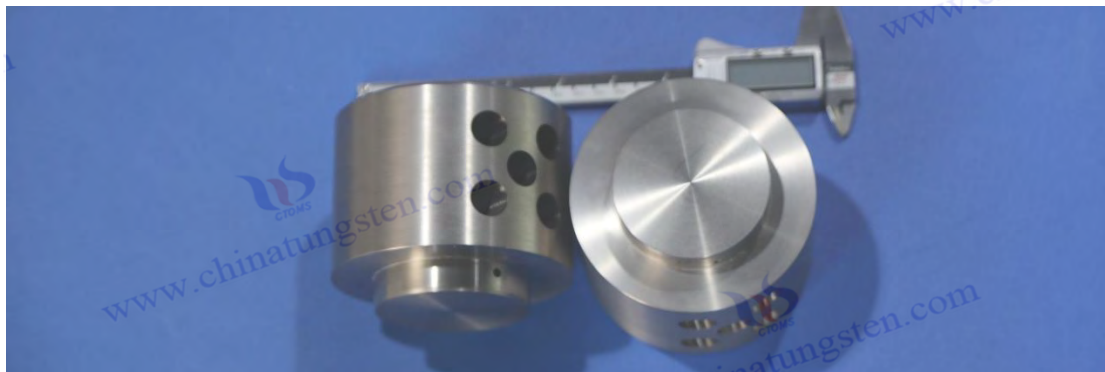
업니다.

4.3.3 완제품 텅스텐 합금 차폐 캔 출하 전 전체 검사 프로세스

공장 출고 전 완제품에 대한 최종 검사는 텅스텐 합금 차폐 캔의 "출생 증명서"에 대한 최종 도장을 찍는 의식이자, 전체 제조 공정에 대한 가장 가혹한 최종 판단입니다. 이 과정을 통과한 캔만이 특수 충격 방지 운송 상자에 포장되고 평생 책임 스탬프가 부착되어 가장 까다로운 핵의학 센터나 가장 엄격한 폐기물 저장 시설로 배송될 자격을 얻습니다.

이 프로세스는 기하학적 및 기계적 특성, 차폐 성능, 밀봉 및 격리 성능, 표면 및 환경 성능, 규정 및 라벨링의 5 가지 주요 섹션으로 나뉩니다. 이 모든 것은 독립적인 청정 테스트 룸과 코발트-60/세슘-137 소스 교정 룸에서 완료됩니다. 기하학적 및 기계적 성능 섹션에는 실물 크기 좌표 측정기(CMM) 스캐닝, 최소 벽 두께 초음파 어레이 두께 측정, 밀봉 표면 평탄도 및 거칠기의 광학 프로파일로미터 측정, 리프팅 러그 및 클램프의 정적 하중 인장 테스트가 포함됩니다. 차폐 성능 섹션은 표준 코발트-60 또는 세슘-137 소스를 사용하여 외부 표면 선량률의 파노라마 스캐닝, 누설 각도 분포 측정, 다양한 소스-캐니스터 거리에서의 2 차 방사선 스펙트럼 분석을 수행하며, 모든 지점의 선량률이 규제 한도보다 훨씬 낮고 방향성 핫스팟이 없어야 합니다. 밀봉 및 격납 성능 부문에서는 진공-가압-헬륨 질량 분석법을 이용한 단계별 누출 감지, 뚜껑 개폐 10 만 회 후 재검사, 그리고 9미터 낙하 및 화재 시뮬레이션 후 무결성 검사를 수행합니다. 표면 및 환경 성능 부문에서는 염수 분무-산 분무-자외선 조사 복합 노화, 실제 세제를 사용한 반복 세척 시험, 그리고 표면 오염 세척성 검증을 포함합니다. 규정 및 라벨링 부문에서는 REACH, RoHS, 운송 용기 형식 승인 인증서, 레이저 에칭 고유 식별 코드, QR 코드 추적 시스템을 검증합니다.

모든 테스트는 자격을 갖춘 제 3 자 기관과 회사 내부 직원이 공동으로 수행하며, 원본 보고서, 테스트 영상, 그리고 원재료 기록은 모두 밀봉하여 보관합니다. 마지막으로, 수석 엔지니어, 품질 책임자, 그리고 공인 제 3 자 서명자는 "텅스텐 합금 차폐 캔에 대한 출생 증명서 및 평생 품질 보증서"를 공동으로 발행하고, 모든 데이터는 캔 내부에 내장된 내방사선 RFID 칩에 기록됩니다.



CTIA GROUP LTD 텅스텐 합금 차폐 캔

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

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

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

100,000+ customers

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

Service commitment

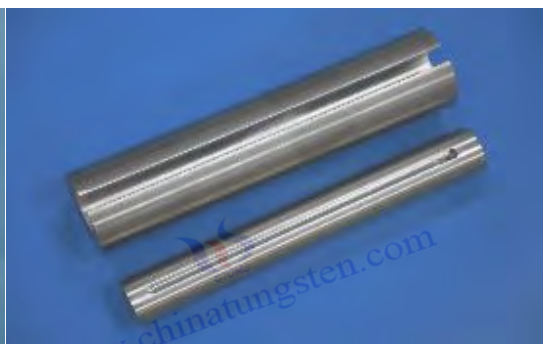
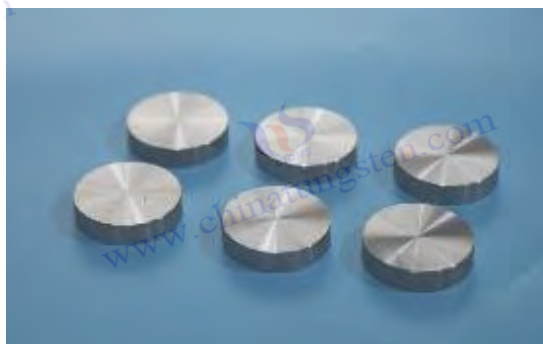
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

제 5장 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용 분야

5.1 핵 산업에서의 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용

텅스텐 합금 차폐 용기는 원자력 산업에 사용후핵연료 중간 저장, 방사성 폐기물 처리, 동위원소 생산, 시설 해체 등 모든 핵심 분야에 적용되어 왔습니다. 높은 체적 차폐 효율, 우수한 기계적 특성, 강력한 화학적 불활성, 그리고 완벽한 재활용성을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 기존의 납강 복합 용기와 철근 콘크리트 차폐 구조물을 점진적으로 대체하여 폐기물 최소화, 인체 피폭 최적화, 그리고 친환경적인 최종 처분을 위한 핵심 기술로 자리매김하고 있습니다.

5.1.1 사용후핵연료 저장 및 이송 텅스텐 합금 차폐탱크

높은 중성자속과 사용후핵연료 집합체가 원자로에서 제거된 후 발생하는 상당한 붕괴열로 인해 저장 및 이송 용기는 제한된 무게와 공간 제약 내에서 매우 높은 차폐 성능과 장기 격납 신뢰성을 제공해야 합니다. 납보다 훨씬 높은 밀도와 콘크리트보다 훨씬 우수한 체적 효율을 가진 텅스텐 합금 차폐 용기는 수조 저장 탱크, 건식 저장 실린더, 그리고 발전소 간/부지 간 이송 용기에 적합한 솔루션으로 자리 잡았습니다.

물 저장용 텅스텐 합금 탱크는 고텅스텐 함량의 텅스텐-니켈-철 시스템을 사용하며, 붕소화물 또는 수소 함유 복합 중성자 흡수층과 결합하여 감마-중성자 복합 차폐를 구현합니다. 탱크 외부 표면에는 내염화물 코팅이 적용되어 봉산수 환경에서도 공식이나 수소 취성 없이 장기간 사용할 수 있습니다. 건식 저장 수직 원통은 헬륨 충전재, 내부 열전도성 구리 부싱, 그리고 다중 온도-투과량 모니터링 시스템을 통합한 거의 그물 모양의 텅스텐 합금으로 주로 제작되어 무수 및 유지보수가 필요 없는 조건에서 수십 년 동안 안전하게 보관할 수 있도록 합니다. 운송 컨테이너는 IAEA SSR-6 및 TS-R-1 표준을 엄격히 준수하며, 이중층 텅스텐 합금 셸 + 충격 흡수 및 열전도성 내부 라이닝 + 내화성 외부 셸 구조를 사용합니다. 이 제품은 9m 높이에서 낙하, 800 도 섭씨의 30 분간의 화염, 침수 시험을 거쳤으며, 가장 까다로운 운송 사고 상황에서도 완벽한 격리 및 차폐 효과를 유지할 수 있는 능력을 입증했습니다.

5.1.2 방사성 폐기물 처리를 위한 텅스텐 합금 차폐 용기

방사성 폐기물 처리 공정에는 분류, 압축, 고형화, 포장, 임시 저장 등 여러 가지 오염이 심한 작업이 포함되므로, 차폐 용기는 고주파 개폐 기능, 심층 제염 기능, 모듈식 조립 기능, 그리고 영구 격납 기능을 갖추어야 합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 뛰어난 강도 대 인성비, 매우 낮은 표면 오염 부착 계수, 그리고 완전히 무독성이며 재활용 가능한 특성을 갖추고 있어 전체 폐기물 처리 공정에 사용되는 유일한 재료 시스템이 되었습니다.

고온 챔버 분류 및 용적 감소 공정에서, 대형 고정형 텅스텐 합금 차폐 용기에는 유압식 신속 개방 뚜껑, 교체 가능한 스테인리스 스틸 희생 라이너, 그리고 고압 워터젯 제염 시스템이 장착됩니다. 이러한 시스템은 저준위 및 중준위 방사성 고체 폐기물을 대량으로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

연속 처리하는 동안 용기 본체의 청결을 유지합니다. 고준위 방사성 폐기물 증발 및 유리화 단계에서는 고온 세라믹 또는 탄탈륨 복합층으로 라이닝된 텅스텐-니켈-구리 초내식성 용기가 사용됩니다. 이러한 용기는 농축 질산, 용융 유리, 그리고 강산화 세제의 복합 부식을 견뎌내 용기 자체가 2차 오염원이 되는 것을 방지합니다. 최종 포장 및 장기 보관 단계에서는 영구 밀봉된 텅스텐 합금 폐기물 용기 또는 다중 뚜껑 이중 텅스텐 합금 폐기물 용기가 사용됩니다. 이 장치는 유리화된 본체 또는 과도하게 압축된 폐기물 케이크를 고밀도, 비부식성, 비활성화성, 비제품성 텅스텐 합금 외피 내에 영구적으로 봉입합니다. 표면은 노화 방지 폴리우레아를 여러 겹 코팅하여 지질 처분 시설로 이송될 때까지 사람의 개입 없이 수백 년 동안 안전하게 보관할 수 있습니다.

텅스텐 합금 차폐 용기는 작업자의 누적 선량과 2 차 폐기물의 양을 크게 줄일 뿐만 아니라, 폐기물 포장의 최종 처리를 재료 수준에서 더욱 환경 친화적으로 수행합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 완전히 제련 및 재사용이 가능하기 때문에 해체된 용기를 유해 폐기물 처리 공정에 들어가지 않고 텅스텐 제련 체인으로 바로 반환할 수 있으며, 원자력 산업 수명 주기 전반에 걸쳐 폐기물 최소화를 위한 최고 수준의 기술 요건을 충족합니다.

5.1.3 핵지질 탐사 시료용 텅스텐 합금 차폐 용기

핵지질 탐사(우라늄 및 토륨 탐사, 방사성 광화대 매핑, 시추공 코어 샘플링, 현장 감마선 검층)는 복잡한 지질 및 기후 조건에서 천연 우라늄 계열, 토륨 계열, 칼륨-40 방사성 핵종을 포함하는 고반응성 코어, 광석, 토양 시료를 신속하고 안전하며 오염 없이 현장에 보관하고 운반해야 합니다. 기존의 납 용기와 비닐봉지 및 납판의 조합은 무게, 오염에 대한 취약성, 오염 제거의 어려움, 고온 다습 조건에서의 노화로 인한 파손 등의 이유로 현대 핵지질 탐사의 고정밀, 고효율 기술 요건에 더 이상 적합하지 않습니다. 가볍고 강도가 높으며 내후성이 뛰어나고 오염 제거 및 재활용이 완벽한 텅스텐 합금 차폐 용기는 핵지질 탐사 전용 시료 용기의 표준 구성이 되었습니다.

특수 탐사 시료 용기는 텅스텐-니켈-구리로 구성된 비자성 부식 방지 시스템을 사용합니다. 벽 두께는 코어 시료의 최대 예상 우라늄-토륨 함량과 칼륨-40 방사능을 기반으로 한 기울기를 사용하여 정밀하게 설계되었습니다. 일반적으로 외부 표면 선량률을 현장 배경보다 2~3 배 낮게 유지하면서도 용기의 전체 무게는 한 사람이 쉽게 조작할 수 있는 범위 내에서 유지됩니다. 구조는 주로 이중 불소 고무 씰이 있는 빠르게 열리는 나사식 캡을 특징으로 합니다. 캡과 용기 본체는 고정밀 원뿔형 자가 중심 맞춤 구조를 통해 단단한 금속 간 접촉과 유연한 부드러운 씰의 이중 안전망을 구현하여, 울퉁불퉁한 운반이나 잦은 개폐 후에도 분자 수준에서 누출이 전혀 발생하지 않습니다. 용기의 내벽은 전면 경면 연마 처리되었으며, 세척이 용이한 불소 코팅으로 코팅되어 있습니다. 외부 표면은 사막의 고온, 얼어붙은 토양의 저온, 산성비, 염분-알칼리 토양으로 인한 장기 침식을 견딜 수 있는 군용 녹색 또는 황갈색 폴리우레아 탄성 코팅을 사용했으며, 물집이나 가루가 생기지 않습니다.

일반적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 63~108mm 표준 코어 전용 텅스텐 합금 차폐 캐니스터를 시추공 코어링 튜브 끝에 직접 삽입하고 코어 와 함께 빼내어 "코어링 및 폐쇄"의 단일 단계 작업을 실현합니다 .
- 휴대용 토양 및 광물 시료 용기에는 선량률 디스플레이와 GPS 위치 지정 칩이 내장되어 있어 실시간으로 샘플링 지점과 방사선 수준을 기록할 수 있습니다.
- 차량 장착형 다중 튜브 결합 텅스텐 합금 차폐 상자는 수십 개의 암석 코어를 한 번에 담을 수 있으며 오프로드 차량에 안정적인 차폐와 충격 흡수를 유지합니다.

텅스텐 합금 차폐 용기는 핵지질 탐사 인력이 고배후 채광 지역에서 피부 오염, 에어로졸 확산, 시료 혼선 없이 깨끗한 시료 채취를 가능하게 하여, 시료 대표성과 측정 정확도를 크게 향상시키고 현장 작업자의 누적 방사선량을 크게 줄입니다. 또한, 완전 재활용이 가능하여 기존 납 용기 폐기로 인해 초원과 고비 사막에서 발생하는 장기적인 중금속 오염 문제를 완전히 해결합니다 .

5.1.4 원자로 보조장비용 텅스텐 합금 차폐용기

원자로의 1 차 루프 보조 시스템, 샘플링 시스템, 폐액 처리 시스템, 그리고 방사선 조사 모니터링 파이프라인에는 고효성, 부식성, 고온 및 고압의 방사성 매체가 널리 존재합니다. 따라서 관련 차폐 용기는 밀폐된 원자로 공동과 고방사선 환경에서 장기간 안정적인 격납, 정확한 샘플링, 그리고 유지보수가 필요 없는 운전을 달성해야 합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 매우 높은 밀도 대 강도비, 뛰어난 내식성, 그리고 고온 방사선 조사 안정성을 갖추고 있어 원자로 보조 장비에서 가장 중요한 차폐 및 격납 부품이 되었습니다.

일반적인 응용 분야에는 다음 네 가지 주요 범주가 포함됩니다.

1. 1 차 냉각수, 봉산 용액 및 배기가스를 샘플링하기 위한 텅스텐 합금 차폐 캐니스터입니다. 작동 압력은 15~20 MPa 에 달할 수 있으며, 온도 범위는 저온 정지부터 최대 출력 작동까지입니다. 캐니스터 본체는 고강도 텅스텐-니켈-철 합금으로 제작되었으며, 내부에는 탄탈륨 또는 지르코늄 합금 라이닝이 있습니다. 외부 표면에는 고온 산화 방지 코팅이 적용되어 수십 년 동안 원자로 공동의 매우 높은 중성자 플럭스 환경을 견뎌내면서도 팽창, 취성 또는 부식 천공이 발생하지 않습니다. 샘플링 파이프라인이 원자로 차폐벽을 관통하는 경우, 동축 중첩 텅스텐 합금 차폐 슬리브를 사용하여 샘플링 중 국부적인 차폐를 구현합니다.
2. 원자로 중성자속 감시관과 재료 조사 감시관을 포함한 조사 감시관과 시료 격납 용기 내부의 감시 시료는 전체 수명 기간 동안 고정된 위치에 완전히 격리되어야 합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 두꺼운 벽의 일체형 관 형태로 노심 계측 채널에 직접 내장됩니다. 내부 공동은 정밀 가공된 다중 구획 구조로, 다양한 재질의 감시 시료 수십 개를 동시에 담을 수 있습니다. 용기 본체는 저방사화 텅스텐-니켈-철 시스템을 채택하여 고방사화 중성자 조사 후 매우 낮은 수준의 장수명 방사화 생성물을 생성하여 감시 시료의 후속 감마선 스펙트럼 측정에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

영향을 미치지 않습니다.

3. 원자로 화학 및 용량 제어 시스템에서 생성되는 폐액 및 수지 저장 탱크에는 삼중수소, 코발트-60, 안티몬-125 를 함유한 고방사성 폐액 및 수지가 저장되어 있습니다. 이러한 폐액 및 수지는 원자로 캐비티 근처에서 단기 보관 및 붕괴가 필요합니다. 텅스텐 합금 차폐 탱크는 하스텔로이 라이닝 구조의 텅스텐-니켈-구리 초내식성 등급을 사용합니다. 이중 밸브 격리 및 압력 평형 시스템을 갖춘 이 탱크는 강산, 강알칼리, 고온 다습 환경에서도 수십 년 동안 공식이나 응력 부식 균열 없이 견딜 수 있습니다.
4. 국부 차폐 삽입물과 콜리메이터 스택 본체 수리 또는 대대적인 점검 시, 특정 방향의 선량률을 줄이기 위해 고방사선 영역에 임시 국부 차폐 부품을 삽입해 사용합니다. 탈착식 삽입물, 중첩형 실린더 또는 회전형 콜리메이터 형태의 텅스텐 합금은 납보다 더 효율적이고 가벼우며 고온에 강한 국부 차폐 솔루션을 제공하며, 절단 스파크와 용접 스파터에 강한 단단한 표면 코팅을 갖추고 있습니다.

원자로 보조 장비의 텅스텐 합금 차폐 용기는 원자로 공동과 보조 건물의 전체 차폐 두께와 무게를 크게 줄일 뿐만 아니라, 이 소재의 낮은 활성화도와 높은 안정성으로 인해 운영 중의 유지 보수 작업량과 정비 중에 방사선에 노출되는 인원 수를 크게 줄입니다.

5.2 의료 및 건강 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캐니스터의 적용

텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 핵의학 진단, 방사성 의약품 생산, 종양 방사선 치료, 중재적 방사선학의 모든 핵심 분야를 포괄하며 의료 및 보건 분야에서 널리 사용되어 왔습니다. 비자성, 고밀도, 생체 불활성, 손쉬운 오염 제거 표면, 그리고 완전히 무독성이며 재활용 가능한 특성을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 MRI 실 적합성, GMP 클린룸 요건, 의료 방사선 방호 규정, 그리고 병원의 장기적인 경제적 요구를 동시에 충족하는 유일한 차폐재 시스템입니다.

5.2.1 방사성 의약품의 보관 및 이송을 위한 텅스텐 합금 차폐 용기

방사성 의약품(플루오린-18 FDG, 테크네튬-99m, 요오드-131, 루테튬-177, 악티늄-225 등)은 짧은 반감기, 높은 방사능, 복잡한 화학적 형태, 그리고 빈번한 조제 및 운반의 필요성을 특징으로 합니다. 따라서 매우 작은 부피와 무게로 고효율 감마선 차폐를 달성하는 동시에 멸균실 적합성, 신속한 1 인 작업 능력, 그리고 엄격한 표면 오염 제거 성능을 갖춘 차폐 용기가 필요합니다. 텅스텐-니켈-구리 비자성 및 내식성 시스템을 기반으로 하는 텅스텐 합금 차폐 용기는 기존의 납 유리 및 납 용기를 완전히 대체하여 생산부터 주입까지 방사성 의약품 공급망 전체의 표준 용기로 자리매김했습니다.

대표적인 제품은 다음과 같습니다.

- 몰리브덴-99/테크네튬-99m 발생기 통합 차폐 용기는 경사 벽 두께 + 내장 납 유리 관찰 창 + 빠르게 열리는 나사 캡 구조를 채택하여 GMP 핫 챔버에서

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

발생기의 빠른 교체와 온라인 용출을 실현할 수 있습니다.

- FDG 조제 및 주사기 보호 슬리브는 납 슬리브의 1/3~1/2 에 불과한 무게로 동등한 차폐 효과를 제공합니다. 한 손가락 손잡이로 빠르게 열리는 캡과 일회용 멸균 라이너가 있어 간호사가 조제실이나 PET-CT 주사실에서 모든 작업을 한 손으로 수행할 수 있습니다.
- 요오드-131 및 루테튬-177 치료용량 운반 용기는 이중 뚜껑, 압력 밸런스 밸브, 내장된 복용량 표시 화면을 갖추고 있어 병동이나 중재 수술실로 직접 운반할 수 있습니다.
- 다공성 약물 운반 상자는 텅스텐 합금 일체형 외장과 내부에 여러 개의 독립형 소형 탱크가 내장되어 있습니다. 충격 흡수 폼과 온도 조절 모듈이 결합되어 병원이나 도시 간 안전한 운반을 가능하게 합니다.

전체 표면은 거울처럼 광택 처리된 유리와 의료용 불소 코팅으로 마감되어 있으며, 쉽게 제거 가능합니다. 10% 차아염소산나트륨, 70% 에탄올 또는 과산화수소 증기로 반복적으로 닦거나 훈증해도 광택이 유지되며, 오염 제거율은 99.99% 이상으로 일정하게 유지됩니다. 텅스텐 합금 차폐 용기를 사용하면 핵의학과 의료진의 손과 전신에 가해지는 방사선량을 크게 줄이는 동시에 약물 분배 효율과 무균 상태를 크게 향상시킬 수 있습니다.

5.2.2 방사선 치료원용 텅스텐 합금 차폐 용기

방사선 치료용 고방사능 밀봉 선원(코발트-60, 이리듐-192, 요오드-125 시드 선원, 스트론튬-90 애플리케이션, 루테튬-177 마이크로스피어 등)과 애프터로딩 치료기, 감마나이프, 사이버나이프의 선원실 및 콜리메이션 시스템은 매우 높은 차폐 효율을 제공하는 동시에 정밀한 방향 누설 제어, 장기적인 기하학적 안정성, 그리고 치료 병상에서 비자성 및 경량 특성을 갖춘 차폐 용기를 필요로 합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 앞서 언급한 장비의 필수적인 핵심 부품이 되었습니다.

일반적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

- 코발트-60 치료원과 후부하 치료원 탱크는 텅스텐 함량이 높은 텅스텐-니켈-철 시스템과 다층 중첩 콜리메이션 구조를 채택하여 치료 빔 방향의 높은 투과율을 유지하면서 비치료 방향의 선량률을 배경 레벨로 낮출 수 있습니다.
- 요오드-125 종자 이식을 위한 보관 및 운반 용기에는 투명한 납유리 관찰창과 자석 종자 배열판이 장착되어 있어 의사가 무균 상태에서 종자 충전을 직접 시각적으로 완료할 수 있습니다.
- 감마 나이프와 사이버나이프 텅스텐 합금 콜리메이터 시스템은 다양한 조리개를 가진 수백 개의 텅스텐 합금 콜리메이터가 매트릭스 형태로 배열된 구조로 구성됩니다. 조리개 정확도와 위치 정확도는 마이크로미터 단위로 제어되어 치료 초점에서의 선량 분포 오차가 1% 미만이 되도록 합니다.
- 스트론튬-90 안과 드레싱과 루테튬-177 마이크로스피어 치료 용기는 국소적 두꺼워짐 설계를 갖춘 초박형 텅스텐 합금 벽을 채택하여 치료 표면에 높은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

투여량을 보장하는 동시에 비치료 표면의 누출을 최소화합니다.

치료용 방사선원에 사용되는 모든 텅스텐 합금 차폐 용기는 국가의약품감독관리총국(NMPA)에서 실시하는 의료기기 등록 및 형식 시험을 통과해야 합니다. 용기 표면은 생체적합성 DLC 또는 TiN 으로 코팅되어 있으며, 에틸렌옥사이드, 플라즈마 또는 고온 고압 증기를 이용한 살균에도 분해되지 않습니다. 텅스텐 합금 차폐 용기의 광범위한 적용은 고선량을 근접치료 및 정위치료에서 전례 없는 수준의 위치 정확도와 안전성을 가능하게 했습니다. 동시에 MRI 유도 치료에서 기존 납 차폐의 자기적 호환성 문제를 완전히 해결하여 현대 정밀 방사선 치료에 가장 신뢰할 수 있는 재료 기반을 제공합니다.

5.2.3 의료 영상 장비용 텅스텐 합금 차폐 용기

의료 영상 장비(PET-CT, SPECT-CT, PET-MR, 사이클로트론 자가 차폐 시스템, 의료용 선형 가속기)는 고밀도, 비자성, 고정밀, 집적도, 그리고 장기적인 기하학적 안정성을 요구하는 국부 차폐 부품에 대한 포괄적인 요구를 충족합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기와 그 파생 부품은 검출기 콜리메이션, X 선 빔 가둠, 방사선원 저장, 그리고 백그라운드 방사선 억제를 포함한 이러한 장비의 핵심 분야에 널리 채택되어 왔습니다.

PET-CT 및 SPECT-CT 검출기 링은 일반적으로 두께 0.1~0.3mm 의 수만 장의 텅스텐 합금 포일 시트를 정밀하게 적층하여 제작한 고순도 텅스텐 합금 콜리메이터를 사용하며, 개구 및 간격은 마이크론 단위의 정밀도를 자랑합니다. 이를 통해 511 keV 의 소멸 광자와 140 keV 의 감마선에 대해 매우 높은 공간 분해능과 산란 억제 효과를 얻을 수 있습니다. 텅스텐-니켈-구리 비자성 시스템은 3T 를 초과하는 강한 자기장 하에서도 토크나 이미지 아티팩트가 발생하지 않도록 보장합니다. 사이클로트론의 자체 차폐 타겟 챔버와 빔라인은 다층 텅스텐 합금 중첩 탱크 + 붕소 함유 폴리에틸렌 복합 구조를 사용하여 18 MeV 양성자에서 생성된 고에너지 감마선과 중성자를 기계실 외부의 배경 레벨까지 한 번에 감쇠시켜 기존 콘크리트 미로형 기계실에 소요되는 막대한 토목 공사 비용을 완전히 제거합니다. 의료용 선형 가속기 치료 헤드 콜리메이션 시스템은 텅스텐 합금 다엽 격자와 2 차 콜리메이팅 블록을 사용하며, 단일 잎 위치 정확도와 반복성이 0.1mm 미만입니다. 표면 DLC 코팅은 수십만 회의 고속 이동에도 마모 없이 견딥니다. 텅스텐 합금 차폐 캐니스터의 시스템 통합을 통해 고급 의료 영상 장비는 설치 공간 감소, 배경 잡음 감소, 영상 시간 단축, 진단 정확도 향상을 달성할 수 있었으며, 현대 분자 영상 및 정밀 방사선 치료에 필수적인 하드웨어 기반으로 자리 잡았습니다.

5.2.4 방사성 폐기물의 임시 저장을 위한 텅스텐 합금 차폐 용기

병원 핵의학과, 중재적 카테터 실, 방사선치료실에서는 매일 다량의 단반감기 폐기물(주사기, 주입 세트, 장갑, 드레싱, 요오드-131 배설물, 루테튬-177 치료 잔류물 등)을 배출합니다. 이러한 폐기물은 방사능이 면제 수준으로 떨어질 때까지 안전하게 봉기되도록 각 부서에 임시 보관해야 합니다. 가볍고 세척이 쉬우며 수명이 길고 심미적이며 무독성인 텅스텐 합금 차폐 용기는 기존의 납 및 강철 용기를 완전히

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

대체하여 병원에서 방사성 폐기물의 임시 보관을 위한 선호되는 용기가 되었습니다.

대표적인 제품은 다음과 같습니다.

- 침대 옆 폐기물 용기: 10~30L 용량, 발 페달로 빠르게 열리는 뚜껑과 일회용 폴리머 내부 라이너가 있어 간호사가 한 발로 폐기물을 처리할 수 있습니다.
- 부서별 중앙집중형 부패조: 50~200L, 이중뚜껑+활성탄필터+압력밸브 구조로 고체 및 액체 폐기물을 동시에 담을 수 있고 휘발성 요오드를 흡착할 수 있음;
- 루테튬-177/아세튬-225 치료용 폐액 탱크: 텅스텐-니켈-구리 초내식성 시스템 + 이중 밸브 배수구, 강산성 치료용 폐액에 몇 달 동안 담가도 부식되지 않음;
- 벽면 장착형 및 카운터 아래 폐기물 캐비닛: 텅스텐 합금 셀과 스테인리스 스틸 내부 라이너의 조합은 깨끗한 병동과 카테터실의 장식에 완벽하게 어울립니다 .

모든 폐기물 보관 용기는 의료용 항균 및 세척이 용이한 코팅 처리되어 염소 함유 소독제와 자외선의 장기적인 영향을 견딜 수 있습니다. 부패가 완료된 텅스텐 합금 용기는 고압 증기로 직접 살균하여 재사용할 수 있습니다. 내부 라이너와 폐기물은 병원의 중앙 부패 보관 시설로 보내져 기존 납 용기의 반복 사용으로 인한 영구적인 표면 오염과 납 분진의 2차 위험을 완전히 제거합니다 .

5.2.5 체외진단시약 보호용 텅스텐 합금 차폐용기

방사면역측정법, 화학발광면역측정법, 분자진단법을 포함한 체외진단(IVD) 시약 키트에는 요오드-125, 코발트-57, 셀레늄-75 와 같은 표지된 방사성핵종이 표준 또는 품질관리원으로 포함되는 경우가 많습니다. 이러한 시약은 시약 생산, 운송, 보관 및 사용 전 과정에 걸쳐 엄격한 차폐 및 활성 안정성을 요구합니다. 소형화, 비자성 및 생물학적 안전성을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 IVD 시약 보호의 세계적 표준으로 자리 잡았습니다.

일반적인 응용 분야는 다음과 같습니다.

- 요오드-125 표준원 소형 보호 용기: 외경이 몇 밀리미터에 불과하고 경사형 벽 두께 설계로 125I 35 keV 의 특성 X 선을 배경으로부터 완벽하게 차폐할 수 있습니다. 용기의 색상 표시와 레이저 에칭 활성도는 시약 키트에 직접 내장되어 있습니다.
- 코발트-57/셀레늄-75 플러드 소스 통합 용기: 텅스텐 합금 본체 + 납 유리 관찰창 + 자석 고정 구조로 실험실 기술자가 뚜껑을 열지 않고도 소스 위치를 시각적으로 확인할 수 있습니다.
- 시약 콜드체인 운송 상자에는 텅스텐 합금 차폐 모듈이 장착되어 있습니다. 다중 구획 설계로 각 구획에 표준 공급원이 독립적으로 담길 수 있으며, 온도 및 습도 기록기의 도움으로 -20℃에서 +8℃까지 전체 공정 동안 손상 없는 활동을 달성할 수 있습니다.
- 자동 면역 분석기에는 품질 관리 소스 용기가 내장되어 있습니다 . 이 용기는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 합금으로 일체형으로 제작되었으며, 장비의 로봇 팔과 함께 사용하면 추가적인 방사선 누출 없이 매일 자동으로 품질 관리를 달성할 수 있습니다.

텅스텐 합금 차폐 용기는 체외진단 시약의 배경 방사선을 완벽하게 제어하여 기존 납 용기의 단점인 무거운 무게, 쉬운 산화, 비가역적인 표면 오염을 방지합니다. 글로벌 공급망에서 시약의 활성 일관성과 안전성을 보장하며, 고처리량 면역분석 및 분자 진단의 정확성을 위한 가장 신뢰할 수 있는 방사선 차폐를 보장합니다.

5.3 산업 테스트 및 전자 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 응용

텅스텐 합금 차폐 용기는 산업 테스트 및 전자 분야에서 기존 납 용기를 대체하는 데서 시작하여, 테스트 정확도, 장비 신뢰성 및 제품 수율을 결정하는 핵심 기능 부품으로 발전했습니다. 높은 밀도와 높은 원자 번호는 뛰어난 감마선/X 선 감쇠 성능, 우수한 기계적 특성 및 가공 정밀도, 완벽한 비자성, 그리고 혹독한 산업 환경에서의 표면 안정성을 제공하여 현장 결함 검출, 클린룸 및 고신뢰성 전자 시스템의 극한 방사선 차폐 요건을 동시에 충족합니다.

5.3.1 산업용 방사선 검사원용 텅스텐 합금 차폐 용기

산업용 방사선 검사(파이프라인 용접부, 압력 용기, 항공우주 구조물, 선박 후판, 대형 단조품)에는 이리듐-192, 셀레늄-75, 코발트-60 으로 제작된 고방사능 밀봉 방사선원이 사용됩니다. 이를 위해 차폐 용기는 정밀하게 제어 가능한 지향성 빔 출사 창을 유지하면서 360° 전방향 고강도 차폐를 제공해야 하며, 현장, 조선소, 고지대 등 극한 환경에서의 잦은 운반, 인양, 그리고 우발적인 낙하에도 견딜 수 있어야 합니다. 납보다 체적 차폐 효율과 변형 저항성이 훨씬 높은 텅스텐 합금 차폐 용기는 전 세계 산업용 방사선 검사 장비의 표준 구성으로 자리 잡았습니다.

일반적인 결함 검출 소스 탱크는 고강도 텅스텐-니켈-철 합금을 사용합니다. 본체 벽 두께는 소스 활동도와 에너지에 따라 불균일하게 최적화됩니다. 벽 두께는 빔 방출 방향이 아닌 방향에서 최대화되는 반면, 빔 방출 방향에는 정밀 가공된 원뿔형, 부채꼴형 또는 슬릿형 텅스텐 합금 회전 콜리메이터가 사용됩니다. 이 콜리메이터는 외부 핸드휠 또는 서보 모터를 통해 0°에서 360°까지 연속 조정 가능하며, 빔 폭은 무단계로 조절됩니다. 콜리메이터의 내부 구조는 다층 중첩 구조와 마이크론 단위의 도브테일 가이드 레일을 사용하여 수십만 번의 조정 후에도 간격이 증가하지 않고 위치가 어긋나지 않도록 합니다. 탱크의 외부 표면은 내유성, 내모진성, 용접 튀김 방지 기능이 있는 초음속 화염 분사 WC 또는 폴리우레아 탄성 코팅으로 코팅되어 있어 분말화나 균열 없이 해상 플랫폼, 사막 유전, 극한의 시베리아 파이프라인 건설 현장에서 장기간 사용할 수 있습니다.

구조적 특징은 다음과 같습니다.

- 빠른 교체 소스 채널은 "웨이 스타일" 푸시 + 더블 클램프 밀봉 디자인을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

채택하여 작업자가 암실 외부에서 소스를 로드 및 언로드할 수 있으며 전체 프로세스 동안 방사선량은 거의 0에 가깝습니다.

- 내장된 소스 위치 감지 및 연동 시스템을 통해 콜리메이션 창이 완전히 닫히고 소스가 탱크 바닥의 안전한 위치에 잠겨 있을 때만 운송 잠금 장치가 열리도록 할 수 있습니다.
- ISO 3999 및 GB/T 1933 국제 표준을 준수하며, 9m 자유낙하, 1m 4 각 충격, 800℃에서 30 분간의 화염 시험, 스테킹 시험 등의 시험을 통과했습니다.

텅스텐 합금 결합 탐지 소스 컨테이너는 산업용 방사선 검사가 "납 컨테이너 + 긴 튜브 원격 제어"에서 "소형 방향성 소스 컨테이너 + 로봇 크롤러"로 기술적 도약을 이룰 수 있게 했습니다 .

5.3.2 전자부품 간섭 억제용 텅스텐 합금 차폐캔

고신뢰성 전자 시스템(항공우주 전자 장비, 심우주 탐사선, 원자력 발전소 계측 및 제어 시스템, 5G 기지국 코어 보드, 양자 컴퓨팅 초전도 회로)은 감마선, 중성자, 전자기 펄스(HEMP)로 인한 단일 사건 효과(SEE), 총 선량 효과(TID), 그리고 과도 방사선 효과에 매우 민감합니다. 납 포일이나 붕소화 플라스틱 복합 차폐막을 사용한 기존 알루미늄 셀은 차세대 전자 장비의 무게, 부피, 차폐 효과, 그리고 다중 스펙트럼 보호에 대한 포괄적인 요건을 더 이상 충족할 수 없습니다. 매우 높은 감마선 감쇠 계수, 탁월한 중성자 감쇠 및 흡수 성능, 완벽한 비자성 특성, 그리고 탁월한 진공 밀봉 성능을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 전자 부품의 방사선 경화를 위한 최고의 솔루션으로 자리매김했습니다.

일반적인 응용 프로그램은 다음 네 가지 범주를 포함합니다.

1. 항공우주용 우주 전자 장비, 위성 탑재체, 항성 센서, 항법 수신기는 수소가 풍부한 붕소 중성자 흡수층을 가진 다층 텅스텐 합금 중첩 구조를 사용합니다. 이 구조는 지구 방사선대의 고에너지 양성자와 은하계 우주선에 의해 생성된 2 차 감마선 및 중성자를 단일 패스로 장치의 허용 한계값 이하로 감쇠시킵니다. 박스 본체는 최적화된 벽 두께 구매를 가진 텅스텐-니켈-구리 비자성 시스템을 사용합니다. 진공 브레이징 또는 전자빔 용접을 통해 완벽한 밀봉을 구현하며, 내부는 진동 감쇠 및 열전도도를 위해 저방출 실리콘 고무로 채워져 있습니다.
2. 화성 탐사선, 달 착륙선, 목성 탐사선의 핵심 전자 장치와 같이 장시간 강한 방사선 환경에 노출되는 심우주 탐사선의 핵심 전자 부품은 탄소 섬유 강화 셀로 더욱 강화된 통합 텅스텐 합금 차폐 챔버를 사용하여 무게를 최소화하면서 최대 차폐 효과를 달성합니다. 텅스텐 합금 표면은 금 또는 DLC 코팅으로 도금되어 냉간 용접을 방지하고 2차 전자 방출을 억제합니다.
3. 원자력 발전소의 안전 등급 계측제어 시스템에서 과도 조사 탱크 사고 조건(LOCA, MSLB)에서 발생할 수 있는 고에너지 순간 감마선 플루언스율은 디지털 계측제어 시스템의 오작동을 유발할 수 있습니다. 텅스텐 합금 차폐 탱크는 모듈식 서랍형 구조 로 계측제어 캐비닛에 내장되어 주요 PLC, FPGA 및

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

메모리를 완전히 보호합니다. 탱크 본체는 저방사화 텅스텐-니켈-철 시스템을 채택하여 장기간 중성자 조사 후에도 장수명 핵종을 생성하여 간섭을 일으키지 않습니다.

4. 양자 컴퓨팅 및 초전도 전자 소자에서 초전도 큐비트와 조셉슨 접합의 국부적인 차폐는 우주선에 매우 민감하기 때문에 매우 중요합니다. 텅스텐 합금 소형 차폐 용기가 희석 냉동기의 극저온 단계($<10\text{ mK}$)에 통합되었습니다. 내부 μ -금속 자기 차폐층과 초전도 니오븀 차폐층을 결합하여 우주선에서 발생하는 2차 입자를 거의 100% 차단하여 양자 결맞음 시간(QT)을 국제적으로 최고 수준으로 달성했습니다.

텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 단일 입자 반전율을 수십 배나 낮추고 전체 선량 허용치를 기존 솔루션의 5~10 배로 높여 고신뢰성 전자 시스템이 "방사선을 두려워하는" 상태에서 "방사선을 감히 사용하는" 상태로 전환할 수 있는 핵심 기술이 되었습니다.

5.3.3 반도체 제조 시험용 텅스텐 합금 차폐 용기

반도체 웨이퍼 제조 및 검사 과정에서 주변 환경이나 장비 자체에서 발생하는 감마선/X선 배경 방사선은 결합으로 오인될 수 있으며, 이는 웨이퍼 파손 및 막대한 경제적 손실을 초래할 수 있습니다. 초고순도, 낮은 활성화 특성, 뛰어난 미세 균일성, 그리고 마이크론 단위의 처리 능력을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 첨단 공정 웨이퍼 랩의 배경 제어를 위한 필수적인 핵심 부품으로 자리 잡았습니다.

이 차폐 용기는 주로 X선 결합 재검사 장비, X선 형광 분석기, 전자빔 검출 시스템 및 극자외선 리소그래피 광원의 국소 차폐에 사용됩니다. 용기 본체는 초고순도 텅스텐-니켈-구리 비자성 시스템을 사용하여 불순물을 최고 수준으로 제어하여 장기 작동 시 감지 가능한 활성화 간섭 피크가 발생하지 않도록 합니다. 콜리메이팅 개구와 차폐벽은 단일 유닛으로 정밀 가공되어 매우 높은 개구 및 위치 정확도를 달성하여 X선 빔의 순도와 초점을 보장합니다. 표면 처리는 진공 알루미늄 도금과 다이아몬드 유사 탄소 코팅을 결합하여 냉간 용접을 방지하고 2차 전자 방출을 억제합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기를 적용하면 기존 납 차폐 방식에서 미량의 자연 방사능으로 인해 발생하는 잘못된 결합 문제가 완전히 해결되어 웨이퍼 결합 검출 감도와 신뢰성이 첨단 공정 요구 사항의 한계에 도달할 수 있습니다.

5.3.4 비파괴 검사 장비용 텅스텐 합금 차폐 용기

고급 비파괴 검사 장비는 X선원의 누설 제어, 콜리메이션 정확도, 그리고 장기적인 기하학적 안정성에 대한 요구가 매우 높습니다. 고밀도, 고경도, 고온 내성, 그리고 기계적 손상에 대한 내성을 모두 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 기존의 납-강 복합 구조를 완전히 대체하여 산업용 CT, 디지털 X선 영상, 그리고 고에너지 가속기 검사 시스템의 핵심 차폐 및 콜리메이션 부품으로 자리매김했습니다.

일반적인 구조에는 회전 및 고정 대상을 위한 통합 차폐 셀, 1차 콜리메이터, 2차

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

콜리메이터 및 프로그래밍 가능 슬릿 시스템이 포함됩니다. 캐니스터는 고강도 텅스텐-니켈-철 합금으로 만들어졌으며, 다층 증착 및 회전 가능한 팬 모양 창 디자인은 비작동 방향에서 완전한 차폐와 작동 방향에서 정밀한 빔 제어를 달성합니다. 텅스텐 카바이드 또는 크롬 질화물의 단단한 코팅이 표면에 적용되어 마모나 벗겨짐 없이 장기간 고속 회전 및 용접 스파터를 견딜 수 있습니다. 텅스텐 합금 차폐 캐니스터를 적용하면 이미지 대비 및 결함 식별 기능이 크게 향상되고 장비 주변의 선량 수준이 크게 감소하므로 항공 엔진 블레이드, 원자력 압력 용기 및 대형 복합 재료 구조물과 같은 고급 제조 분야의 품질 관리에 필수적인 장비가 됩니다.

5.3.5 정밀 전자 기기 보호용 텅스텐 합금 차폐 캔

고정밀 계측 장비, 나노스케일 특성 분석 장비, 그리고 기초 물리학 실험 장치는 우주선, 주변 감마선 배경, 그리고 중성자로 인한 잡음과 드리프트에 매우 민감합니다. 최고의 체적 차폐 효율, 완벽한 비자성 특성, 그리고 초장수명 안정성을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 최고의 측정 정밀도를 달성하기 위한 최종적인 물리적 차폐 역할을 합니다. 일반적인 용도로는 분석 저울, 원자간력 현미경, 주사터널링 현미경, 레이저 간섭계, 관성 항법 시스템, 그리고 중력과 검출용 핵심 부품의 부분 또는 전체 차폐가 있습니다. 이 용기는 일반적으로 다층 텅스텐 합금과 중성자 흡수 재료의 복합 구조를 사용하며, 내부에는 저방출 열전도성 매질이 채워져 있고, 외부 표면은 진공 적합성 처리를 거칩니다. 밀봉 시스템은 금속 벨로우즈 링 또는 나이프 에지 플랜지를 사용하여 초고진공 환경에서 장기적인 기밀성을 보장합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기를 사용하면 주변 방사선 배경을 매우 낮은 수준으로 억제하여 기존 납 차폐에서 발생하는 붕괴 사슬로 인한 저에너지 잡음 간섭을 완전히 제거합니다. 이를 통해 장기 측정 시 계측기의 전례 없는 안정성과 반복성을 확보하여 현대 계측학, 나노기술, 정밀 물리 실험에서 방사선 방호의 필수적인 초석이 됩니다.

5.4 항공우주 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 응용

텅스텐 합금 차폐 용기는 보조 부품에서 임무 성공률과 시스템 수명을 결정하는 핵심 기술로 발전했습니다. 매우 높은 체적 차폐 효율, 최저 먼밀도, 완벽한 비자성 특성, 초광범위 온도 안정성, 극히 낮은 가스 방출률, 그리고 진공, 강한 진동, 고에너지 입자 환경에서의 장기 신뢰성을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 우주 방사선 방호, 지상 시뮬레이션 시험, 그리고 첨단 재료 시험을 위한 유일한 고급 재료 플랫폼입니다.

5.4.1 항공우주 방사선 시험용 텅스텐 합금 차폐 용기

궤도에 배치되기 전에 지상 기반 우주 방사선 환경 시뮬레이션 시험을 거쳐야 합니다. 이러한 시험을 위해서는 고에너지 양성자, 중이온, 감마선, 중성자의 복합 방사선장을 정확하게 재현하는 동시에, 시험 시설과 인원을 보호하기 위해 비표적 방향에 대한 거의 완벽한 차폐를 제공하는 시험 용기가 필요합니다. 초고순도, 낮은 방사능, 그리고 뛰어난 가공 정밀도를 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 국내외 주요 지상 기반 우주 환경 시뮬레이션 장비의 표준 시험 용기로 자리 잡았습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이 용기는 저활성화 텅스텐-니켈-구리 또는 텅스텐-니켈-철 시스템을 활용하며, 내부 공동에는 유연하게 결합 가능한 에너지 저하판, 중성자 감속재, 흡수재가 장착되어 단일 용기 내에서 광범위한 선형 에너지 전달 스펙트럼과 플루언스 속도 제어가 가능합니다. 용기 외부는 진공 호환 고온층으로 코팅되어 있으며, 내부에는 다점 선량 모니터링 및 온도 제어 시스템이 통합되어 완벽한 온도 시험 기능을 보장합니다. 밀봉 시스템은 금속 밀봉 링과 다중 누출 감지 구조를 사용하여 초고진공 조건에서 장기적인 기밀성을 보장합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기를 적용하여 지상 기반 시뮬레이션 실험에서 방사선장의 정확도와 안전성을 극대화하여 우주 단일 유닛 응용, 칩 경화, 심우주 생물 실험 검증에 필수적인 핵심 장비로 자리매김했습니다.

5.4.2 우주선 구성품 보호를 위한 텅스텐 합금 차폐 용기

궤도에서 작동하는 우주선은 벤 앨런 방사선대, 태양 양성자 사건, 그리고 은하계 우주선으로부터 장기적인 폭격을 받습니다. 항성 센서, 관성 측정 장치, 메모리, 프로세서와 같은 핵심 부품들은 단일 사건 효과와 누적 선량 손상에 매우 취약합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 국소적인 점 차폐와 격벽과의 통합을 통해 이러한 민감한 부품에 가장 효율적인 우주 방사선 방호 기능을 제공합니다.

일반적인 적용 분야로는 광학 헤드 실드, 핵심 회로 기관 레벨 차폐 박스, 과학 탑재체 검출기용 통합 콜리메이션 차폐 하우징, 유인 우주선용 동적 삽입형 보호 서랍 등이 있습니다. 이 탱크는 비자성 텅스텐-니켈-구리 시스템을 사용하며, 벽 두께는 궤도 방사선 환경에 따라 최적화됩니다. 내부에는 수소를 포함하는 중성자 흡수층이 복합적으로 적용되며, 외부 표면은 냉간 용접 방지 및 저방출 코팅으로 코팅됩니다. 구조 설계는 중량 최소화과 다방향 보호의 균형을 이루며, 밀봉 및 고정 방식은 발사 단계 진동 및 궤도상 열 사이클링 요건을 충족합니다. 텅스텐 합금 차폐 탱크를 시스템에 적용하면 핵심 부품의 궤도상 무고장 작동 시간이 크게 연장되어 고궤도 항법 위성군, 심우주 탐사선, 유인 우주 비행 프로젝트에서 긴 수명과 높은 신뢰성을 보장하는 핵심 기술이 됩니다.

5.4.3 항공우주 재료 시험을 위한 텅스텐 합금 차폐 용기

항공기 엔진 블레이드, 복합재 동체 구조, 고체 로켓 케이싱, 재돌입 열 차폐막과 같은 핵심 부품은 개발 단계에서 고정밀 비파괴 검사 및 성분 분석이 필요합니다. 이를 위해서는 매우 낮은 배경, 매우 높은 빔 순도, 그리고 매우 안정적인 기하학적 위치를 갖춘 검사 장비가 필요합니다. 텅스텐 합금 차폐 캐니스터와 그 콜리메이션 시스템은 이러한 고급 소재의 품질 관리를 위한 필수적인 핵심 부품으로 자리 잡았습니다.

항공기 엔진의 단결정 블레이드용 차폐 타겟 및 콜리메이션 시스템, 대형 복합 구조 부품용 디지털 X선 영상 소스 용기, 고체 로켓 케이싱용 감마선 결합 검출 지향성 소스 용기, 재진입 물질의 X선 및 중성자 회절 분석용 샘플 용기. 용기 본체는 고강도 텅스텐-니켈-철 시스템을 사용하며, 콜리메이션 구멍과 차폐벽은 단일 유닛으로 정밀 가공되고 표면은 고온 내성, 내스파크성 하드 코팅으로 코팅됩니다. 텅스텐 합금 차폐 용기를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

적용하여 테스트 장비의 배경 잡음과 누설 방사선을 최소화하여 업계 최고 수준의 이미지 대비 및 결함 정량화 정확도를 달성합니다. 대형 여객기, 발사체, 달 및 화성 탐사선과 같은 주요 엔지니어링 프로젝트에서 재료 품질 보증을 위한 하드웨어 초석이 되었습니다. 극한의 시험 조건에서도 장기적으로 안정성을 유지하므로 향후 재사용 가능한 항공기와 스크램젯 엔진에 사용되는 재료의 비파괴 평가를 위한 가장 신뢰할 수 있는 기술 지원을 제공합니다.

5.5 과학 연구 및 실험에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용

텅스텐 합금 차폐 용기는 과학 연구 분야의 일반적인 실험실 보호 부품에서 실험 배경, 측정 정확도, 그리고 검출기 성능 한계를 결정하는 핵심 기능성 소재로 진화했습니다. 매우 높은 감마선/X 선 감쇠 계수, 뛰어난 중성자 흡수 및 감속 성능, 초고순도 저활성화 특성, 완벽한 비자성, 그리고 극한 진공, 저온, 그리고 강자기장 환경에서의 장기 안정성을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 핵물리학, 입자물리학, 환경 방사선 모니터링 및 학제 간 분야의 최첨단 실험에 필수적인 핵심 장비입니다.

5.5.1 핵물리학 실험 샘플용 텅스텐 합금 차폐 용기

핵물리학 실험(중성자 산란 분광법, 핵반응 단면적 측정, 핵분열 및 포집 생성물 연구, 정밀 동위원소 전처리)에는 고방사능 표적 또는 방사선 생성물을 담으면서도 입사 빔에 대해 완전히 투명하고 비표적 방사선에 대해 매우 강력한 차폐 기능을 제공하는 동시에, 후속 감마선 또는 중성자 스펙트럼 측정을 방해하지 않는 매우 낮은 자기복사 생성물을 갖는 시료 용기가 필요합니다. 고밀도, 낮은 방사능, 그리고 뛰어난 가공 정밀도를 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 파쇄 중성자원, 원자로 중성자 빔 라인, 그리고 동위원소 생산 핫셀의 표준 시료 용기로 자리 잡았습니다.

일반적인 시료 용기는 초고순도 텅스텐-니켈-구리 또는 텅스텐-니켈-철 저활성화 시스템을 사용합니다. 용기 벽 두께는 입사 중성자 에너지와 표적 핵 활동도에 따라 불균일하게 최적화됩니다. 입사 창 영역은 필요한 구조적 강도만 유지하기 위해 국부적으로 얇게 만들어지며, 배출 방향에는 여러 겹의 탈착식 분해판과 흡수 삽입물이 있습니다. 전체 내부 공동은 경면 연마 처리되고 다이아몬드 유사 탄소 또는 질화붕소로 코팅되어 시료 접착을 방지하고 2차 전자 방출을 억제합니다. 밀봉 시스템은 금속 나이프 에지 플랜지 또는 헬륨 아크 용접을 사용하여 영구 밀봉 하여 초고진공과 깨끗하고 산소가 없는 환경을 보장합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기를 사용하면 핵물리학 실험에서 백그라운드 계수율을 매우 낮은 수준으로 줄여 희귀 핵반응 채널과 미약한 신호의 검출 감도를 크게 향상시킬 수 있습니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 중성자 산란 분광기, 후방 산란 중성자 장치, 핵 데이터 측정 단말기의 필수적인 핵심 부품이 되었습니다.

5.5.2 입자물리학 실험을 위한 텅스텐 합금 차폐 용기

입자물리학 실험(고에너지 충돌 검출기, 직접 암흑물질 검출, 중성미자 진동 실험, 우주선 검출기 배열)은 전자기 열량계, 하드론 열량계, 뮤온 검출기의 흡수 재료에 매우 높은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

요구 조건을 요구하며, 매우 높은 밀도, 짧은 복사전 길이, 짧은 상호작용 길이, 그리고 매우 안정적인 장기 성능을 요구합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기와 그 파생물인 판, 블록, 그리고 섬유 구조는 차세대 입자 검출기에 선호되는 흡수 및 차폐 매체가 되었습니다.

용기 형태로 전자기 열량계 중심부에 내장되어 매우 짧은 복사전 길이와 매우 높은 광전자 수율을 제공합니다. 심지구 암흑 물질 검출 실험에서는 텅스텐 합금 차폐 용기가 가장 바깥쪽 활성 차폐막 역할을 하며, 무산소 구리, 고대 납, 고대 로마 납 으로 이루어진 내부 층으로 구성된 다층 중첩 구조를 형성하여 검출기 감도 이하의 주변 감마선 및 중성자 배경을 억제합니다. 중성미자 실험에서 묶은 반동시 시스템은 두꺼운 벽의 텅스텐 합금 용기를 묶은 흡수체로 사용하여 우주선 묶은 상호작용과 중성미자 상호작용을 효과적으로 구분합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기를 적용함으로써 입자물리학 실험에서 주요 검출기는 더 높은 에너지 분해능, 더 낮은 거짓 트리거율, 더 넓은 동적 범위를 달성할 수 있었으며, 새로운 물리학과 암흑 물질 입자 및 중성미자의 질량 메커니즘을 탐구하기 위한 가장 견고한 하드웨어 기반이 되었습니다.

5.5.3 환경 방사선 모니터링을 위한 텅스텐 합금 차폐 용기

환경 방사선 모니터링(대기 배경, 토양 라돈 방출, 해양 방사능, 우주선 2 차 입자 플럭스 모니터링)을 위해서는 매우 넓은 에너지 범위와 극한의 현장 환경에서 초저 배경, 높은 안정성, 그리고 긴 수명을 보장하는 검출기가 필요합니다. 최고의 체적 차폐 효율, 낮은 활성화, 그리고 완벽한 비자성 특성을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 고순도 게르마늄 감마 분광기, 반콤프턴 시스템, 중성자 모니터, 그리고 우주선 묶은 검출기의 핵심 차폐 셸로 자리 잡았습니다. 일반적인 모니터링 용기는 다층 복합 구조를 사용합니다. 가장 바깥층은 감마선으로부터 환경을 보호하기 위해 고대 납 또는 로마 납으로 제작되고, 중간층은 고에너지 감마선과 2 차 입자를 정밀하게 흡수하는 텅스텐 합금 용기로 제작되며, 가장 안쪽 층은 열중성자와 열잡음을 억제하기 위해 무산소 구리 또는 폴리에틸렌으로 제작됩니다. 텅스텐 합금층은 초고순도 텅스텐-니켈-구리 시스템을 사용하며, 표면에 진공 니켈 도금 또는 질화 처리를 통해 장기간 현장 배치 시 감지 가능한 활성화 피크가 발생하지 않도록 합니다. 이 용기는 휴대성과 모듈성을 결합하여 남극 빙상, 무인 고고도 지역, 해저 중성미자 망원경 배열에서 장기간 무인 운영을 가능하게 합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기를 적용함으로써 환경 방사선 모니터링 장비의 백그라운드 계수율을 매우 낮은 수준으로 낮춰 인위적인 핵종 누출, 우주선 변화, 그리고 자연 배경 방사선의 미묘한 변동을 감지하는 능력을 크게 향상시켰습니다. 이는 전 세계 환경 방사선 배경 모니터링 네트워크, 국가 원자력 비상 대응 시스템, 그리고 지구과학 분야의 학제간 연구에 있어 대체 불가능한 측정의 초석이 되었습니다.

5.6 기타 특수 분야에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 응용

극한 환경에 대한 적응성, 특수 기능 확장성, 그리고 높은 맞춤형 기능을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 기존 분야를 넘어 다양한 특수 시나리오에서 널리 사용되어 왔습니다. 이러한 시나리오는 일반적으로 극한의 온도, 극한의 압력, 극한의 청결, 또는 극한의 기밀 유지가 요구되는데, 텅스텐 합금 차폐 용기는 기능, 안전 및 규제 요건을 동시에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

충족하는 유일한 기술 솔루션으로 자리매김하는 경우가 많습니다.

5.6.1 특수 환경을 위한 맞춤형 텅스텐 합금 차폐 캐니스터

특수 환경을 위한 맞춤형 솔루션은 주로 심해, 극지방, 고진공, 초고온, 초저온, 강한 부식 또는 복잡하고 극한의 작업 조건을 위해 설계되었습니다. 텅스텐 합금 차폐 캔은 재료 시스템, 구조적 형태 및 표면 기능의 맞춤형 설계를 통해 일반 차폐재로는 처리할 수 없는 작업을 수행합니다.

심해 중성미자 망원경과 해저 방사능 모니터링 스테이션은 티타늄 합금 셸과 광섬유 밀봉 인터페이스가 결합된 고압 내성 텅스텐-니켈-철 두꺼운 벽의 차폐 용기를 사용합니다. 이 용기는 수만 미터 깊이에서 고순도 게르마늄 검출기와 코발트-60 교정원을 장시간 수용할 수 있습니다. 극지방 빙모의 우주선 검출 어레이는 초고순도 텅스텐 합금 차폐 용기를 사용하며, 여러 겹의 단열 및 방빙 코팅으로 덮여 있어 극한의 남극 환경에서도 배경 차폐 효과가 저하되지 않습니다. 초고진공 가속기 빔라인의 국부 차폐는 내부 가스 방출률이 매우 낮은 진공 브레이징 텅스텐 합금 중첩 용기와 금도금 표면을 사용하여 냉간 용접을 방지하여 빔 오염 없이 초고진공 시스템에서 장기간 작동할 수 있도록 합니다. 초고온 플라즈마 진단 시스템은 텅스텐 합금 + 몰리브덴-관탄 라이너 복합 용기를 사용하며, 순간 온도가 섭씨 1000 도를 초과하는 환경에서도 중성자 및 감마선 검출기 결정을 보관할 수 있습니다. 강산 및 강알칼리 방사성 폐기물 액체 장기 저장 용기는 텅스텐-니켈-구리 + 하스텔로이 라이너 + 불소 수지 외피 구조를 채택하여 100년 이상의 격납 수명을 보장합니다.

텅스텐 합금 차폐 용기는 인간이 가장 극한의 자연적, 공학적 경계에서도 방사선 관련 과학 활동을 수행할 수 있게 해주었으며, 깊은 땅, 깊은 바다, 깊은 우주 및 극한의 물리적 조건에서의 실험을 위한 필수적인 인프라가 되었습니다.

5.6.2 지질 탐사 및 채굴용 텅스텐 합금 차폐 탱크

지질 탐사 및 채굴에는 우라늄, 토륨, 희토류 관련 방사성 광물, 그리고 유정 및 가스정 채광이 포함됩니다. 이를 위해서는 고온, 고습, 고진동 환경에서 천연 방사성 노심, 광물 시료, 그리고 채광원을 신속하고 안전하며 오염 없이 현장에 보관하고 운반해야 합니다. 경량 설계, 혹독한 환경에 대한 내구성, 그리고 완벽한 제염 저항성을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 지질 탐사 및 채굴에서 방사성 시료를 관리하는 표준 장비로 자리 잡았습니다.

탐사용 텅스텐 합금 차폐 용기는 텅스텐-니켈-구리 비자성 부식 방지 시스템, 빠르게 열리는 나사식 캡 구조, 그리고 원뿔형 자동 중심 맞춤 밀봉 설계를 사용하여 시추 장비에서 채취한 코어 시료 바로 옆에서 "시추 및 격리"가 가능합니다. 용기의 내벽은 경면 연마 처리되었으며, 외면은 폴리우레아 탄성 코팅 처리되어 사막의 고온, 동토의 저온, 산성비, 염분-알칼리 토양으로 인한 장기적인 부식에 강합니다. 석유 및 가스정 검층용 텅스텐 합금 선원 용기는 지향성 콜리메이션 + 빠른 선원 변경 채널 설계와

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

시추공 고온 진동 방지 구조를 결합하여 고온 고압 시추공 환경에서 세슘-137 및 아메리슘-베릴륨 중성선원의 안정적인 격리를 가능하게 합니다. 모듈식 텅스텐 합금 차폐 컨베이어 컨테이너는 광산의 방사성 광석 분류 라인에서 자동 광석 분류 및 고방사성 블록의 정밀한 분리를 달성하는 데 사용됩니다.

텅스텐 합금 차폐 용기는 지질 탐사 시 피부 오염과 에어로졸 확산 없이 깨끗한 시료 채취를 가능하게 하여 시료 대표성과 인명 안전을 크게 향상시켰습니다. 동시에, 기존 납 용기의 폐기로 인해 초원과 고비 사막에서 발생하는 장기적인 중금속 오염 문제를 완전히 해결하여 우라늄, 희토류, 석유 및 가스 자원의 탐사 및 개발에 필수적인 방사선 관리 도구로 자리매김했습니다.

5.6.3 지질 탐사 및 채굴용 텅스텐 합금 차폐 탱크

지질 탐사 및 채굴 작업은 우라늄, 토륨, 희토류 관련 방사성 광물, 그리고 석유 및 가스정 검층원을 다루는 등 외판 혹독한 현장 환경에서 이루어지는 경우가 많습니다. 따라서 가볍고 극한의 기후, 강한 진동, 먼지 및 염분 분무에 강하며 신속한 개폐 및 철저한 제염이 가능한 차폐 용기가 필요합니다. 납보다 체적 차폐 효율이 훨씬 높고 구조적 강도가 매우 높으며 표면 화학적 불활성을 가진 텅스텐 합금 차폐 용기는 기존의 납 및 강철 용기를 완전히 대체하여 지질 및 광업 분야에서 방사성 시료 및 검층원을 관리하는 표준 장비로 자리 잡았습니다. 현장 코어 샘플링 용기는 텅스텐-니켈-구리 재질의 비자성 부식 방지 시스템을 사용하며, 빠르게 열리는 나사식 캡과 원뿔형 자동 중심 조정 구조를 갖추고 있습니다. 이를 통해 추출 직후 시추 장비 바로 옆에서 코어 시료를 즉시 격리하여 코어 먼지와 에어로졸의 확산을 완벽하게 방지할 수 있습니다. 용기의 내벽은 거울처럼 광택 처리되어 있으며, 세척이 용이한 불소 코팅으로 코팅되어 있습니다. 외면은 오일 및 염분 분무에 강한 폴리우레아 탄성 코팅으로 코팅되어 사막의 기온, 극한의 추위, 동토, 산성비, 염분-알칼리 토양에 장기간 노출된 후에도 매끈함을 유지합니다. 석유 및 가스 시추공 검층용 텅스텐 합금 선원 용기는 지향성 콜리메이션, 빠른 선원 변경 채널, 그리고 시추공 진동 방지 설계를 채택하여 고온 고압 시추공에서 세슘-137 및 아메리슘-베릴륨 중성선원을 안정적으로 보관합니다. 모듈형 텅스텐 합금 차폐 운송 용기는 광산의 고방사능 광석 선별 라인에서 자동 광석 선별 및 고방사능 블록의 정밀 분리를 위해 사용됩니다. 텅스텐 합금 차폐 용기를 체계적으로 적용하면 지질 탐사 및 채굴 작업에서 샘플링부터 운송까지 전체 과정을 깨끗하게 관리할 수 있으며, 현장 작업자의 방사선량과 환경 오염 위험을 크게 줄일 수 있습니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 우라늄, 희토류, 석유 및 가스 자원 탐사 및 개발은 물론 방사성 광물 자원 활용에도 필수적인 방사선 방호 수단으로 자리 잡았습니다.

5.6.4 항공우주 방사선 시험용 텅스텐 합금 차폐 용기

항공우주 방사선 지상 시뮬레이션 실험은 실험실 내 궤도에 있는 고에너지 양성자, 중이온, 감마선, 중성자의 복합 방사선장을 정밀하게 재현하는 동시에, 시험장과 작업자를 보호하기 위해 비표적 방향을 거의 완벽하게 차폐해야 합니다. 초고순도 저방사화 특성, 뛰어난 미세 균일성, 그리고 정밀 가공 성능을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 국내외

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

주요 우주 환경 시뮬레이션 장비의 핵심 시험 용기로 자리매김했습니다.

시험 용기는 저활성화 텅스텐-니켈-구리 또는 텅스텐-니켈-철 시스템을 사용합니다. 벽 두께는 입사 입자의 종류와 에너지에 따라 불균일한 기울기로 설계됩니다. 입사창은 국부적으로 얇아지고, 출구 방향에는 유연하게 조합 가능한 에너지 저하판, 중성자 감속층, 흡수재의 여러 층이 있어 넓은 선형 에너지 전달 스펙트럼과 플루언스 속도 제어를 달성합니다. 용기의 외부는 진공 호환 고온층으로 코팅되었으며, 내부에는 다점 선량 모니터링 프로브와 온도 제어 시스템이 통합되어 전온도 시험 기능을 보장합니다. 밀봉 시스템은 금속 나이프 에지 플랜지 또는 전자빔 용접 방식의 영구 밀봉 구조를 사용하여 초고진공과 깨끗하고 무산소 환경을 보장합니다. 텅스텐 합금 차폐 용기는 양성자/중이온 가속기 터미널, 파쇄 중성자원 후방산란 빔라인, 코발트-60 대형 방사선원 조사 챔버, 그리고 통합 우주 환경 시뮬레이션 모듈에 널리 사용됩니다. 이 용기들은 우주 전자 부품, 방사선 경화 칩, 심우주 과학 탑재체, 그리고 유인 우주 비행 생물학 실험의 우주 환경 적응성을 검증하는 데 필수적인 하드웨어입니다. 이 용기들을 적용하면 지상 시뮬레이션 실험에서 최고 수준의 방사선장 충실도와 안전성을 보장하여, 장수명 고신뢰성 우주선 설계를 위한 가장 현실적이고 엄격한 지상 시험 방법을 제공합니다.

5.6.5 핵물리학 실험 샘플용 텅스텐 합금 차폐 용기

핵물리학 실험은 시료 용기에 매우 엄격한 요건을 요구합니다. 즉, 입사 중성자 또는 하전 입자 빔에 대해 사실상 투명해야 하고, 방출되는 감마선, 중성자, 핵분열 파편 및 2 차 입자에 대해 매우 강력한 차폐 기능을 제공해야 하며, 동시에 매우 낮은 활성화와 단면적과 활성화 생성물의 매우 짧은 반감기를 가져야 하며, 후속 정밀 분광 측정에 영향을 미치지 않아야 합니다. 초순수 저활성화 특성, 우수한 중성자-감마 결합 차폐 성능, 그리고 마이크론 수준의 정밀 가공을 갖춘 텅스텐 합금 차폐 용기는 원자로 중성자 빔 유선, 파쇄 중성자선원 분광기 터미널, 사이클로트론 표적 스테이션 및 핵 데이터 측정 장치에 선호되는 시료 용기가 되었습니다.

실험용 시료 용기는 일반적으로 초고순도 텅스텐-니켈-구리 또는 텅스텐-니켈-철 저활성화 시스템을 사용합니다. 입사창 영역의 벽 두께는 필요한 구조적 강도만 유지하기 위해 정밀하게 얇게 가공됩니다. 배출 방향에는 신속하게 교체 가능한 텅스텐 합금 분해 시트, 붕소 함유 폴리에틸렌 감속층, 그리고 카드뮴/가돌리늄 흡수재가 여러 겹으로 구성되어 있어 넓은 범위에서 에너지 및 플럭스 속도를 정밀하게 제어할 수 있습니다. 전체 내부 공동은 경면 연마 처리되고 다이아몬드 유사 탄소 또는 질화붕소 코팅으로 코팅되어 시료 부착을 방지하고 2차 전자 및 스퍼터링 오염을 억제합니다. 밀봉 시스템은 금속 나이프 에지 플랜지 또는 전자빔 영구 밀봉을 사용하여 초고진공 및 무산소 환경을 보장합니다. 일부 매우 깨끗한 실험에서는 잔류 수소, 탄소 및 흡착된 가스를 완전히 제거하기 위해 고진공로에서 용기 전체를 탈기하고 수백 °C 에서 구워야 할 수도 있습니다.

텅스텐 합금 차폐 용기는 핵물리 실험의 백그라운드 계수율을 매우 낮은 수준으로 낮추어 회귀 동위원소 단면적, 공명 매개변수, 그리고 약한 붕괴 채널의 측정 정확도를 크게

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

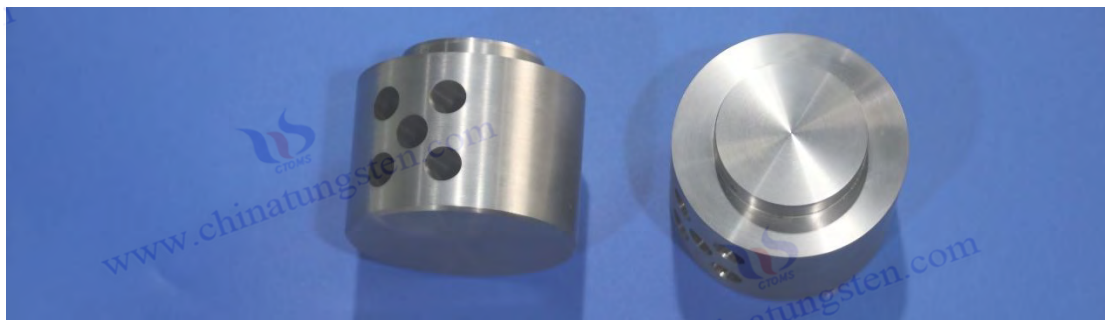
향상시켰습니다. 중성자 산란 분광기, 과거 분광기, 핵심 핵 천체물리 반응 연구, 그리고 국제 핵 데이터베이스 업데이트의 핵심 실험 하드웨어로 자리매김 했습니다 .

5.6.6 특수 환경에 맞게 맞춤 제작된 텅스텐 합금 차폐 캔의 적용

맞춤형 텅스텐 합금 차폐 용기는 인간의 과학 및 공학 활동의 가장 극한 경계에 맞춰 설계되었으며, 심해 환경(수만 미터), 극지방 빙하, 고진공 가속기 챔버, 초고온 플라스마 진단, 초저온 희석 냉장고 내부, 지질 처분 전 고부식성 및 고방사성 폐기물 액체의 임시 저장, 복잡한 극한 조건에서의 방사선 격리 요구 사항 등의 응용 분야를 포함합니다.

심해 중성미자 검출 및 해저 방사능 모니터링 스테이션은 티타늄 합금 셸과 심해 광섬유 밀봉 인터페이스가 결합된 고압 내성 텅스텐-니켈-철 후벽 차폐 용기를 사용합니다. 이 용기는 수십 년 동안 수만 미터 깊이에서 고순도 게르마늄 검출기와 교정원을 수용할 수 있습니다. 극지방 빙하 우주선 검출 어레이는 초고순도 텅스텐 합금 차폐 용기를 사용하며, 이 용기는 여러 겹의 초저온 절연 및 방빙 코팅으로 코팅되어 극한의 저온 환경에서도 배경 차폐 효과가 저하되지 않도록 합니다. 초고진공 저장 링과 자유 전자 레이저 빔라인 국소 차폐는 금도금 표면의 진공 브레이징 텅스텐 합금 중첩 용기를 사용하여 냉간 용접을 방지합니다. 이를 통해 내부 가스 방출률이 매우 낮아 빔 오염 없이 초고진공 시스템에서 장기간 작동할 수 있습니다. 초고온 융합 진단 시스템은 텅스텐 합금 + 폴리브텐-탄탄 또는 텅스텐-레늄 복합 용기를 사용하며, 이는 순간 온도가 수천 도를 넘는 환경에서 중성자 및 경 X 선 검출 결정을 담을 수 있습니다. 초저온 양자 컴퓨팅 및 암흑 물질 검출 희석 냉동고는 초전도 니오븀과 고순도 구리 로 이루어진 내부 층과 결합된 소형 텅스텐 합금 차폐 용기를 사용하여 우주선에서 발생하는 2차 입자를 거의 완벽하게 차단합니다.

고준위 방사성 폐기물 액체 및 폐기물 용기는 지중 처분 전 텅스텐-니켈-구리 합금 라이닝과 하스텔로이 합금 내벽, 그리고 다층 불소수지 외벽 코팅 구조를 채택하여 100 년 이상의 화학 및 방사선 격납 수명을 달성합니다. 이러한 특수 환경에서 텅스텐 합금 차폐 용기를 심층 맞춤 적용함으로써, 인류는 가장 가혹한 자연 및 공학적 조건에서 방사선 관련 과학 탐사 및 자원 개발을 수행할 수 있게 되었으며, 원자력 기술과 방사선 방호의 적용 범위를 크게 확장했습니다. 심해, 심우주, 그리고 극한 물리 실험에 필수적인 궁극의 격납 및 차폐 솔루션으로 자리매김했습니다.



CTIA GROUP LTD 텅스텐 합금 차폐 캔

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6장: 텅스텐 합금 차폐 탱크의 선택, 사용 및 유지 관리

6.1 텅스텐 합금 차폐 캔의 과학적 선정 방법

텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 "두꺼울수록 좋고 무거울수록 안전하다"라는 기존 방식에서 벗어나, 소스 스펙트럼, 시나리오 제약 조건, 규제 요건 및 총 수명주기비용을 기반으로 하는 체계적이고 정량적이며 폐쇄형 루프 검증 의사 결정 프로세스로 완전히 전환되었습니다. 과학적 선택을 통해서만 "적절한 차폐, 최소 중량, 최대 수명, 그리고 최저 총비용"을 진정으로 달성할 수 있습니다.

6.1.1 방사선 특성에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 선정 기준

방사선 특성은 텅스텐 합금 차폐 용기를 선택하는 데 있어 가장 중요한 출발점이자 궁극적인 목표입니다. 전체 스펙트럼, 에너지 준위, 그리고 시간 차원에 걸쳐 방사선원의 특성을 정확하게 파악하는 것이 필수적입니다.

첫째, 방사선의 종류와 에너지 분포를 명확히 파악해야 합니다. 순수한 감마선장, 감마-중성자 혼합장, 또는 α/β 표면을 동반하는 복합장인지, 고에너지 코발트-60 또는 세슘-137 인지, 저에너지 요오드-125 또는 아메리슘-241 인지, 그리고 상당한 2 차 방사선과 특성 X 선이 존재하는지 확인해야 합니다. 둘째, 활동도-시간 곡선을 결정해야 합니다. 반감기가 짧은 핵의학 약물인지, 지속적으로 붕괴하는 결함 검출원인지, 또는 장수명의 고준위 폐기물 및 사용후핵연료인지 확인해야 합니다. 셋째, 기하학적 분포를 평가해야 합니다. 점선원, 표면선원, 체적선원, 지향성 빔, 또는 전방향 산란선인지 확인해야 합니다.

이를 바탕으로 몬테카를로 선 전달 계산을 통해 선원 향, 벽 두께, 외부 선량률, 무게, 비용 간의 완전한 매핑 관계를 확립했습니다. 이를 통해 규제 한계를 충족하는 최소 텅스텐 합금 두께를 결정했습니다. 또한, 중성자 흡수층, 희생 라이너, 콜리메이션 창에 대한 요건을 고려하여 예비 재료 등급 및 구조 계획을 개발했습니다. 고강도 텅스텐-니켈-철 시스템은 고 γ 중성자 혼합장에 적합하고, 비자성 및 내식성 텅스텐-니켈-구리 시스템은 핵의학 및 폐액 환경에 적합하며, 다층 복합 시스템은 가장 복잡한 광대역 시나리오에 사용됩니다. 계산 결과가 실제 선원 교정 결과와 완벽하게 일치할 때에만 방사선 특성 선택이 진정한 폐쇄 루프로 간주될 수 있습니다.

6.1.2 적용 시나리오에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 주요 선택 사항

동일한 소스 용어라도 시나리오에 따라 완전히 다른 최적 탱크 유형에 해당할 수 있습니다. 사용 시나리오는 구조적 형태, 기능적 통합, 그리고 인간-컴퓨터 상호작용을 결정하는 핵심 제약 조건입니다.

고정형 고온 챔버 시나리오의 경우, 거의 그물 모양 구조, 영구 용접 밀봉 및 여러 개의 중복 캡이 선호되며, 이는 평생 유지 보수가 필요 없는 작동과 최대 밀폐성을 강조합니다. 휴대용 핵의학 시나리오의 경우, 최소 중량, 한 손으로 빠르게 열 수 있는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기능, 그리고 쉽게 오염 제거되는 거울 표면이 필요합니다. 산업용 결합 탐지는 방향 정렬, 회전 가능한 창 및 현장 진동 저항성을 강조합니다. 운송 컨테이너는 IAEA 유형 A/B/C 사양을 충족하고 9 미터 낙하를 견뎌내며 내화성이 있어야 합니다. 폐기물 저장은 최대 용량, 최장 수명 및 무인 작동을 우선시합니다. 동시에 작동 빈도, 오염 제거 방법, 운송 방법, 공간 제약, 청정도, 자기 적합성, 멸균 적합성 및 수명 종료 재활용 경로를 포괄적으로 고려해야 합니다. 예를 들어, PET-CT 실은 완전한 비자성 특성과 고압 증기 멸균이 가능한 표면이 필요합니다. 해상 플랫폼 결합 탐지 컨테이너는 염수 분무 및 오일 오염에 대한 저항성이 필요합니다. 지하 실험실 배경 측정 용기는 초고순도, 저활성화 재료 및 휘발성 코팅이 필요 없습니다. 최종 선정 시에는 방사선 차폐 기준을 충족한다는 전제 하에 모든 시나리오 제약 조건을 구조, 재료, 표면 처리 및 기능 인터페이스에 대한 구체적인 솔루션에 매핑하여 고유한 솔루션을 구축해야 합니다.

6.1.3 산업 표준에 따른 텅스텐 합금 차폐 캔의 선택 검증

모든 텅스텐 합금 차폐 탱크 선정 계획이 공식적으로 확정되면, 업계 표준 및 규정에 기반한 전체 체인 물리적 검증을 거쳐야 합니다. 이는 "이론적 적합성"에서 "실질적 사용성"으로 이어지는 최종 점검 단계입니다.

핵의학 분야에서는 국가약품감독관리총국(NMPA)의 의료기기 등록 및 GMP 부록 요건을 준수합니다. 완성된 용기는 실제 선원 선량률 시험, 무균 검증, 생체적합성 및 운송 안정성 시험을 통과해야 합니다. 산업 결합 검출 및 비파괴 검사는 ISO 3999, GB/T 1933 및 EN 14784 표준을 준수하며 낙하, 적재, 화염 및 실제 선원 누출 검증을 통과합니다. 운송 용기는 IAEA SSR-6 및 TS-R-1 규격을 엄격히 준수하며, 9m 자유 낙하, 관통, 800°C 30 분 화염 및 침수를 포함한 모든 형식 시험을 완료합니다. 폐기물 및 지층 처분 용기는 국가 표준 GB 14500 및 IAEA SSG-23 요건을 준수하며, 장기 침수, 방사선 노화 및 격납 검증을 거칩니다. 과학 연구 및 특수 환경 컨테이너는 프로젝트 기술 계약에 따라 맞춤형 진공 배기, 극저온, 심해 고압 또는 강력한 자기장 호환성 검증을 거칩니다.

검증 절차는 자격을 갖춘 제 3 자 기관과 사용자가 공동으로 완료해야 하며, 모든 원본 기록, 측정된 사진, 비디오 및 실제 방사선원 교정 데이터는 영구 보관해야 합니다. 측정된 외부 표면 선량률, 누설 각도 분포, 낙하 무결성 및 규제 한계가 모두 충족되고 합리적인 여유가 허용 될 때에만 선정 계획이 도면, 공정 및 조달 기술 조건에 공식적으로 반영되어 양산 단계에 들어갈 수 있습니다. 방사선 특성 계산, 시나리오 제약 매칭, 그리고 업계 표준 물리적 검증으로 구성된 3 단계 과학적 선정 방법은 세계 유수의 핵의학 센터, 동위원소 공장, 결합 검출 회사, 그리고 항공우주 연구소들이 텅스텐 합금 차폐 용기를 조달할 때 반드시 거쳐야 할 필수적이고 상호 연결된 절차입니다. 이 방법은 공장에서 출고되는 모든 텅스텐 합금 차폐 용기가 "충분히 가깝지" 않은 상태, 즉 "딱 맞는" 상태인지 확인합니다.

6.2 텅스텐 합금 차폐 탱크의 안전 작동 절차

텅스텐 합금 차폐 용기는 매우 높은 안전 여유를 가지고 있지만, 사용 단계는 방사선

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

방호 체계에서 인적 오류가 가장 발생하기 쉬운 단계입니다. 운영 절차를 위반하면 인원 과다 선량, 통제되지 않은 선원 조건, 또는 용기 손상으로 이어질 수 있습니다. 따라서 전체 공정, 모든 인력, 그리고 모든 기록을 포괄하는 필수 안전 운영 절차를 수립하는 것이 필수적입니다.

6.2.1 텅스텐 합금 차폐 탱크의 기본 작동 절차 및 사양

기본 작업에는 뚜껑 열기, 소스 로딩, 소스 꺼내기, 뚜껑 닫기, 청소, 상태 확인 및 일일 검사가 포함되며, "2 인, 2 개의 잠금 장치, 단계별 확인 1 회, 추적 가능한 기록"의 핵심 원칙을 엄격히 따라야 합니다.

뚜껑을 열기 전에 세 가지 확인을 완료해야 합니다. 선원 위치 확인 (선원이 안전 구역에 있는지 여부), 선량률 확인(외부 표면이 배경 범위 내에 있는지 여부), 잠금 및 연동 상태 확인. 뚜껑을 여는 과정은 특수 도구나 로봇 팔을 사용하여 수행해야 합니다. 단독 작업, 뚜껑을 강제로 들어 올리는 것, 뚜껑이 완전히 위치하기 전에 선원을 삽입하거나 제거하는 것은 엄격히 금지됩니다. 선원 로딩 및 언로딩은 지정된 가열 챔버, 차폐 수술대 또는 선원 변경 호그에서 완료해야 합니다. 작업자는 프로세스 전체에서 개인 선량계와 전자 경보기를 착용해야 합니다. 뚜껑을 닫은 직후 선량률 재시험, 쉴의 시각적 검사 및 잠금 장치의 잠금을 수행해야 합니다. 선량률 값, 작업 시간, 작업자, 검사자 및 고유 탱크 번호를 기록해야 합니다.

오염 제거 작업은 전용 오염 제거실 또는 오염 제거 테이블에서 규정된 오염 제거제와 일회용 물티슈를 사용하여 수행해야 합니다. 강철솜, 사포 또는 강산을 사용하여 텅스텐 합금 본체에 직접 접촉하는 것은 엄격히 금지됩니다. 매 사용 후후에 표면 오염을 확인해야 합니다. 오염이 허용 수준을 초과하는 경우, 해당 구역을 즉시 격리하고 오염 확산 방지 절차를 시작해야 합니다. 모든 작업 기록은 방사선 안전 관리 정보 시스템에 실시간으로 업로드해야 합니다. 서명, 검토 또는 기록이 없는 단계는 무효 작업으로 간주됩니다.

6.2.2 텅스텐 합금 차폐 용기의 이동 및 운송을 위한 안전 요구 사항

용기 사용 시 가장 높은 방사선 위험이 있는 부분에 대해서는 " 고정 경로, 전용 도구, 실시간 모니터링, 이중 책임, 비상 대비"라는 5가지 필수 요건을 구현해야 합니다. 휴대용 컨테이너는 인체공학적으로 설계된 손잡이나 카트를 사용하여 운반해야 합니다. 지정된 무게를 초과하는 컨테이너를 단독으로 운반하는 것은 엄격히 금지됩니다. 대형 컨테이너는 하중 지지가 검증된 리프팅 러그와 특수 리프팅 장비를 사용해야 합니다. 리프팅 전 슬링을 검사하고, 리프팅 지점의 선량률을 측정하고, 컨테이너 아래에 제한 구역을 설정해야 합니다. 운송 경로는 사전에 신고하고 방사선 경고 표지판을 명확하게 표시해야 합니다. 컨테이너의 위치와 선량 상태를 실시간으로 보고하기 위해 이동식 선량률 측정기와 무전기를 경로에 설치해야 합니다. 병원 내 운송은 공공 통로와 뒤편 엘리베이터 시간대를 피해야 합니다. 옥외 및 고속도로 운송은 B(U)형 또는 AF 형 사양을 준수하는 특수 운송 컨테이너와 차량을 사용해야 합니다. 운전자와 호위 요원

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

모두 방사선 안전 교육 자격증을 소지해야 합니다.

전체 과정 동안 탱크를 규정된 시간 제한을 초과하여 차폐되지 않은 개방된 공간에 방치하거나, 다른 물질과 혼합하거나, 탱크 외부 표면에 고정되지 않은 표시를 하는 것은 엄격히 금지됩니다. 목적지에 도착하는 즉시 선량률을 재시험하고 외관의 무결성을 검사하십시오. 이상이 발견되면 즉시 현장에서 해당 구역을 격리하고 비상 절차를 시행하십시오.

6.2.3 텅스텐 합금 차폐 탱크의 비상 대응 및 문제 해결

텅스텐 합금 차폐 용기 자체로는 고장을 봉쇄하는 것이 거의 불가능하지만, 최악의 시나리오에 대비하여 단계별 비상 대응 및 고장 처리 절차를 개발하여 모든 비정상 상황을 최단 시간 내에 제어할 수 있도록 하는 것이 여전히 필요합니다.

일반적인 이상은 세 가지 범주로 나뉩니다.

1. 탱크가 낙하하거나 충격을 받는 경우: 즉시 제한 구역을 설정하고, 긴 손잡이가 있는 선량계로 원격 측정하고, 외부 표면의 선량률이 크게 증가하면 누구도 접근하지 못하도록 하십시오. 원격 로봇 팔이나 로봇을 사용하여 탱크를 예비 차폐 구덩이 또는 비상용 컨테이너로 옮기십시오.
2. 뚜껑이 막히거나 밀봉이 손상된 경우: 탱크를 움직이지 않게 유지하고 뚜껑을 억지로 열지 마십시오. 여분의 보호막이나 납 덮개를 사용하여 탱크를 임시로 덮고, 제조업체에 연락하여 특수 도구를 갖춘 전문가팀을 현장에 파견하여 문제를 해결하십시오.
3. 표면 오염 확산: 해당 구역을 즉시 봉쇄하고, 전신 보호복을 착용하고, 특수 오염 제거제와 흡입 장치를 사용하여 국소 오염을 제거하고, 오염된 물질을 특수 폐기물 봉지에 넣고, 이후 전신 오염 검사와 환경 선량률 모니터링을 실시합니다.

모든 비상 대응은 방사선 안전 책임자의 지휘 하에 수행되어야 하며, 비상 기록 양식을 활성화하고 계층 구조를 통해 보고를 전달해야 합니다. 근본 원인 분석 및 시정/예방 조치는 발생 후 24 시간 이내에 완료되어야 합니다. 모든 작업자가 30 초 이내에 비상 장비를 올바르게 착용하고, 1 분 이내에 제한 구역을 설정하고, 3 분 이내에 초기 격리를 완료할 수 있도록 매년 최소 한 번의 전체 프로세스 비상 훈련을 실시해야 합니다.

기본 운영 절차, 이동식 이송 요건, 비상 대응 조치를 의무 시스템으로 확립하고 정기적인 훈련과 평가를 실시해야만 텅스텐 합금 차폐 탱크의 높은 안전 성능이 실제로 사고 0건, 과다 복용 0건, 오염 확산 0건으로 전환되어 "좋은 탱크"에서 "좋은 사용"으로 이어지는 포괄적인 폐쇄 루프를 달성할 수 있습니다.

6.3 텅스텐 합금 차폐 캐니스터의 일일 유지 관리 및 수명 연장 기술

텅스텐 합금으로 차폐된 탱크 본체는 수십 년에서 수백 년까지 사용할 수 있지만, 썰,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

코팅, 연동 장치, 그리고 기능적 부속품은 수명이 유한한 부품입니다. 과학적이고 체계적이며 추적 가능한 일일 유지 관리 시스템을 구축해야만 탱크 전체가 수명 기간 동안 "본체는 절대 파손되지 않고 기능은 항상 새것처럼" 최적의 상태를 유지할 수 있습니다.

6.3.1 텅스텐 합금 차폐 탱크의 정기 청소 및 유지 관리 방법

텅스텐 합금 차폐 탱크는 "부드럽고, 표준화되고, 기록되고, 추적 가능"이라는 원칙을 따릅니다. 핵심 목표는 텅스텐 합금 본체와 기능성 코팅을 손상시키지 않고 표면 방사능 오염 및 화학 잔류물을 철저히 제거하는 것입니다.

매일 청소는 3단계 방법을 사용합니다.

1. 먼저, 중성 또는 약알칼리성 세제에 적신 일회용 보푸라기 없는 천을 사용하여 부드럽고 한 방향으로 반복되지 않는 동작으로 전체 표면을 순서대로 닦습니다.
2. 70% 의료용 알코올이나 저농도 과산화수소 용액으로 다시 닦아서 남아 있는 세제를 제거하세요.
3. 마지막으로 초순수와 보풀 없는 천으로 깨끗이 행군 후 자연 건조하거나 저온 열풍으로 건조하십시오. 염소계 표백제, 강철습, 유기 용제, 강산 또는 강알칼리를 텅스텐 합금 본체에 직접 접촉시키는 것은 엄격히 금지되어 있습니다. 세척 후 표면 오염물을 닦아내고 즉시 샘플을 채취하여 모니터링해야 합니다. 오염물이 옮겨지지 않았음을 확인한 후에만 제품을 원래 위치에 다시 놓을 수 있습니다.

주요 유지 관리 사항은 다음과 같습니다.

- 매달 밀봉 표면, 미로형 홈, 래치 및 힌지에 방사선 저항성 실리콘 그리스 또는 흑연 기반 건조 필름 윤활제를 바릅니다.
- 러그는 매 분기마다 외관과 조임 토크를 검사해야 합니다.
- 탱크 전체 표면에 대한 육안 검사는 매년 실시해야 합니다. 긁힘이나 국부적인 광택 손실은 즉시 기록하고 현장 수리 절차를 시작해야 합니다. 모든 세척제, 윤활제, 천은 이 탱크에만 사용해야 하며 일회용입니다. 사용 후에는 방사성 폐기물로 폐기해야 합니다.

6.3.2 텅스텐 합금 차폐 캔의 정기 검사 및 성능 교정

텅스텐 합금 본체는 성능 저하가 거의 없지만, 전체 차폐 시스템은 여전히 정기적인 테스트를 통해 기능이 제어되고 있는지 확인해야 합니다.

테스트 주기는 월별, 분기별, 연간의 세 가지 수준으로 나뉩니다.

- 월별 검사: 외부 표면 선량률의 파노라마 스캐닝, 밀봉 표면의 시각 검사 및 닦기 오염 검사, 래치 및 인터록 기능 테스트;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 분기별 검사: 정밀 초음파 벽 두께 측정(최소 벽 두께 영역과 구멍 바닥에 초점을 맞춤), 표면 코팅 접착력 및 접촉각 재측정, 선량률 표시 화면 및 전자 태그 기능 교정;
- 연간 검사: 실제 소스 교정(표준 코발트-60 또는 세슘-137 소스를 사용하여 지정된 거리에서 외부 표면의 선량률과 누설 각도 분포를 측정), 전반적인 누출 감지를 위한 헬륨 질량 분석법, 드롭 버퍼 패드와 충격 흡수 시스템의 무결성 검사.

모든 시험은 계측학적으로 교정된 계측기를 사용하여 두 명의 공인 방사선 방호 담당자가 수행해야 합니다. 원시 데이터는 실시간으로 방사선 안전 관리 시스템에 업로드해야 합니다. 지표가 기준치를 80% 초과하는 것으로 확인되면 시스템 등급을 즉시 낮추고 특별 수리를 실시해야 합니다. 60% 미만인 경우 시스템을 격리하고 가동을 중단해야 합니다.

6.3.3 텅스텐 합금 차폐 탱크의 취약 부품 교체 및 유지 관리

텅스텐 합금 차폐 용기는 주로 밀봉 링, 기능성 코팅, 잠금 스프링, 선량률 표시 화면, 충격 흡수 패드, 일회용 내부 라이너, 그리고 전자 태그 로 구성됩니다. 이 모든 부품은 예방적 교체와 상태 기반 교체를 결합한 전략을 통해 유지 관리됩니다.

밀봉 링(금속 C-링, 불소 고무 O-링, PTFE 코팅 링)은 1~3 년마다 또는 누적 개폐 사이클 1000~3000 회마다 예방적으로 교체해야 합니다. 교체는 클린룸에서 수행해야 하며 헬륨 질량 분석 누출 테스트를 다시 수행해야 합니다. 기능성 코팅(불소화 세척 용이 코팅, DLC, CrN)은 넓은 영역이 긁히거나 접착력이 감소하거나 접촉각이 크게 증가한 경우 전문 제조업체에 보내 완전한 재코팅을 받아야 합니다. 현장 터치업은 금지되어 있습니다. 잠금 장치, 힌지, 스프링 및 신축 개방 메커니즘은 매년 윤활해야 합니다. 걸림이나 느린 복귀가 발견되면 전체 조립품을 즉시 원래 공장 예비 부품으로 교체해야 합니다. 투여량 표시, NFC/RFID 전자 태그 및 배터리 모듈은 식별 및 활동 모니터링 기능이 절대 실패하지 않도록 5 년마다 또는 배터리 수준이 20% 미만일 때 교체해야 합니다. 일회용 내부 라이너와 희생 라이너는 열교환기에서 제거하여 오염으로 포화된 후 교체해야 합니다. 오래된 내부 라이너는 저~중 방사성 폐기물로 폐기해야 합니다.

모든 취약 부품은 "순정 공장 부품, 고유 코드, 추적 가능한 배치"를 보장하는 조달 및 교체 시스템을 거칩니다. 교체 기록은 기존 부품과 함께 10 년 이상 보관됩니다.

엄격한 세척 및 유지관리, 정기적인 테스트 및 교정, 취약한 부품의 예방적 교체를 통해 텅스텐 합금 차폐 탱크는 평생 유지관리가 필요 없는 이상적인 본체 상태와 끊임없이 새로운 기능 구성 요소를 쉽게 달성할 수 있으며, 실제 사용 수명을 이론상 수십 년에서 반세기 이상으로 효과적으로 연장하여 "일회성 투자, 평생 걱정 없음"을 진정으로 달성합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제 7장 텅스텐 합금 차폐 캔과 다른 차폐 캔의 비교

7.1 텅스텐 합금 차폐 캔과 납 합금 차폐 캔의 비교

납 및 납 합금(납-안티몬, 납-주석, 납-비스무트 등)은 오랫동안 감마선 차폐에 적합한 재료로 여겨져 왔지만, 그 내재적 결함은 현대의 고수준 방사선 방호 시스템에서 점점 더 두드러지고 있습니다. 텅스텐 합금 차폐 용기와 납 합금 차폐 용기는 재료 특성, 성능 및 수명 주기 특성에 있어 체계적이고 돌이킬 수 없는 세대 간 차이를 보입니다.

7.1.1 텅스텐 합금 차폐캔과 납 합금 차폐캔의 성능 비교(차폐 효율, 밀도 등)

텅스텐 합금과 납 합금은 모두 감마선 감쇠 능력 측면에서 높은 원자 번호 체계에 속하지만, 텅스텐 합금은 체적 효율, 기계적 특성, 조사 안정성 및 기하학적 충실도 측면에서 포괄적인 이점을 가지고 있습니다. 텅스텐 합금은 순수 납 및 대부분의 납 합금보다 거시적 밀도가 훨씬 높아 동일한 질량에 대해 전체 치수와 두께를 줄일 수 있어 캔의 전체 무게와 공간 요구량을 크게 줄일 수 있습니다. 텅스텐 합금의 연속적인 텅스텐-텅스텐 골격과 고강도 결합상은 매우 높은 항복 강도와 크리프 저항성을 제공하여 복잡한 미로, 깊은 막힌 구멍, 얇은 바닥 구조의 직접 가공을 가능하게 합니다. 반면, 납 합금은 주조 또는 두꺼운 벽의 단순한 형상으로만 제작할 수 있어, 통합형 킥 오픈 뚜껑과 정밀한 정렬을 구현하기가 어렵습니다.

장기간 방사선 조사 시 납 합금은 방사선 팽창, 결정립계 액화, 크리프 변형에 매우 취약하여 벽 두께 감소, 밀봉 불량, 누설 채널 형성을 초래합니다. 반면 텅스텐 합금은 우수한 방사선 저항성을 나타내며, 미세 구조와 치수가 수십 년 동안 변하지 않습니다. 고온 조건에서 납 합금은 텅스텐 합금의 녹는점보다 훨씬 낮은 온도에서 연화되고 유동하는 반면, 텅스텐 합금은 수백 섭씨 온도에서도 장시간 구조적 무결성을 유지할 수 있습니다. 표면 내식성과 관련하여, 납 합금은 산성 세제와 습한 환경에서 느슨한 산화물층과 탄산납 분말층을 빠르게 형성하는 반면, 텅스텐 합금은 치밀한 부동태 피막을 가지고 있으며, 이 피막은 경질 코팅으로 더욱 강화되어 반복적인 강한 산화 및 세척에도 평활성을 잃지 않습니다. 요약하자면, 텅스텐 합금 차폐 용기는 차폐 부피 효율성, 구조적 강도, 방사선 및 열 안정성, 기하학적 정확도, 장기 격리 등 모든 측면에서 납 합금보다 성능이 뛰어나 고수준 시나리오에 적합한 유일한 기술적 접근 방식입니다.

7.1.2 텅스텐 합금 차폐 탱크와 납 합금 차폐 탱크의 환경 친화성 비교

납과 그 합금은 중금속 독소로 명확히 정의되어 있으며, 생산 및 사용부터 오염 제거 및 폐기에 이르기까지 전체 수명 주기에 걸쳐 심각한 환경 및 건강 위험을 초래합니다. 반면, 텅스텐 합금은 그 재료의 근본적인 특성으로 인해 진정한 친환경 순환 고리를 이룹니다.

증기 및 반복적인 세척 공정 중 용해성 납염이 발생할 수 있습니다. 이러한 물질에 장기간 노출되면 작업자가 만성 납 중독에 걸릴 수 있으며, 납은 환경에 축적되어 먹이 사슬을 통해 유입되어 영구적인 오염을 유발할 수 있습니다. 폐기된 납 용기는 특수

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

매립지 또는 고비용 납 재활용 공정을 통해서만 유해 폐기물로 폐기할 수 있으며, 이러한 공정 자체에도 납 증기 및 납 슬래그로 인한 2차 오염이 발생합니다. 반면 텅스텐 합금은 납, 카드뮴, 수은과 같은 중금속이 전혀 함유되어 있지 않습니다. 표면 세척 시 매우 소량의 일반 방사성 폐기물만 생성되므로 중금속 방출 위험이 없습니다. 폐기된 텅스텐 합금 용기는 직접 녹여 재활용할 수 있으며, 텅스텐 및 니켈-철/니켈-구리 바인더 상을 100% 재활용 및 재사용할 수 있습니다. 특별한 유해 폐기물 처리가 필요 하지 않아 진정한 원자 경제 및 무폐기물(Zero Waste)을 달성합니다.

규제 측면에서 EU RoHS 와 REACH, 그리고 중국의 유해 폐기물 목록은 납 함유 차폐 제품에 대한 규제를 더욱 엄격하게 적용하고 있습니다. 반면 텅스텐 합금은 가장 엄격한 환경 및 생물 안전 기준을 완벽하게 준수하여 병원 멸균실, 클린룸, 그리고 수출 시장에 자유롭게 진출할 수 있습니다. 텅스텐 합금 차폐 용기의 환경적 특성은 "무해"에서 "재활용 가능한 자원"으로 업그레이드되어 납 차폐 시대의 장기적인 환경적 책임을 완전히 종식시키고 방사선 차폐 재료의 친환경화를 위한 궁극적인 방향을 제시합니다.

7.1.3 텅스텐 합금 차폐 캔과 납 합금 차폐 캔의 적용 시나리오 비교

납 합금 차폐 용기와 텅스텐 합금 차폐 용기 사이에 적용되는 경계는 명확하고 거의 겹치지 않는 분수령을 형성했습니다.

납 합금은 매우 제한적인 저요구, 일시적, 일회성 또는 극히 드물게 사용되는 시나리오에 머물러 있습니다. 이러한 시나리오에는 저활성 결함 탐지원의 단기 임대 임시 보관, 현장에서의 일회성 지질 채집, 매우 제한된 예산으로 진행되는 교육 시범, 그리고 아직 교체가 완료되지 않은 일부 개발도상국의 노후 장비 유지 관리 등이 있습니다. 이러한 시나리오는 낮은 작동 빈도, 취약한 제염 요구, 낮은 인력 전문성, 무게와 부피에 대한 민감성 부족, 그리고 장기적인 환경적 영향에 대한 고려 부족 등의 공통적인 특징을 공유합니다.

텅스텐 합금 차폐 캐니스터는 모든 고급, 장수명, 고주파 작동 및 엄격한 규제 시나리오에 적합합니다.

- 핵의학 진단 및 치료의 전체 과정(PET-CT 실, 열치료실, 치료병동)
- 동위원소 생산 및 포장 핫 챔버;
- 고성능 산업용 방사선 검사 및 온라인 비파괴 검사
- 사용후핵연료 및 고준위방사성폐기물의 중간저장, 운반 및 일시저장
- 항공우주 방사선 시험 및 궤도상 지역 차폐
- 반도체 클린룸 및 정밀 기기를 위한 저배경 실험실
- 비자성체이고, 고온 고압 살균이 가능하며, 심층 오염 제거가 가능하고, 완전히 재활용 가능한 모든 현대식 방사선 방호 시설입니다.

시나리오가 다음의 위험선에 해당하면: 빈번한 로봇 또는 수동 조작, 강력한 산화 세제의 반복적 사용, MRI 실과의 호환성, 청결 요구 사항, 10년 이상의 수명 또는 규정에 따른 납

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제품의 의무적 단계적 폐지, 납 함금은 완전히 배제되고 텅스텐 함금만이 규정을 준수하고 기술적으로 실행 가능한 솔루션이 됩니다.

7.1.4 텅스텐 함금 차폐 탱크와 납 함금 차폐 탱크의 총 수명 주기 비용 비교

전통적인 사고방식에 따르면 납 함금은 초기 구매 가격이 낮지만, 엄격한 수명 주기 회계(LCC) 프레임워크에 따르면 텅스텐 함금 차폐 용기는 압도적인 이점을 보여주었습니다.

납 함금 캔의 초기 구매 비용은 낮지만, 그 이후의 숨겨진 비용과 명시적 비용이 빠르게 누적됩니다.

- 납 분진 방지, 혈중 납 모니터링, 직업병 보상을 위한 예비 기금은 매년 증가해야 합니다.
- 각 오염 제거 과정에는 대량의 일회용 보호 장비가 필요하고 위험 폐기물 처리 비용이 많이 발생합니다.
- 평균적으로 크립, 부식 또는 오염 포화로 인해 5~8 년마다 완전히 폐기되어 재구매가 필요하고 위험 폐기물 운송 및 매립 비용을 지불해야 합니다.
- 잦은 교체로 인해 가동 중지 손실이 발생하고 인력 교육 비용이 지속적으로 증가했습니다.

텅스텐 함금 차폐 용기는 비교적 가격이 높지만, 그에 따른 비용은 거의 없습니다.

- 본체는 수명 동안 큰 수리가 필요하지 않으며, 썰과 같이 쉽게 마모되는 부품의 교체 비용도 무시할 만합니다.
- 얼룩 제거에는 일반적인 닦기 작업만 필요하며, 소모품과 노동비에 드는 비용이 매우 저렴합니다.
- 표면 오염은 쉽게 제거되며, 추가적인 위험 폐기물이 거의 발생하지 않습니다.
- 폐기된 귀중한 금속은 그대로 재활용되어 긍정적인 이익을 창출할 수도 있습니다.
- 교체가 거의 없기 때문에 장비 가용성은 거의 100%에 가까워 막대한 간접 경제적 이익을 얻을 수 있습니다.

여러 최고 핵의학 센터, 동위원소 공장, 그리고 산업 결합 검출 회사의 실제 계산에 따르면, 텅스텐 함금 차폐 용기는 5~7 년차에 비용 변곡점에 도달하며, 이후 사용 수명이 1년 증가할 때마다 순수익으로 전환됩니다. 10년 이상 사용 시 텅스텐 함금 차폐 용기의 총소유비용(TCO)은 납 함금 시스템의 40~60%에 불과하며, 이러한 이점은 사용 수명이 연장됨에 따라 더욱 확대됩니다.

결론은 명확합니다. 장기적인 신뢰성, 환경 친화성, 그리고 규정 준수가 요구되는 모든 현대 방사선 방호 시나리오에서 텅스텐 함금 차폐 용기는 "고급 옵션"에서 "유일한 경제적인 옵션"으로 완전히 탈바꿈했습니다. 납 함금 차폐 용기의 시대는 돌이킬 수 없이 끝났습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2 텅스텐 합금 차폐 탱크와 강철 차폐 탱크의 비교

일반 강철 및 스테인리스강 차폐 용기(탄소강, 붕소강, 저탄소 스테인리스강, 듀플렉스 스테인리스강 등)는 저렴한 가격과 가공 용이성으로 인해 저에너지 및 중에너지 감마선과 중성자에 대한 조대한 차폐에 널리 사용되었습니다. 그러나 현대의 고규격, 장수명, 정교한 방사선 방호 시스템에서는 재료의 고유한 한계로 인해 노심 시나리오의 요구를 충족하지 못하고 있습니다. 텅스텐 합금 차폐 용기와 강철 차폐 용기는 차폐 효과, 기계적 거동, 그리고 환경 내구성 측면에서 근본적인 차이를 보입니다.

7.2.1 텅스텐 합금 차폐용기와 강철 차폐용기의 차폐 성능 비교

강철 차폐 용기는 감마선 감쇠를 위해 주로 철의 원자 번호와 질량 흡수 계수에 의존하는 반면, 텅스텐 합금은 텅스텐의 매우 높은 원자 번호와 밀도로 인해 체적 차폐 효율이 기하급수적으로 향상됩니다. 동일한 외형 치수에서 텅스텐 합금 용기는 고에너지 감마선을 강철 용기의 극히 일부 이하로 감쇠시킬 수 있습니다. 동일한 차폐 효과를 위해 텅스텐 합금 용기의 벽 두께는 강철 용기의 극히 일부에 불과하여 무게와 부피를 크게 줄일 수 있으므로, 공간 및 무게 제약이 엄격한 상황에서 유일하게 실현 가능한 솔루션입니다.

중성자 차폐에서 강철 용기는 일반적으로 열 중성자 흡수를 위해 붕소 함유 폴리에틸렌, 붕소 강판 또는 무거운 콘크리트로 추가로 채워야 합니다. 그러나 이러한 복합 구조는 필연적으로 계면, 이음매, 밀도 불균일성을 초래하여 중성자 누출 및 2차 감마선 증폭을 초래합니다. 반면 텅스텐 합금 용기는 텅스텐-니켈-철 시스템 자체의 중성자 감속 성능과 내장된 붕화물 또는 희토류 산화물 삽입물을 결합하여 계면이나 취약 영역 없이 연속적인 감마선-중성자 차폐를 달성할 수 있습니다. 강철 용기는 수소 휘발, 붕소 연소, 계면 노화로 인해 고프럭스 혼합 방사선장에서 성능 저하에 매우 취약하지만, 텅스텐 합금 용기의 차폐 효과는 수십 년 동안 일정하게 유지됩니다.

광범위하고 복잡한 선원장 환경에서 강철 차폐는 "층별 적층"을 통해서만 조밀한 차폐를 달성할 수 있는 반면, 텅스텐 합금 차폐는 경사 벽 두께, 통합 콜리메이션, 그리고 정밀한 삽입을 통해 정교하고 방향 제어가 가능한 차폐 설계를 달성할 수 있습니다. 강철 차폐 캔은 저활성, 일시적, 대용량 허용 시나리오를 위한 과도기적 제품으로 전략한 반면, 텅스텐 합금 차폐 캔은 고성능, 정밀, 장수명 차폐를 위한 유일한 기술적 경로가 되었습니다.

7.2.2 텅스텐 합금 차폐 탱크와 강철 차폐 탱크의 기계적 특성 비교

강철은 높은 공칭 강도를 가지고 있지만, 높은 중형비의 블라인드 홀, 얇은 바닥 두꺼운 벽으로 이루어진 전이부, 복잡한 미로, 그리고 방사선 차폐 용기에 필요한 일체형 리프팅 러그 구조로 인해 가공성과 치수 정확도가 근본적으로 제한됩니다. 강철 탱크는 일반적으로 용접이나 볼트 체결로만 조립할 수 있어 용접 열영향부, 응력 집중, 그리고 잠재적인 누설 채널이 발생할 수밖에 없습니다. 반면, 텅스텐 합금은 거의 순수한 형상의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

성형 및 정밀 가공 공정을 통해 단일 작업으로 이음매 없는 일체형의 두꺼운 벽을 가진 불규칙한 형상의 탱크를 성형할 수 있어 인터페이스 파손 위험을 완전히 제거합니다.

충격 및 낙하 저항성 측면에서 강철 캔은 어느 정도 인성을 갖추고 있지만, 높은 변형률 속도 하중에서 소성 변형, 용접 균열, 밀봉 표면 휘어짐이 발생하기 쉽습니다. 반면, 텅스텐 합금은 고밀도 및 고강도-인성 매칭을 통해 동일한 두께의 강철보다 훨씬 더 높은 변형 저항성을 제공합니다. 실수로 캔을 떨어뜨려도 작은 국소적인 움푹 들어간 부분만 남을 뿐, 관통 손상이나 기하학적 충실도 저하를 초래하지 않습니다.

장기 사용 안정성 측면에서 강철 탱크는 방사선 조사, 열 사이클링, 부식의 복합적인 영향으로 수소 유도 지연 균열, 응력 부식 균열, 그리고 입계 부식에 취약하며, 특히 용접 부위가 취약합니다. 반면 텅스텐 합금은 수소를 거의 흡수하지 않고, 방사선 취성을 겪지 않으며, 결정립계에 약한 결합상이 없고, 크기와 형태가 수십 년 동안 변하지 않습니다. 텅스텐 합금 차폐 탱크는 "구조 + 차폐"에서 "구조로서의 차폐"로 근본적인 도약을 이룬 반면, 강철 차폐 탱크는 "구조 하중 지지 + 외부 차폐"라는 전통적인 단계에 머물러 있습니다.

7.2.3 텅스텐 합금 차폐용기와 강철 차폐용기의 환경 적응성 비교

강철 차폐 탱크의 환경 적응성은 철 기반 재료의 고유한 화학적 활동과 미세 구조 결합으로 인해 제한을 받으며, 복잡한 서비스 환경에서의 성능이 점점 더 부족해지고 있는 반면, 텅스텐 합금은 예상치 못하게 광범위한 환경 내구성을 보여줍니다.

고부식성 제염 환경(농축 질산, 과산화수소, 차아염소산나트륨, 강알칼리, 고온 증기)에서 일반 탄소강은 빠르고 완벽하게 부식됩니다. 스테인리스강은 부동태화 피막을 형성할 수 있지만, 장기간 반복적인 제염 작업 후에는 특히 용접부 및 열영향부에서 공식 부식, 틈새 부식, 응력 부식 균열이 불가피합니다. 텅스텐 합금은 표면에 매우 얇고 치밀한 산화 부동태화 피막을 형성할 수 있습니다. CrN, DLC 또는 불소 함유 이온 방지 코팅과 함께 사용하면 최고 등급 듀플렉스 스테인리스강 및 하스텔로 이보다 훨씬 뛰어난 내식성을 발휘하여 가장 까다로운 핵의학 및 고온 챔버 제염 작업에서도 수십 년 동안 경면 마감을 유지합니다.

고온, 고습, 염분 분무 환경에서 강철 캔은 적녹, 염분 침전, 코팅 기포 발생에 매우 취약합니다. 반면, 폴리우레아 또는 불소화합물 코팅과 결합된 텅스텐 합금은 거의 영구적인 내후성을 나타냅니다. 고조사 환경에서 강철은 상당한 조사 팽창, 인성 손실, 활성화 생성물 축적을 겪는 반면, 텅스텐 합금은 일정한 미세 구조와 특성을 유지하여 활성화 생성물 함량이 매우 낮고 분해 속도가 빠릅니다.

청결 및 생물 안전 요건이 매우 높은 핵의학 및 제약 환경에서는 강철 용기를 거울처럼 만들기 어렵고, 미세한 사각지대는 깨끗이 세척하기 어렵습니다. 더욱이 장기간 사용 후에는 녹 입자가 2 차 오염원이 됩니다. 텅스텐 합금 용기는 전체 표면 거울 전해 연마 및 의료용 등급의 세척이 용이한 코팅을 쉽게 구현하여 먼지와 때의 축적을 완전히 제거하고, 에틸렌 옥사이드, 과산화수소 플라즈마, 고온 고압 증기 멸균과 완벽하게

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

호환됩니다.

수명 종료 및 재활용 과정에서 강철 탱크는 심각한 오염과 부식으로 인해 대량의 저준위 폐기물로 처리되는 경우가 많아 부피가 크고 폐기 비용이 많이 듭니다. 반면 텅스텐 합금 탱크는 직접 녹여 통재로 재활용할 수 있으며, 재활용률은 거의 100%에 달해 진정한 재료 폐쇄 루프와 폐기물 제로를 달성합니다.

요약하자면, 강철 차폐 용기는 조건이 온화하고 제염 요구 사항이 낮으며 예상 수명이 짧은 혹독한 환경에만 적합한 반면, 텅스텐 합금 차폐 용기는 극지방부터 심해까지, 클린룸부터 고온 챔버까지 모든 혹독한 환경을 포괄하여 현대 방사선 차폐 용기의 환경 적응성을 위한 궁극적인 기준이 되었습니다. 강철 차폐 용기의 역할은 독립적인 차폐 장치가 아닌, 텅스텐 합금 시스템의 보조 라이닝이나 외피로 조용히 전락했습니다.

7.3 텅스텐 합금 차폐 용기와 복합 차폐 재료 용기의 비교

복합 차폐재 캐니스터는 주로 납-폴리에틸렌, 붕소-폴리에틸렌, 가돌리늄/붕소 함유 고무, 무거운 콘크리트-텅스텐 분말 혼합물, 텅스텐-수지 사출 성형 본체, 텅스텐-폴리머 섬유 적층판과 같은 최근 몇 년 동안 등장한 시스템을 지칭합니다. 이러한 소재는 한때 "경량 및 다기능" 이점을 제공할 것으로 기대되었지만, 실제로 높은 기준, 긴 수명, 엄격한 규제 환경에서는 내재적인 인터페이스 문제, 노화 메커니즘, 그리고 돌이킬 수 없는 성능 저하로 인해 텅스텐 합금 차폐 캐니스터를 완전히 대체하기 어려웠습니다.

7.3.1 텅스텐 합금 차폐 캔과 복합 차폐 재료 캔의 재료 구성 비교

단일 상 하의 텅스텐-니켈-철 또는 텅스텐-니켈-구리의 준이원/삼원 공용 시스템입니다. 다이어그램. 액상 소결을 통해 연속적인 텅스텐 입자 골격과 완전히 젖은 결합체 상을 갖는 균질하고 조밀한 금속 재료를 형성합니다. 전체 재료에는 거시적인 계면, 중합체 성분 및 휘발성 유기 화합물이 없습니다. 반면, 복합 차폐재 용기는 본질적으로 다상, 다중 스케일의 인공적으로 구성된 시스템입니다. 고밀도 무기 필러(납 입자, 텅스텐 분말, 탄화붕소, 산화가돌리늄)가 폴리에틸렌, 에폭시 수지, 실리콘 고무, 폴리우레탄 또는 특수 불소 수지 매트릭스에 부피 기준으로 50~85%로 분산됩니다. 필러와 매트릭스는 물리적 혼합 또는 약한 화학 결합을 통해 결합되며, 계면은 항상 재료의 가장 약한 지점입니다.

텅스텐 합금은 제어가 용이하고 배치 간 일관성이 매우 뛰어나며, 총 불순물은 제약 등급 수준으로 감소합니다. 반면, 복합 재료는 매트릭스 분해 산물, 충전제 응집, 가소제 이동, 그리고 잔류 계면 촉진제를 불가피하게 발생시킵니다. 가장 고가의 의료용 수지와 초미립 텅스텐 분말을 사용하더라도, 복합 시스템의 순도와 균일성은 소결 텅스텐 합금보다 훨씬 낮으며, 시간이 지남에 따라 돌이킬 수 없게 열화됩니다.

7.3.2 텅스텐 합금 차폐 캔과 복합 차폐 재료 캔의 차폐 메커니즘 비교

텅스텐 합금 차폐 용기는 연속적이고 균질하며 등방성인 벌크 감쇠 특성을 보입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

감마선은 연속적인 광전 및 콤프턴 쌍 생성을 통해 높은 원자번호의 텅스텐 입자와 상호 작용합니다. 텅스텐에 의해 감쇠된 중성자는 결합제 상 또는 내장된 흡수체에 의해 효율적으로 포획됩니다. 이 전체 과정에는 계면 반사, 2 차 방사선 증강, 그리고 약한 지향성 영역이 없습니다. 반면, 복합 차폐 재료 용기의 차폐 메커니즘은 층상, 상 분리, 그리고 불균일 캐스케이드 감쇠 특성을 보입니다. 감마선은 먼저 고밀도 필터 입자 내에서 감쇠된 후 저밀도 유기 매트릭스로 진입하여 많은 수의 2 차 전자와 특성 X 선을 생성합니다. 수소 함유 매트릭스에서 감쇠된 중성자는 붕소 또는 가돌리늄에 흡수되기 위해 계면을 통과해야 하며, 이로 인해 상당한 계면 산란과 국소적인 선량 축적이 발생합니다.

필터 입자의 크기, 분포 및 방향에는 통계적 변동이 불가피하기 때문에, 복합 재료는 거시적 규모에서 여전히 불균일한 차폐 특성을 보이며, 국소적인 취약 영역과 열점을 원칙적으로 제거할 수 없습니다. 반면, 텅스텐 합금은 마이크로미터 수준에서 통계적 균일성을 달성하여 "데드존 없는 차폐 및 변동 없는 감쇠"를 진정으로 달성합니다. 광범위하고 복잡한 방사선원 조건에서 복합 재료의 2 차 복사 및 계면 효과는 이론적인 경량화의 이점을 상쇄하는 경우가 많지만, 텅스텐 합금은 가장 단순하고 예측 가능한 순수 벌크 차폐 특성을 일관되게 유지합니다.

7.3.3 텅스텐 합금 차폐 용기와 복합 차폐 재료 용기의 안정성 비교

복합 차폐재의 가장 치명적인 약점은 유기 매트릭스의 노화 및 계면 열화에 있습니다. 방사선 조사는 고분자 사슬의 파손, 가교, 황변, 취성, 그리고 휘발성 저분자의 침전을 유발합니다. 고온은 산화 및 열 분해를 가속화하고, 습열은 가소제의 이동 및 가수분해를 유발합니다. 반복적인 세제 침지는 계면 결합을 손상시키고 필터의 탈리를 유발합니다. 이러한 모든 과정은 비가역적이며, 궁극적으로 밀도 감소, 수소 함량 감소, 필터 침전, 계면 균열, 그리고 차폐 효과의 지속적인 저하를 초래합니다. 반면, 텅스텐 합금은 전적으로 금속 상으로 구성되어 고분자 분해 경로가 없습니다. 방사선 조사는 거시적인 특성 변화 없이 극히 약한 전위 및 공극 증식만을 유발합니다. 액상 출현 온도보다 훨씬 낮은 온도에서도 구조는 안정적입니다. 강한 산화 및 제염은 표면에 수 나노미터 두께의 부동태화 피막만 형성하며, 전반적인 성능에는 영향을 미치지 않습니다. 수십 년간 사용한 후에도 텅스텐 합금 탱크의 밀도, 강도, 차폐 효과는 공장에서 출고될 때와 정확히 동일하게 유지되는 반면, 복합 소재 탱크는 종종 5~10년 이내에 완전히 폐기해야 합니다. 청결성과 생물학적 안전성 측면에서 복합재료가 오래되어 방출되는 유기 소분자, 필터 먼지 및 분해 산물은 청정실과 핵의학 환경에서 지속적인 오염원이 됩니다. 거울 전기연마와 의료용 코팅 후, 텅스텐 합금 표면은 침전이나 입자 탈락 없이 영구적으로 상태를 유지할 수 있습니다.

7.3.3 텅스텐 합금 차폐 캔과 복합 차폐 재료 캔의 적용 가능성 비교

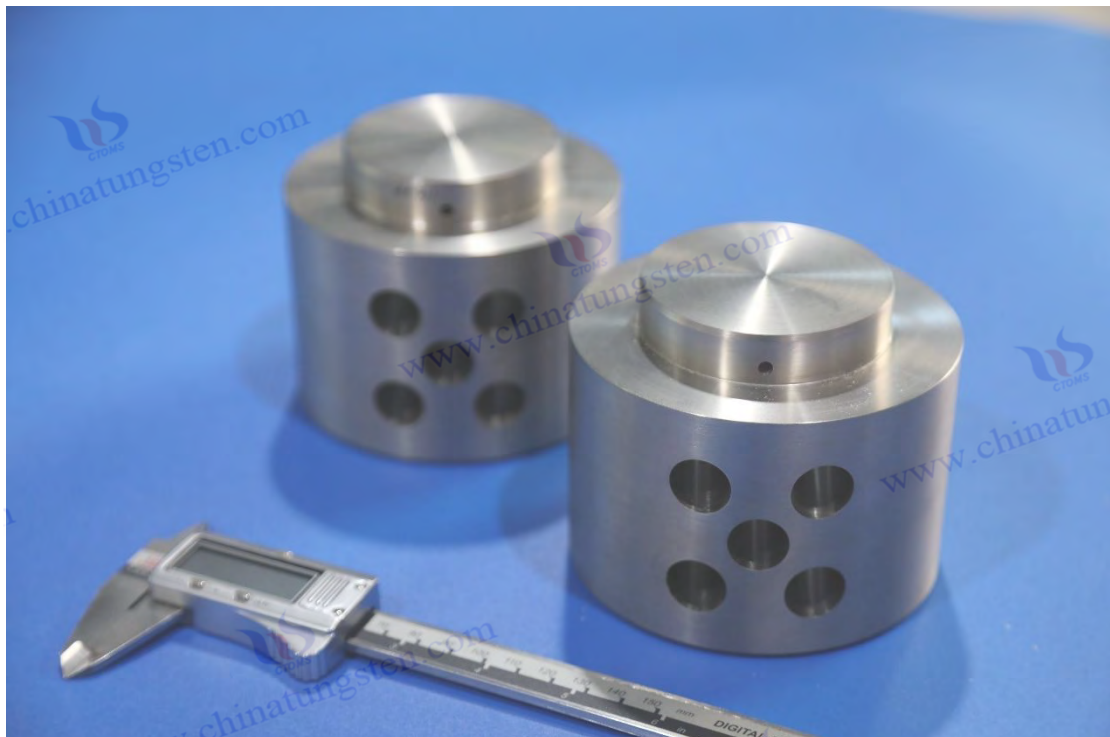
복합 차폐재 캐니스터의 적용 범위는 빠르게 줄어들고 있으며, 다음과 같은 과도기적이고 요구 사항이 낮은 시나리오에만 국한되어 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 일회용 또는 단기 운송 필터 블록
- 매우 제한된 예산으로 임시 중성자 차폐 도어를 만들었습니다.
- 매우 가벼운 휴대용 감지기 하우징이 필요합니다.
- 텅스텐 합금 용기의 보조 중성자 감속재 층 또는 외부 보호층으로 사용됩니다.

텅스텐 합금 차폐 용기는 모든 고급, 장수명, 엄격한 규제 및 고정밀 응용 분야를 완전히 장악했으며, 중급 시장도 지속적으로 공략하고 있습니다. 제조 비용의 점진적인 감소, 준정형 성형 공정의 성숙, 그리고 납 및 폴리머 복합 재료에 대한 점점 더 엄격해지는 국제 규제에 의해, 독립적인 차폐 구성 요소로서 복합 차폐 용기의 시대는 종말을 맞이하고 있습니다. 향후 10년 동안, 극소수의 특수 경량화 요건을 제외하고 복합 재료는 텅스텐 합금 차폐 시스템의 보조 필터 단계로 완전히 전환될 것이며, 텅스텐 합금 차폐 용기는 핵의학 고온 챔버부터 심우주 탐사, 반도체 클린룸부터 고준위 방사성 폐기물 저장소에 이르기까지 절대적인 주류이자 궁극적인 솔루션이 될 것입니다.

텅스텐 합금과 복합 차폐 재료는 본질적으로 재료 과학에서 균질한 금속 벌크 상과 이질적인 인공 구조물 사이의 기술적 도약입니다. 역사적으로 볼 때, 최고 수준의 신뢰성, 긴 수명, 그리고 예측 가능성을 요구하는 모든 방사선 방호 분야에서는 단일하고 연속적이며 안정적인 금속 상 시스템이 궁극적으로 우위를 점할 것입니다. 복합 차폐 재료 용기는 과도기적인 역할을 할 것으로 예상되는 반면, 텅스텐 합금 차폐 용기는 방사선 차폐 용기의 궁극적인 형태입니다.



CTIA GROUP LTD 텅스텐 합금 차폐 캔

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

총수:

부록 A: 중국 텅스텐 합금 차폐 캔 표준

중국의 텅스텐 합금 차폐 용기 표준 체계는 주로 국가 표준(GB/T 시리즈)을 기반으로 하며, 산업 표준(HG/T, JB/T, YY/T 시리즈)을 보완하여 재료 구성, 제조 공정, 차폐 성능, 시험 방법, 품질 관리 및 환경 규정 준수 요건을 포괄적으로 규제합니다. 이러한 표준은 국가시장감독관리총국(SAMR)과 원자력 산업 표준화 기술위원회가 공동으로 개발했으며, 핵의학 고온 챔버, 동위원소 생산 시설, 산업용 결함 검출 장비 및 과학적 방사선 조사 실험에서 텅스텐 합금 차폐 용기의 신뢰성 있는 사용을 목표로 합니다.

GB/T 3458-2016 "텅스텐 기반 고밀도 합금"은 차폐 캔에 사용되는 텅스텐 합금의 화학 조성 범위, 밀도 균일성, 기계적 특성 및 미세 구조 요건을 명시하는 기본 표준입니다. 특히 텅스텐-니켈-철 및 텅스텐-니켈-구리 시스템의 방사선 안정성 및 내식성을 강조합니다. GB/T 4185-2017 "경합금용 텅스텐 분말"은 차폐 캔 전용 텅스텐 분말 표준으로 확장되어, 소결 후 기공이나 편석이 발생하지 않도록 환원 공정 중 순도 및 입자 크기 분포 제어에 중점을 둡니다. HG/T 2077-2017 "텅스텐 합금 납시 싱크의 기술 조건"은 민간용으로 제작되었지만, 내식성 및 표면 처리 조항은 산업용 차폐 캔 사양에 채택되었습니다. 산업 표준 JB/T 12778-2017 "고밀도 합금 내마모성 볼의 기술 조건"은 차폐 캔의 내마모성 검증에 적용 가능하며, YY/T 1636-2019 "의료용 텅스텐 합금 콜리메이터의 기술 요건"은 의료용 차폐 캔의 생체 적합성 및 방사선 감쇠 성능을 명시합니다. 환경 보호 측면에서는 GB/T 33357-2016 "텅스텐 합금 제품의 중금속 이동 측정"이 의료 및 폐기물 임시 보관 시 차폐 용기의 오염 위험을 완전히 제거합니다.

이러한 표준은 중단 간 추적성과 제 3 자 인증을 강조합니다. 제조업체는 ISO 9001 품질 경영 시스템 감사를 통과해야 하며, 차폐 탱크는 출고 시 배치 보고서와 성능 곡선을 첨부해야 합니다. 중국 표준 시스템의 엄격함과 미래 지향적인 특성은 텅스텐 합금 차폐 탱크가 국제 무역에서 상당한 경쟁 우위를 확보할 수 있도록 합니다.

부록 B 텅스텐 합금 차폐 캔에 대한 국제 표준

용기 에 대한 국제 표준은 핵의학, 동위원소 생산, 산업 결함 탐지 및 과학 연구 실험에서 차폐 용기의 상호 운용성과 신뢰성을 보장하기 위해 전 세계적으로 통일된 재료 사양, 시험 방법 및 적용 지침을 제공합니다.

ASTM B777-20 "텅스텐 기반 고밀도 합금에 대한 표준 규격"은 차폐 용기에 사용되는 텅스텐 합금의 조성 범위, 밀도 일관성, 인장 강도, 경도 및 고온 성능을 자세히 설명하는 핵심 표준입니다. 이 규격은 고온 챔버 및 운송 용기에 적용됩니다. ASTM F3049-14 "텅스텐 합금의 적층 제조 공정에 대한 규격"은 3D 프린팅 차폐 용기까지 확장되어 분말 순도 및 소결 밀도를 강조합니다. ISO 9001:2015 "품질 관리 시스템"은 차폐 용기 제조의 전체 공정 관리를 보장하는 일반적인 프레임워크 역할을 합니다. ISO 13485:2016 "의료기기 품질 관리 시스템"은 의료용 차폐 용기에 적용되며 생체 적합성 및 청결

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

요건을 강조합니다. ISO 683-17 "고밀도 합금 베어링 및 공구 부품 규격"은 차폐 용기의 내마모성 검증을 기반으로 합니다. 이 표준은 국제표준화기구(ISO)와 미국재료시험학회(ASTM)에서 관리하며, UL 및 TÜV 와 같은 제 3 자 인증을 강조하고 RoHS 및 REACH 환경 규정을 준수하여 글로벌 공급망에서 차폐 용기의 규정 준수를 보장합니다. 국제 표준의 미래 지향적인 특성은 레이저 클래딩 및 저온 분사와 같은 새로운 공정에서 텅스텐 합금 차폐 탱크의 표준화된 적용을 촉진했습니다.

부록 C: 유럽, 미국, 일본, 한국 및 기타 국가의 텅스텐 합금 차폐 캔에 대한 표준

유럽, 미국, 일본, 한국의 텅스텐 합금 차폐 탱크는 안전, 환경 보호, 높은 신뢰성을 강조하며 지역 규정을 통합하여 EU CE 마크, 미국 ASME 사양, 일본 JIS 규격, 한국 KS 규격을 기반으로 다양한 시스템을 형성합니다.

유럽에서는 CEN/CENELEC 이 주도하고 있습니다. EN 10025-6 "텅스텐 합금 구조용 강재 규격"은 차폐 용기 재질까지 확대되어 고온 강도와 내식성을 강조합니다. EN ISO 15614-1 "용접 절차 규격"은 차폐 용기의 납땜 및 연결 요건을 다룹니다. 압력 장비 지침(PED) 2014/68/EU 에 따른 EN 13445 는 고압 용기 내 차폐 용기에 대한 압력 시험을 규정합니다. CE 마크는 고온 챔버 및 운송 장비 내 차폐 용기의 안전성과 규정 준수를 보장합니다.

미국에서는 ASME 가 주요 표준입니다. ASME BPVC 섹션 IX "텅스텐 합금 용접 사양"에는 차폐 탱크의 무결성이 포함되어 있습니다. ASME B31.3 "공정 배관 사양"은 화학 세척 중 차폐 탱크의 내식성 요건을 다룹니다. SAE AMS 7816 "텅스텐 합금 항공우주 재료"는 고온 안정성에 중점을 둔 항공우주 등급 차폐 탱크에 적용됩니다.

일본 JIS Z 2241 "금속 재료 시험 방법"은 차폐 용기의 경도 및 피로 검증을 포함하도록 확장되었습니다. JIS B 8363 "공압 시스템 사양"은 산업용 결합 탐지에서 차폐 용기의 흐름 일관성을 표준화합니다. 일본 용접 협회(JWES)의 지침은 레이저 가공에서 차폐 용기의 정밀도를 강조합니다.

한국표준 KS D 3562 "텅스텐 합금 산업용 공구 규격"은 차폐 용기의 내마모성 요건을 다루며, KGS 가스 안전 규정과 호환되어 에너지 세척 시 차폐 용기의 신뢰성을 보장합니다. 한국시험인증원(KPC)은 차폐 용기가 ISO 등 국제 규격을 준수함을 인증했습니다.

이러한 지역 표준은 글로벌 규범과 상호 높은 상호 인정을 받고 있으며, 추적성과 환경 보호를 강조하고 국제 무역에서 텅스텐 합금 차폐 캔의 표준화된 적용을 촉진합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

부록 D 텅스텐 합금 차폐 캔 용어집

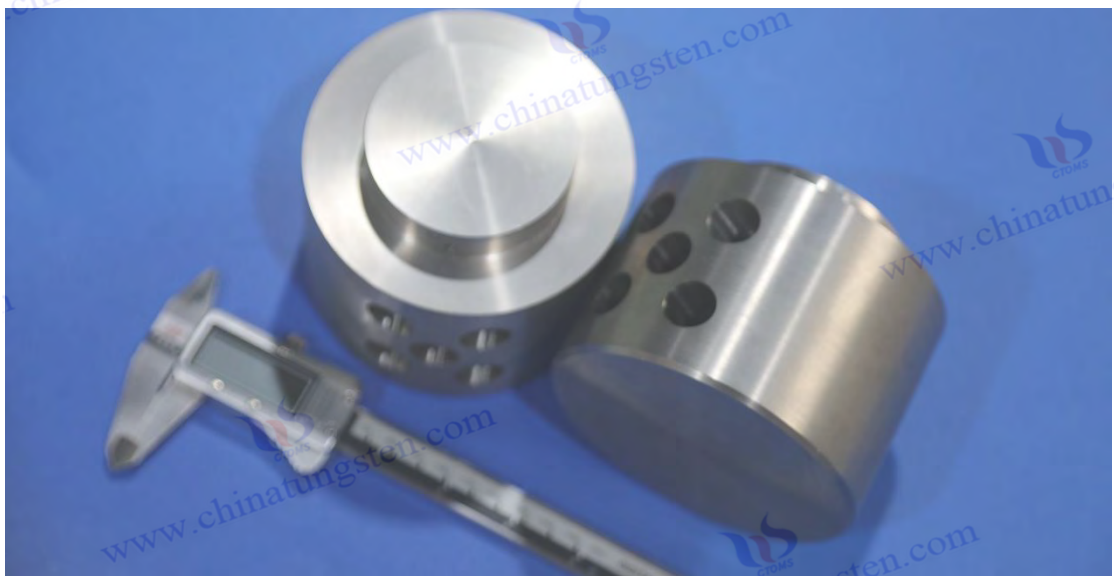
중국어	설명
텅스텐 합금 차폐 캔	감마선, X 선, 중성자를 담고 감쇠시키기 위해 주로 텅스텐 기반 고밀도 합금으로 만든 특수 용기입니다.
텅스텐-니켈-철 합금	텅스텐 함량은 일반적으로 90%~97%이고, 니켈-철이 이 고밀도 합금의 바인더 상으로 사용되어 높은 강도와 일정 수준의 강자성을 나타냅니다.
텅스텐-니켈-구리 합금	텅스텐 함량은 일반적으로 90%~95%이며, 니켈-구리는 결합상이 있는 고밀도 합금입니다. 완전히 비자성이며 내식성이 우수합니다.
거의 그물 모양	압축 및 소결 후 최종 제품의 치수에 가까운 블랭크를 성형하는 공정으로, 가공 허용 오차가 최소화됩니다.
액상소결	결합제 상의 녹는점보다 높은 온도에서 소결하여 결합제 상이 녹아 텅스텐 입자를 적시게 하여 빠른 밀도화를 달성합니다.
냉간 등방압 가압	실온에서 액체 매체를 사용하여 분말 프리폼에 360° 균일한 압력을 가하는 성형 기술입니다.
열간 등방성 프레스	고온, 고압의 불활성 가스 매체에서 잔류 폐쇄 기공을 제거하고 이론적 밀도를 달성하기 위한 후처리.
세척이 쉬운 코팅	매우 낮은 표면 에너지와 큰 접촉각을 지닌 기능성 코팅은 방사성 오염물질이 약한 반데르발스 힘에 의해서만 부착되도록 하여 닦아내기 쉽습니다.
내부 방광을 희생하다	교체 가능한 내부 라이닝은 텅스텐 합금 본체의 직접적인 오염을 방지하도록 설계되었으며, 포화되면 완전히 제거할 수 있습니다.
뚜껑을 빨리 열어주세요	나사 캡, 클램프 또는 유압 메커니즘을 통해 몇 초 이내에 열고 닫을 수 있는 캡 구조입니다.
미로 봉쇄	비접촉 밀봉은 여러 단계의 단계와 틈새를 사용하여 복잡한 공기 흐름 채널을 형성함으로써 달성됩니다.
콜리메이터	특정 방향의 광선만 통과시키는 텅스텐 합금 방향성 조리개 구조로, 결합 탐지 및 치료에 사용됩니다.
누설 각도 분포	차폐 용기의 비작동 방향에서 누출되는 방사선의 방위각 분포는 차폐 무결성을 평가하는 데 사용됩니다.
저활성화 텅스텐 합금	Co, Nb, Ta, Mo 등 쉽게 활성화되는 원소를 엄격하게 제어하여 방사선 수준이 극히 낮은 장수명 핵종의 특수 등급을 생산합니다.
실제 소스 교정	완성된 캔의 실제 차폐 효과는 표준 코발트-60, 세슘-137 또는 이리듐-192 소스를 사용하여 측정되었습니다.
헬륨 분석 누출 감지	탱크의 전체 밀봉 성능을 감지하는 가장 민감한 방법은 10^{-12} Pa · m ³ /s 수준에 도달할 수 있습니다.
표면 오염 닦기 테스트	여과지나 면봉으로 용기 표면을 닦은 후, 방사능 수치를 측정하여 오염물질이 옮겨질 수 있는지 확인합니다.
오염제거제	세척 전후 표면 방사능 비율입니다. 값이 높을수록 세척이 더 쉽다는 것을 나타냅니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

경사 벽 두께	소스 항목 의 공간적 분포를 기반으로 모든 지점에서 규정 준수를 보장하면서 탱크 무게를 최소화합니다.
의료용 텅스텐 합금	생체적합성, 비자성, 재살균성, 표면 침전 없음 등의 요건을 충족하는 텅스텐 합금입니다.
평생 책임 스탬프	제조 당시 캔에 부착된 영구 표시에는 제조사, 연도, 배치 번호, 고유 일련 번호가 포함됩니다.
출생증명서	탱크에는 전체 제조 체인 매개변수, 테스트 보고서, 책임 성명서를 포함한 공식 문서가 함께 제공됩니다.



CTIA GROUP LTD 텅스텐 합금 차폐 캔

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

참고문헌

중국어 참조

- [1] Wang Xiaoli, Li Xiaojie, Zhang Peng 등. 의료용 텅스텐 합금 차폐 용기의 개발 및 성능 평가 [J]. 중국 의료 장비, 2023, 38(6): 1-6.
- [2] Chen Li, Zhao Mingdong, Yang Fan, et al. 핵의학에서 핫셀 차폐에 고밀도 텅스텐 합금의 적용 [J]. 원자력 과학 및 기술, 2024, 58(3): 512-519.
- [3] 텅스텐 및 경질 합금 표준화에 관한 국가 기술 위원회. GB/T 3458-2016 텅스텐 기반 고밀도 합금 [S]. 베이징: 중국 표준 출판사, 2016.
- [4] 국가의약품관리국. YY/T 1636-2019 의료용 텅스텐 합금 콜리메이터에 대한 기술 요구 사항 [S]. 베이징: 중국표준출판사, 2019.
- [5] Liu Wei, Sun Hao, Zhang Jian, et al. 고준위 방사성 폐기물 차폐 용기에서의 텅스텐-니켈-구리 합금의 공학적 응용 [J]. 원자력 과학 및 공학, 2023, 43(5): 987-994.
- [6] Zhao Zhiyuan, Liang Jing, Wang Qiang 등. 텅스텐 합금 방사선 차폐 재료 제조 기술에 대한 연구 진행 상황 [J]. Rare Metals Materials and Engineering, 2024, 53(2): 301-312.
- [7] 산업정보화부. JB/T 14258-2022 핵 등급 텅스텐 합금 차폐 구성품에 대한 기술 조건 [S]. 베이징: 기계산업출판사, 2022.
- [8] Li Ming, Yang Bin, Cheng Liang 등. 텅스텐 합금 차폐 탱크의 세척 용이 코팅 성능에 대한 연구 [J]. 표면 기술, 2023, 52(8): 156-163.
- [9] Zhang Wei, Wu Hao, Xu Tao, et al. 산업용 방사선 결함 탐지 소스 탱크에서 텅스텐 합금의 응용 및 개발 [J]. 비파괴 검사, 2024, 46(4): 67-73.
- [10] 원자력 산업 표준화 연구소. EJ/T 1189-2021 방사성 물질 운송 용기용 텅스텐 합금 차폐 재료에 대한 기술 요구 사항 [S]. 베이징: 원자력 출판사, 2021.

영어 참조

- [1] E. Lassner, WD Schubert. 텅스텐: 원소, 합금 및 화합물의 특성, 화학, 기술[M]. 뉴욕: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1999.
- [2] RM German. 텅스텐 중합금의 소결[J]. 국제 내화 금속 및 경질 재료 저널, 2022, 108: 105928.
- [3] ASTM B777-20. 텅스텐 기반 고밀도 금속 합금에 대한 표준 사양[S]. 펜실베이니아주 웨스트 콘쇼호겐: ASTM International, 2020.
- [4] A. Hoffmann, M. Zimmermann. 의료 기술에서 방사선 차폐 응용 분야를 위한 텅스텐 합금[J]. Advanced Engineering Materials, 2023, 25(15): 2300214.
- [5] IAEA. 방사성 물질의 안전한 운송을 위한 SSR-6 규정, 2018 년판[S]. 비엔나: 국제원자력기구, 2018.
- [6] J. Scannapieco, P. Carconi. 핫셀 및 운송용 캐스크용 텅스텐 기반 차폐[J]. 핵공학 및 설계, 2021, 382: 111372.
- [7] Y. Chen, L. Zhang, et al. 핵 환경에서 텅스텐 중합금의 부식 및 오염 제거 성능[J]. 부식 과학, 2024, 225: 111589.
- [8] ISO 13485:2016. 의료기기 - 품질 관리 시스템 - 규제 목적 요구 사항[S]. 제네바: 국제 표준화 기구, 2016.

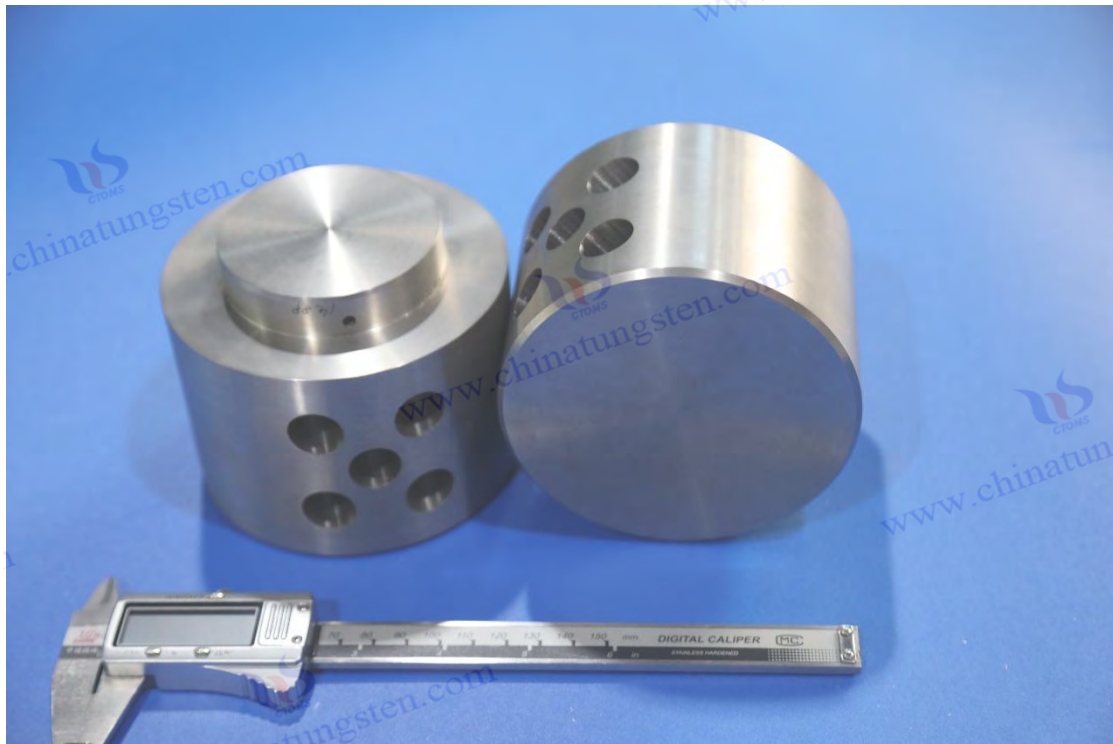
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

[9] MA Meyers, KK Chawla. 텅스텐 중합금의 기계적 거동[J]. 재료 과학 및 공학: A, 2022, 845: 143198.

[10] 유럽 위원회. 지침 2011/65/EU(RoHS) 및 규정(EC) 1907/2006(REACH) - 텅스텐 합금 준수 보고서[R]. 브뤼셀, 2023.



CTIA GROUP LTD 텅스텐 합금 차폐 캔

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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