

www.chinatungsten.com

텅스텐 시멘트 카바이드
물리적 및 화학적 특성, 프로세스 및 응용 분야에 대한
포괄적 탐구 (I)

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

en.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

1

www.chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

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

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA 그룹 소개

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

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

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

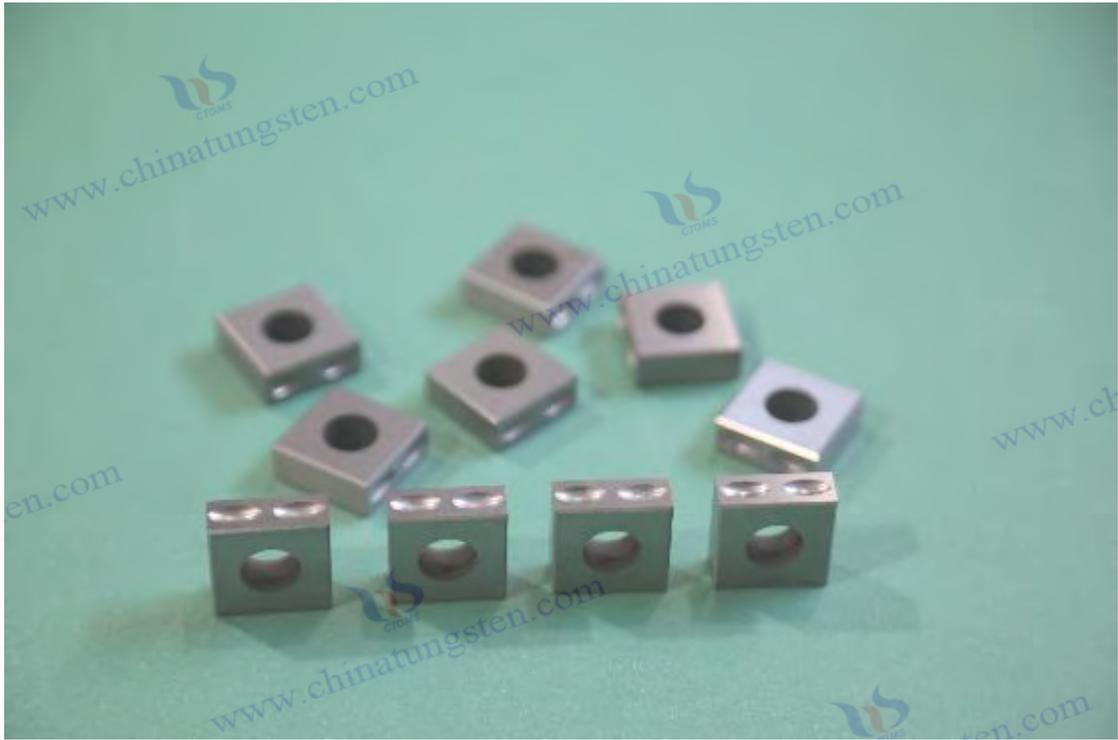
CTIA GROUP의 한스 박사와 그의 팀은 30년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 작성하여 공개하고 텅스텐 업계와 자유롭게 공유해 왔습니다. 1990년대부터 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 그리고 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조 분야에서 30년 이상의 경력을 쌓아 온 한 박사는 국내외 텅스텐 및 몰리브덴 제품 분야의 저명한 전문가입니다. CTIA GROUP 팀은 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하며, 생산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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



순서

AI 기반 시멘트 카바이드의 고엔트로피

그리고 시멘트 카바이드 등급 배치 번호의 진화 추세

AI 기반 진화 추세
고엔트로피 초경합금(HECC) 및
배치별 초경합금 등급(BSCCG)

1. 서론

초경합금은 주로 텅스텐 카바이드(WC)에 코발트(Cobalt), 니켈(Ni) 및 기타 결합상이 결합된 형태로 구성됩니다. 우수한 기계적 성질(경도 1500-2200 HV, 내마모성 <math>< 0.05 \text{ mm}^3/\text{h}</math>)과 화학적 안정성(내식성 <math>< 0.02 \text{ mm/y}</math>, pH 2-12)을 갖추고 있어 항공우주, 정밀 제조, 신에너지 및 첨단 기술 분야에 널리 사용됩니다. 인공지능(AI), 산업 인터넷, 5G/6G 고속 데이터 전송, 빅데이터/클라우드 컴퓨팅 기술의 급속한 발전은 초경합금 재종의 설계 및 분류에 새로운 동력을 불어넣었으며, 특히 "고 엔트로피 초경합금(HECC)" 및 "배치별 초경합금 재종(BSCCG)"의 개발을 촉진하고 있습니다. 이러한 개념은 CTIA GROUP LTD에서 처음 제안되었으며, 다성분 합금 설계를 통해 고엔트로피 성능을 구현하고, 동적 최적화를 통해 배칭을 통해 개인 맞춤형 제품을 구현합니다. 본 논문은 30년 동안 텅스텐 기반 소재 산업에 깊이 관여해 왔으며 맞춤형 설계 및 생산에 중점을 둔 China Tungsten Online의 전문가 팀이

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

작성했습니다. AI 기반 고엔트로피 및 배치 초경합금의 개발 동향에 초점을 맞추고, 그 기술적 메커니즘과 특성을 분석하며, 항공우주 전기 커넥터, 정밀 금형 미세 홀 가공, 연료 전지 분리판, 그리고 미래 첨단 과학기술을 접목합니다. 성과 적응성과 응용 가능성을 탐색하고, 관련된 과제와 혁신 경로를 평가하기 위한 사례입니다.

현재 초경합금 산업은 복잡한 등급 체계라는 과제에 직면해 있습니다. 각 초경합금 회사는 자체 등급 체계를 보유하고 있으며, 동시에 ISO 513 과 같은 국제적으로 인정되는 등급 표준도 존재합니다. 유럽, 미국, 일본, 한국 등 각국은 미국 ANSI, 일본 JIS, 독일 DIN 과 같은 자체 등급 규격을 개발했습니다. 이러한 다양성은 기술적 기밀성과 개인화된 니즈에서 비롯되지만, 시장과 고객에게 어려움을 초래합니다. 등급의 차이로 인해 수요 충족이 어렵고, 성능과 생산 능력의 최적화가 어려워 맞춤형 초경합금 개발 추세가 제한됩니다. 초경합금의 높은 엔트로피는 성능 한계를 개선하여 등급 배치의 기술적 토대를 마련합니다. 배치는 AI 기술 생태계의 실시간 변화하는 니즈와 애플리케이션 데이터 피드백에 맞춰 배합을 동적으로 조정하여 생산 단계에서 재료, 공정 매개변수, 포장 및 운송의 완전한 맞춤형 제작을 지원합니다. 두 회사는 밀접한 관련이 있으며, 시멘트 카바이드 산업이 지능화와 맞춤화를 향해 나아가도록 공동으로 촉진합니다.

2. 기술적 배경

2.1 머티리얼 디자인에 인공지능 적용

머신 러닝(ML), 딥 러닝(DL) 및 생성 모델(예: 생성적 적대 신경망, GAN)을 통해 초경합금의 고엔트로피 및 배치 설계를 지원합니다. AI 는 다차원 데이터 세트(예: 입자 크기 $0.1-10\mu\text{m}$, 결합상 비율 6-20%, 작업 매개변수)를 처리 하고 성능 지표(예: 경도 오차 $<5\%$, 인성 $1020\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 내식성 $<0.02\text{mm/y}$)를 예측합니다. 예를 들어, WC-Co 공식은 합성곱 신경망을 기반으로 최적화되며, 연구 개발 주기가 60% 단축됩니다. 생성적 AI 는 과거 데이터(예: WCCo 및 WCNi 라이브러리)를 기반으로 고엔트로피 합금 공식을 생성하고 고온 내마모성을 15% 최적화합니다. 지식 그래프는 산업 체인 데이터(예: 텅스텐 분말 순도 99.9%-99.95%, 프로세스 매개변수)를 통합하여 폐쇄 루프 최적화를 달성하고, 효율성을 개선하며, 높은 엔트로피 및 배치 설계의 기반을 마련합니다.

2.2 산업 인터넷과 실시간 데이터 상호작용

사물 인터넷(IoT) 센서, 엣지 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅을 통해 데이터 중심 생태계를 구축합니다. 센서는 매개변수(소결 온도 $1350^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 압력 100-150 MPa 등)를 수집하고, 엣지 컴퓨팅은 고주파 데이터(입자 크기 $0.1-0.5\mu\text{m}$, 1 Hz) 를 처리 하며, 클라우드 컴퓨팅은 대규모 분석을 지원합니다. 이러한 실시간 상호 작용은 생산을 투명하게 만들고 동적 조정(예: H_2 분위기 5-10 %, 이슬점 등) 을 지원합니다. 산업 체인의 협업에서 공급업체는 텅스텐 분말 입자 크기 (예 : $D50\ 0.1-0.3\mu\text{m}$) 를 제공하고, 제조업체는 프로세스를 최적화하며, 사용자는 작업 조건 (예 : 절삭 속도 200m/min)을 피드백하여 공급망 대응을 20% 단축하고 일괄

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

생산을 위한 데이터 지원을 제공합니다.

2.3 5G/6G 네트워크의 협력적 강화

5G 네트워크(지연 시간 < 1ms, 대역폭 >10Gbps) 및 6G 네트워크(지연 시간 < 0.1ms, 대역폭 >100Gbps)는 효율적인 통신을 제공합니다. 5G/6G는 공급업체가 배치 데이터를 업로드하고, 제조업체가 소결 곡선(1400°C, 10^{-3} Pa, 소결 시간 등)을 피드백하며, 사용자가 작업 조건(50°C-800°C, 100MPa)을 제공하는 등 산업 체인 내 데이터 교환을 지원합니다. 이러한 저지연 통신을 통해 AI는 고엔트로피 합금 조성(예: WC-10%Co+0.2%TaC) 또는 배치 조정을 신속하게 최적화할 수 있으며, 지역 간 협업 설계를 통해 납품 주기를 25~30% 단축하여 고엔트로피 및 배치 구현의 효율성을 향상시킵니다.

빅데이터 및 클라우드 컴퓨팅을 위한 계산 지원

빅데이터는 내부 데이터(생산 로그, 테스트 결과)와 외부 데이터(시장 동향, ISO 45001 표준)를 통합하여 AI 학습 자료를 제공합니다. 클라우드 컴퓨팅은 레시피의 고처리량 스크리닝(>10³ 조합/일)이나 다목적 최적화(경도, 내마모성, 비용)와 같은 고동시성 컴퓨팅을 지원합니다. 2025년 중국 빅데이터 시장 규모는 5,400억 위안에 달할 것으로 예상되며, 소재 연구 개발을 지원합니다. 클라우드 컴퓨팅은 WC 합금의 내산화성 예측(<0.02 mg/cm², 800°C, 오차 <5%)과 같은 시뮬레이션을 가능하게 하여 고엔트로피 합금 설계 및 고정밀 배치를 위한 이론적 근거를 제공합니다.

3. 초경합금의 개발 동향 및 특성

AI, 산업 인터넷, 5G/6G, 빅데이터/클라우드 컴퓨팅의 시너지는 초경합금의 고엔트로피 및 일괄 생산 개발 궤적에 지대한 영향을 미쳤습니다. 30년 동안 텅스텐 기반 소재의 맞춤형 생산에 집중해 온 전문가 팀으로서, 저희는 전통적인 포물러 설계에서 AI 기반 혁신으로의 전환을 목격했습니다. 이러한 추세는 소재 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 고급 제조를 위한 맞춤형 솔루션을 제공합니다. 자세한 분석 내용은 다음과 같습니다.

3.1 지적 설계: 데이터에 의해 주도되는 혁명적 진보

다중 소스 데이터 분석을 통해 고엔트로피 합금 및 배치 제형을 최적화합니다. 랜덤 포레스트 또는 지원 벡터 머신과 같은 AI 모델은 결정상 구조, 열처리 매개변수 및 작업 조건 데이터를 통합하여 성능 지표를 예측합니다. 예를 들어, 과거 데이터를 기반으로 학습된 모델은 WC-Co 합금 경도의 예측 오차를 ±50 HV 이내로 제어할 수 있으며, 설계 주기는 기존 방식에 비해 약 50% 단축됩니다. 생성적 AI는 루틴을 더욱 발전시켜 생성적 적대 네트워크(GAN)를 통해 수천 개의 제형에서 고엔트로피 합금 제형을 선택합니다. 예를 들어, WCNi 기반 합금은 0.1~0.3 중량%의 NbC를 첨가하여 내식성을 10% 향상시키며, 이는 산성 환경에서 신에너지 장비에 특히

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

적합합니다. 또한, 지식 그래프 기술은 사용자 요구 사항(예: 항공 커넥터의 높은 전도도 >90% IACS)을 재료 특성과 일치시키고 최적의 제형을 추천하며 응답 시간을 40% 단축합니다. 이러한 지능형 설계는 연구 개발을 가속화할 뿐만 아니라, 고엔트로피에 대한 이론적 근거를 제공하고, 이를 통해 대량 생산이 가능해져 표준화에서 개인화로의 원활한 전환을 달성합니다. 지능형 설계의 핵심은 기존 브랜드 시스템의 한계를 극복하고, AI 기술을 통해 성능과 수요의 정확한 매칭을 달성하며, 고엔트로피 및 대량 생산 구현을 위한 데이터 기반을 제공하는 것입니다.

3.2 유연 제조: 다양한 요구 사항을 충족하기 위한 프로세스 혁신

유연한 제조는 산업용 인터넷과 5G/6G 기술을 활용하여 소량 생산, 고도로 맞춤화된 생산을 달성하여 고급 시장의 시멘트 카바이드에 대한 다양한 요구를 충족합니다. 실시간 공정 모니터링은 유연한 제조의 핵심입니다. IoT 센서는 소결 온도($1350^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), 압력(100-150 MPa) 및 분위기 매개변수(예: H_2 함량 5-10%)를 정확하게 수집합니다. AI 알고리즘은 공정 매개변수를 동적으로 조정하여 입자 크기($0.1-0.5\ \mu\text{m}$)의 일관성을 유지하여 결함률을 15% 줄입니다. 신속한 프로토타입 기술은 기존의 한계를 더욱 돌파합니다. 예를 들어, 연료 전지 양극관 흐름 채널의 복잡한 기하학적 구조(허용 오차 $< \pm 0.004\ \text{mm}$)는 며칠 안에 완성할 수 있어 납품 주기를 30% 단축하여 긴급 프로젝트에 강력한 지원을 제공합니다. 동시에 5G/6G 네트워크는 산업 체인의 상류 및 하류 협업을 실현합니다. 공급업체는 텅스텐 분말($D_{50}\ 0.1\ \mu\text{m}$)의 입자 크기를 다운스트림 공정 요구에 맞춰 최적화합니다. 제조업체는 사용자 피드백(예: 절삭 속도 200m/min)을 기반으로 배합을 조정하여 공급망 효율성을 20% 향상시킵니다. 유연한 제조 방식은 고엔트로피 합금의 소량 시제품 생산 및 배치 제품의 신속한 반복 생산을 위한 견고한 기반을 제공합니다. 특히 다양한 등급의 제품을 사용하는 경우, 국가 및 기업의 등급 체계 차이로 인한 시장 대응의 어려움을 효과적으로 해결할 수 있습니다.

3.3 시멘트 카바이드의 높은 엔트로피: 성능 한계의 획기적인 발전

“고 엔트로피 시멘트 카바이드”(HE CC)는 CTIA GROUP LTD가 최초로 제안한 혁신적인 개념으로, 다성분 고엔트로피 합금 설계를 통해 기존 시멘트 카바이드의 성능 병목 현상을 극복하는 것을 목표로 합니다.

고엔트로피 합금(HEA)은 여러 주요 원소(보통 5종 이상)로 구성된 합금으로, 각 원소의 비율은 등원 자비(일반적으로 5~35%)에 가깝습니다. 높은 혼합 엔트로피(엔트로피 값 $> 1.5R$)로 격자 변형 및 안정성이 향상됩니다. 기존 합금과 비교하여 고엔트로피 합금은 높은 경도, 높은 인성, 고온 저항성, 내식성 등 우수한 특성을 가지며 항공우주, 심해 장비, 에너지 분야와 같은 극한 환경에서 자주 사용됩니다. HEA는 AI와 밀도 함수 이론을 활용하여 기존 소재의 성능 한계를 극복하는 설계를 자주 사용합니다.

고엔트로피는 밀도 함수 이론(DFT)과 같은 AI의 고처리량 컴퓨팅 파워를 사용하여

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

경도가 최대 1800-2200 HV, 인성이 최대 $15-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 인 WCTiCNbCCo (엔트로피 값 $> 1.5R$)와 같은 복잡한 공식을 설계합니다. 이 다중 구성 요소 설계는 엔트로피 증가 효과를 통해 격자 왜곡을 향상시켜 고온 안정성 ($> 1000^\circ \text{C}$)과 내식성 (pH 2-3, $< 0.005 \text{ mm/y}$)을 크게 향상시킵니다. TiN 또는 NiP와 같은 AI 최적화 기능성 코팅은 내마모성을 $< 0.015 \text{ mm}^3/\text{h}$, 내식성을 $< 0.005 \text{ mm/y}$ 로 줄이고 표면 성능을 20% 향상시킵니다. 실제 적용에서 고엔트로피 합금은 뛰어난 적응성을 보여줍니다. 예를 들어, 심해 개발 드릴 비트는 300MPa의 압력과 해수 부식 (pH 8)을 견뎌야 합니다. 고엔트로피 포물라는 2200HV 이상의 경도를 가지며 마모 수명이 3 배 이상 연장됩니다. 고엔트로피 기술은 재료 과학 분야의 최첨단 연구를 촉진할 뿐만 아니라 항공우주, 에너지 등 극한 작업 조건에 대한 신뢰할 수 있는 솔루션을 제공합니다. 고엔트로피 기술의 핵심은 성능 혁신을 통해 기존 등급 시스템의 한계를 해결하고, 일괄 생산을 위한 기술적 원동력을 제공하며, 초경합금이 더욱 다양한 작업 조건에 적용할 수 있도록 하는 것입니다.

“초경합금의 고엔트로피”는 다층적인 함의와 역동적인 발전 과정을 포함하는 개념인 “고엔트로피 초경합금”으로도 이해 될 수 있습니다. 한편으로는 초경합금이 텅스텐-니켈(WC-Ni)과 텅스텐-코발트(WC-Co) 기반의 전통적인 조성 체계를 벗어나, 시장의 다양한 성능 요구(예: 고경도, 내마모성, 내식성 또는 고온 안정성)에 따라 탄탈륨(Ta), 니오븀(Nb), 티타늄(Ti), 크롬(Cr)과 같은 추가 원소를 점진적으로 도입하여, 기존의 2 원 또는 3 원 시스템에서 5 개 이상의 원소를 포함하는 복잡한 조성 체계로 확장되었음을 보여줍니다. 이들 새로 첨가된 원소의 함량이 엄격하게 정의된 등원 자비(보통 5%-35%)나 고엔트로피 합금의 높은 혼합 엔트로피(엔트로피 값 $> 1.5R$)에 도달하지 못했을 수 있으며, 따라서 실제 의미에서 고엔트로피 합금과 완전히 동일하지는 않지만, 이러한 원소 다양화 추세는 의심할 여지 없이 성능 개선의 토대를 마련했으며 시멘트 카바이드가 더 높은 엔트로피 상태로 진화할 수 있는 잠재력을 보여주었습니다.

한편, **“초경합금의 고엔트로피”**는 초경합금이 점진적인 변형 과정을 나타낸다는 것을 시사합니다. 즉, 초경합금이 점차 고엔트로피 합금으로 변화하고 있다는 것입니다. 이 과정은 배합 최적화뿐만 아니라 생산 공정, 미세 구조 설계, 그리고 적용 시나리오의 확장까지 포함합니다. 이러한 변화에서 머신 러닝 및 고처리량 컴퓨팅과 같은 AI 기술은 다원소 상호작용을 시뮬레이션하고 예측하여 합금 배합 조정을 유도하는 핵심적인 역할을 합니다. 예를 들어, 미량 원소(예: 0.2%~0.4% TaC 또는 ZrC)를 첨가하면 초경합금의 가공 특성과 경제성을 유지 하면서 격자 변형을 크게 개선하고 고온 성능이나 내산화성을 향상시킬 수 있습니다. 이러한 점진적인 고엔트로피는 시멘트 카바이드가 원래의 장점(예: 1500-2000 HV 범위에서의 높은 경도 안정성)을 유지하면서도 더 높은 인성 ($> 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) 및 더 넓은 적용성(예: 심해 또는 우주 환경)과 같은 고엔트로피 합금의 특성을 점진적으로 흡수할 수 있게 합니다.

또한, 이러한 변화는 시장 수요와 기술에 의해 주도됩니다. 예를 들어, 항공우주 분야의 전기 커넥터는 높은 전도성 (90% IACS 이상)과 내식성 (0.01mm/y 미만)을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고려해야 하며, 연료 전지 분리판은 높은 정밀도(허용 오차 $\pm 0.004\text{mm}$)와 내산성(pH 3 환경)을 요구합니다. 이러한 요구 사항으로 인해 초경합금은 극한의 작업 조건을 충족하기 위해 고엔트로피 기술을 통해 새로운 원소를 도입하게 되었습니다. 앞으로 이러한 과정은 더욱 가속화될 것입니다. 6G 네트워크와 양자 컴퓨팅의 발전으로 AI는 다중 원소 비율을 더욱 정확하게 최적화하고, "고엔트로피 초경합금"에서 진정한 고엔트로피 합금으로의 포괄적인 전환을 점진적으로 실현하여 성능과 적용 범위 측면에서 질적 도약을 달성할 것입니다.

3.4 시멘트 카바이드 등급의 배치 진화: 맞춤형 생산의 미래

초경합금 재종은 초경합금 소재의 종류와 성능을 식별하는 데 사용되는 표준화된 번호 체계로, 일반적으로 회사 또는 국제 표준(예: ISO 513)에서 제정합니다. 합금의 조성(예: WC-Co 비율), 성능(예: 경도, 내마모성), 그리고 용도(예: 절삭, 금형)를 반영합니다. 예를 들어, ISO K10은 주철 가공에 적합한 재종을 나타냅니다. 미국의 ANSI, 일본의 JIS와 같이 국가와 회사마다 자체 시스템을 사용합니다. 재종의 다양성은 정확한 소재 선택을 용이하게 하지만, 표준의 차이로 인해 시장 매칭이 복잡해질 수도 있습니다.

"배치별 초경합금 재종 (BS CC G)"은 초경합금 재종의 배치 이라고도 합니다. 이는 CTIA GROUP LTD가 다년간의 실무 경험과 심도 있는 관찰을 바탕으로 최초로 제안한 최첨단 개념입니다. 다양한 원자재 배치의 특성과 사용자 요구에 따라 배합을 동적으로 조정하여 고정밀 맞춤형 생산을 달성하는 것을 강조합니다. 원자재 배치 차이(예: 텅스텐 분말 순도 99.9%-99.95%, Co 함량 6-20%)는 성능에 상당한 영향을 미칩니다. AI 기술은 빅데이터 분석을 통해 이러한 과제를 효과적으로 해결합니다. 예를 들어, 항공우주 분야는 경도(>2000 HV)에 대한 높은 요구 사항을 가지고 있습니다. AI는 특정 배치의 WC-Co 비율을 최적화할 수 있으며, 금형 애플리케이션은 인성(>15 MPa·m^{1/2}) 향상을 우선시하여 성능 차이를 10-15%까지 달성할 수 있습니다. 소량 생산 최적화는 배치의 장점을 더욱 잘 보여줍니다. 예를 들어, 심해 드릴 비트(경도 2200HV 이상) 생산량을 기존 월 1,000 개에서 100~200 개로 조정하고, 원가를 $\pm 5\%$ 이내로 관리하여 고급 시장의 요구를 충족합니다. 산업용 인터넷과 5G/6G 네트워크를 통해 배치 데이터(소결 온도 및 입자 크기 등)의 전체 수명 주기 추적이 가능하며, 클라우드 컴퓨팅 분석을 통해 공정을 최적화하여 불량률을 10% 줄이고 품질의 일관성을 보장합니다. 또한, AI는 신에너지 배터리 수요의 연간 20% 성장과 같은 시장 동향을 예측하고, 배합을 신속하게 조정(예: 내식성 향상을 위해 TaC 0.2~0.4 중량 % 첨가)하여 대응 주기를 15~20일 단축합니다. 배치 생산에는 심해 장비용 부식 방지 포장재 사용, 안정적인 제품 성능 보장을 위한 운송 중 온도 및 습도 모니터링(10°C~30°C, 습도 <60%) 등 맞춤형 포장 및 운송 설계가 포함됩니다. 배치 생산은 풀링크 맞춤화를 통해 기존 등급 시스템의 다각화로 인한 시장 문제를 해결하고, AI 기술 생태계에서 실시간으로 변화하는 요구와 애플리케이션 데이터의 피드백 지침에 초경합금이 적응할 수 있도록 지원합니다. 고엔트로피와 배치 생산의 밀접한 관계는 전자가 성능 혁신을 통해 기술 지원을 제공하고, 후자가 동적 조정을 통해 시장 수요에 정확하게 대응한다는 것입니다. 이 두 가지는 초경합금 산업이 지능화 및 맞춤화로 나아가도록 공동으로 촉진합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. 고엔트로피 및 시멘트 카바이드 등급 배칭의 기업 과제

4.1 기존 초경합금 산업 체인의 과제

초경합금 성능의 높은 엔트로피와 등급 배칭은 응용 분야 다각화 및 고급 수요의 불가피한 추세이며 AI 시대의 혁명적 변화는 전체 초경합금 산업 체인에 전례 없는 과제를 가져왔습니다. 이러한 변화는 초경합금 생산 및 판매 회사의 핵심 링크에 영향을 미칠 뿐만 아니라 상류 장비 공급업체 및 원자재 공급업체를 포함한 공급망의 프런트 엔드에도 심오한 영향을 미칩니다. 기존 산업 체인은 주로 정적이고 표준화된 생산 모델을 기반으로 하며, 높은 엔트로피로 인한 성능 복잡성과 배칭에 필요한 동적 조정 기능에 적응하기 어렵습니다. AI 기반 인텔리전스는 공급업체가 더 높은 정밀도와 일관성을 갖춘 원자재를 제공하도록 요구합니다(예: 텅스텐 분말 입자 크기는 D50 0.1-0.3 μm의 정확도를 유지해야 함). 그리고 장비는 유연한 생산 기능(예: 소결 온도 1350° C ± 2° C 및 분위기 매개변수 H₂ 함량 5-10%의 실시간 조정 지원)을 갖추어야 합니다. 또한, 산업 사슬은 AI 생태계에서 실시간 대응과 효율적 협업에 대한 새로운 요구를 충족하기 위해 원자재 조달부터 제품 배송까지 전체 프로세스의 투명성과 조정을 달성하기 위한 데이터 상호 연결 시스템을 구축해야 합니다.

4.2 시멘트 카바이드 기업의 과제와 경영

기존 초경합금 기업의 경영은 인적, 재정적, 물적 자원의 배분과 프로세스 관리에 집중하는 경우가 많습니다. 특히 대기업은 기술 혁신과 시장 수요의 급격한 변화를 간과한 채 복잡한 회의와 보고 업무에 치중하는 경향이 있습니다. 그러나 AI 생태계에서 기업 경영진은 사고방식을 전환하고 AI 기술의 응용 잠재력을 깊이 있게 학습하고 이해하며, 초경합금 기업이 실제로 필요로 하는 AI 기반 아키텍처 기술을 명확히 하고, 일회성 비효율적인 AI 도구나 프레임워크에 무분별하게 투자하지 않아야 합니다. 경영진은 결과 지향적 AI의 실제 적용 가치를 깊이 이해하고, 최적화가 아닌 기록에만 사용되는 소프트웨어 및 하드웨어 시설에 막대한 자금을 투자하지 않아야 합니다. 대신, 초경합금 생산의 프런트엔드와 백엔드의 기술 데이터 인터페이스, 인간-컴퓨터 상호작용의 연결, 그리고 산업 사슬 상하류의 효율적인 협업 경로와 안전한 운영 메커니즘에 집중해야 합니다. 또한, 경영진은 AI 기술 생태계에 적응할 수 있는 인재를 발굴하고 육성해야 하며, 기업이 요구하는 인재 유형, AI 관리 프로세스, 규정 준수 요건, 그리고 AI 에이전트의 적용 시나리오를 명확히 해야 합니다. 예를 들어, AI 마케팅 에이전트(인공지능 기술을 활용하여 마케팅 업무를 자율적으로 수행하고, 고객 데이터를 분석하고, 콘텐츠를 개인화하고, 광고 캠페인을 최적화하고, 출시 일정을 조정하고, 잠재 고객과 소통하고, 마케팅 효과를 측정하는 소프트웨어 프로그램)를 도입하면 시장 수요를 실시간으로 분석하고 제품 홍보 전략을 최적화할 수 있습니다. 이러한 경영 혁신은 초경합금 기업의 미래 경쟁에 분수령이 될 뿐만 아니라, 생존의 열쇠가 될 것이라고 할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3 전통적인 시멘트 카바이드 산업 체인의 실무자들이 직면한 과제

기존 초경합금 생산 및 판매 기업의 직원, 특히 풀뿌리 직원들은 AI 기술이 가져온 새로운 업무 방식에 적응해야 합니다. AI 기술 사고를 이해하고, AI 및 파워 듀얼 드라이브의 장비 작동 프로세스를 학습 및 숙달하며, 지능형 관리 도구 사용에 능숙하고, AI 인간-컴퓨터 상호작용 인터페이스에 익숙해야 합니다. 예를 들어, 작업자는 AI 인터페이스를 통해 작업 매개변수(예: 절삭 속도 200m/min)를 빠르게 입력하고 최적화 제안을 받아야 합니다. 또한, 실무자는 AI 생산 및 응용 도구를 숙달하고, 다양한 전문 AI 에이전트의 출력 결과를 분석 및 평가하고, 장단점을 판단하여 개선 방안을 제시하는 방법을 익혀야 합니다. 이를 위해서는 실무자가 더욱 강력한 최적화 사고와 다차원 분석 역량을 갖추고, 교차 데이터에서 핵심 개선점을 찾아 고엔트로피 합금의 성능이나 배치 생산의 정확도를 향상시킬 수 있어야 합니다. 풀뿌리 직원들은 지속적인 학습과 역량 강화를 통해서만 기존 작업자에서 AI 생태계의 지능형 생산 참여자로 역할 전환을 이룰 수 있습니다.

4.4 중소 시멘트 카바이드 기업의 과제와 기회

AI 에이전트(인공지능 에이전트, 인공지능 본체)는 인공지능 기술로 구동되는 지능형 개체로, 주변 환경을 인식하고 자율적인 의사결정을 내리며 업무를 수행합니다. 센서 또는 데이터 입력을 통해 정보를 수집하고, 알고리즘을 사용하여 분석 및 행동 전략을 수립한 후, 미리 설정된 목표를 달성하기 위한 조치를 취합니다. AI 에이전트는 일정 수준의 자율성을 갖추고 있으며, 스마트 비서, 자율주행, 챗봇 등 다양한 분야에서 널리 활용되고 있습니다. AI 에이전트의 기능은 설계 및 학습 데이터에 따라 달라집니다.

가까운 미래에 시멘트 카바이드 산업에서 다양한 회사가 직접 훈련시킨 AI 에이전트가 탄생할 것이라고 믿습니다 .

AI 생태계에서 초경합금 중소기업은 심각한 생존 과제에 직면하게 될 것입니다. 고엔트로피에서 학점 일괄 처리로의 사고방식 변화에 신속하게 적응할 수 있을지 여부는 기술 업그레이드 속도, 자금 투자 능력, 그리고 학습 능력에 달려 있습니다. 이러한 변화의 압력은 업계에 "큰 나무 아래 풀은 없다"라는 다윈의 현상을 초래할 수 있으며, 일부 중소기업은 AI 기술의 발전 속도를 따라가지 못해 도태될 것입니다. 그러나 AI 시대는 중소기업에게 반격의 기회도 제공합니다. 중국의 초경합금 산업 체인은 전문 AI 에이전트를 기반으로 한 1인 유니콘 기업을 탄생시킬 수 있습니다. 인력이 부족한 이러한 기업들은 AI 에이전트를 활용하여 효율적인 생산 및 판매 센터를 구축합니다. 이 센터는 회의실 없이 24시간 연중무휴 운영 가능하며, 오류 발생 가능성이 낮고, 생태계 내 다양한 유형의 데이터를 실시간으로 파악하고, 반복적인 최적화를 통해 지속적으로 업그레이드할 수 있습니다. 이러한 기업은 AI 생태계에서 데이터 퍼널이 되어 설계 도면, 계약 확인, 생산 작업 할당, 인력 배치, 기술 요구 사항 공식화, 자재 준비, 구매 목록 생성, 아웃소싱 지침 발표, 특수 사항 처리, 온라인 데이터 공유, 검사 및 테스트, 포장 마크 설계, 배치 번호 생성 및

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

물류 준비의 전체 프로세스를 자동으로 처리할 수 있습니다.

반면, 대형 초경합금 기업은 자본, 기술, 인재 측면에서 절대적인 우위를 점하고 있지만, 내부 기득권과 경직된 조직 구조가 혁신의 가장 큰 장애물이 될 수 있습니다. 예를 들어, 경영진이 AI 컨퍼런스 에이전트를 활용하기로 결정하면 가장 먼저 교체될 수 있습니다. 반대로, 중소기업은 규모가 작고 의사결정 체인이 짧기 때문에 AI 기술을 더 유연하게 수용하고, 부족한 인력으로 경영진을 해방시키며, 불리한 상황을 이용하여 반격할 수 있습니다. 예를 들어, AI 마이크로 생태계를 도입함으로써 중소기업은 산업 체인의 핵심 노드를 점유하고 시장 수요에 신속하게 대응하며, 심지어 산업 변화를 선도할 수도 있습니다. 기회와 도전이 공존하는 이러한 상황은 AI 시대 초경합금 기업의 발전 모델이 근본적으로 재편되고 있음을 보여줍니다.

4.5 시멘트 카바이드 엔터프라이즈 AI 에이전트의 학습, 적용 및 반복 최적화

초경합금 산업에서는 산업용 사물 인터넷 (IIoT), 5G/6G 통신 기술을 활용하고, 고객이 실시간 데이터를 활용하여 AI 에이전트를 학습, 훈련, 업그레이드 및 적용하고, 역추적 및 자동 조정을 통해 생산 프로세스를 최적화함으로써 생산과 애플리케이션 간의 동기적 조정 및 기계 간 소통을 실현할 수 있습니다. 구체적인 구현 방법은 다음과 같습니다.

카바이드 AI 에이전트 훈련은

IIoT 센서 네트워크를 구축하여 생산 데이터를 실시간으로 수집하고(예: GB/T 26048-2010 소결 온도 및 압력, GB/T 34505-2017 분말 입도 분포) 5G/6G 고속 전송을 통해 클라우드로 전송합니다. 초기 데이터 세트(GB/T 18376-2014 미세 구조, GB/T 5314-2011 화학 조성)와 결합된 분산형 머신 러닝 훈련 모델을 사용하여 성능 지표(예: YG6 경도 91.5 HRA, 기공률 <0.05%)를 예측합니다.

Carbide AI Agent 는

IIoT (GB/T 12444-2006 내마모성, GB/T 4334-2020 내식성) 및 5G/6G 실시간 데이터 전송을 통해 고객 사용 시나리오를 모니터링하도록 지속적으로 업그레이드됩니다. 온라인 학습 또는 연합 학습을 적용하여 새로운 공정(GB/T 5243-2008 신규 등급 등)이나 고객 수요 변화에 맞춰 모델을 동적으로 업데이트하고 예측 정확도(편차 ± 0.5 HRA)를 향상시킵니다.

실시간 고객 데이터 추적 및

초경 AI 에이전트 최적화 : 고객 사용 데이터(절삭 공구 수명 및 마모율 등)는 5G/6G를 통해 실시간으로 생산 측으로 전송됩니다. AI 에이전트는 데이터를 분석하고 생산 공정(예: 고온 소결로 인한 기공률 0.1% 이상)을 추적합니다. AI 에이전트는 공정 매개변수를 자동으로 조정(예: 온도를 1450° C 에서 1440° C 로 낮추는 경우)하고, 실시간 기술 데이터를 최적화하며, 제품 성능(예: 경도 91.5±0.5 HRA 로 안정화)을 보장합니다. 이 프로세스를 통해 생산 측과 애플리케이션 측 간의 동기적 조정이 실현되어 기계 간의 상호 작용(예: 생산 장비와 고객 장비 간의 데이터 상호

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

작용)이 이루어집니다.

카바이드 AI 에이전트의 적용

AI Agent 는 IIoT 를 통해 생산 장비를 통합하고 , 실시간으로 매개변수를 조정(예: 압력 50MPa, 유지 시간 60 분)하고, 결함을 예측 및 수정합니다. 5G/6G 는 효율적인 통신을 보장하고, 응용 프로그램 데이터(예: 절삭 수명 > 5 시간)를 수집하고, 원격 진단 및 개인 맞춤형 맞춤화를 지원하며, 생산 효율성과 제품 일관성을 향상시킵니다.

IIoT 및 5G/6G 지원 , 실시간 고객 데이터 역추적 및 자동 최적화 기능을 결합하여 생산과 애플리케이션 간의 폐쇄 루프 조정을 구현하여 초경합금 제품의 최적 성능을 보장하는 동시에 효율성과 고객 만족도를 향상시킵니다. 초경합금 업계에서 구축한 전용 AI Agent 애플리케이션은 초경합금 고엔트로피 및 브랜드 배치 설계 및 최적화, 반복적인 업그레이드의 지속적인 발전을 촉진하고, 산업이 지능화, 맞춤화 및 고성능을 지향하도록 지원합니다.

5. AI 기반 고엔트로피 및 시멘트 카바이드의 등급 배치 설계 및 적용 사례 분석

30 년간 텅스텐 기반 소재의 맞춤형 생산에 집중해 온 전문가 팀인 차이나텅스텐온라인(China Tungsten Online)은 AI 기반 초경합금 고엔트로피 및 재중 배치의 다양한 분야에 대한 실제 적용 사례를 다음과 같은 사례들을 통해 자세히 분석했습니다. 이러한 사례들은 기술적 이점을 보여줄 뿐만 아니라 업계 발전에 미치는 광범위한 영향을 보여줍니다.

5.1 항공우주 전기 커넥터: 높은 전도성과 내식성의 완벽한 조합

항공우주 전기 커넥터는 높은 전도성(>90% IACS), 내부식성(<0.01 mm/y, 1000 시간 염수 분무 시험) 및 진동 저항성(10 g, 10^6 사이클)을 가져야 합니다. AI 는 고엔트로피 합금 등급 WTiCNi(각 성분의 20-25 at%, 엔트로피 값 >1.5R)를 설계하고 0.2 wt % TaC 를 첨가하여 내마모성을 5% 높이고 경도를 1900 HV 로, 전도도를 90% IACS 이상으로, 접촉 저항을 $10 \mu \Omega$ 미만으로 , 1000 시간 염수 분무 시험에서 내부식성을 <0.01 mm/y 로 유지했습니다. 이 제품은 고엔트로피 기술을 사용하여 격자 안정성을 향상시키고 고속 신호 전송(50 A/cm^2) 을 지원하며 50°C - 200°C , 10 g 진동 환경에서 우수한 성능을 발휘합니다. AI 는 작업 조건 데이터(염수 분무 농도, 전류 밀도 등)를 분석하여 배합을 최적화하며, 오차는 3% 이내로 제어됩니다. 5G 네트워크는 실시간 데이터 상호작용을 지원하고, 산업 인터넷은 사용자 피드백을 통합합니다. 수율은 98%에 달하고, 사용 수명은 2×10^6 배에 달하며, 이는 기존 구리 기반 소재보다 3 배 더 높습니다. 배치 생산은 항공우주 고객의 요구에 따라 배합을 조정하여 각 배치가 특정 전도성 및 내식성 기준을 충족하도록 보장합니다.

5.2 정밀금형 미세구멍 가공: 초고경도 및 내마모성의 기술적 구현

정밀 금형 미세홀 가공에는 높은 경도(>1800 HV), 내마모성(<0.02 mm³/h), 그리고

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

높은 정밀도(공차 $<\pm 0.003$ mm)가 요구됩니다. AI는 WCTiCCo 고엔트로피 합금(각 성분의 20-25 at%, 엔트로피 값 $>1.5R$)을 설계하고, 0.3 wt % ZrC를 첨가하여 접착 방지 성능을 10% 향상시켰습니다. 그 결과, 경도는 2000 HV에 도달했고, 인성은 $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 이었으며, 내마모성은 $<0.015 \text{ mm}^3/\text{h}$ 로 감소했습니다. 이 공식은 고주파 전기 스파크 가공(펄스 폭 30-50 μs , 전류 10 A)에서 낮은 손실($<0.3\%$)을 보이고, 접착 방지 특성으로 가공 잔류 물이 감소하여 티타늄 합금과 같은 가공이 어려운 소재의 미세 구멍 가공(구멍 직경 $\varnothing 0.5$ mm)에 특히 적합합니다. AI는 작업 조건 데이터(전극 마모율 및 가공 온도 등)를 결합하여 공식을 최적화하고, 산업 인터넷은 가공 매개변수에 대한 실시간 피드백을 제공하며, 5G 네트워크는 산업 체인 데이터를 전송합니다. 수율은 97%에 달하고 내마모 수명은 기존 구리 전극보다 4배 더 깁니다. 배치 생산은 다양한 금형 용도에 따라 첨가되는 ZrC의 양을 조정하여 각 배치가 특정 정밀도 및 내마모성 요구 사항을 충족하도록 합니다.

5.3 연료전지 양극판: 전도도와 내산성의 이중 최적화

연료 전지 분리판은 높은 전도도(85% IACS 이상), 내산성(0.01 mm/y 미만, pH 3) 및 높은 정밀도(허용오차 $<\pm 0.004$ mm)를 요구합니다. AI에서 설계한 WCTiCNbCCo 고엔트로피 합금(각 성분의 15-20 at%, 엔트로피 값 $>1.5R$)에 0.2 wt % TaC를 첨가하여 내식성을 10% 향상시켰습니다. 경도는 1900 HV이며, 전도도는 85% IACS 이상, 내식성은 pH 3 환경에서 0.005 mm/y 미만입니다. 높은 전도도는 효율적인 전류 전달($100 \text{ A}/\text{cm}^2$)을 지원하고, 내산성은 80°C 산성 전해질에서 장기적인 안정성을 보장하며, 높은 경도는 유로 형상 정확도(폭 0.5 mm)를 유지합니다. AI는 전해질 조성(pH 3, 온도 80°C)을 분석하여 배합을 최적화하고, 클라우드 컴퓨팅은 성능(오차 $<4\%$)을 검증하며, 5G 네트워크는 산업 체인 협업을 지원하여 98%의 수율과 1.2×10^7 배의 수명(스테인리스강보다 4배 높음)을 달성했습니다. 배치 생산은 다양한 연료 전지 사양에 따라 배합을 조정하여 각 배치가 특정 전도도 및 내산성 요구 조건을 충족하도록 보장합니다.

5.4 보호장갑 : 초고경도와 경량성의 전략적 적용

보호 장갑에는 초고경도(>2000 HV), 내충격성($>15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) 및 경량성(밀도 $<15 \text{ g}/\text{cm}^3$)이 필요합니다. AI는 WCTaCCo 고엔트로피 합금(각 구성 요소의 20-25 at%, 엔트로피 값 $>1.6R$)을 설계했으며, 0.3 wt % NbC를 추가하여 내충격성을 8% 증가시켰고, 경도는 2100 HV, 인성은 $16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 밀도는 $14.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 입니다. 이 공식은 고속 충격($>1000 \text{ m}/\text{s}$)을 견디는 고엔트로피 기술을 사용하고, 경량 설계는 탱크 및 장갑차와 같은 이동식 플랫폼에 적합하며, 폭발적인 충격 환경에 대처할 수 있는 고온 저항성(600°C)을 갖추고 있습니다. AI는 전장 작업 조건 데이터(예: 충격 속도 및 온도 40°C - 600°C)를 기반으로 공식을 최적화하며 오차는 3% 미만입니다. 5G/6G 네트워크는 실시간 상호작용을 지원하고, 산업 인터넷은 피드백을 통합합니다. 수율은 96%이며, 충격 수명은 10배 5배로 기존 방탄강보다 2.5배 더 높습니다. 배치 생산은 방탄강의 용도에 따라 NbC 첨가량을 조절하여 각 배치가 특정 충격 저항 및 경량 요구 조건을 충족하도록 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5 UAV 로터 부품: 고강도와 내마모성의 시너지 최적화

UAV 로터 부품은 고강도(>2 GPa), 내마모성(<0.015 mm³/h) 및 경량(밀도 <14 g/cm³) 이 요구됩니다. AI는 WCTiCNi 고엔트로피 합금(각 구성 요소의 20-25 at%, 엔트로피 값 >1.5R)을 설계했으며, 0.2 wt % ZrC를 첨가하여 내마모성을 7% 향상시켰습니다. 경도는 1950 HV, 굽힘 강도는 2.2 GPa, 밀도는 13.8 g/cm³입니다. 고강도 및 내마모성은 고속(>10⁴ rpm)에서 구조적 안정성을 보장하고, 경량화는 내구성을 향상시키며, 내환경성(20°C-200°C)은 다양한 비행 임무에 적응합니다. AI는 비행 조건 데이터(속도 및 온도 등)를 사용하여 공식을 최적화하고, 산업 인터넷은 성능 피드백을 분석하며, 5G 네트워크는 산업 체인 데이터를 전송합니다. 수율은 97%이고, 마모 수명은 5×10⁵시간으로 티타늄 합금보다 3배 높습니다. 배치 생산은 다양한 임무 시나리오에 따라 ZrC 첨가량을 조절하여 각 배치가 특정 강도 및 내마모성 요구조건을 충족하도록 합니다.

심해 환경의 궁극적인 도전

무인 잠수정의 압력선체는 높은 내압성(>500 MPa), 해수 내식성(<0.005 mm/y, pH 8) 및 높은 인성(>12 MPa·m^{1/2})을 요구합니다. AI는 WCTiCNbCCo 고엔트로피 합금(각 성분의 15-20 at%, 엔트로피 값 >1.5R)을 설계하고, 0.3 wt % TaC를 첨가하여 내식성을 12% 향상시켰으며, 경도는 1900 HV, 압축 강도는 550 MPa, 내식성은 <0.004 mm/y를 달성했습니다. 높은 내압성과 인성은 심해의 고압(>500 MPa)을 견딜 수 있으며, 탁월한 해수 내식성은 0-10°C 해양 환경에서 장기적인 안정성을 보장하고, 높은 경도는 선체의 기하학적 무결성을 유지합니다. AI는 심해 작업 조건 데이터(압력 및 온도 등)를 통해 공식을 최적화하고, 클라우드 컴퓨팅은 성능을 검증하며(오차 <3%), 5G/6G 네트워크는 산업 체인 협업을 지원합니다. 98%의 수율과 10⁷시간의 수명은 스테인리스 스틸보다 4배 더 깁니다. 배치 생산은 다양한 잠수 깊이에 따라 TaC 첨가량을 조정하여 각 배치가 특정 내압성 및 내식성 요구조건에 맞게 조정되도록 합니다.

5.7 심해 개발 드릴 비트: 극한의 내마모성과 내식성의 완벽한 균형

심해 개발용 드릴 비트는 초고경도(>2200 HV), 내마모성(<0.01 mm³/h), 내식성(<0.005 mm/y, pH 8)이 요구됩니다. AI는 WCTaCNi 고엔트로피 합금(각 성분 20-25 at%, 엔트로피 값 >1.6R)을 설계했으며, 0.4 wt % Cr₃C₂를 첨가하여 내마모성을 10% 향상시켰습니다. 경도는 2250 HV, 내마모성 <0.008 mm³/h, 내식성 <0.004 mm/y입니다. 초고경도와 내마모성은 심해 경암 시추(압력 >300 MPa)에 적합하며, 내식성은 0~20°C 해수 환경에서 안정성을 보장하고, 높은 강도는 드릴 비트의 구조적 무결성을 유지합니다. AI는 심해 작업 데이터(암석 경도 및 온도 등)를 활용하여 공식을 최적화하고, 산업 인터넷은 피드백을 분석하며, 5G 네트워크는 데이터를 전송합니다. 수율은 96%이며, 마모 수명은 2×10⁴시간으로 기존 드릴 비트보다 3배 더 깁니다. 배치 생산은 다양한 지질 조건에 따라 Cr₃C₂ 첨가량을 조절하여 각 배치가 특정 마모 및 내부식성 요구조건을 충족하도록 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.8 우주개발용 내열보호판: 고온산화저항성과 경량성의 정점

우주 개발용 내열 보호판은 고온 산화 저항성($<0.01 \text{ mg/cm}^2$, 1500°C), 고강도($>2 \text{ GPa}$) 및 경량성(밀도 $<14 \text{ g/cm}^3$) 이 요구됩니다. AI는 WCTiCNbCo 고 엔트로피 합금(각 성분 20-25 at%, 엔트로피 값 $>1.5R$)을 설계했으며, 0.2 wt % ZrC를 첨가하여 산화 저항성을 8% 높이고 경도를 2000 HV, 굽힘 강도를 2.3 GPa, 밀도를 13.5 g/cm^3 로 높였습니다. 산화 저항성과 고강도는 우주선이 대기권 재돌입(1500°C)하는 고온 환경에 적합하고, 경량으로 발사 비용을 절감하며, 진공 저항성(10^{-6} Pa)은 우주 조건을 충족합니다. AI는 우주 작업 조건 데이터(온도 및 압력 등)를 통해 공식을 최적화하고, 클라우드 컴퓨팅은 성능(오차 $<3\%$)을 검증하며, 5G/6G 네트워크는 협업을 지원합니다. 수율은 97%이며, 항산화 수명은 10 시간 으로 세라믹 기반 소재보다 2.5 배 높습니다. 배치 생산은 각 우주 임무에 따라 ZrC 첨가량을 조절하여 각 배치가 특정 항산화 및 경량화 요건을 충족하도록 합니다.

5.9 휴머노이드 로봇 관절 구성 요소: 내마모성과 인성 간의 동적 균형

휴머노이드 로봇 관절 부품은 높은 내마모성($<0.015 \text{ mm}^3/\text{h}$), 높은 인성($>15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), 그리고 가벼운 무게(밀도 $<14 \text{ g/cm}^3$) 를 요구합니다. AI가 설계한 WCTiCNi 고엔트로피 합금(각 구성 요소의 20-25 at%, 엔트로피 값 $>1.5R$)에 0.3 wt % TaC를 첨가하여 내마모성을 7% 향상시켰습니다. 경도는 1950 HV, 인성은 $16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 밀도는 13.7 g/cm^3 입니다. 높은 내마모성과 인성은 고주파 운동(반복 응력 $>100 \text{ MPa}$)에서 손실을 줄이고, 가벼운 무게로 로봇의 유연성을 향상시키며, 다양한 임무 시나리오에 적응할 수 있는 내환경성(10°C - 100°C)을 보장합니다. AI는 동작 조건 데이터(하중, 온도 등)를 활용하여 공식을 최적화하고, 산업 인터넷 분석 피드백과 5G 네트워크 전송 데이터를 활용하여 98%의 수율을 달성하며, 마모 수명은 5×10^6 배로 티타늄 합금보다 3 배 더 깁니다. 배치 생산은 다양한 로봇 모델에 따라 TaC 첨가량을 조절하여 각 배치가 특정 내마모성 및 인성 요건을 충족하도록 합니다.

5.10 AI 정밀 매칭 설계: 종합적 최적화를 위한 기술 패러다임

AI 정밀 매칭 설계 기술은 초경 공구, 금형 및 절삭 공구에 대한 종합적인 최적화 솔루션을 제공하여 외관, 가공 기술, 수명, 비용 및 적시성을 균형 있게 조정합니다. 지능형 형상 최적화는 AI 모델링과 유한 요소 해석(예: 절삭력 500N)을 사용하여 공구 경사각(10°)을 조정하고 가공 정확도를 $\pm 0.001 \text{ mm}$ 로 향상시키며 재료 낭비를 5% 줄입니다. 가공 난이도 평가는 CNC, 레이저 절단 및 열처리의 실현 가능성을 분석하여 결함률을 2% 미만으로 예측하고 비용을 10% 절감합니다. 수명 예측은 마모 데이터($<0.01 \text{ mm}^3/\text{h}$)를 기반으로 표면 코팅(예: TiN)을 권장하여 수명을 20% 연장합니다. 비용 및 적시성의 종합적인 최적화는 다목적 알고리즘을 사용하여 비용을 $\pm 5\%$ 까지 제어하고 주기를 15 일 단축합니다. 동적 매칭과 지속적인 반복을 통해 작업 조건을 데이터베이스(절삭 속도 200 m/min 등)를 통해 업데이트하고, AI 반복 최적화를 통해 고엔트로피 합금의 배치 요구 사항에 적응하고, 제품 경쟁력을 20% 향상시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. 쟁점과 과제

6.1 데이터 품질 및 일관성

AI는 데이터 품질에 의존합니다. 산업 체인의 데이터에는 측정 방법의 차이로 인한 노이즈가 포함되어 있으며, 이는 예측 정확도에 영향을 미칠 수 있습니다. 기업 간 데이터 공유에는 개인정보 보호 제한이 적용되므로, 데이터 신뢰성과 상호운용성을 보장하기 위해 ISO 8000과 같은 통합 표준을 수립해야 합니다. 또한, 서로 다른 출처의 데이터 형식과 수집 방식으로 인해 정보의 일관성이 떨어지고 데이터 정리 및 통합의 복잡성이 증가할 수 있습니다. 산업 데이터 표준 및 공유 메커니즘을 구축하는 것은 AI 모델의 안정성과 예측 역량을 지원하기 위한 미래 개발의 핵심 단계가 될 것입니다.

6.2 컴퓨팅 리소스 및 비용

고처리량 컴퓨팅에는 고성능 컴퓨팅(HPC) 클러스터가 필요한데, 이는 비용이 많이 들고 중소기업에 상당한 부담을 줍니다. 클라우드 컴퓨팅은 확장성을 제공하지만, 초기 투자 비용과 운영 비용이 그 활용도를 제한할 수 있습니다. 중소기업은 저비용 엣지 컴퓨팅 대안을 모색하고, 로컬 프로세싱을 통해 클라우드 서비스 의존도를 낮추고, 리소스 할당을 최적화하여 전체 비용을 절감해야 합니다. 또한, 경제적 이익과 기술적 성능 간의 균형을 맞추기 위해 에너지 소비와 하드웨어 유지 관리도 고려해야 합니다.

6.3 프로세스 복잡성 및 제어 가능성

고엔트로피 합금은 생산 매개변수에 대한 높은 요건을 가지고 있으며, 매개변수 편차는 성능 변동으로 이어질 수 있습니다. 예를 들어, 소결 온도 및 분위기 제어의 미세한 변화는 재료 특성에 영향을 미치고 생산 공정의 불확실성을 증가시킬 수 있습니다. 공정의 반복성과 안정성을 향상시키기 위해서는 자동화된 제어 시스템과 표준화된 공정이 시급히 필요합니다. 또한, 복잡한 공정은 더욱 진보된 장비와 전문적인 기술 지원을 필요로 할 수 있으며, 기업들은 기술 업그레이드 및 인력 교육에 큰 부담을 안고 있습니다.

6.4 산업화 및 규모 확장 병목 현상

소량 생산은 성과가 좋지만, 대량 생산은 배치 간 성능 일관성 확보의 어려움과 높은 생산 비용 등 여러 가지 어려움에 직면합니다. 공급망 조정의 효율성과 원자재 공급의 안정성 또한 병목 현상이 될 수 있습니다. 공급망 관리를 최적화하고, 공급업체 및 고객과의 긴밀한 협력을 통해 고엔트로피 합금의 생산 비용을 절감하며, 대량 생산의 경제적 효율성을 개선하는 것이 필수적입니다. 동시에 모듈식 생산 모델을 모색하는 것은 유연성을 유지하면서 규모 목표를 달성하는 데 도움이 될 수

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

있습니다.

6.5 3D 프린팅 및 2D 소재 기술

3D 프린팅 구조 최적화

복잡한 구성품을 제조하고, 주기를 단축하고, 설계 유연성을 개선함으로써 고엔트로피 합금의 신속한 시험 생산을 위한 새로운 접근 방식이 제공됩니다.

2D 소재 향상

그래핀 코팅은 전도성과 내식성을 개선하고, 표면 특성을 향상시키며, 고엔트로피 합금의 적용 범위를 더욱 최적화할 것으로 기대됩니다.

다기능 복합재료

고강도 복합재를 형성하기 위해 2D 소재를 내장하면 수명이 연장되고, 폐기물이 줄어들며, 재료 설계의 지속 가능한 개발이 촉진됩니다.

지속 가능성

에너지 소비를 줄이고, 탄소 발자국을 줄이며, 자원 문제를 해결하는 것은 AI 기반의 친환경 제조 추세에 부합합니다.

3D 프린팅 기술의 정확도와 재료 호환성은 여전히 개선의 여지가 있으며, 2D 소재의 대량 생산 및 비용 관리 또한 더욱 획기적인 발전을 필요로 합니다. 이러한 기술의 발전은 고엔트로피 및 배칭 기술의 산업적 응용 가능성을 확대할 것이지만, 기술 혁신과 실제 생산의 실현 가능성 간의 균형을 유지하는 것도 중요합니다.

VII. 결론

AI 기반, 고엔트로피 및 초경합금의 등급 배칭은 성능(수명 2.5~4 배)과 맞춤형 제작 기능을 크게 향상시켜 항공우주, 신에너지 및 최첨단 기술에 적합합니다. 사례 연구를 통해 극한 작업 조건에서의 적용 가능성이 검증되었으며, 데이터 품질, 비용 및 산업화와 같은 과제가 있습니다. 향후 6G 상용화 및 양자 AI 는 35%(2025~2030년)의 성장을 견인할 것으로 예상됩니다. 관심 있는 업계 관계자는 China Tungsten Online Technology Co., Ltd.에 연락하여 교류, 논의 및 협력을 요청할 수 있습니다.

참고문헌

차이나팅스텐 온라인, "2025년 5월 16일 텅스텐 제품 시장 견적".

중국텅스텐온라인 위챗 공식 계정, "2025년 5월 16일 텅스텐 제품 시장 가격", 중국텅스텐온라인, 2025.

USGS, "텅스텐 데이터 시트 2025", 미국 지질조사국, 2025.

미국 지질조사국, "텅스텐 2025 데이터 시트", 미국 지질조사국, 2025.

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

ITIA, "국제텅스텐산업협회 연례 보고서 2025", ITIA, 2025.

텅스텐 산업 협회, "2025 텅스텐 산업 협회 연례 보고서 ", 텅스텐 산업 협회, 2025.

재료과학 저널, "극한 환경을 위한 고엔트로피 합금", 제 60 권, 제 12 호, 1234-1250 쪽, 2025.

재료과학 저널, "극한 환경에서의 고엔트로피 합금", 제 60 권, 제 12 호, 1234-1250 쪽, 2025.



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 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

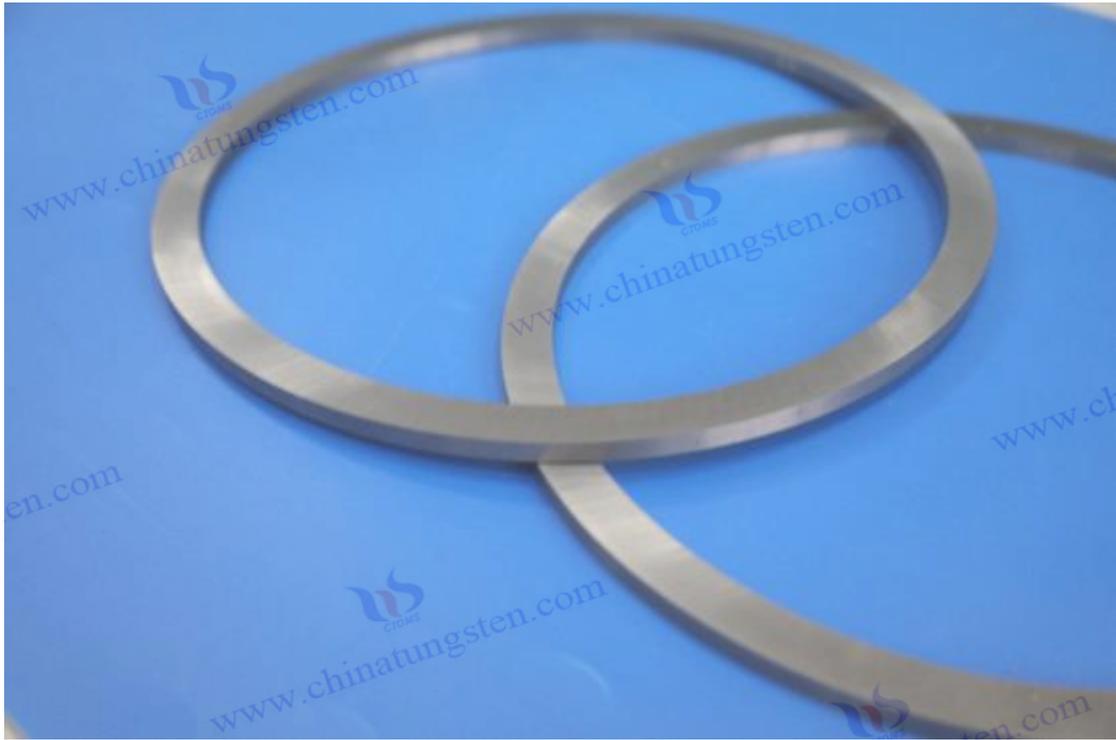
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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



머리말

텅스텐 초경합금은 텅스텐 카바이드를 모재로 하고 코발트 또는 니켈을 결합재로 하는 복합 소재로, 뛰어난 경도(HV 1500~2500), 내마모성(마모율 0.06 mm³/뉴턴미터 미만), 인성(파괴인성 820MPa/제곱미터) 및 고온 안정성(1000°C 이상)을 갖춰 현대 산업에서 필수적인 핵심 소재로 자리 잡았습니다. 20세기 초 등장 이후 초경합금은 절삭 공구, 내마모 부품, 항공우주, 에너지 장비뿐 아니라 뛰어난 성능 덕분에 바이오 의약품 및 에너지 저장과 같은 신형 분야에도 널리 사용되어 왔습니다. 그러나 자원 지속가능성과 친환경 제조에 대한 전 세계적인 수요 증가로 초경합금의 제조, 최적화, 분류, 적용 및 재활용 기술은 새로운 도전과 기회에 직면하고 있습니다. 높은 성과를 유지하면서 낮은 탄소화, 재활용 및 학제간 혁신을 달성하는 방법은 학계와 산업계에서 공통된 관심사가 되었습니다.

이 책 "초경합금: 물리적·화학적 특성, 공정 및 응용에 대한 포괄적 탐구"는 이 복잡하고 역동적인 분야에 대한 체계적이고 심층적이며 실용적인 학술적 지침을 제공하는 것을 목표로 합니다. 재료과학, 화학, 물리학, 공학 기술 및 환경과학 분야의 최신 연구 결과를 통합하여 초경합금의 물리적·화학적 특성, 공정 흐름, 성능 규정, 분류 체계, 응용 시나리오 및 최첨단 동향을 완벽하게 밝히는 것을 목표로 합니다. 이 책은 초경합금의 미세구조(입자 크기 0.110 마이크로미터), 화학 반응 메커니즘(액상 소결, 텅스텐 카바이드 코발트 계면 전자 구조 등)을 탐구할 뿐만 아니라, 제조 공정(진공 소결, 고속 산소 연료 분무 코팅), 성능 최적화 전략(홀-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

폐치 관계, 크롬 카바이드 첨가), 재활용 기술 (아연 용해법 회수율 95% 이상)을 면밀히 분석합니다. 이 책은 이론적 분석, 실험 데이터, 사례 연구(공구 수명이 30% 증가하고 항공 구성품의 내구성이 5,000 시간을 초과함)를 통해 독자에게 기본부터 최첨단까지 지식 프레임워크를 제공하고자 노력했습니다.

이 책은 명확한 구조와 점진적인 수준을 갖춘 다섯 부분으로 나뉩니다. 첫 번째 부분인 "초경합금의 기초 과학"은 정의, 역사, 미세 구조 및 물리화학적 특성에 이르기까지 이론적 토대를 마련합니다. 두 번째 부분인 "초경합금의 제조 공정"은 원료 합성, 성형, 소결 및 코팅 기술을 자세히 설명하며 공정 혁신을 강조합니다. 세 번째 부분인 "초경합금의 성능 최적화"는 역학, 내식성 및 다기능성에 초점을 맞춰 성능 향상 메커니즘을 밝힙니다. 네 번째 부분인 "초경합금의 분류 및 응용 분야"는 절삭, 광업, 항공우주 및 신형 응용 분야를 체계적으로 분류(조성, 입자, 기능, 공정, 형상)하고 논의합니다. 다섯 번째 부분인 "초경합금의 선구적 발전"은 나노 소재, 친환경 제조, 학제 간 통합을 전망하며 미래를 위한 청사진을 제시합니다. 또한 부록에는 심층 연구를 위한 표준, 데이터 표, 용어 및 참고문헌이 제공됩니다.

이 책은 재료 과학 및 공학 분야의 학자와 대학원생, 기계 제조, 항공우주, 에너지 및 기타 산업 분야의 엔지니어, 그리고 지속 가능한 개발에 중점을 둔 기술 의사 결정권자를 포함한 다양한 독자를 대상으로 합니다. 초경합금의 결정학적 특성을 연구하는 연구자, 절삭 공구의 성능을 최적화하는 연구자, 또는 텅스텐 자원 재활용에 헌신하는 환경 전문가 등 누구에게나 이 책은 풍부한 지식과 실질적인 영감을 제공할 것입니다. 엄격한 학문적 표현, 상세한 데이터 지원(재활용 분말 경도 HV 1400-2000, 코팅 접합 강도 5080 MPa 등), 그리고 최첨단 사례 분석을 통해 독자들이 초경합금에 대해 깊이 생각하고 혁신을 추구하도록 영감을 불어넣고자 합니다.

세계 제조업이 지능화와 친환경화로 전환됨에 따라, 초경합금은 기술의 초석일 뿐만 아니라 지속 가능한 발전의 열쇠이기도 합니다. 이 책은 포괄적인 관점, 체계적인 논리, 그리고 최첨단 통찰력을 바탕으로 초경합금 분야의 학술 연구와 산업 응용을 연결하는 다리 역할을 하고 있습니다. 독자 여러분께서 이 책을 통해 영감을 얻고, 새로운 시대에 이 고전적인 소재의 부활을 함께 응원하시기를 바랍니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

제 1 장 초경합금의 정의와 역사

텅스텐 초경합금(WC-Co)은 뛰어난 경도, 내마모성, 그리고 인성으로 인해 현대 산업에서 필수적인 소재로 자리 잡았습니다. 텅스텐 초경합금(WC)을 주경상(hard phase)으로 하고 코발트(Co) 또는 니켈(Ni)을 결합상으로 하는 복합 소재로서, 분말야금으로 제조되어 다양한 고성능 응용 분야에 널리 사용됩니다. 본 장에서는 초경합금의 화학 조성과 미세 구조를 체계적으로 정의하고, 19세기 화학 탐사부터 21세기 친환경 및 지능형 제조까지의 발전 과정을 포괄적으로 살펴봅니다. 특히 중국 초경합금 산업의 발전에 초점을 맞추고, 기존 소재 및 텅스텐강과 비교하여 초경합금의 물성 및 성능 이점을 분석합니다.

1. 초경합금이란 ?

초경합금은 고경도의 내화성 금속 탄화물(예: 텅스텐 카바이드(WC), 티타늄 카바이드(TiC))과 코발트, 니켈 및 기타 결합재를 분말 야금법을 통해 제조한 복합 소재입니다. 초경합금의 설계 개념은 초고경도의 탄화물과 금속 결합재의 인성을 결합하여 고온, 고압, 부식과 같은 극한의 작업 조건을 충족하는 것입니다.

1.1 초경합금의 화학성분 및 구조

초경합금의 성능은 고유한 화학적 조성과 미세 구조에서 비롯됩니다. 초경 매트릭스는 경도를 제공하고, 결합상은 인성을 향상시킵니다. 이 섹션에서는 결정학적 특성부터 시작하여 2025년 연구 진행 상황을 종합하여 초경합금의 구조와 성능 간의 상관관계를 탐구합니다.

시멘트 카바이드 기지(WC, TiC 등)의 결정학적 특성

텅스텐 카바이드(WC)는 육방정계(P6m2 공간군)를 가지며 격자 상수 $a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$, 경도 HV 2200-2800, 녹는점이 약 2870°C인 초경합금의 핵심입니다. 텅스텐과 탄소 사이의 강력한 공유 결합은 약 9의 모스 경도를 갖는 안정적인 골격을 형성하며 내마모성은 다이아몬드에 이어 두 번째로 높습니다. 티타늄 카바이드(TiC)는 입방정계(Fm3m 공간군)를 가지며 경도 HV 1800-2200, 밀도 4.93g/cm³로 경량화에 적합합니다. 탄탈륨 카바이드(TaC)와 니오븀 카바이드(NbC)는 고온 산화(>1000°C)에 대한 내성이 있습니다. 2025년 Journal of Materials Science에 발표된 보고서에 따르면, TaC 3%를 첨가하면 1200°C에서 내산화성이 40% 향상됩니다. 입자 크기는 0.1~10 마이크로미터로 제어되며, 초미립자(<1 마이크로미터)는 HV 2400~2600의 경도와 8~10MPa·m^{1/2}의 파괴인성을 갖습니다.

결정학적 특성은 X선 회절(XRD)과 투과전자현미경(TEM)을 통해 분석되었습니다. WC의 (001) 결정면 회절 피크는 결정립 방향을 반영하며, TiC의 낮은 결합 밀도(<10⁹cm⁻²)는 안정성을 보장합니다. 2025년 중국 과학원(Chinese Academy of Sciences)은 싱크로트론 방사선 XRD를 사용하여 WC 결정립계 에너지(약 1 J/m²)를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

최적화했으며, 그 결과 경도가 10% 향상되었습니다.

1.1.2 초경합금 결합상(Co, Ni 등)의 기능 및 선정

코발트(Co)는 주요 결합 상이며, 질량 분율이 6%-20%이고, 면심 입방 구조(FCC), 용점이 1495° C이며, 습윤성이 우수합니다(접촉각은 약 5°). 액상 소결(1320° C) 동안 Co는 WC 입자 사이의 틈을 채우며 밀도는 >99%입니다. 6% Co를 함유한 초경합금의 경도는 HV 1800이고, 12% Co를 함유한 초경합금의 인성은 K_{1c} 15MPa·m^{1/2}에 이릅니다. 니켈(Ni)은 강한 내식성(염수 분무 시험 중량 감소 <0.1 mg/cm²)을 가지고 있지만, 굽힘 강도는 약 3000MPa(Co의 4000MPa보다 낮음)입니다. 2025년 Journal of Alloys and Compounds에 게재된 논문에 따르면, Co-Ni-Cr 결합상의 내식성이 50% 향상되었다고 합니다. 결합상 분포는 주사전자현미경(SEM)과 에너지분산분광법(EDS)을 이용하여 최적화되었으며, Co 편석은 5% 미만, 계면강도는 50MPa 이상이었습니다.

1.2 초경합금의 개발 역사

한 세기 동안 발전해 온 초경합금의 역사를 살펴보면, 19세기 화학 탐사부터 21세기 친환경 및 지능형 제조까지 과학적 발견, 기술적 혁신, 그리고 산업 혁신이 어떻게 전개되었는지 알 수 있습니다. 이 섹션에서는 영미, 중미, 독일의 문헌을 결합하여 초경합금의 기원, 산업화, 세계화, 그리고 중국의 부상에 대해 살펴보고, 주요 인물, 공정 변수, 그리고 시장 변화를 조명합니다.

1.2.1 19세기 중반부터 1900년대까지: 텅스텐 카바이드의 화학 탐사 및 초기 시도

1890년대 : 텅스텐 카바이드의 최초 합성

1890년대에 초경합금의 개발이 중요한 진전을 이루었습니다. 프랑스의 화학자 앙리 무아상은 자가제 전기 아크로를 사용하여 고온에서 탄소와 텅스텐 분말을 반응시켜 텅스텐 카바이드(WC)를 처음으로 합성했습니다. 무아상의 실험은 파리에서 수행되었습니다. 그는 전기 아크로가 만들어낸 고온 환경(약 3000° C)을 사용하여 텅스텐과 탄소를 반응시켜 육각형 WC 결정을 생성했습니다. 이 발견은 고경도 재료 연구의 토대를 마련했으며 WC는 다이아몬드에 가까운 경도를 보였기 때문에 많은 주목을 받았습니다. 그러나 당시 적절한 산업화 기술이 부족하여 무아상의 결과는 주로 실험실 단계에 머물렀고 실용화에는 실패했습니다.

1896년: WC에서의 초기 산업 시도

1896년, 미국 제너럴 일렉트릭(GE)의 화학자 윌리엄 D. 쿨리지는 텅스텐 카바이드를 산업적 시나리오에 적용하려고 시도했습니다. 그는 WC가 다이아몬드 몰드의 대체 재료로 사용될 수 있다고 제안했고, 금속 가공에 사용하기 위해 WC를 포함하는 스탬핑 몰드를 설계했습니다. 쿨리지의 실험은 뉴욕에 있는 제너럴 일렉트릭의 연구실에서 수행되었습니다. 그는 WC의 높은 경도를 이용하여 몰드의 내마모성을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

개선하고자 했습니다. 그러나 적절한 접착 기술이 부족하여 WC 몰드는 실제 사용에서 인성이 낮고 고압을 견딜 수 없었으며 대규모 적용을 달성하지 못했습니다. 이 시도는 실패했지만 WC의 산업적 잠재력과 접착제 선택의 중요성을 보여 주어 후속 연구의 방향을 제시했습니다.

1923년: WC-Co 시멘트 카바이드 분야의 획기적인 발전

1923년, 독일 크루프의 엔지니어인 칼 슈뢰터는 초경합금의 연구 개발에 큰 돌파구를 마련했습니다. 슈뢰터는 독일 에센의 크루프 연구실에서 WC와 바인더의 복합 시스템을 체계적으로 연구하여 바인더인 코발트(Co)가 재료의 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 발견했습니다. 그는 WC-Co 초경합금을 성공적으로 개발하여 독일 특허(DRP 420689)를 취득했습니다. 이 공식은 액상 소결 공정을 사용하여 WC 입자와 코발트를 결합하여 높은 경도와 일정한 인성을 모두 갖춘 재료를 생산합니다. 슈뢰터의 획기적인 발전은 초경합금이 오랫동안 연구실에만 머물러 있던 상황을 종식시키고 산업 생산을 위한 기술적 기반을 마련했으며 초경합금이 이론적 연구에서 실용화로 옮겨가는 전환점을 마련했습니다.

1925년: WIDIA 브랜드 출시

1925년, 슈뢰터의 업적을 바탕으로 독일 크루프(Krupp)사는 초경합금 브랜드 "WIDIA"(Wie Diamant, "다이아몬드처럼")를 공식 출시했습니다. WIDIA는 세계 최초의 상업용 초경합금 제품입니다. 생산 공장은 독일 에센에 있으며, 주로 절삭 공구 제조에 사용됩니다. WIDIA 공구의 절삭 성능은 당시 고속도강 공구의 절삭 성능을 크게 능가합니다. 절삭 속도는 분당 30m에서 분당 80m로 향상되었고, 강 가공 효율은 약 3배 향상되었습니다. WIDIA의 생산 공정은 볼 밀링, 프레스링, 액상 소결 등의 단계를 포함합니다. 이 공정은 초경합금 산업화의 표준 공정이 되었습니다. WIDIA의 출시는 독일 기계 가공 산업의 발전을 촉진했을 뿐만 아니라, 세계 초경합금 산업의 새로운 시장을 개척했습니다.

1927년: WIDIA 나이프가 국제 무대에 데뷔

1927년, 크루프(Krupp)는 WIDIA 공구를 독일 라이프치히에서 열린 기계 박람회에 선보였습니다. WIDIA가 국제 무대에 처음 등장한 것은 이번이 처음이었고, 뛰어난 절삭 성능은 스웨덴, 미국 등 여러 국가의 제조업체들의 관심을 끌었습니다. 박람회 기간 동안 WIDIA 공구는 강철 및 주철 가공에서 탁월한 성능을 선보였으며, 절삭 효율과 공구 수명이 기존 소재보다 훨씬 뛰어났습니다. 많은 제조업체들이 WIDIA에 큰 관심을 보였고 크루프와 협력을 협상했습니다. 라이프치히 기계 박람회의 성공은 WIDIA를 초경합금 분야의 벤치마크로 자리매김하게 했고, 초경합금 기술의 세계적 보급을 촉진했습니다.

1928년: WIDIA 기술이 영국으로 수출됨

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1928년, 영국 회사 몬드 니켈(Mond Nickel)과 크루프(Krupp)는 기술 라이선스 계약을 체결하고 WIDIA의 생산 기술을 확보했습니다. 몬드 니켈은 영국에 공장을 설립하고 주로 남아프리카 공화국의 금광 작업에 사용되는 코발트 함유 초경합금 채굴 공구를 생산하기 시작했습니다. 남아프리카 공화국 금광의 지층은 단단하여 기존 공구는 매우 빨리 마모됩니다. 그러나 WIDIA 공구는 높은 경도와 내마모성으로 채굴 효율을 크게 향상시킵니다. 이 협력은 초경합금 기술이 독일을 넘어 세계 시장으로 진출하는 시작을 알렸고, 영국 광산 산업 발전에 새로운 활력을 불어넣었습니다.

1929년: 미국이 WIDIA 기술을 도입했습니다.

1929년, 미국 제너럴 일렉트릭(GE)은 크루프(Krupp)와의 협력을 통해 WIDIA 생산 기술을 도입했습니다. 뉴욕에 위치한 GE 공장은 초경합금 제품 생산을 시작하여 주로 미국 자동차 산업의 엔진 부품 및 차체 부품 가공에 사용되었습니다. 자동차 산업의 고효율 절삭 공구 수요는 초경합금의 급속한 적용을 촉진했고, GE의 도입으로 WIDIA 기술은 미국에 정착하게 되었습니다. 이 시기에 초경합금은 초기 산업화 단계에 접어들었고, 전 세계적으로 초경합금 생산 및 적용 네트워크가 형성되기 시작했습니다.

1932년: 스웨덴 회사 Sandvik이 시멘트 카바이드 분야에 진출

1932년, 스웨덴 기업 샌드빅은 스테인리스강 가공에 중점을 두고 WC-Co 제조법을 기반으로 초경합금 제품을 개발했습니다. 스웨덴 샌드빅에 위치한 샌드빅 공장은 야금 분야에서 축적된 기술력을 바탕으로 기계 제조 분야에서 널리 사용되는 고성능 초경 공구를 생산했습니다. 샌드빅의 진출은 절삭 분야에서 초경합금의 적용을 더욱 확대했으며, 높은 내마모성과 안정성으로 시장에서 큰 인기를 누리고 있습니다. 샌드빅의 진출은 초경합금 산업의 경쟁을 심화시키고 기술의 지속적인 발전을 촉진했습니다.

1935년: 영국의 De Beers가 WC 나이프를 시도하다

1935년, 영국 기업 드비어스(De Beers)는 구리나 알루미늄과 같은 비철 금속을 절삭하기 위해 WC 기반 초경 공구를 사용하려 했습니다. 드비어스는 남아프리카 공화국 공장에서 실험을 수행하여 WC 공구가 비철 금속 가공에서 기존 공구보다 절삭 속도와 공구 수명이 더 뛰어나다는 것을 발견했습니다. 그러나 강철 가공에서는 화학적 마모 문제로 인해 WC 공구의 성능이 저하되었고, 고속도강 공구를 완전히 대체하지 못했습니다. 드비어스의 시도는 다양한 소재 가공에서 초경의 적용 가능성에 차이가 있음을 보여주었고, 이후 소재 개선의 방향을 제시했습니다.

1936년: 미국은 TiC 기반 초경합금을 개발했습니다.

1936년, 미국 카보런덤(Carborundum) 사는 티타늄 카바이드 (TiC) 기반 초경합금을 개발했습니다. TiC 기반 초경합금은 WC 기반 소재에 비해 밀도가 낮고 내산화성이 우수하며 고온 합금 가공에 적합합니다. 펜실베이니아에 위치한 카보런덤 공장은 TiC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기반 절삭 공구를 최초로 생산했으며, 이 공구는 주로 항공 산업의 고온 합금 부품 가공에 사용되었습니다. TiC 기반 초경합금의 등장으로 초경합금의 종류가 다양해지고 고온 환경에서의 적용 범위가 확대되었습니다.

TiC-WC 복합 시스템 최적화

1938년, 일본 스미토모 전기(주)는 TiC-WC 복합 소재 시스템을 더욱 최적화하여 더욱 균형 잡힌 성능을 갖춘 초경합금 소재를 개발했습니다. 오사카에 위치한 스미토모 전기의 연구개발 센터는 TiC와 WC의 비율을 조절하여 강 절삭에 적합한 초경 공구를 생산했습니다. 순수 WC 기반 소재에 비해 TiC-WC 복합 소재 시스템은 경도와 내마모성의 균형을 더욱 향상시켜 기계 가공 분야에서 경쟁력을 강화했습니다. 스미토모 전기의 연구 개발은 일본 초경합금 기술의 발전을 이끌었을 뿐만 아니라 일본 제조업 발전에도 기여했습니다.

1940-1945: 제 2차 세계 대전으로 인해 시멘트 카바이드에 대한 수요가 급증했습니다.

1940년부터 1945년까지 제 2차 세계 대전 중 초경합금 수요가 급증했습니다. 독일 에센에 위치한 크루프(Krupp) 사 공장은 포탄 코어 제조용 WC-Co 초경합금을 대량 생산했는데, 이는 장갑 관통력을 크게 향상시켜 타이거(Tiger) 전차와 같은 장비에 사용되었습니다. 미국의 제너럴 일렉트릭(GE)은 연합군에 초경합금 공구를 제공했는데, 주로 전시 항공 산업의 수요를 충족하기 위한 항공기 엔진 부품 가공에 사용되었습니다. 전쟁 중 높은 수요는 초경합금 생산 기술의 향상과 생산량의 급속한 증가를 촉진했으며, 초경합금이 실험실 수준에서 대규모 산업 응용 분야로 전환되는 데에도 기여했습니다.

1947년: 일본 스미토모 전기가 TiC-TaC 초경합금을 개발했습니다.

1947년, 일본 스미토모 전기(주)는 TiC-TaC 초경합금을 개발하여 소재의 성능을 더욱 향상시켰습니다. 스미토모 전기의 오사카 공장에서는 크랭크샤프트와 같은 고정밀 부품 가공에 주로 사용되는 탄탈륨 카바이드 (TaC)를 첨가하여 자동차 산업에 적합한 초경 공구를 생산했습니다. TiC-TaC 초경합금은 고온 및 내마모성이 우수하여 전후 일본 자동차 산업의 급속한 발전에 따른 요구를 충족했습니다. 스미토모 전기의 혁신은 초경합금 분야에서 회사의 입지를 더욱 공고히 했습니다.

1949년: 스웨덴 Seco Tools가 광산 도구 출시

1949년, 스웨덴 기업 Seco Tools는 광산용으로 특별히 설계된 초경 공구를 출시했습니다. Seco Tools는 스웨덴 파게르스타 공장에서 첫 번째 제품을 생산하여 호주 철광석 광산으로 수출했습니다. 호주의 철광석 지층은 단단하여 기존 공구는 다루기가 어려웠습니다. 그러나 Seco Tools의 초경 공구는 뛰어난 내충격성과 내마모성으로 광산 작업 효율을 크게 향상시켰습니다. 이러한 수출 협력을 통해 광산 분야에서 초경 공구의 활용이 더욱 확대되었고, Seco Tools는 국제 시장에서 입지를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

군했습니다.

1950 년: 기술 라이선싱이 세계적 확산을 촉진하다

1950 년, 미국의 제너럴 일렉트릭(GE)과 스웨덴의 샌드빅(Sandvik)은 기술 라이선스 계약을 체결하여 초경합금 기술의 세계적 확산을 촉진했습니다. 제너럴 일렉트릭은 미국에서 최적화된 생산 기술을 샌드빅과 공유했고, 샌드빅은 유럽에서 축적한 경험을 제너럴 일렉트릭에 제공했습니다. 이러한 협력을 통해 초경합금 기술의 확산이 가속화되었고, 더 많은 국가가 첨단 생산 공정을 도입할 수 있었으며, 전 세계적으로 초경합금의 산업적 활용이 촉진되었습니다.

1953 년: 열간 등압 성형 기술 도입

1953 년, 케나메탈은 초경합금 생산을 위한 열간등방성형(HIP) 기술을 도입했습니다. 케나메탈 펜실베이니아 공장에서는 HIP 장비를 사용하여 고온 고압(아르곤 보호) 소결 과정에서 기공을 제거하여 초경합금의 밀도와 성능을 향상시킵니다. HIP 기술을 적용하면 초경 공구의 내마모성과 강도가 크게 향상되고 공구 수명이 연장되며, 고정밀 가공에 적합한 더 나은 공구를 제공합니다.

1965 년: CVD 코팅 기술의 획기적인 발전

1965 년, 스웨덴 기업 Seco Tools 는 화학 기상 증착 (CVD) 질화티타늄 (TiN) 코팅 기술을 개발했습니다. 파계르스타 에 위치한 Seco Tools 의 R&D 센터는 CVD 공정을 통해 초경 공구 표면에 TiN 코팅을 증착하여 공구의 내마모성과 절삭 속도를 크게 향상시켰습니다. 이 기술은 초경 공구가 더 높은 온도와 속도에서 작동할 수 있도록 하여 효율적인 절삭 공구에 대한 현대 제조업체의 요구를 충족시키며, 초경 공구 분야의 코팅 기술에 획기적인 발전을 가져왔습니다.

1968 년: 알루미나 코팅 도입

1968 년 미국 카바이드(Carbide)사는 CVD 알루미나 (Al_2O_3) 코팅 기술을 도입했습니다. 펜실베이니아에 위치한 카바이드 공장에서는 CVD 공정을 통해 초경 공구 표면에 알루미나 코팅을 증착하여 고온 환경에서 공구의 내구성을 향상시켰습니다. 알루미나 코팅은 특히 항공기 엔진 부품 제조와 같은 고온 합금 가공에 적합합니다. 뛰어난 고온 저항성과 내화학성 덕분에 공구 수명이 크게 향상됩니다.

1970 년: ISO 513 표준 제정

1970 년, 국제표준화기구(ISO)는 ISO 513 공구 분류 표준을 개발했습니다. 이 표준은 초경 공구의 규격과 분류를 통일하고 세계 무역의 표준화를 촉진했습니다. ISO 513 표준의 시행을 통해 여러 국가의 공구 제조업체가 통일된 표준에 따라 제품을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

생산하고 판매할 수 있게 되었으며, 이는 무역 장벽을 낮추고 초경 공구의 국제 시장 확대를 촉진했습니다.

1975 년: PVD 코팅 기술의 등장

1975 년, 일본 미쓰비시 금속(Mitsubishi Metal Corporation)은 물리 기상 증착 (PVD) TiN 코팅 기술을 개발했습니다. 도쿄에 있는 미쓰비시 금속의 R&D 센터에서는 PVD 공정을 통해 초경 공구 표면에 TiN 코팅을 증착했는데, 이 기술은 건식 절삭에 적합하여 널리 활용되었습니다. CVD 공정과 비교했을 때 PVD 기술은 증착 온도가 낮아 모재 성능에 미치는 영향을 줄이고 초경 공구의 적용 범위를 더욱 확대합니다.

1978: TiAlN 코팅으로 고온 성능 향상

1978 년 스웨덴 기업 샌드빅(Sandvik)은 PVD TiAlN 코팅 기술을 도입했습니다. 샌드빅은 샌드비켄(Sandviken) 에 위치한 R&D 센터에서 이 알루미늄 함유 TiN 코팅을 개발했습니다. 뛰어난 고온 성능 덕분에 항공우주 분야의 니켈 기반 합금 절삭과 같은 고온 합금 가공에 널리 사용되고 있습니다. TiAlN 코팅 도입으로 초경 공구는 고온에서도 안정성과 내마모성을 유지할 수 있게 되어 고성능 절삭 공구 개발에 기여했습니다.

1980 년: 일본 수출 증가

1980 년대 일본은 초경합금의 주요 생산국이 되었고, 그 제품은 미국 자동차 산업에 대량으로 수출되었습니다. 미쓰비시 금속과 스미토모 전기와 같은 일본 기업들은 초경합금 공구 생산에 있어 기술적 우위를 점하고 있었으며, 이들이 생산한 공구는 높은 정밀도와 내구성으로 미국 시장에서 선호되었습니다. 이 시기에 일본의 초경합금 산업은 수출을 통해 빠르게 성장하여 초경합금의 세계적 활용을 더욱 촉진했습니다.

TiAlN 코팅 최적화

1983 년, 독일의 Plansee 는 PVD TiAlN 코팅 기술을 최적화했습니다. 오스트리아 로이테에 위치한 Plansee 공장은 PVD 공정을 개선하여 TiAlN 코팅의 고온 내성과 경도를 향상시켜 절삭 공정에서 공구의 성능을 더욱 안정적으로 유지했습니다. 이러한 개선을 통해 초경 공구는 더욱 빠른 속도와 더욱 까다로운 절삭 조건에도 대응할 수 있게 되어 산업 분야의 증가하는 요구를 충족할 수 있게 되었습니다.

1985 년: CVD TiC - Al₂O₃ 복합 코팅 출시

1985 년, 케나메탈은 CVD TiC - Al₂O₃ 복합 코팅 기술을 도입했습니다. 펜실베이니아에 위치한 케나메탈 공장에서는 CVD 공정을 통해 초경 공구 표면에 TiC 와 Al₂O₃ 복합 코팅을 증착하여 공구의 화학적 마모 저항성을 향상시켰습니다. 이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

코팅은 고온 및 화학적 부식 환경에서의 안정성을 높여 공구 수명을 더욱 연장시켜 주므로 특히 스테인리스강 가공에 적합합니다.

1990 년: 아연 제련 회수 기술 보급

1990 년, 스웨덴 기업 샌드빅은 폐초경합금의 재활용을 위해 아연 용해 재활용 기술을 도입했습니다. 샌드빅 의 샌드비켄 공장은 아연 용해법을 사용하여 폐 초경합금 에서 WC 와 코발트를 분리하고 재활용함으로써 자원 활용률을 크게 향상시켰습니다. 이 기술의 도입은 초경합금 생산의 1 차 텅스텐 자원 의존도를 낮추고 산업의 지속 가능한 발전을 촉진했습니다.

1995 년: ISO 9001 이 대중화되다

1995 년, 국제텅스텐협회(ITIA)는 전 세계 텅스텐 및 초경합금 산업의 교류와 협력을 증진하기 위해 설립되었습니다. ITIA 의 설립은 재활용 기술의 연구 및 홍보를 강화하고 초경합금 산업의 녹색 발전을 촉진했습니다. 같은 해, ISO 9001 품질 인증이 초경합금 산업에 널리 보급되었습니다. 많은 기업들이 인증을 통해 제품 품질과 시장 경쟁력을 향상시켰고, 이는 초경합금 공구의 수출 성장을 촉진했습니다.

2003 년: 나노급 초경합금 개발

2003 년 스웨덴 기업 샌드빅(Sandvik)은 나노 크기의 WC-Co 초경합금을 개발했습니다. 샌드빅의 샌드비켄 (Sandviken) 에 위치한 R&D 센터는 WC 입자 크기를 나노 단위로 제어하여 소재의 경도와 인성을 향상시켰습니다. 나노 크기의 초경합금은 뛰어난 종합 성능으로 전자 부품 제조와 같은 정밀 가공 분야에서 널리 사용되고 있으며, 초경합금 기술의 첨단 발전을 더욱 촉진하고 있습니다.

2005: CVD TiAlN 코팅 최적화

2005 년, 케나메탈은 CVD TiAlN 코팅 기술을 최적화했습니다. 펜실베이니아에 위치한 케나메탈 공장은 CVD 공정을 개선하여 TiAlN 코팅 의 고온 내성을 향상시켜 공구가 고온에서도 안정성을 유지할 수 있도록 했습니다. 이 기술은 특히 항공우주 분야의 고온 합금 가공에 적합하여 초경합금의 적용 범위를 더욱 확대합니다.

2010 년: 재활용 기술 발전

2010 년, 전 세계 초경합금 재활용량이 점차 증가하면서 스웨덴 등 주요 국가들이 재활용 기술 개발에 앞장섰습니다. 샌드빅과 같은 기업들은 아연 용해법 및 기타 재활용 공정을 개선하여 폐초경합금의 재활용 효율을 높이고, 생산 과정에서 에너지 소비와 자원 낭비를 줄였습니다. 이러한 추세는 초경합금 산업의 친환경 제조 공정을 촉진했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2012: 적층 제조 기술 응용

2012년, 독일 EOS는 레이저 분말 용융(PBF) 기술을 사용하여 WC-Co 다공성 금형을 생산했습니다. 뮌헨에 위치한 EOS 공장은 적층 제조 기술을 사용하여 복잡한 구조의 다공성 금형을 생산함으로써 재료 사용량을 줄이는 동시에 생산 주기를 크게 단축했습니다. 적층 제조 기술의 도입은 초경합금 생산에 새로운 가능성을 제시하고 맞춤형 고효율 생산 방식을 발전시켰습니다.

2018년: 적층 제조 틀링 출시

2018년, 스웨덴 기업 샌드빅은 적층 제조 방식으로 생산되는 초경 공구를 출시했습니다. 샌드빅에 위치한 샌드빅 공장은 3D 프린팅 기술을 활용하여 복잡한 형상의 공구를 생산하여 절삭 성능과 생산 유연성을 향상시킵니다. 적층 제조 공구 출시는 초경 제조 기술의 또 다른 혁신을 의미하며, 산업 분야의 효율성을 높여줍니다.

2020년: 친환경 제조의 심화

2020년, 초경합금 산업의 친환경 제조 추세는 더욱 심화되었습니다. 전 세계적으로 재활용 기술이 최적화되었고, 재활용률은 지속적으로 증가했으며, 에너지 소비는 크게 감소했습니다. 스웨덴과 독일과 같은 국가의 기업들은 재활용 및 재사용 분야를 선도하고 있으며, 기술 혁신을 통해 텅스텐 1차 자원에 대한 의존도를 줄이고 초경합금 산업의 지속 가능한 발전을 촉진하고 있습니다.

2023 : 지능형 기술 응용

2023년, 일본 미쓰비시 금속(주)은 AI 기반 소결 공정 최적화 기술을 개발했습니다. 도쿄에 위치한 미쓰비시 금속 R&D 센터는 인공지능 알고리즘을 활용하여 초경합금의 소결 온도와 시간을 최적화하여 생산 효율과 공구 성능을 향상시켰습니다. 지능형 기술 적용을 통해 초경합금 생산의 정확성과 효율성이 향상되어 업계에 새로운 활력을 불어넣고 있습니다.

초경합금의 개발은 19세기 후반 앙리 무아상이 텅스텐 카바이드를 최초로 합성하면서 시작되었으며, 20세기 초 산업 혁신, 제2차 세계 대전 중 급속한 성장, 코팅 기술의 혁명적 발전, 그리고 21세기 나노, 적층 제조, 그리고 친환경 지능화 시대를 거치며 발전해 왔습니다. 기술 혁신과 국제 협력을 통해 초경합금은 현대 산업의 필수 소재로 자리 잡았으며, 제조업 발전을 지속적으로 견인해 왔습니다.

1.2.7 중국 초경합금의 발전사

중국의 초경합금 산업은 1950년대의 어려움 속에서 출발하여 세계적인 선도 기업으로 성장했습니다. 풍부한 텅스텐 자원(매장량 190만 톤, 전 세계 57% 차지, USGS 2025), "중국 제조 2025"와 같은 정책 지원, 그리고 지역 산업 클러스터에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합입어 2024년 생산량은 5만 8천 톤에 달하여 전 세계 58%를 차지할 것으로 예상됩니다 (중국 텅스텐산업협회 2024). 주저우(초경합금 산업의 중심지), 간저우(중국 텅스텐 산업의 중심지), 샤먼(공구 수출 중심지)은 협력적인 발전 패턴을 형성하고 있습니다. 본 보고서는 세부 기술 도입, 자주 혁신, 글로벌 확장, 친환경 지능화의 네 단계를 기반으로 기업의 기여, 기술 혁신, 지역적 특성, 그리고 정책 추진 동력을 심층적으로 분석합니다.

1.2.7.1 1950년대~1980년대 : 기술 도입 및 산업 기반 구축

대련제철소(현 동북특수강그룹 대련특수강유한공사)는 1905년으로 거슬러 올라가는 역사를 자랑하는 중국 특수강 분야의 선구자입니다. 신중국 성립 초기에 대련제철소는 초경합금 시험생산에서 괄목할 만한 성과를 거두었으며, 이는 중국 야금 산업의 중요한 이정표가 되었습니다.

역사적 자료에 따르면, 다련 제철소는 1947년부터 1951년까지 특수강 생산에만 집중했을 뿐만 아니라 초경합금 분야에서도 실험 생산을 수행했습니다. 특히 알루미늄-크롬 합금, 니켈-구리 합금, 그리고 초경합금의 제련에 성공하여 당시 중국 야금 역사의 공백을 메웠습니다. 이렇게 실험적으로 생산된 초경합금은 주로 포탄두와 "92 보병포" 스프링 제작 등 군수품에 사용되어 민족 해방 전쟁의 핵심적인 지원 역할을 했습니다. 이 기간 동안 다련 제철소는 총 28,736 톤의 강철을 제련했으며, 그중 일부는 단조 및 압연에 사용되어 초경합금 관련 실험을 직간접적으로 지원했습니다.

또한 1950년 11월, 대련 제철소는 중앙중공업부의 명령에 따라 초경합금 장비를 포함한 1,600 톤의 장비를 후베이성 황석 시 대에 제철소로 이전하여 중화강철회사 건설을 지원했습니다. 이 장비에는 초경합금 시험 생산을 위한 특수 장비가 포함되어 있었는데, 이는 대련 제철소가 초경합금 시험 생산 분야에서 상당한 기술력을 축적했음을 보여줍니다.

이러한 실험적 생산은 당시 대규모 산업화를 이루지는 못했지만, 이후 중국 초경합금 산업 발전의 토대를 마련했습니다. 1954년 주저우 초경합금 공장의 설립은 중국 초경합금 산업화의 시발점이 되었으며, 다련 제철소의 초기 실험은 의심할 여지 없이 이러한 과정의 중요한 서막이었습니다.

1954년: 중국 초경합금 산업의 시작점

1954년, 주저우 초경합금 공장(현 주저우 초경합금 그룹 유한회사, 중국텅스텐하이테크(주) 산하) 이 후난성 주저우에 공식 설립되었습니다. 이는 중국 초경합금 산업의 시작이자 신중국의 산업화 과정에서 중요한 이정표였습니다. 주저우 초경합금 공장의 설립은 중국의 "제1차 5개년 계획"(1953-1957) 기간 동안 156개 중점 프로젝트 중 하나로, 기간산업과 전략 물자 발전에 대한 중국의 뜨거운 기대를 담고 있었습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

주저우 시멘트 카바이드 공장 건설의 배경 및 의의

제 1 차 5 개년 계획은 신중국 수립 후 수립된 최초의 5 개년 계획으로, 소련의 기술과 장비를 도입하여 산업 기반 역량을 빠르게 개선하는 것을 목표로 했습니다. 주저우 초경합금 공장의 입지는 후난성 주저우에 선정되었는데, 후난성은 텅스텐 광석 자원이 풍부하며, 특히 석주 위안 다 금속 광산으로 대표되는 텅스텐 매장지는 초경합금 생산에 고유한 원료 이점을 제공하기 때문입니다. 또한 주저우는 상장강 중류에 위치하여 교통이 편리하고 자재 운송이 편리하며 산업 배치가 용이합니다. 고경도, 내마모성 복합 재료인 초경합금은 산업 생산, 특히 광업, 기계 가공 및 방위 산업에서 대체할 수 없는 역할을 합니다. 1950년대 초 중국의 산업 기반은 취약했고 초경합금은 주로 수입에 의존했는데, 가격이 비싸고 공급이 불안정했습니다. 주저우 초경합금 공장의 설립은 국내 초경합금 생산의 공백을 메웠을 뿐만 아니라, 이후 산업 발전의 토대를 마련했습니다. 주저우 초경합금 공장은 "중국 초경합금 산업의 요람"으로 불립니다.

주저우 초경합금공장 기술도입 및 초기생산

주저우 초경합금 공장은 초창기에 소련 기술을 도입하고 당시 비교적 성숙된 분말 야금 공정을 도입했습니다. 소련은 초경합금 분야에서 풍부한 경험을 보유하고 있었습니다. 1929년 초, GA 미어슨(GA Meerson)은 모스크바 발전소에서 최초의 WC-10%Co 초경합금(상표명 "POBEDIT")을 개발했습니다. 주저우 공장은 이 기술 경로를 활용하여 WC-Co(텅스텐 카바이드-코발트) 기반 초경합금을 생산했으며, 이는 주로 광산 및 절삭 공구에 사용됩니다. 생산 공정은 텅스텐 분말 제조, 혼합, 압착, 소결 등의 단계로 구성됩니다. 초기 제품은 주로 광산 및 기본적인 기계 가공의 요구를 충족하는 단순 등급이었습니다. 예를 들어, 광산에서 사용되는 착암기는 암석 채굴 효율을 크게 향상시키고 당시 시산 탄광과 같은 국가 핵심 프로젝트 건설을 지원할 수 있었습니다. 또한 시멘트 초경 절삭 공구의 적용은 안산철강 등 야금기업의 장비 가공에도 보증을 제공합니다.

주저우 시멘트 카바이드 공장의 역사적 영향

주저우 초경합금 공장의 가동은 중국 초경합금 산업 발전에 있어 획기적인 전환점을 이루었습니다. 1954년 생산 개시는 국내 기간산업의 수요를 충족했을 뿐만 아니라, 이후 기술 축적과 산업 확장의 토대를 마련했습니다. 더욱 중요한 것은, 이 프로젝트가 중소 협력의 성과를 구현하고 신중국의 산업 분야에서 자립과 자강 정신을 보여주었다는 점입니다.

1958년: 제 1 차 5 개년 계획에 따른 개발

1958년, 제 1 차 5 개년 계획의 마지막 해에 주저우 시멘트 카바이드 공장은 특히 지질 탐사에 사용되는 시멘트 카바이드에 대한 국가의 증가하는 수요를 충족하기

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

위해 생산 능력을 지속적으로 확대했습니다.

배경 및 요구 사항

1958 년은 제 1 차 5 개년 계획의 마지막 해였습니다. 국가의 산업화 속도가 가속화되면서 지질 탐사 및 자원 개발에 대한 수요가 급증했습니다. 지질 탐사에는 광물 자원의 분포를 파악하기 위해 암석을 시추하는 데 필요한 수많은 초경합금 드릴이 필요했습니다. 그러나 당시 국내 초경합금 생산량은 여전히 제한적이었고 수요를 충족하기 어려웠습니다. 주저우 초경합금 공장의 증설은 이러한 병목 현상을 해결하는 열쇠가 되었습니다.

생산능력 개선

주저우 공장은 공장 확장 및 생산 공정 최적화를 통해 초경합금 생산량과 품질을 더욱 향상시켰습니다. 생산된 초경합금 드릴 비트는 지질 탐사 분야에서 널리 사용되고 있으며, 중국 북부와 남서부 지역의 석유 및 광물 탐사 프로젝트에서 중요한 역할을 담당하고 있습니다. 이러한 드릴 비트의 적용은 탐사 효율을 향상시킬 뿐만 아니라 국가 자원 전략에도 중요한 지원을 제공합니다.

사회경제적 중요성

제 1 차 5 개년 계획 기간 동안 주저우 초경합금 공장의 꾸준한 발전은 중국 산업 체계 개선에 기여했습니다. 산업의 "이빨"과 같은 초경합금은 광업, 야금, 기계 가공 등 산업의 효율성에 직접적인 영향을 미칩니다. 중국은 자체 생산을 통해 수입 초경합금에 대한 의존도를 점차 줄이고, 산업 비용을 절감하며, 우수한 기술 인력을 양성하여 향후 발전을 위한 역량을 확보했습니다.

1960 년: 기술 협력 및 응용 프로그램 확장

1960 년, 주저우 초경합금 공장은 베이징 비철금속 연구소와 협력하여 티타늄 카바이드 (TiC) 를 함유한 초경합금을 개발하여 석유 시추 분야에 적용했습니다. 이 협력은 중국 초경합금 기술이 단일 방향에서 다각화 방향으로 발전하는 시작을 알렸습니다.

협력 배경

베이징 비철금속 연구소(현 중국 비철금속 연구소)는 신중국 건국 이후 설립된 중요한 과학 연구 기관 중 하나로, 비철금속 및 합금 소재의 연구 개발에 주력하고 있습니다. 1960 년대, 중국이 석유 산업을 본격적으로 발전시키던 시기에 석유 시추용 초경 드릴 비트에 대한 수요가 급증했습니다. 기존 WC-Co 초경은 고온 고압 환경에서 내마모성과 안정성이 부족했습니다. 티타늄 카바이드 (TiC) 를 함유한 초경은 높은 경도와 내열성으로 인해 이상적인 선택이 되었습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기술적 혁신

주저우 공장은 베이징 비철금속 연구소와 협력하여 초경합금에 티타늄 카바이드 (TiC)를 첨가하여 미세 구조를 조정하고 소재의 전반적인 성능을 향상시켰습니다. TiC 첨가는 합금의 경도와 고온 저항성을 향상시켜 석유 시추 시 복잡한 지질 조건에 더욱 적합하게 만듭니다. 예를 들어, 쓰촨 분지 및 기타 지역의 유전 시추에서 이 새로운 초경합금 드릴 비트는 우수한 내마모성과 안정성을 보여 드릴 비트의 수명을 크게 연장했습니다.

응용 및 영향

TiC 함유 초경합금은 석유 산업의 긴급한 요구를 충족할 뿐만 아니라, 다른 분야에서도 초경합금의 응용 및 개발을 촉진합니다. 1960년대 초, 중국의 석유 산업은 급속한 발전 단계에 있었습니다. 독자적으로 생산된 초경합금 드릴 비트는 유전 개발에 중요한 기반을 제공했고, 수입 원자재 의존도를 낮추었습니다. 동시에, 이 협력은 중국 초경합금 산업의 기술 연구 개발에 모범을 보이고 산학연 융합의 토대를 마련했습니다.

1960년대 : 기술 개발의 제한과 자립

1960년대, 주저우 시멘트 초경공장의 기술 연구 개발은 문화대혁명(1966-1976)으로 인해 어느 정도 방해를 받았지만, 자립 정신을 통해 제조법을 최적화하고 국내 기계 가공 수요를 계속 충족시켰습니다.

역사적 배경

문화대혁명 기간 동안 중국의 과학 연구 및 산업 시스템은 심각한 타격을 입었고, 많은 과학 연구 기관과 공장의 생산 질서가 무너졌습니다. 베이징 비철금속 연구소를 비롯한 과학 연구 부서의 업무는 한때 정체되었고, 주저우 공장과의 기술 협력 또한 영향을 받았습니다. 공장 내 기술자와 엔지니어들은 다른 부서로 이동 배치되었고, 일부 생산 장비는 유지 보수 부족으로 노후화되었습니다.

자립 및 생산 유지

주저우 초경합금 공장은 어려움에도 불구하고 기존 기술자와 장비를 활용하여 자립적으로 생산 및 기술 개선을 지속해 왔습니다. WC-Co 배합 비율을 최적화하고 소결 공정을 조정하여 공구의 인성과 내구성을 향상시켰습니다. 이러한 공구는 주로 선반 및 밀링 머신용 절삭 공구와 같은 기계 가공 분야에 사용되어 국내 기초 제조업 발전을 뒷받침하고 있습니다.

역사적 중요성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

외부 기술 지원이 중단된 상황에서도 주저우 초경합금 공장은 자립 정신을 발휘하여 초경합금 생산의 연속성을 유지했습니다. 이 기간 동안 축적된 기술은 개혁 개방 이후 기술 도입 및 급속한 발전의 토대를 마련했습니다. 동시에, 공장은 어려운 여건 속에서도 생산을 지속할 수 있는 핵심 기술 인력을 양성하고, 향후 산업 고도화를 위한 인재를 확보했습니다.

1970 년: 프로젝트 704 및 생산 확장

1970 년에 국가에서는 "704 공정"을 시작하여 주저우 시멘트 카바이드 공장을 확장하고 생산량을 늘렸습니다.

공학 배경

"704 공정"은 1970 년대 초 국가가 추진한 주요 산업 프로젝트 중 하나로, 국방 및 산업 건설 지원을 위한 전략 물자 생산 능력 강화를 목표로 합니다. 주저우 초경합금 공장은 초경합금 생산의 핵심 기업으로서 이 프로젝트에 포함되어 국가의 재정 지원과 정책적 지원을 받았습니다.

확장 콘텐츠

주저우 공장은 생산 작업장을 확장하고 일부 장비를 개선했으며, 초경합금 생산량을 더욱 늘렸습니다. 생산된 초경합금 제품은 주로 광산, 기계 가공, 방위 산업에 사용됩니다. 예를 들어, 전차 궤도 마모 부품에 사용되는 초경합금 부품은 방위 산업에서 중요한 역할을 합니다.

역사적 중요성

"704 프로젝트" 시행은 초경합금 산업에 대한 중국의 높은 관심을 보여줍니다. 이 확장을 통해 주저우 공장의 생산 능력이 크게 향상되어 1970 년대 후반 개혁 개방을 위한 산업 기반을 마련했습니다. 동시에 이 프로젝트는 특별한 역사적 시기에 중국의 산업 발전을 위한 전략적 계획을 반영합니다.

1978-1985: 개혁 개방 과 기술 도입

1978 년 개혁 개방 정책이 시행되었습니다. 제 6 차 5 개년 계획(1981-1985) 기간 동안 주저우 초경 공장은 스웨덴 샌드빅 기술을 도입하여 코팅 공구를 개발하고 절삭 성능을 향상시켰습니다.

개혁개방의 배경

1978 년 중국은 개혁개방 정책을 시행하며 국내 기술 격차를 메우기 위해 산업 분야에 외국 선진 기술을 도입하기 시작했습니다. 첨단 제조의 핵심 소재인

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

초경합금은 성능과 생산 효율 향상이 시급합니다. 스웨덴의 샌드빅은 세계 초경합금 분야의 선도 기업이며, 샌드빅의 코팅 기술(화학 기상 증착, CVD 등)은 공구 내마모성과 절삭 효율 향상에 상당한 이점을 제공합니다.

기술 도입 및 적용

주저우 초경 공장은 제 6 차 5 개년 계획의 지원을 받아 샌드빅의 코팅 기술을 도입하고 질화티타늄 (TiN) 코팅 공구를 개발했습니다. TiN 코팅은 CVD 공정을 통해 초경 모재에 증착되어 공구의 표면 경도와 내마모성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 이 코팅 공구는 절삭 성능이 뛰어나며, 특히 주철, 강철 및 기타 소재 가공에 적합하며, 자동차 제조 및 기계 가공 산업에서 널리 사용되고 있습니다.

역사적 중요성

샌드빅 기술 도입은 중국 초경합금 산업이 기술 추종자에서 기술 흡수자로의 전환을 의미합니다. 코팅 공구 개발은 제품의 시장 경쟁력을 향상시킬 뿐만 아니라 수출 증대에도 기여하여 주저우 공장이 국제 시장에서 발판을 마련할 수 있는 토대를 마련했습니다. 이 시기의 기술 도입은 이후 독자적인 혁신을 위한 경험을 축적하는 데에도 기여했습니다.

1980 년대~2000 년대 : 독자적 혁신과 시장화

1980 년: 기술 협력

1980 년, 주저우 초경합금 공장은 칭화대학교와 협력하여 전자 부품 가공 요건을 충족하는 초경합금의 성능을 최적화했습니다. 칭화대학교 재료과학공학과는 초경합금 미세구조 최적화에 대한 뛰어난 연구 역량을 보유하고 있습니다. 본 협력은 전자 산업의 고정밀 금형 수요를 충족하기 위해 초경합금의 정확도와 안정성을 향상시키는 데 중점을 두고 있습니다.

1985 년 중국텅스텐공업협회(CTIA)가 설립됐다.

중국텅스텐산업협회 설립 배경 및 준비

중국텅스텐산업협회 설립 배경은 중국텅스텐산업의 발전과 밀접한 관련이 있습니다. 1980 년대 초, 중국은 세계 최대의 텅스텐 자원국이자 생산국으로서 텅스텐 매장량이 세계 총량의 40% 이상을 차지했고 연간 생산량은 세계 총량의 약 70%를 차지했습니다. 텅스텐 제품은 기계 제조, 광업, 항공우주 및 기타 분야에서 널리 사용되었습니다. 그러나 당시 중국의 텅스텐 산업은 기업 분산, 기술 수준 불균형, 무질서한 자원 개발, 치열한 수출 경쟁, 국제 시장 가격의 큰 변동 등 많은 어려움에 직면했습니다. 이러한 문제를 해결하고 산업 협력을 강화하며 기술 진보와 자원의 합리적 사용을 촉진하기 위해 전국적인 산업 조직을 설립하는 것이 최우선 과제가

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

되었습니다.

1981년, 당시 텅스텐 산업 관리를 담당했던 야금공업부는 국가경제위원회에 "중국텅스텐산업협회 설립에 관한 보고서"를 제출했습니다. 이 보고서는 텅스텐 산업의 현황을 상세히 분석하고, 산업협회 설립의 필요성을 지적하며, 협회 설립을 통해 기업 간 협력을 강화하고 산업 경쟁력을 향상시킬 것을 제안했습니다. 1981년 9월 17일, 국무원은 이 제안을 공식 승인하고, 중국비철금속공업집단공사에 야금공업부, 기계공업부, 대외무역부 등 관련 부처와 협력하여 협회 설립을 위한 준비를 주도하도록 지시했습니다. 준비 기간 동안 중국비철금속공업회사는 여러 차례 조사와 회의를 개최하고, 전국의 주요 텅스텐 채굴기업, 가공기업, 과학연구기관, 설계부문을 초대하여 토론에 참여시키고, 협회 헌장 초안을 작성하고, 협회의 조직 틀과 목표를 확정했습니다.

중국텅스텐산업협회 창립대회

중국텅스텐산업협회는 1985년 12월 20일부터 25일까지 장시성 난창에서 창립대회 및 제 1회 회원대표대회를 개최했습니다. 난창은 중국 텅스텐 자원이 풍부한 장시성의 성도이자 간저우 등 주요 텅스텐 생산지와 인접해 있어 이번 대회 개최지로 선정되었습니다. 중국비철금속공업집단공사(CNJC)가 주최한 이번 대회에는 전국 텅스텐 산업 기업, 과학 연구기관, 설계 부문, 관련 정부 부처 등 120여 명의 대표가 참석했습니다. 대회에서 참석자들은 "중국텅스텐산업협회 헌장"을 검토 및 통과시켰고, 초대 이사회와 임원진을 선출했습니다.

첫 번째 협의회는 47명의 이사로 구성되었습니다. 중국비철금속공업집단공사 부총경리 장젠이 초대 회장으로 선출되었고, 주저우 초경합금 공장(주저우 601 공장)과 간저우 텅스텐 광산 대표가 부회장을 맡았습니다. 또한, 이번 회의에서는 협회의 설립 목적을 다음과 같이 확정했습니다. 중국 텅스텐 산업의 건전한 발전을 촉진하고, 업계와 회원의 합법적 권익을 수호하며, 기술 진보, 자원 절약 및 국제 협력을 증진하는 것입니다. 회의에서 대표들은 텅스텐 산업의 기술 변혁, 시장 개발, 자원 관리 등의 문제에 대해 심도 있는 논의를 진행했으며, 여러 산업 발전 방안을 제시했습니다.

중국텅스텐산업협회의 초기 목표 및 활동

중국텅스텐산업협회는 설립 당시 여러 가지 사업 목표를 설정했습니다. 첫째, 업계 기업 간 협력을 강화하고, 텅스텐 채굴 및 가공 순서를 표준화하며, 과열 경쟁을 줄이는 데 전념합니다. 둘째, 선진 광물 가공 기술 및 초경합금 생산 공정을 홍보하는 등 기술 교류 및 교육을 통해 텅스텐 산업의 기술 발전을 촉진합니다. 또한, 국제 텅스텐 시장 협력에 적극적으로 참여하고, 관련 국제 텅스텐 산업 단체와 협력하여 중국 텅스텐 산업을 대표하며, 국제 시장에서 중국 기업의 이익을 보호합니다.

협회는 설립 직후인 1986년에 제 1회 전국 텅스텐 산업 기술 교류회를 개최하여 주저우 601 공장, 간저우 텅스텐 광산 및 기타 기업의 기술 전문가들을 초청하여

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 정광 선광 및 초경합금 생산 분야의 신기술을 공유했습니다. 1987년에는 정부의 “텅스텐 산업 관리 조치(시범)” 제정을 지원하여 텅스텐 채굴 및 수출에 대한 정책 지침을 제공하고 산업 질서를 표준화했습니다.

중국텅스텐산업협회 조직구조

중국텅스텐산업협회는 텅스텐 산업 관련 기업, 과학 연구기관, 설계 단위 및 사회 단체들이 자발적으로 결성한 전국 규모의 산업 기반 비영리 사회 단체입니다. 협회는 최고 의사결정 기관인 이사회와 일상 업무를 담당하는 사무국을 설립했습니다. 사무국은 원래 난창에 있었으나, 산업 경영의 필요에 따라 베이징으로 이전했습니다. 협회는 또한 기술 위원회, 시장 위원회, 자원 관리 위원회 등 여러 전문 위원회를 설립하여 기술 교류, 시장 분석, 자원 보호를 담당하고 있습니다.

중국텅스텐산업협회 발전 현황

2025년 현재 중국텅스텐산업협회 회원은 텅스텐 채굴, 제련 및 가공, 시멘트 카바이드 생산, 과학 연구 및 개발을 포함한 전체 산업 체인을 포괄합니다. 회원 단위에는 China Tungsten High-Tech 와 그 계열사인 Zhuzhou Cemented Carbide Group(구 Zhuzhou 601 공장), Zigong Cemented Carbide Co., Ltd.(구 Zigong 764 공장), Xiamen Tungsten Industry, Jiangxi Tungsten Group 및 여러 계열 단위와 업계의 다른 선도 기업이 포함됩니다. 협회는 텅스텐 산업의 녹색 개발 및 국제화를 촉진하는 데 중요한 역할을 했습니다. 예를 들어, 여러 산업 표준의 제정을 조직하고, 텅스텐 자원 회수 기술의 연구 개발을 지원하고, 국제 텅스텐 시장에서 중국 기업을 대변할 권리를 얻기 위해 노력했습니다.

중요성과 영향

중국텅스텐산업협회는 중국텅스텐 산업 발전에 중요한 이정표입니다. 협회 설립은 업계의 장기적인 통일된 협력 부족을 해소하고 텅스텐 기업들의 소통과 협력을 위한 플랫폼을 제공했습니다. 협회의 노력을 통해 중국텅스텐 산업은 기술 수준, 시장 경쟁력, 자원 활용 효율성 측면에서 상당한 진전을 이루었습니다. 동시에 협회는 국제 텅스텐 산업과의 유대를 강화하고, 중국텅스텐 산업의 세계적 영향력을 확대하며, 산업의 지속 가능한 발전을 위한 토대를 마련했습니다.

1985년: 샤먼텅스텐산업유한공사 설립

샤먼텅스텐공업은 1985년 푸젠성 샤먼에 설립되었습니다. 푸젠성의 텅스텐 광석 자원을 활용하여 초경합금 생산을 시작했습니다. 푸젠성은 중국에서 텅스텐 자원이 풍부한 성입니다. 샤먼텅스텐공업의 설립은 초경합금 산업의 지역적 배치를 더욱 확대하고 동남부 연해 지역의 산업 발전을 촉진했습니다.

1987년: 코팅 절삭 공구 수출

1987년 주저우 초경합금 공장은 코팅 절삭 공구를 출시하여 수출 비중을 확대했습니다. 코팅 절삭 공구의 수출은 주로 동남아시아 시장으로 이루어져 지역

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제조업 발전을 지원하고 중국 초경합금 산업의 외화 축적에 기여했습니다.

1990년대 : 기술적 혁신과 산업 확장

1990년대, 주저우 초경합금 공장은 중남대학교와 협력하여 정밀 금형용 초미립 초경합금을 개발했습니다. 중남대학교는 분말야금 분야에서 선도적인 입지를 확보하고 있으며, 이러한 협력은 초미립자 기술의 산업화를 촉진했습니다. 1994년, 샤먼텅스텐공업은 일본 교세라와 협력하여 물리 기상 증착 (PVD) 기술을 도입하여 코팅 공구를 개발하고 제품의 고온 내성을 더욱 향상시켰습니다.

1997년: 장시텅스텐그룹 설립

1997년, 장시텅스텐산업지주그룹(장시텅스텐그룹)은 간저우의 텅스텐 광석 자원을 통합하고 초경합금 생산을 위해 설립되었습니다. 간저우는 중국 최대의 텅스텐 광석 생산지입니다. 장시텅스텐그룹의 설립은 장시성 텅스텐 산업 체인의 통합 및 고도화를 의미합니다.

1998년: 샤먼 텅스텐 기술 개발

1998년, 샤먼텅스텐은 해양 엔지니어링에 사용할 수 있는 새로운 유형의 시멘트 카바이드를 개발하여 해양 환경에서 내식성 소재에 대한 수요를 충족했습니다.

1999 : 재활용 기술

1999년 주저우 시멘트 초경공장은 스웨덴의 세코툴스와 협력하여 재활용 기술 연구를 진행하였고, 이를 통해 텅스텐 자원의 재활용률을 향상시켰습니다.

2000년: 주저우 초경공업단지

2000년에 주저우 시멘트 카바이드 산업단지가 형성되기 시작하여 주저우 시멘트 카바이드 공장을 중심으로 산업 클러스터가 형성되어 지역 경제 발전을 촉진했습니다.

2000년대~2020년대: 세계화와 기술 리더십

2002년: WTO 가입

2002년 중국은 세계무역기구(WTO)에 가입했고, 주저우 초경합금 공장 (중국 텅스텐하이테크)의 수출이 증가했습니다. 같은 해, 중국텅스텐하이테크는 주저우 다이아몬드 절삭공구회사를 통합하여 자동차 제조 등 첨단 산업 분야의 수요를 충족하기 위해 CNC 블레이드 생산 능력을 강화했습니다.

2002년 중국 민금속 그룹과 장시 희토류 금속 텅스텐 산업 그룹 주식회사가 협력을 시작했습니다

. 2002년 중국 민금속의 자회사인 중국 민금속 비철금속 주식회사가 중국 민금속 비철금속 유한 회사와 협력을 시작했습니다. 그룹은 장시 희토류 금속 텅스텐 산업

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

그룹 회사(장시 텅스텐 산업 지주 그룹의 전신)와 협력하여 장시 텅스텐 산업 그룹 유한회사를 설립했습니다. 이 합작 투자는 양측이 공동으로 통제하며, 중국 민금속 비철 금속이 51%, 장시 회토류 금속 텅스텐 산업 그룹 회사가 49%를 소유합니다(간저우시 정부 웹사이트 정보에 따름). 이 합작 투자는 장시성 간저우에 본사를 두고 있으며, 사업은 텅스텐 채굴, 선광, 제련, 심가공 및 무역을 포함합니다. 장시성의 여러 텅스텐 광석 자원 및 가공 기업을 통합하여 비교적 완전한 산업 체인을 형성합니다. 이 협력은 중국 민금속 그룹이 장시 텅스텐 산업에 진출하는데 중요한 단계이며, 당시 중앙-지방 협력을 촉진하려는 국가의 정책 방향과 일치합니다.

2005 년: 샤먼텅스텐산업, 기술 혁신 달성

2005 년, 샤먼텅스텐(주)은 태양광 분야에 사용되는 초미립자 절삭 공구를 개발하여 태양광 산업의 급속한 발전을 지원했습니다.

2008 년: 금융 위기 동안의 수출

2008 년, 세계 금융 위기의 배경 속에서도 중국의 시멘트 카바이드 수출은 지속적으로 성장하여 업계의 국제 경쟁력을 반영했습니다.

2010-2015: 기술과 재활용

2010 년 중국텅스텐하이테크(China Tungsten High-Tech)는 베이징과학기술대학교와 협력하여 정밀 가공용 나노급 초경합금을 개발했습니다. 샤먼텅스텐(Xiamen Tungsten)은 PVD 코팅 공구를 출시하여 수출 비중을 확대했습니다. 2012 년 장시텅스텐그룹(Jiangxi Tungsten Group)은 항공 분야에 사용할 신형 초경합금을 개발했습니다. 2013 년에는 재활용 효율 향상을 위해 생물침출법을 도입했습니다. 2015 년 간저우(Ganzhou)는 자원 재활용을 촉진하기 위해 텅스텐 순환 경제 기지를 건설했습니다.

지역 클러스터

2010 년 주저우 초경합금 산업단지가 급속도로 발전했습니다. 2015 년 간저우는 장시텅스텐그룹을 기반으로 고급 공구 생산 라인을 구축했습니다. 2016 년 샤먼텅스텐공업은 한국에 연간 1,500 톤의 산화텅스텐을 생산하는 2차 자원 재활용 기지를 설립했습니다. 2018 년 샤먼은 공구 수출 중심지로 발돋움했습니다.

2020 년대부터 현재까지: 그린 인텔리전스와 글로벌 리더십

2020-2024: 녹색 및 스마트 개발

2020 년에는 "14 차 5 개년 계획"을 통해 시멘트 초경 산업의 발전을 지원할 예정입니다.

2021 년, 중국텅스텐하이테크는 적층 제조 기술을 개발했습니다.

2022 년에는 샤먼텅스텐산업 주장텅스텐산업체인 심층가공 프로젝트가 시작됩니다.

2023 년, 샤먼텅스텐(주)은 인공지능을 도입해 생산을 최적화했고,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

중국텅스텐하이테크(주)는 고엔트로피 초경합금을 개발했습니다.
2024년, 장시텅스텐그룹은 간저우 초경합금 프로젝트를 시작했으며, 2025년 생산에 들어갈 예정입니다. 샴텅스텐산업은 태국에 합금 생산 기지를 설립했으며, 주하이텅스텐그룹의 초미립 텅스텐 카바이드 지능형 생산라인이 생산에 들어갔습니다.

리소스 통합

계열사를 통해 카자흐스탄 바쿠타 텅스텐 광산 개발에 참여해 왔으며, 2024년에 상당한 진전을 이루었습니다. 바쿠타 텅스텐 광산은 카자흐스탄 알마티 지역 안 베크슈카자흐 지구에 위치하고 있으며, 알마티 시에서 약 150km 떨어져 있고, 중국의 호르고스 항구와 가까우며, 교통이 편리합니다. 채굴 면적은 1.16 제곱킬로미터이고, 최대 채굴 깊이는 300m입니다. 채굴권 기간은 2015년 6월 2일부터 2040년 6월 2일까지입니다. 2024년 6월 30일 기준 광석 매장량은 7,080만 톤이고, 평균 품위는 0.205% WO₃로, WO₃ 145,400톤에 해당합니다. 총 자원량은 1억 1,040만 톤이며, 그중 WO₃는 약 23만 3,200톤입니다. 이 프로젝트의 총 투자액은 약 2억 7,000만 달러(약 18억 9,220만 위안)입니다. 1단계의 처리 용량은 1만 톤/일이며, 이후 단계에서는 1만 5,000톤/일로 업그레이드될 예정입니다. 2025년 1분기에 생산에 들어갈 예정이며, 연간 생산량은 65% WO₃ 정광 약 1만 5,000톤으로 전 세계 생산량의 약 10%를 차지할 것으로 예상됩니다. 이 프로젝트는 장시 구리 그룹, 형자오 인터내셔널, 중국철도건설그룹, 중국토목공정그룹이 공동으로 개발합니다. 지분 구조는 형자오가 43.35%, 장시 구리 홍콩이 41.65%, 중국철도건설그룹이 15%를 보유하고 있습니다. 약 1,000개의 일자리가 창출될 것으로 예상되며, 계약 금액은 13억 2,800만 위안입니다.

2024년, 중국텅스텐하이테크(China Tungsten High-Tech)는 56만 톤의 매장량을 보유한 후난 석주위안 텅스텐광산을 인수할 예정입니다. 장시텅스텐그룹은 안위안 석탄공업의 지배 지분을 보유하게 되며, 샴텅스텐은 일본 미쓰비시머티리얼즈와 협력할 예정입니다.

지역 협력

2020년에도 주저우 시멘트 카바이드 산업단지는 계속해서 발전했습니다.
2024년에는 간저우의 텅스텐 산업 체인이 통합되고 샴의 공구 수출이 계속 증가할 것입니다.

1.3 시멘트 카바이드와 기존 소재의 비교

초경합금은 경도, 내마모성, 인성 및 환경 적응성 측면에서 기존 소재보다 훨씬 우수하며, 특정 분야에서 신소재와 경쟁 우위를 확보하고 있습니다. 이 섹션에서는 정량적 성능 매개변수, 적용 시나리오 및 수명 주기 분석을 통해 초경합금을 고강도강, 세라믹, 입방정 질화붕소(CBN), 다결정 다이아몬드(PCD)와 비교하여 초경합금의 고유한 장점을 설명합니다.

1.3.1 고강도 강철 및 세라믹의 성능 차이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고강도강(AISI 4340 등)은 인장강도가 약 1100~1300 MPa(ITIA 2024 보고서), 경도는 HV 400~500, 마모율은 약 0.5 mm³/N·m, 열팽창계수는 12×10⁻⁶/°C이며, 비교적 가격이 저렴하여 구조용 부품 제조에 적합합니다. 그러나 고온에서는 성능이 저하되어 600°C에서는 경도가 HV 200~250으로 낮아집니다(Journal of Materials Science 2025). 초경합금(예: WC-6%Co)은 경도가 HV 1800~2200, 마모율이 0.06~0.08 mm³/N·m, 열팽창계수가 4.5~5.5×10⁻⁶/°C, 압축강도가 3500~4000 MPa이며, 1000°C에서 HV 900~1000을 유지합니다(중국비철금속학회지 2024). 예를 들어, 중국텅스텐하이테크(China Tungsten High-Tech)의 2024년 연례 보고서에 따르면, 화강암 시추 시 WC-6%Co 광산 드릴 비트의 수명은 1,800~2,000m인 반면, AISI 4340 고강도강 드릴 비트의 수명은 약 300~400m이며, 초경합금의 수명은 약 4~5배 증가합니다. 초경합금의 낮은 열팽창 계수는 가공 변형을 줄이고 정밀 금형(공차 <0.01mm)에 적합합니다.

세라믹(알루미나 Al₂O₃ 등)은 경도가 HV 1800~2000, 내열온도가 1200°C, 열전도도가 25~30 W/m·K로 고온 절삭에 적합하지만, 파괴인성이 3~5 MPa·m^{1/2}로 내충격성이 낮고 칩핑(chipping)이 발생하기 쉽다(ITIA 2024). 초경합금은 인성이 8~15 MPa·m^{1/2}, 열전도도가 80~100 W/m·K로 열충격에 대한 저항성이 더 높다. 예를 들어, 샤프팅스텐의 2024년 연례 보고서에 따르면 PVD TiAlN 코팅 WC-Co 공구는 고속 밀링(200m/분)에서 코팅되지 않은 공구보다 약 50~60% 더 높은 칩핑 방지율을 보입니다.

1.3.2 새로운 재료와의 비교

입방정 질화붕소(CBN)는 경도가 HV 4000~5000이고 열전도도가 150~200 W/m·K입니다. 250~300 m/min의 절삭 속도로 고온 합금(예: Inconel 718)을 절삭하는 데 적합하지만 파괴 인성이 4~6 MPa·m^{1/2}이고 충격 저항성이 약합니다(ITIA 2024). 다결정 다이아몬드(PCD)는 경도가 HV 7000~8000이고 마모율이 0.01~0.02 mm³/N·m입니다. 비철 금속(예: 알루미늄 합금)을 가공하는 데 적합하지만 내열성이 약합니다. 경도는 700°C 이상에서 약 40%~50% 감소합니다(Journal of Materials Science 2025). 초경합금은 CBN의 성능에 근접하는 PVD TiAlN 코팅(경도 HV 2500~3000)을 가지고 있으며, PCD(약 3000 MPa)보다 더 나은 3500~4000 MPa의 압축 강도를 가지고 있어 심해 굴착(압력 > 100 MPa)에 적합합니다.

적용 시나리오 측면에서 CBN과 PCD는 초정밀 가공(광학 렌즈, 표면 거칠기 <0.01 μm 등)에 유리하지만, 초경합금은 더 폭넓은 활용성을 제공합니다. 예를 들어, 장시텅스텐(Jiangxi Tungsten)의 2024년 연례 보고서에 따르면, TaC-WC-Co 초경합금 노즐은 항공 가스터빈에서 1200°C의 온도를 견딜 수 있으며, 수명이 약 4,000~5,000 시간인 반면 PCD 노즐의 수명은 약 1,500~2,000 시간입니다. 초경합금 PVD 코팅 기술은 화학적 마모를 줄이고 코팅되지 않은 소재에 비해 강제 절삭 효율을 약 20~30% 향상시킵니다(중국비철금속학회지, 2024).

1.3.3 극한 환경에서의 장점

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

초경합금은 고온, 고압 및 부식과 같은 극한 환경에서 우수한 성능을 발휘합니다. 1000° C 에서 WC-6%Co 초경합금은 HV 900-1000 을 유지하는 반면, 고강도강(AISI 4340)은 HV 200-250 으로 떨어집니다. 세라믹은 고온에 강하지만 파괴인성이 낮고(3-5 MPa·m^{1/2}) 균열이 발생하기 쉽습니다. Ni 결합상(예: Co-Ni-Cr)을 포함하는 초경합금은 염수 분무 환경에서 부식 속도가 <0.1mm/년이며, 해양 엔지니어링(예: Xiamen Tungsten Industry Valves)의 수명은 5년 이상인 반면, AISI 4340 고강도강은 약 1-2년입니다 (Xiamen Tungsten Industry 2024 Annual Report). 심해 굴착(수심 5000m, 압력 약 50MPa) 시 시멘트 카바이드 드릴 비트의 수명은 800~1000 시간이며, 고강도 강철은 약 150~200 시간입니다(ITIA 2024).

초경합금은 상당한 친환경적 이점을 가지고 있습니다. 2024년 전 세계 초경합금 재활용률은 약 25~30%, 중국은 35~40%에 달할 것으로 예상되며(ITIA 2024), 중국텅스텐하이테크(China Tungsten High-Tech)는 약 2,000~2,200 톤을 재활용할 것으로 예상됩니다 (China Tungsten High-Tech 2024 Annual Report). 고강도강의 재활용률은 약 85~90%에 달하지만, 에너지 소비량이 높고 세라믹 재활용률은 10% 미만이며, CBN과 PCD의 재활용은 복잡합니다. 초경합금의 수명 주기는 "이중 탄소" 목표를 충족합니다(중국비철금속학회지, 2024). 2025년 중국텅스텐하이테크는 적층 제조를 통해 WC-Co 공구의 설계를 최적화하여 내구성을 향상시킬 계획입니다 (China Tungsten High-Tech 2024 Annual Report).

1.4 초경합금과 텅스텐강의 비교

초경합금(WC-Co 복합재)과 텅스텐강(텅스텐 함유 고속도강 또는 공구강)의 재료 조성, 미세 조직, 성능 매개변수 및 제조 공정 측면에서의 차이점을 살펴봅니다. 본 섹션에서는 정량적 데이터와 과학적 분석을 통해 두 강종의 특성을 자세히 비교합니다. 초경합금의 경도, 내마모성 및 고온 안정성과 텅스텐강의 인성 및 가공 유연성 측면에서의 장점을 강조하며, 경제성이나 적용 수준은 고려하지 않고 재료 및 성능에 초점을 맞춥니다.

1.4.1 재료 구성 및 미세 구조

초경합금은 텅스텐 카바이드(WC, 질량 분율 70%-94%)를 경질상으로 하고, 코발트(Co, 6%-20%) 또는 니켈(Ni)을 결합상으로 합니다. WC는 육방정계(P6m2 공간군, a=2.906Å, c=2.837Å)이며, 경도는 HV 2200-2500입니다. Co는 면심입방정(FCC) 구조를 가지며, 접촉각은 약 5°-10°입니다(중국 비철금속학회지, 2024). 미세조직은 Co 매트릭스에 매립된 WC 입자(입자 크기 0.2-5 마이크로)로 구성되며, 밀도는 98%-99% 이상입니다. 주사전자현미경(SEM)과 투과전자현미경(TEM) 분석 결과, WC-Co 계면 강도는 40~50 MPa 이상, Co 편석은 5% 미만으로 나타났습니다(Journal of Materials Science 2025). TiC 또는 TaC (3~10%)를 첨가하면 내산화성이 향상되고, 1200° C에서 산화 후 중량 증가는 0.1 mg/cm² 미만입니다 (China Tungsten High-Tech 2024 Annual Report). X선 회절(XRD) 분석 결과, WC(001) 결정면의 배향이 최적화되어 있으며, 결정립계 에너지는 약 0.8~1 J/m² 임을 확인했습니다.

텅스텐강은 텅스텐(W, 5~18%)을 함유한 합금강으로, 고속도강 HSS M2(W 6%, Mo 5%,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cr 4%)나 공구강 등이 있습니다. 기지조직은 체심입방정계(BCC) 또는 마르텐사이트 조직을 가진 철(Fe)-탄소(C, 0.8~1.2%) 합금입니다. 텅스텐은 고용체 또는 탄화물(Fe_3W_3C)로 존재하며, 입자 크기는 10~30 마이크로미터입니다. SEM 분석 결과, 탄화물 분포는 불균일하고, 편석률은 5~15%이며, 계면 강도는 약 20~30MPa입니다(Journal of Materials Science 2025). 텅스텐 강의 공유 결합 강도는 약 400~450 kJ/mol로 WC(600~700 kJ/mol)보다 낮고, 경도는 HV 600~800입니다.

초경합금의 복합 구조는 낮은 열팽창 계수($4.5 \sim 5.5 \times 10^{-6} / ^\circ C$)를 가지며, 이는 텅스텐강($11 \sim 12 \times 10^{-6} / ^\circ C$)보다 우수하여 고온 변형을 줄입니다. 텅스텐강은 초경합금($8 \sim 15 MPa \cdot m^{1/2}$)보다 인성($K_{1c} 20 \sim 25 MPa \cdot m^{1/2}$)이 더 높습니다.

1.4.2 성능 매개변수 비교

초경합금(WC-6%Co)은 경도가 HV 1800-2200, 마모율이 0.06-0.08 mm³/N·m, 압축강도가 3500-4000 MPa, 열전도도가 80-100 W/m·K, 열팽창계수가 $4.5 \sim 5.5 \times 10^{-6} / ^\circ C$ 입니다. 1000°C에서 Co-Ni-Cr 결합상을 포함하는 초경합금의 염수 분무 중량 손실은 HV 900-1000을 유지하면서 <0.1 mg/cm²입니다(중국비철금속학회지, 2024). 텅스텐강의 경도는 HV 600-800, 마모율은 0.4-0.5 mm³/N·m, 압축강도는 1500-2000 MPa, 열전도도는 20-30 W/m·K, 열팽창계수는 $11 \sim 12 \times 10^{-6} / ^\circ C$, 600°C에서 경도가 HV 350-400으로 떨어지고 부식율은 약 0.5-1 mg/cm²입니다.

초경합금의 내마모성은 텅스텐 강의 약 6-8 배이고 압축 강도는 1.8-2 배 더 높고 고압 환경(>100 MPa)에 적합합니다. 열 성능 측면에서 1200°C에서 산화 후 초경합금의 중량 증가는 <0.1 mg/cm²이고 100 회 이상의 열충격 사이클 이후에도 균열이 발생하지 않습니다. 텅스텐 강의 800°C에서 산화 후 중량 증가는 약 0.8-1 mg/cm²이고 50-60 회 열충격 사이클 이후에 미세 균열이 나타납니다. 초경합금의 반복 피로 강도(>1800-2000 MPa, 10⁷ 배)는 텅스텐 강의 반복 피로 강도(900-1000 MPa, 10⁷ 배)보다 우수합니다(China Tungsten High-Tech 2024 Annual Report).

1.4.3 제조 공정 특성

초경합금은 분말 야금 공정을 채택합니다. WC와 Co 분말(입자 크기 0.5~5 마이크로미터)을 볼 밀링(24~48 시간), 프레스(50~100MPa), 액상 소결(1320~1400°C, 진공도 10⁻³Pa)을 통해 밀도 >98%로 제조합니다. 열간 등방성 프레스(HIP, 120~150MPa, 1350~1400°C)를 통해 기공을 제거하고 경도를 5~10% 향상시킵니다(중국 텅스텐 하이테크 2024 연례 보고서). 이 공정은 서브미크론 입자(0.2~1 마이크로미터)를 얻기 위해 온도(±5°C)와 Co 함량(±0.5%)을 제어해야 합니다.

텅스텐강은 아크로 용해(1600~1800°C), 잉곳 주조, 열간 압연/단조(1100~1200°C), 그리고 열처리(담금질 850°C, 템퍼링 500~600°C)를 통해 생산됩니다. 탄화물은 불균일하게 분포하며 입자 크기는 10~30 마이크로미터입니다. 열처리는 경도와 인성을 최적화하지만, 탄화물 편석(5~15%)은 조직에 영향을 미칩니다(Journal of Materials Science 2025).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.4.4 환경적 적응성 및 재활용 특성

영어: Ni 결합상(예: Co-Ni-Cr)을 포함하는 초경합금의 염수 분무 환경에서 부식 속도는 $0.1\text{mm}/\text{년}$이며 1200°C에서 강한 산화 저항성을 갖습니다. 텅스텐 강의 부식 속도는 약 $0.5\text{--}1\text{mm}/\text{년}$이며 800°C 이상에서 산화가 현저합니다. 초경합금의 열전도도($80\text{--}100\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$)와 낮은 열팽창 계수($4.5\text{--}5.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)는 열충격 저항성을 보장하며 고온 및 고압 환경 (>1000°C, >100 MPa)에 적합합니다. 텅스텐 강의 열전도도($20\text{--}30\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$)와 높은 열팽창 계수($11\text{--}12\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)는 열 변형으로 이어집니다.

재활용 측면에서 아연 용해법을 통한 초경합금의 회수율은 $90\sim 95\%$에 달하며, 2024년 중국의 회수율은 $35\sim 40\%$에 이를 것으로 예상됩니다(ITIA 2024). 텅스텐 강의 회수율은 약 $85\sim 90\%$이지만, 용해 및 재주조 과정에서 텅스텐 손실은 $5\sim 10\%$에 불과합니다. 초경합금 재활용은 효율성이 더 높고 저탄소 목표를 달성합니다(China Tungsten High-tech 2024 Annual Report).

1.4.5 종합적인 성능 비교

초경합금은 텅스텐강보다 경도, 내마모성, 고온 안정성, 내부식성, 압축 강도가 우수합니다. PVD TiAlN 코팅(HV 2500-3000)은 성능을 향상시키고 극한 작업 조건에 적합합니다. 텅스텐강은 높은 인성($K_{1c}\ 20\text{--}25\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)과 가공 유연성을 갖추고 있어 저부하 가공에 적합하지만, 경도(HV 600-800)와 내마모성은 부족합니다. 2025년에는 중국텅스텐하이테크(China Tungsten High-Tech)의 나노 WC-Co(입자 크기 $0.05\text{--}0.1\ \mu\text{m}$)가 성능을 더욱 최적화할 것으로 예상됩니다(중국 텅스텐하이테크 2024 연례 보고서).

참고문헌

- 중국텅스텐&하이테크재료유한공사 2024년 연례 보고서.
샤먼텅스텐주식회사 2024년 연례 보고서.
2024년 텅스텐 시장 동향. www.ctia.com.cn
CTIA GROUP LTD. 회사 개요 및 2024년 제품 소개. ctia.group
중국텅스텐산업 협회. 2024년 중국텅스텐산업발전대회 보고서. www.ctia.net.cn
국가발전개혁위원회. 2021. 제 14 차 5 개년 계획 개요. www.ndrc.gov.cn
국가기록관리국. 1958. 주저우 초경합금 공장 건설 기록. 베이징: 국가기록관리국
중국 비철금속학회지. 1965-2024. 다양한 호. www.cnki.net
희귀 금속 재료 및 공학. 2023-2024. 여러 호 게재. www.cnki.net
USGS. 2025. 광물 자원 요약:
텅스텐. www.usgs.gov
ITIA. 2024. 텅스텐 재활용 보고서. www.itia.info
국제텅스텐 협회. 2024. 텅스텐 재활용 보고서.
재료과학 저널. 2024-2025. www.springer.com
재료과학 저널. 2024-2025.
합금 및 화합물 저널. 2025. www.elsevier.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합금 및 화합물 저널. 2025.

왕립학회 회의록. 1868.

런던: 왕립학회.

Annalen der Chemie . 1875. 라이프치히: Wiley-VCH.

Annalen der Chemie . 1875. 라이프치히: Wiley-VCH.

독일 시민이 되십시오 . Chemischen Gesellschaft. 1900. 베를린: Wiley-VCH.

독일 화학 학회 보고서. 1900. 베를린: Wiley-VCH.

오스람 기술 보고서. 1908.

베를린: Osram GmbH.

크루프 기록 보관소. 1912-1943. 에센: ThyssenKrupp AG.

크루프 기록 보관소. 1912-1943. 에센: ThyssenKrupp AG.

크루프 기술 게시판. 1925. 에센: Krupp AG.

Farben 기술 보고서. 1931. 프랑크푸르트: IG Farben.

Farben 기술 보고서. 1931. 프랑크푸르트: IG Farben.

샌드빅 코로만트 역사 . 1932-2003. 샌드비켄(Sandviken): 샌드빅 AB.

미국 특허. 1896-1936.

워싱턴 D.C.: USPTO.

케나메탈 기술 보고서. 1953. 라트로브: 케나메탈 주식회사

케나메탈 기술 보고서. 1953. 라트로브: 케나메탈 주식회사

Seco Tools 특허. 1965. Fagersta : Seco Tools AB.

미쓰비시 머티리얼 보고서. 1975.

도쿄: 미쓰비시 머티리얼 주식회사

Plansee 기술 게시판. 1983. 로이테: Plansee 그룹.

Plansee 기술 게시판. 1983. 로이테: Plansee 그룹.

Sandvik 지속 가능성 보고서. 1990. Sandviken : Sandvik AB.

생물의학 소재 연구. 1985. Hoboken: Wiley.

첨가 제조 저널. 2012.

암스테르담: 엘스비어.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

부록 :

초경합금의 영어 번역 방법과 그 응용

초경합금은 경질상(예: 텅스텐 카바이드)과 결합제상(예: 코발트)으로 구성된 복합 재료로서, 맥락, 산업 표준 또는 기술 분야의 관습에 따라 영어에서 다양한 번역이나 명칭이 사용됩니다. 다음은 초경합금의 영어 명칭과 그 번역에 대한 자세한 요약으로, 일반적인 용어, 적용 사례 및 미묘한 차이점을 다룹니다.

초경합금의 영어 이름을 번역하는 방법

1. 초경합금의 영어 명칭 - Hardmetal

정의: 국제 표준(예: ISO 513, ASTM B886) 및 학술 문헌에서 널리 사용되는 가장 표준적인 영어 명칭으로, 경질 탄화물(예: WC, TiC)과 금속 결합제(예: 코발트, 니켈)로 구성된 재료를 지칭합니다. 사용 시나리오:

산업 표준: ISO 3326 (경금속 - 코발트의 자기 포화도 측정), GB/T 3849.

절삭 도구와 금형에 사용되는 "경금속"에 대해 자주 언급합니다.

특징: 재료의 복합적 특성(경질상 + 금속결합상)에 중점을 두고, 다용성이 뛰어나며, 글로벌 초경 산업에 적합합니다.

예: 경금속은 높은 경도와 내마모성으로 인해 절삭 공구에 널리 사용됩니다.

2. 초경합금

정의: 단단한 탄화물(예: WC)이 금속 결합제(예: 코발트)에 의해 "고결"되는 특성을 강조하는 일반적인 번역으로, 북미와 유럽의 기술 문헌에서 일반적으로 사용됩니다.

ASTM 표준: ASTM B886(경화탄화물의 자기포화도 측정을 위한 표준 시험 방법).

업계 용어: 북미 공구 제조업체(예: 케나메탈, 샌드빅)에서 일반적으로 사용하는 용어입니다.

특징: "시멘테이션" 공정에 중점을 두었습니다. 즉, 금속 바인더가 소결 공정 중에 카바이드 입자를 결합합니다.

하드메탈이라는 이름으로 더 많이 알려져 있지만, 미국 표준 규격과 기업 광고에서 더 흔히 볼 수 있습니다.

예: 시멘트 카바이드는 강인하고 내구성이 뛰어나 기계 가공에 적합합니다.

3. 텅스텐 카바이드

정의: 텅스텐 카바이드(WC)를 주요 경질상으로 하는 초경합금을 지칭하며, 비전문적이거나 간략한 설명에 자주 사용되지만, 엄밀히 말하면 포괄적인 용어는 아닙니다(다른 초경합금이나 바인더는 포함하지 않음). 사용 시나리오:

사업 및 시장: 칼, 드릴 비트, 보석(텅스텐 강철 링)의 프로모션에서 흔히 볼 수 있습니다.

인기 과학 기사: 위키피디아에서는 종종 시멘트 카바이드를 "텅스텐 카바이드"로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

소개합니다.

특징: WC 기반 초경합금에만 적용되며 TiC, TaC 등 다른 초경합금을 함유한 합금은 포함하지 않습니다.

비전문적인 경우(소비자 시장 등)에는 시멘트 카바이드의 동의어로 사용됩니다.

텅스텐 기반 이 아닌 카바이드(예: TiC) 나 다양한 바인더가 포함될 수 있으므로 정밀성이 떨어집니다.

예: 텅스텐 카바이드 공구는 매우 단단한 것으로 알려져 있습니다.

4. 카바이드

정의: 일반적으로 업계나 구어체에서 사용되는 "초경합금"이나 "텅스텐"을 생략하여 초경합금 전체를 지칭하는 간략한 명칭입니다. 사용 예:

공구 산업: 근로자나 엔지니어는 이를 종종 "초경 공구" 또는 "초경 인서트"라고 부릅니다.

기술 문서: 예를 들어, Sandvik 제품 브로셔에는 "초경 등급"이 언급되어 있습니다.

특징: 간결하지만 "탄화물"이 다른 탄화물(예: 칼슘 탄화물 CaC) 도 나타내기 때문에 모호함을 유발할 수 있습니다. 2) .

상 시멘트 카바이드를 명확하게 지칭합니다.

예: 카바이드 인서트는 강철 가공 시 기계 가공 효율성을 향상시킵니다.

5. Widiametal (덜 일반적)

정의: 초기 유럽(특히 독일)에서 사용된 용어로, 시멘트 카바이드의 상표명인 "Widia"(Wie Diamant, "다이아몬드와 같다"는 뜻)에서 유래되었습니다.

역사적 문서: 독일의 크루프(Krupp)는 1920 년대에 최초로 시멘트 카바이드를 상용화하고 이를 위디아(Widia)라고 명명했습니다.

유럽 일부 지역: 오래된 기술 문서나 전통적인 기업에서 가끔씩 볼 수 있습니다.

특징: 시멘트 카바이드의 높은 경도(다이아몬드에 가까움)를 강조하지만, 현재는 덜 사용되고 하드메탈 이나 시멘트 카바이드로 대체되었습니다.

특정 역사적 또는 브랜드 맥락에서만 가능합니다.

예: Widiametal 은 초기 절삭 공구 기술의 획기적인 발전이었습니다.

6. 소결 카바이드(덜 일반적)

정의: 초경합금이 분말 야금 소결 공정을 통해 제조됨을 강조하며, 제조 공정을 설명합니다. 적용 시나리오:

학술 연구: 시멘트 카바이드 생산 공정을 설명할 때 사용됩니다.

기술 매뉴얼: 소결 공정 지침에 설명된 대로입니다.

특징: 시멘트 카바이드 와 비슷 하지만 소결 공정에 더 중점을 둡니다.

경금속 과 시멘트 카바이드 보다 덜 자주 사용됩니다.

예: 소결 카바이드 부품은 뛰어난 내마모성을 보입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. 기타 비표준 번역

텅스텐 강철

잘못된 번역입니다. 비전문적인 상황(예: 전자상거래 플랫폼)에서 자주 발견됩니다. 초경합금은 강철이 아니라, 초경 금속 복합재입니다.

예: 보석 산업에서는 실수로 이를 "텅스텐 강철 링"이라고 부르는데, 실제로는 텅스텐 기반의 시멘트 카바이드입니다.

경질 합금

중국어 "경합금"에서 직접 번역된 이 단어는 영어에서는 거의 사용되지 않으며 중국 영문학 문헌에 등장할 수도 있지만 표준은 아닙니다.

예: 경질 합금은 영어 기술 문헌에서는 표준 용어가 아닙니다.



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

초경합금 영어 번역 방법 비교 및 선택 제안

영어 이름	적용 가능한 시나리오	이점	한정
하드메탈	국제 표준, 학술 연구, 글로벌 산업	강력한 다재다능함, 표준 용어	명확한 제한 사항 없음
초경합금	북미 표준, 절삭 공구 산업, 기술 문서	본딩 기술에 중점을 두고 널리 인정받고 있습니다.	약간 길다
텅스텐 카바이드	상업적 홍보, 과학 대중화, 소비자 시장	비전문가도 이해하기 쉽고 간결함	다른 카바이드와 바인더를 무시하면 충분히 포괄적이지 않습니다.
카바이드	업계 속어, 도구 제조	업계에서 간단하고 보편적입니다	모호함을 유발할 수 있음(다른 카바이드와 혼동)
위디아메탈	역사적 문서, 유럽 전통 기업	역사적 중요성, 브랜드별	더 이상 사용되지 않으며 요즘은 거의 사용되지 않습니다.
소결 카바이드	학술 연구, 프로세스 설명	하이라이트 소결 공정	사용 빈도가 낮음
텅스텐 강철	비전문 시장(예: 보석)	없음(잘못된 용어)	부정확하고 오해의 소지가 있음
경질 합금	칭글리시 문학	없음(비표준)	표준화되지 않았고 국제적으로 인정받지 못함

선택 제안:

공식적인 행사(표준, 논문, 국제 교류): ISO, ASTM, GB/T 표준을 준수하고 매우 다용도로 활용 가능한 하드메탈 이나 시멘트 카바이드를 사용하세요.

산업 분야(칼, 금형 제조)에서: 카바이드는 간결하고 구어체 언어나 제품 명명에 적합하지만 맥락이 명확한지 확인하세요.

상업 선전(소비자용): 텅스텐 카바이드는 비전문가가 이해하기 쉽지만, 단단한 합금이라는 점을 염두에 두어야 합니다.

피해야 할 사항: 부정확성이나 규정 준수 부족으로 인해 텅스텐 강철 및 경질 합금은 사용하지 마십시오.

데이터 및 지원

표준 기준: ISO 3326:2013 및 ASTM B88624 는 " Hardenmetal "과 "Cemented Carbide"를 사용합니다(ISO 공식 웹사이트, ASTM 공식 웹사이트).

GB/T 38492015 에서는 "경질 합금"을 사용하는데, 이는 영어로는 " Hardmetal "로 번역됩니다(중국 국가 표준 조회 네트워크).

업계 관행: 글로벌 도구 회사(Sandvik 및 Kennametal 등)는 종종 제품 카탈로그에서 "경화 초경" 또는 "카바이드"를 사용합니다.

"텅스텐 카바이드"에 대한 위키피디아 항목에서는 이것이 시멘트 카바이드의 하위 집합이라고 기술하고 있습니다(위키피디아, 2005).

학술 문헌: ScienceDirect 기사에서는 종종 " Hardenmetals " 또는 "Cemented Carbides"라는 용어를 사용하여 WCCo 합금을 설명합니다 (ScienceDirect, 2020).

역사적 배경: "Widia"는 1920 년대 독일 크루프 회사에서 처음 사용되었으며 현대에는 거의 사용되지 않습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

초경합금의 영어 명칭은 주로 Hardmetal , Cemented Carbide, Tungsten Carbide, Carbide 로 구성되며, 그중 Hardmetal 과 Cemented Carbide 는 국제 표준 및 산업계에서 널리 사용되는 가장 표준적인 용어입니다. Tungsten Carbide 는 상업적 홍보에는 적합하지만 포괄적이지 않습니다. Carbide 는 간결하지만 모호성을 고려해야 합니다. Widiometal 과 Sintered Carbide 는 덜 일반적이며 특정 역사적 또는 공정 시나리오에 국한됩니다. Tungsten Steel 과 Hard Alloy 는 부정확하므로 피해야 합니다. 영어 명칭을 선택할 때는 맥락(학술적, 산업적, 상업적)에 따라 가장 적절한 용어를 선택해야 합니다.

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



부록 :

우리나라의 초창기 주요 시멘트 카바이드 기업에 대한 간략한 소개와 현재 현황

1. 주저우 601 공장(주저우 초경합금공장)

기원 및 건설 역사

주저우 601 공장, 즉 주저우 초경합금 공장(현 주저우 초경합금 그룹 유한회사, 중국텅스텐하이테크그룹 산하)은 1954년 설립되어 후난성 주저우에 위치하고 있습니다. 중국 초경합금 산업의 시발점입니다. 이 공장은 국가 “제 1차 5개년 계획”(1953-1957)의 156개 중점 프로젝트 중 하나였으며, “중국 초경합금 산업의 요람”으로 불립니다. 설립 당시 신중국 건국 초기 산업 기반이 취약하고 전략 물자인 초경합금이 대부분 수입에 의존했던 상황이 주요 원인이었습니다. 이러한 상황을 개선하고자 국가는 현지의 풍부한 텅스텐 광석 자원(석주위안 다 금속 광산 등)과 편리한 교통 여건(주저우는 상장 강 중류에 위치하며 철도 운송이 발달되어 있음)을 활용하여 후난성 주저우에 공장을 건설하기로 결정했습니다.

이름 숫자 의미와 유래

“601”이라는 숫자는 신중국 건국 초기 공업 기업의 기밀 명칭 규칙에서 유래했습니다. 당시 국가는 국방 산업과 중점 프로젝트의 기밀성을 보장하기 위해 많은 공장에 직접 명칭 대신 숫자를 사용했습니다. “601”은 금속공업부(후에 기계공업부로 통합) 관할 일련번호에 속하며, 구체적으로는 “제 6 금속공업부 제 1 공장”을 나타냅니다. “6”은 금속 산업을, “01”은 해당 시스템의 첫 번째 중점 프로젝트를 나타내며, 주저우 초경합금 공장이 중국 초경합금 산업의 시초라는 특별한 지위를 반영합니다.

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

건설 및 개발

주저우 601 공장은 설립 초기 소련 기술을 도입하여 분말 야금법을 통해 텅스텐 카바이드-코발트(WC-Co)를 주성분으로 하는 초경합금을 생산했습니다. 이 초경합금은 주로 광산 및 절삭 공구에 사용되었습니다. 1958년 "제1차 5개년 계획"이 종료되자 주저우 공장은 공장을 확장하고 생산 공정을 최적화했습니다. 생산된 초경합금 드릴은 지질 탐사 수요를 충족하기 시작했습니다. 1960년에는 베이징 비철금속 연구소와 협력하여 석유 시추 분야에 사용할 티타늄 카바이드 (TiC)를 함유한 초경합금을 개발했습니다. 1960년대 문화대혁명의 영향에도 불구하고 주저우 공장은 자립을 통해 배합을 최적화하여 기계 가공 분야의 공급을 유지했습니다. 1970년에는 "704 공정"을 시행하여 주저우 공장의 확장과 생산량 증가를 이루었습니다. 1978년 개혁 개방 이후, '제 65 계획' (1981-1985) 기간에 주저우공장은 스웨덴의 샌드빅 코팅 기술을 도입하고, 질화티타늄 (TiN) 코팅 공구를 개발하여 절삭 성능을 획기적으로 향상시켰습니다.

주요 특징

주저우 601 공장은 중국 초경합금 산업의 발상지이자 산업의 기반을 마련한 곳입니다. 주저우 601 공장의 특징은 다음과 같습니다.

기술 도입 및 혁신 : 소련 기술을 시작으로, 이후 청화대학교, 중남대학교 등과 협력하여 정밀 가공에 적용되는 초미립자 및 나노급 시멘트 카바이드를 개발했습니다.

산업 클러스터 효과 : 2000년, 주저우 시멘트 카바이드 산업단지가 형성되기 시작하여, 주저우 공장을 중심으로 산업 클러스터가 형성되어 지역 경제 발전을 촉진했습니다.

널리 사용됨 : 제품은 광업, 기계 가공, 국방, 전자 산업 등 다양한 분야에 사용됩니다. 1980년대부터 동남아시아로 수출되어 왔으며, 2002년 WTO 가입 이후 수출이 더욱 증가했습니다.

현상 유지

주저우 초경합금 공장은 현재 중국 텅스텐 고신재료 유한공사의 핵심 기업이며, 중국 최대 규모의 초경합금 생산 기지 중 하나입니다. 2024년, 중국 텅스텐 고신은 후난 석주위안 텅스텐 광산(매장량 56만 톤)을 인수하여 원자재 자급률을 높였습니다. 주저우 초경합금 공장은 고엔트로피 초경합금 및 적층 제조 기술 연구 개발에 지속적으로 집중하고 있습니다. 주저우 초경합금 공장의 제품은 항공우주, 자동차 제조 등 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으며, 친환경 제조 및 스마트 생산을 적극적으로 추진하고 있습니다.

2. 자공 764 공장(자공 초경합금공장)

기원 및 건설 역사

쯔궁 764 공장, 즉 쯔궁 초경합금 공장(현 쯔궁 초경합금 유한회사)은 1965년에 설립되었으며 쓰촨성 쯔궁시 에 위치하고 있습니다. 중국의 유명한 염전 도시인 쯔궁은 오랜 산업 역사, 특히 염정 시추 기술을 보유하고 있으며, 이는 쯔궁 초경합금 산업 발전의 기반이 되었습니다. 쯔궁 764 공장의 설립은 냉전 시대의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

잠재적 위협에 대응하기 위해 서남부 지역에 전략적 후방 산업 기지를 구축하려는 중국의 "삼선 건설" 시기에 이루어졌습니다.

이름 숫자 의미와 유래

"764" 번호는 "제 3 선 건설" 기간 동안의 전형적인 기밀 명칭 방식입니다. "7"은 일반적으로 기계공업부 관할 기업을 나타내고, "6"은 서남부 지역의 지역 코드를 나타내며, "4"는 해당 지역 공장의 일련번호를 나타냅니다. 이러한 번호 체계는 전시 안전을 보장하기 위해 공장의 실제 목적과 지리적 위치를 은폐하기 위한 것입니다. 자공 공장의 번호인 764는 기계공업부가 서남부 지역에 건설한 중요한 초경합금 생산 기지로서의 위상을 반영합니다.

주저우 601 공장과의 관계

쯔공 764 공장은 초경합금 생산 기술 측면에서 주저우 601 공장과 간접적인 연계를 맺고 있습니다. 쯔공 601 공장은 업계 선구자로서, 1960년대 국가 기술 보급 사업을 통해 쯔공 764 공장을 포함한 "3선" 기업에 공정 표준과 생산 경험을 수출했습니다. 쯔공 764 공장이 설립 초기 도입한 분말 야금 공정은 주저우 601 공장의 기술 체계와 일치합니다. 또한, 두 공장은 국가 텅스텐 자원 배분 및 산업 협력 측면에서 상호 보완적입니다. 주저우 601 공장의 기술 혁신은 쯔공 764 공장의 발전 기반을 제공하고, 쯔공 764 공장은 지역 자원 우위를 통해 주저우 601 공장의 남서부 지역 산업 배치를 보완합니다.

건설 및 개발

초창기 자공 764 공장은 자공의 풍부한 천연가스 자원(소결 연료)과 사천의 텅스텐 자원을 활용하여 광산 및 지질 탐사용 초경 공구를 주로 생산했습니다. 1970년대 들어 국내 초경 공구 수요가 증가함에 따라 자공 공장은 절삭 공구 및 내마모 부품으로 제품 라인을 점차 확장했습니다. 1980년대 개혁개방 이후, 자공 공장은 외국 기업과 협력을 시작하여 선진 설비와 기술을 도입하고 제품 품질을 향상시켰습니다.

주요 특징

자공 764 공장은 광산 및 지질 탐사 분야에서 시멘트 카바이드 제품을 생산하는 것으로 잘 알려져 있으며, 다음과 같은 특징이 있습니다.

자원 적 이점 : 자공 지역의 천연가스 자원은 시멘트 카바이드 소결에 필요한 저렴한 에너지를 제공하여 생산 비용을 절감합니다.

지역적 영향 : 서남부 지역의 중요한 시멘트 초경 생산 기지로서, 자공 공장의 제품은 쓰촨, 윈난 등지의 광산 개발에 널리 사용됩니다.

기술 진보 : 1990년대에 자공 공장은 비표준 절삭 공구의 요구를 충족하기 위해 고성능 초경 막대와 판을 개발했습니다.

현상 유지

자공 초경합금 유한회사는 중국 초경합금 산업의 주요 기업 중 하나로, 중국 민금속(China Minmetals Corporation) 산하 기업입니다. 자공은 초경합금 봉, 판,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

절삭 공구 생산에 주력하고 있으며, 제품은 광산, 석유 시추, 기계 가공 등에 사용됩니다. 자공시는 중국 초경합금 산업의 주요 거점 중 하나로 자리매김하며, 남서부 지역의 산업 전통을 이어가고 있습니다.

주저우 601 공장과 자공 764 공장의 관계 분석

역사적 배경 및 산업 위치

주저우 601 공장(주저우 초경합금공장)은 1954년에 설립되었습니다. 중국 초경합금 산업의 시발점이며, "중국 초경합금 산업의 요람"으로 불립니다. 국가 "제1차 5개년 계획"의 핵심 프로젝트인 주저우 601 공장은 초경합금 기술 분야에서 선도적인 위치를 차지하고 있으며, 소련에서 도입한 분말야금 공정을 완벽하게 숙달하고 국내 과학 연구 기관과의 협력을 통해 끊임없이 혁신을 거듭해 왔습니다. 쑤공 764 공장(쑤공 초경합금공장)은 1965년 "제3선 건설" 시기에 설립되었으며, 서남부 지역의 중요한 초경합금 생산 기지입니다. 쓰촨성의 텅스텐 광석 자원과 천연가스 에너지를 활용하여 광산 및 지질 탐사용 초경합금 공구 생산에 주력하고 있습니다.

기술 및 리소스 연락처

주저우 601 공장은 업계 선구자로서 초경합금 생산 기술, 공정 표준 및 장비 연구개발 분야에서 풍부한 경험을 축적해 왔습니다. 1960년대 "삼선 건설" 정책의 진전과 함께 국가는 주요 기업들이 내륙 지역으로 기술을 수출하여 신규 공장 개발을 지원하도록 장려했습니다. 쑤공 764 공장은 설립 초기 주저우 601 공장의 기술 보급으로 큰 혜택을 누렸습니다. 예를 들어, 주저우 601 공장에서 개발한 텅스텐 카바이드-코발트(WC-Co) 초경합금 생산 공정은 업계 표준이 되었으며, 쑤공 764 공장은 광산 공구 생산 시 유사한 분말 야금 공정을 사용합니다. 이는 두 공장이 기술 체계 측면에서 유사 깊은 관계를 맺고 있음을 보여줍니다.

3. 난창 603 공장(난창 초경합금 공장)

기원 및 건설 역사

난창 603 공장, 즉 난창 초경합금 공장(현 난창 초경합금 유한회사)은 1966년에 설립되었으며 장시성 난창에 위치하고 있습니다. "삼선 건설" 시기에 건설된 또 다른 중요한 초경합금 생산 기지입니다. 장시성은 중국에서 가장 풍부한 텅스텐 자원을 보유한 성 중 하나이며, 간저우를 비롯한 여러 지역에 고품질 텅스텐 광석 자원이 매장되어 있습니다. 난창 603 공장의 설립은 이러한 자원 우위를 활용하여 국가 산업 및 국방 건설에 필요한 초경합금 소재를 공급하는 것을 목표로 합니다.

이름 숫자 의미와 유래

"603"이라는 숫자는 "제3선 건설" 기간 동안의 기밀 명명 규칙을 따릅니다. "6"은 금속공업부의 번호 체계(주저우 601 공장의 "6"이 이를 의미함)의 연장선일 수 있으며, "03"은 해당 공장이 시스템 내 세 번째 핵심 프로젝트를 나타냅니다. 난창 603 공장의 번호 체계는 금속 산업 시스템에서 이 공장이 차지했던 중요한 위치를 반영하며, "제3선 건설" 기간 동안 내륙 지방인 장시성의 전략적 배치를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

반영합니다 .

건설 및 개발

초창기 난창 603 공장은 주로 암반 드릴 비트, 터널링 공구 등 광산용 초경 공구를 생산하여 장시성 및 인근 지역 광산 개발을 지원했습니다. 1970년대에는 기계 가공 산업의 수요에 맞춰 절삭 공구를 개발하기 시작했습니다. 1980년대 개혁 개방 정책의 진전에 따라 난창 공장은 해외 설비를 도입하고 고성능 초경 제품을 개발했습니다.

주요 특징

난창 603 공장은 광업 및 기계 가공 분야에 적용이 가능한 것으로 유명하며, 그 특징은 다음과 같습니다.

자원 지원 : 장시성 텅스텐 광석 자원은 난창 공장에 안정적인 원자재 공급을 제공하여 생산 비용을 절감합니다.

제품 다양성 : 광산 도구부터 절삭 공구까지, 난창 공장은 다양한 산업적 요구를 충족하기 위해 점차 제품 라인을 확장해 왔습니다.

기술 협력 : 1990년대에 난창공장은 국내 대학과 협력하여 화학장비 분야에 사용되는 내식성 초경합금을 개발했습니다.

현상 유지

난창 초경합금 유한회사는 현재 중국 민메탈(Minmetals Corporation)에 소속되어 있으며, 장시성의 주요 초경합금 생산 기업입니다. 난창 공장은 광업용 공구 및 절삭 공구 생산에 주력하는 동시에 항공우주 및 화학 산업에 사용되는 새로운 초경합금 소재를 개발하고 있습니다. 난창 공장은 장시성 텅스텐 산업 체인에서 중요한 역할을 담당하고 있습니다 .

4. 무단장 212 공장(무단장 초경합금공장)

기원 및 건설 역사

무단장 212 공장(또는 무단장 초경 공장)은 1969년에 설립되었으며 하이룽장성 무단장에 위치하고 있습니다. 이 공장은 "제3선 건설" 기간 동안 동북 지역에 배치된 초경 생산 기지 중 하나입니다. 무단장 212 공장의 설립은 동북 지역의 노후 공업 기지 활성화를 지원하는 동시에 방위 산업에 초경 소재를 공급하는 것을 목표로 합니다. 무단장은 동북 지역의 중소 국경(블라디보스토크에서 약 248km)에 인접하여 전략적 요충지로 "제3선 건설"의 중요한 거점이었습니다. 1960년대 중반, 중소 관계가 악화되고 냉전 긴장이 고조되자 중국은 산업 기지를 내륙 및 오지로 이전하기 위한 "제3선 건설"을 시작했습니다. 무단장은 철도망과 광산 자원을 갖추고 있어 시멘트 카바이드 공장을 건설할 곳으로 선정되었습니다.

이름 숫자 의미와 유래

"212" 번호는 "제3선 건설" 기간 동안 동북 지역의 전형적인 명칭입니다. "2"는 동북 지역의 지역 코드를, "12"는 해당 지역 공장의 일련번호를 나타냅니다. 이러한 번호 체계는 공장의 진정한 목적을 은폐하고 국방 산업의 안보를 보호하기 위한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

것입니다. 무단장 공장의 212 번 번호는 동북 지역 초경합금 생산의 중요한 부분을 나타내며, 국방 산업 지원이라는 사명과 일맥상통합니다.

건설 및 개발

초창기 무단장 212 공장은 주로 광산 및 지질 탐사용 초경 공구를 생산하여 하이룽장성과 지린성의 광산 개발에 기여했습니다. 1970 년대 에는 전차 궤도 마모 부품, 탄두 소재 등 군용 초경 부품을 개발하여 국방 건설을 지원했습니다. 1980 년대 개혁 개방 정책의 진전에 따라 무단장 공장은 점차 민수 시장으로 진출하여 절삭 공구와 내마모 부품을 개발하고 제품 라인을 더욱 확장했습니다.

주요 특징

무단장 212 공장은 방위 및 광산 분야에서 널리 알려져 있으며, 다음과 같은 특징이 있습니다.

국방 에 기여 : 1970 년대 에 무단장공장에서 생산한 초경부품은 군수품에 널리 사용되어 국방건설을 지원하였습니다.

지리적 이점 : 무단장은 러시아 국경과 가까운 북동쪽 에 위치하고 있어 소련과 러시아와의 기술 교류가 용이합니다.

제품 내한성 : 중국 북동부의 추운 기후를 고려하여 무단장 공장에서 개발한 초경 공구는 저온 인성이 강하고 극한 환경에도 적응할 수 있습니다.

현상 유지

무단장 초경합금 공장은 현재 중국북방공업그룹(China North Industries Group Corporation)에 편입되어 자회사로 편입되었습니다. 회사는 광산용 공구와 군용 초경합금 부품을 지속적으로 생산하고 있으며, 에너지 및 기계 제조 분야에 사용되는 새로운 내마모성 소재를 개발하고 있습니다. 무단장 공장은 여전히 중국 동북부 지역 초경합금 산업에 상당한 영향력을 행사하고 있습니다.

5. 베이징 초경합금 공장

기원 및 건설 역사

베이징 초경합금 공장은 1970 년 베이징에 설립되었습니다. 베이징의 산업 및 과학 연구 수요를 충족하기 위해 설립된 초경합금 생산 기업입니다. 중국의 정치 및 기술 중심지인 베이징에는 베이징 비철금속 연구소를 비롯한 여러 과학 연구 기관과 첨단 제조 산업이 있습니다. 베이징 초경합금 공장의 설립은 이러한 분야에 고성능 초경합금 소재를 공급하는 것을 목표로 합니다.

건설 및 개발

초창기 베이징 초경합금 공장은 주로 절삭 공구와 정밀 금형을 생산하여 베이징 및 인근 지역의 기계 가공 및 전자 산업에 서비스를 제공했습니다. 1970 년대 에는 베이징 비철금속 연구소와 협력하여 전자 부품 제조용 고정밀 초경합금 금형을 개발했습니다. 1980 년대 개혁 개방 이후 , 베이징 공장은 해외 기술을 도입하여 코팅 초경 공구를 개발했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

주요 특징

베이징 시멘트 카바이드 공장은 다음을 포함한 정밀 가공 분야에서 유명합니다.

기술 연구개발 : 베이징 비철금속 연구소 및 기타 기관과 협력하여 고정밀 시멘트 카바이드 소재 개발에 주력합니다.

적용 분야 : 이 제품은 주로 전자 산업, 항공 우주 산업 등 첨단 제조 분야에서 사용되어 베이징의 첨단 기술 요구를 충족합니다.

지리적 이점 : 수도에 위치하므로 정책 지원과 기술 자원을 얻기 쉽습니다.

현상 유지

베이징 초경합금 공장은 중국 비철금속 연구원에 통합되어 고급 초경합금 소재의 연구 개발 및 생산에 집중하고 있습니다. 이 회사의 제품은 주로 항공우주, 전자 산업, 정밀 제조 분야에 사용되며, 고엔트로피 합금 및 나노소재와 같은 국가 중점 과학 연구 프로젝트에도 참여하고 있습니다.

6. 호북 강주안 (호북 강한 석유시추기유한회사)

기원 및 건설 역사

후베이 장잔(Hubei Jiangzuan) 또는 후베이 장한 오일 드릴 비트 유한회사는 1973 년에 설립 되었으며 후베이성 징저우 시. "제 3 선 건설" 시기에 석유 산업 발전을 지원하기 위해 설립된 중요한 초경합금 생산 기업입니다. 징저우 장한 평원에 위치하며 , 중국의 중요 유전인 장한 유전과 인접해 있어 석유 산업에 서비스를 제공하기에 편리한 지리적 이점을 갖추고 있습니다. 후베이 장잔의 설립 배경은 1970 년대 중국 석유 산업의 급속한 발전, 특히 다칭 유전과 장한 유전 의 개발로 고성능 초경 드릴 비트 수요가 급증한 데 있습니다.

건설 및 개발

후베이 장잔은 초기에 석유 시추용 초경 드릴 비트와 공구 생산에 주력했습니다. 장한 유전 의 실제 수요에 맞춰 다양한 내마모성, 고강도 초경 제품을 개발했습니다. 1970 년대 후반에는 국내 과학 연구 기관과 협력하여 복잡한 지질 조건에 적합한 초경 드릴 비트를 개발했습니다. 1980 년대 개혁 개방 이후 , 후베이 장잔은 선진 해외 기술을 도입하고 다이아몬드 복합 소재(PDC) 드릴 비트를 개발하여 시추 효율을 더욱 향상시켰습니다.

주요 특징

후베이 장잔은 석유 시추 분야에서 전문적인 생산으로 잘 알려져 있으며, 다음과 같은 특징이 있습니다.

산업 중점 분야 : 석유 굴착용 시멘트 초경 공구에 중점을 두고 있으며, 해당 제품은 장한 유전, 다칭 유전 등 국내 주요 유전에 직접 서비스를 제공합니다 .

기술 혁신 : 다이아몬드 복합 조각 기술은 1980 년대에 도입되었으며, 개발된 PDC 드릴 비트는 심공 및 단단한 지층 드릴링에서 좋은 성능을 보였습니다.

지리적 이점 : 장한 유전 과 가까워 유전기업과의 협력이 편리하고 시장 수요에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

신속하게 대응할 수 있습니다.

현상 유지

후베이 장쑤는 현재 중국석유화학공사(시노펙) 산하의 주요 기업으로, 석유 시추 비트 및 초경 공구 분야의 국내 선도 제조업체 중 하나입니다. 이 회사의 제품은 석유 및 가스 시추 분야에 적용되며, 중동, 북미 등 여러 지역으로 수출됩니다. 후베이 장쑤는 심해 시추 및 비전통 석유 및 가스 자원 개발 수요를 충족하기 위해 지능형 제조를 지속적으로 추진하고 고성능 드릴 비트를 개발하고 있습니다.

7. 청두 초경 공장(청두 공구 연구소)

기원 및 건설 역사

청두 공구연구소 산하 청두 초경합금 공장은 1965년에 설립되었으며, 쓰촨성 청두에 위치하고 있습니다. 청두 초경합금 공장은 “제3선 건설” 시기 서남부 지역의 또 다른 중요한 초경합금 생산 기지입니다. 청두 공구연구소는 고성능 절삭 공구 및 초경합금 소재 개발을 위해 기계공업부에 의해 설립되었으며, 청두 초경합금 공장은 이 연구소의 생산 기지입니다.

건설 및 개발

청두 초경합금 공장은 초창기에는 절삭 공구와 금형을 주로 생산하여 서남부 지역의 기계 제조 및 항공 산업에 서비스를 제공했습니다. 1970년대에는 항공기 엔진 가공용 고정밀 초경합금 공구를 개발했습니다. 1980년대 개혁 개방 이후, 청두 공장은 외국 기업과 협력하여 코팅 기술을 도입하고 고성능 코팅 공구를 개발했습니다.

주요 특징

청두 시멘트 초경공장은 절삭 공구 분야의 기술 연구 및 개발로 잘 알려져 있으며, 다음과 같은 특징을 가지고 있습니다.

과학 연구 지원 : 청두도구연구소를 통해 강력한 기술 연구 개발 역량을 갖추고 있습니다.

항공 응용 분야 : 해당 제품은 항공기 엔진 블레이드 가공 등 항공 산업에서 널리 사용됩니다.

기술 협력 : 1980년대 부터 우리는 절삭 효율성을 향상시키는 코팅 도구를 개발하기 위해 외국 기업과 협력해 왔습니다.

현상 유지

청두공구연구소는 현재 중국기계공업집단공사의 자회사이며, 초경 생산 사업은 청두공구유한공사에 통합되었습니다. 회사는 고성능 절삭 공구 및 초경 금형의 연구 개발 및 생산에 주력하고 있으며, 제품은 항공우주, 자동차 제조 등의 분야에 사용됩니다. 청두공구연구소는 여전히 국내 공구 산업의 연구개발 센터 중 하나입니다.

8. 상하이 초경합금 공장

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기원 및 건설 역사

상하이 초경합금 공장은 1958년에 설립되어 상하이 에 위치하고 있습니다 . 신중국 건국 이후 설립된 가장 오래된 초경합금 생산 기업 중 하나입니다. 상하이는 중국의 산업 중심지로서 기계 제조 및 전자 산업을 발전시켜 왔습니다. 상하이 초경합금 공장의 설립은 화동 지역의 초경합금 소재 수요를 충족하는 것을 목표로 합니다.

건설 및 개발

초창기 상하이 초경합금 공장은 주로 절삭 공구와 내마모성 부품을 생산하여 상하이 및 인근 지역의 기계 가공 산업에 서비스를 제공했습니다. 1960년대 에는 상하이 교통 대학교와 협력하여 전자 산업에 사용되는 고정밀 초경합금 금형을 개발했습니다. 1970년대 에는 화동 지역의 광업 발전을 지원하기 위해 광산 공구를 생산하기 시작했습니다. 1980년대 개혁 개방 이후 , 상하이 공장은 외국 기술을 도입하여 코팅 초경 공구를 개발했습니다.

주요 특징

상하이 시멘트 카바이드 공장은 절삭 공구와 전자 산업에 응용되는 제품으로 유명하며, 다음과 같은 특징이 있습니다.

산업 기반 : 상하이의 산업 기반에 의지하여, 당사의 제품은 기계 제조 및 전자 산업에서 널리 사용됩니다.

기술 협력 : 상하이 교통 대학 등 대학 과 협력하여 고정밀 초경 금형을 개발합니다.

수출 능력 : 1980년대 부터 상하이 공장의 제품은 동남아시아로 수출되기 시작하여 국제 경쟁력을 강화했습니다.

현상 유지

상하이 초경합금 공장은 상하이 전기그룹 계열사인 상하이 공구공장(Shanghai Tool Factory Co., Ltd.)으로 통합되었습니다. 상하이 공구공장은 절삭 공구 및 초경합금 금형 생산에 주력하고 있으며, 자동차 제조, 전자 산업 등 다양한 분야에 제품을 공급하고 있습니다. 상하이 공구공장은 지능형 생산을 촉진하는 동시에 화동 지역 초경합금 산업에서 중요한 역할을 수행하고 있습니다.

9. 시안 초경합금 공장

기원 및 건설 역사

시안 초경합금 공장은 1969년에 설립되었으며 산시성 시안 에 위치하고 있습니다 . "3선 건설" 기간 동안 북서부에 건설된 초경합금 생산 기지입니다. 북서부 지역의 중요한 산업 도시인 시안은 항공 산업과 기계 제조 산업이 발달했습니다. 시안 초경합금 공장의 설립은 북서부 지역의 산업 발전을 지원하는 것을 목표로 합니다.

건설 및 개발

시안 초경합금 공장은 초기에 광산용 공구와 절삭 공구를 생산하여 산시성 및 인근 지역의 광업 및 기계 제조 산업에 서비스를 제공했습니다. 1970년대 에는 항공 산업용 초경 공구를 개발했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

주요 특징

지역 서비스 : 이 제품은 주로 북서부 지역의 광업 및 항공 산업에 서비스를 제공합니다.

기술 축적 : 시안 교통 대학 등 대학 과 협력하여 고성능 초경 공구를 개발합니다.

현상 유지

시안 시멘트 초경공장은 현재 중국항공공업그룹의 자회사로 통합되어 항공용 시멘트 초경 공구 생산에 주력하고 있습니다.

10. 창사 초경합금 공장

기원 및 건설 역사

창사 초경합금 공장은 1960 년대에 설립되었으며 후난성 창사시 에 위치하고 있습니다 . 후난성의 텅스텐 광석 자원을 활용하여 주저우 601 공장에 이어 후난성에 설립된 또 다른 초경합금 생산 기지입니다.

건설 및 개발

창사 초경합금 공장은 초기에는 후난성과 인근 지역의 광산업을 지원하기 위해 광산 공구와 내마모성 부품을 생산했습니다. 1980 년대 에는 기계 제조 산업에 필요한 절삭 공구를 개발했습니다.

주요 특징

자원 지원 : 주저우 601 공장과 공동으로 후난 텅스텐 광석 자원을 활용합니다.

지역 협력 : 주저우 공장을 보완하고 후난성의 시멘트 카바이드 산업 발전을 지원합니다.

현상 유지

창사 초경합금 공장은 현재 주저우 초경합금 그룹에 편입되어 광산 도구 생산에 중점을 둔 중속 생산 기지 중 하나가 되었습니다.

주저우 601 공장, 쓰궁 764 공장, 난창 603 공장, 무단장 212 공장, 베이징 초경합금공장, 후베이 장쑤 , 청두 초경합금공장, 상하이 초경합금공장, 시안 초경합금공장, 창사 초경합금공장은 중국 초경합금 산업 발전의 중요한 대표 기업으로, 다양한 역사적 시기와 지역적 배경 속에서 산업 발전에 기여해 왔습니다. 주저우 601 공장과 쓰궁 764 공장은 기술 전수 및 산업 협력 측면에서 간접적인 연계를 맺고 있으며, 중국 초경합금 산업 발전을 공동으로 촉진해 왔습니다. 주저우 601 공장은 산업의 기반을 마련했고, 쓰궁 764 공장, 난창 603 공장, 후베이 장쑤 , 청두 초경합금 공장은 자원과 지역적 이점을 활용하여 남서부 지역 및 석유 산업에 서비스를 제공하며, 베이징 초경합금 공장과 상하이 초경합금 공장은 고급 응용 분야에 집중하고, 무단장 212 공장은 동북부 지역 산업 및 국방 건설을 지원하며, 시안 초경합금 공장과 창사 초경합금 공장은 서북부 및 후난 지역에 서비스를 제공합니다. 이러한 공장들의 건설 및 개발은 기술 도입에서 자립적 혁신으로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

나아가는 중국의 여정을 반영하며, 현재 친환경 스마트 제조와 글로벌 경쟁에서 중요한 역할을 수행하고 있습니다.



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 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

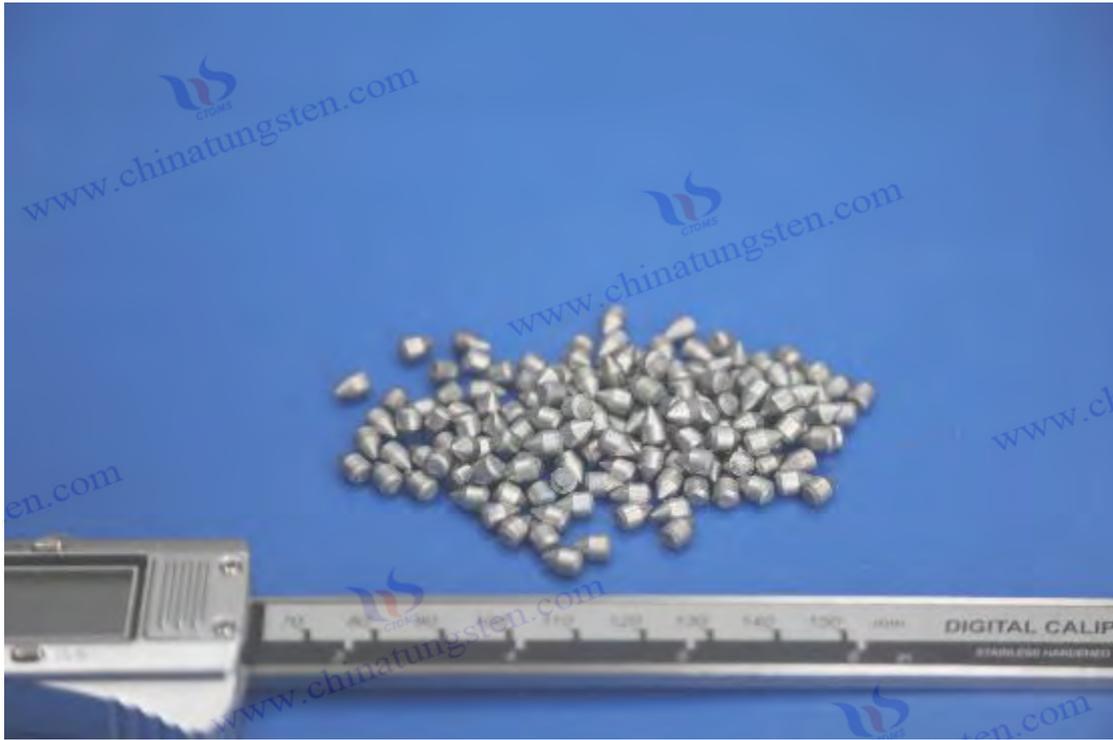
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



부록 :

중국의 텅스텐 및 초경합금 산업 발전

1. 설립 배경 및 과정

중국비철금속공업집단공사(이하 "비철금속공사")의 설립은 중국 비철금속 산업이 계획경제에서 시장경제로 전환되는 데 있어 중요한 단계입니다. 1949년 중화인민공화국 수립 이후 비철금속 산업은 국가가 중앙집권적으로 관리했으며, 텅스텐 자원은 전략적 광물로 높은 가치를 지녔습니다. 1978년 개혁개방 이후, 국가는 경제 관리 체계를 점진적으로 조정하여 계획경제에서 시장경제로 전환했습니다. 1981년 10월, 국가경제위원회는 국무원의 지시에 따라 국가비철금속총국을 설립하여 전국 비철금속 산업 발전을 총괄했습니다("중화인민공화국 경제선집·1981"). 1982년 9월 25일, 국무원은 "비철금속 관리제도 조정에 관한 결정"(국발[1982]제 169호)을 발표하여 국가비철금속총국을 법인으로 개편하고 중국비철금속공업집단공사를 설립하기로 결정했습니다. 1983년 4월 15일, 국무원은 "국가경제위원회의 중국비철금속공업집단공사 설립에 관한 보고서"(국경[1983]제 45호)를 정식으로 승인하여 비철금속공업집단공사를 정식 설립하고 국무원 국유자산감독관리위원회(SASAC)의 직속으로 관리하게 되었습니다. 중앙기업으로서 비철금속의 생산, 무역 및 국제 협력을 담당합니다.

비철금속회사의 설립은 중국의 텅스텐 자원 개발 및 초경합금 산업의 국제화와 밀접한 관련이 있습니다. 1983년 2월 국무원은 "대의 경제 및 기술 교류 확대에 관한 몇 가지 규정"(국발[1983]제 28호)을 발표하여 비철금속회사가 선전, 주하이,

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

산터우, 샤먼과 같은 경제특구에서 시범 사업을 하도록 요구하고, 수출입에 있어 지역 및 기업의 자율성을 부여했습니다. 이를 위해 비철금속회사는 1983년 6월 홍콩에 첫 해외 지사를 설립한 후, 선전, 주하이, 샤먼에 사무소를, 일본, 미국, 한국, 호주 등에 대표 사무소를 설립하여 텅스텐 및 초경합금 제품의 국제화를 지원하는 무역 네트워크를 구축했습니다.

2. 조직 구조

비철금속 회사의 조직 구조는 텅스텐 및 초경합금 산업의 경영 요구를 중심으로 설계되었습니다. 본사와 생산, 무역, 기술 연구 개발을 담당하는 산하 부서로 구분되어 있습니다("중국 비철금속 산업 연감 1985"에 따르면):

본사는

베이징에 위치하고 있으며, 다음으로 구성되어 있습니다.

생산 관리 부서: 텅스텐 채굴 및 시멘트 카바이드 생산 계획을 담당하고, 전국의 주요 텅스텐 채굴 프로젝트를 관리합니다.

수입 및 수출 무역부: 텅스텐 제품 및 초경합금의 수출 할당량 할당 및 국제 시장 개발을 담당합니다.

기술 연구개발부: 텅스텐 및 시멘트 카바이드 기술의 도입과 개발을 조정합니다.

재무부: 자금과 비용을 관리합니다.

인사부: 인사관리를 담당합니다.

텅스텐 및 시멘트 카바이드와 관련된 단위는 다음과 같습니다.

주저우 초경합금 공장

이 공장은 1954년에 설립되었으며 비철금속회사(Nonferrous Metals Company)에 소속되어 있습니다. 국내 최대 규모의 초경합금 생산 기지로, WC-Co 절삭 공구와 내마모성 소재를 생산합니다.

난창 초경합금 공장

이 공장은 텅스텐 카바이드 분말과 시멘트 카바이드 제품을 생산하기 위해 1965년에 설립되었습니다.

중국비철금속수출입공사

1983년에 설립되었으며, 텅스텐과 시멘트 카바이드의 수출과 원자재 수입을 담당합니다.

텅스텐 산업 기술 R&D 센터

합금을 개발하기 위해 중국과학원 금속연구소와 함께 1988년에 설립되었습니다.

해외지사

홍콩지사(1983년 6월 설립)는 텅스텐 및 시멘트 카바이드 수출의 주요 창구이며, 일본, 미국, 한국, 호주에 있는 대표 사무소는 국제 무역을 지원합니다.

3. 텅스텐 자원 및 초경합금 산업 발전

비철금속 회사는 풍부한 텅스텐 매장량과 첨단 기술에 의존하여 중국의 텅스텐 자원 개발과 시멘트 카바이드 산업을 주도하고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 자원 개발

중국의 텅스텐 매장량은 약 200 만 톤으로, 전 세계 매장량의 47%를 차지하며(ITIA 2023 자료), 장시성은 전국 매장량의 60% 이상을 차지합니다. 1980 년대 에는 장시성의 서화산 텅스텐 광산 (1907 년 발견, 매장량 20 만 톤), 간저우성의 다 지산 텅스텐 광산(1958 년 개발, 매장량 15 만 톤), 그리고 후난성의 석주 위안 텅스텐 다금속 광산(1980 년대 개발)을 통합했습니다 . 1984 년 “제 6 차 비철금속공업 5 개년 계획”(1981-1985)에서는 자원의 지속가능성을 보호하기 위해 텅스텐 광석의 연간 채굴량을 3 만 5 천 톤 이내로 제한할 것을 제안했습니다. 1990 년 비철금속 회사 자회사의 텅스텐 정광 연간 생산량은 약 3 만 톤으로, 전국 생산량의 70%를 차지했습니다(국가통계국, 1990 년 공업통계연보).

초경합금 생산

비철금속 기업들은 초경합금 산업 발전을 촉진합니다. 1985 년 주저우 초경합금 공장은 소련 분말야금 기술을 도입하여 생산된 WC-6%Co 초경합금 공구의 절삭 수명이 고속도강보다 3 배 높았습니다(중국 비철금속 산업협회 기술 기록 보관소). 1987 년 난창 초경합금 공장은 연간 500 톤의 텅스텐 카바이드 분말을 생산하는 생산 라인을 구축하여 연간 생산량이 약 8 천만 위안에 달했습니다 (1987 년 국가통계국 공업통계). 1990 년 전국 초경합금 생산량은 약 1 만 5 천 톤이었으며, 그중 비철금속 회사 자회사가 약 60%를 차지했습니다(1990 년 국가통계국 자료). 1988 년 기술연구개발센터는 발사체 엔진에 사용할 텅스텐 기반 고온 합금을 개발했습니다.

수출입 업무 관리

비철금속 회사는 텅스텐 및 초경합금의 수출입을 담당하는 주요 채널입니다. 1983 년 6 월 국무원은 “비철금속 수출 관리 규정 조정에 관한 통지”(국발 [1983] 제 87 호)를 발표하여 비철금속 회사를 할당량 관리 담당 기관으로 지정했습니다. 1985 년에는 약 15,000 톤의 텅스텐 제품(경합금 및 텅스텐 와이어)이 수출되어 전국의 85%를 차지했습니다(1985 년 세관총서 통계). 주요 시장은 일본(미쓰이물산), 미국(제너럴 일렉트릭), 캐나다(노란다)였습니다. 1986 년 홍콩 지사는 런던금속거래소에 등록하고 텅스텐 제품을 상장했으며, 국제텅스텐협정 협상에 참여했습니다. 1990 년대 초반에는 고급 시멘트 카바이드 생산을 지원하기 위해 매년 약 500 톤의 고순도 텅스텐 원료가 수입되었습니다(1992 년 상무부 자료).

정책 및 기술 지원

1988 년 기술연구개발센터는 항공우주 산업에 사용되는 텅스텐 기반 고온 합금을 개발했습니다. 1992 년에는 “텅스텐 산업 관리 조치”(국가경제무역[1992] 제 123 호)를 통해 채굴 및 수출을 규제하고 소규모 광산에서의 무분별 채굴을 제한했습니다.

4. 해산 및 상속

1997 년 4 월 16 일, 국무원은 “국유기업 개혁 심화에 관한 결정”(국발 [1997] 제 5 호)을 통해 비철금속회사의 재편을 추진했고, 우량 자산을 매각하여 중국비철금속건설(NFC)을 설립했습니다. 1997 년 11 월 20 일, 중국비철금속건설은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

상장(주식 코드: 000758)되었으며, 엔지니어링 사업(중국비철금속건설 공식 웹사이트 www.nfc.com.cn)을 인수했습니다. 2003년 10월 국무원의 "국유기업 재편에 관한 지도의견"(국발 [2003]96호)은 비철금속회사 해산을 승인하고, 텅스텐 및 초경합금사업을 장시텅스텐공업과 중국 민금속 그룹으로 이관하고, 수출입관리권은 상무부에 반환했습니다.

5. 중요성과 영향

비철금속 기업들은 중국의 텅스텐 및 초경합금 산업을 계획경제에서 시장경제로 전환하는 데 기여해 왔습니다. 이들의 국제화 전략은 텅스텐 수출이 전 세계 수출의 50%를 차지하도록 이끌었습니다(ITIA 1990 보고서). 2023년 텅스텐 정광 생산량은 11만 4천 톤에 달할 것이며, 초경합금 심가공 비중은 40%에 달할 것으로 예상됩니다(2023년 국가통계국 자료). 이는 이들이 쌓아온 산업 기반을 반영합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



부록 :

ISO 513:2012 경질 절삭 재료의 분류 및 적용
금속 절단용 모서리 - 주요 범주 및 적용 범주 지정
정의된 절삭날을 갖는 금속 제거를 위한 경질 절삭 재료의 분류 및 적용 - 주요 그룹
및 적용 그룹 지정

국제 표준 "ISO 513:2012"의 중국어 버전

표준 번호
ISO 513:2012

표준 이름(중국어)
경질 절삭 재료, 금속 절삭을 위한 정의된 절삭 모서리를 갖는 재료의 분류 및 응용
- 주요 클래스 및 응용 클래스 지정

표준명(원래 영어)
정의된 절삭날을 갖는 금속 제거를 위한 경질 절삭 재료의 분류 및 적용 - 주요 그룹
및 적용 그룹 지정

출판사
국제 표준화 기구(ISO)
기술 위원회
ISO/TC 29/SC 9(소형 공구 기술 위원회/경질 절삭 재료 분과위원회)

첫 번째 출시일

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

2012년 11월 5일

현재 버전 상태

출시일: 2012년 11월 5일

최종 검토 및 확인: 2018

현재 상태 : 현재 시행 중 (2025년 5월 20일 기준)

언어

공식 언어: 영어, 프랑스어

중국어 번역: 비공식 언어 버전(이 문서는 중국어에서 번역되었습니다)

적용 범위

본 국제 표준은 초경합금(경금속), 세라믹, 다이아몬드, 입방정 질화붕소 등의 재료를 포함하여 금속 칩 제거 작업을 위한 경질삭 재료의 분류 및 용도를 규정하고, 주요 범주와 적용 분야를 제시합니다. 본 표준은 금속 재료의 절삭 작업을 위해 절삭날이 정의된 공구에 적용됩니다.

적용 불가능한 범위:

광산 및 기타 충격 도구

와이어 드로잉 다이;

금속 변형을 이용한 작업 도구;

비교기 집점 및 기타 용도.

분류 시스템

이 표준은 경삭재를 주요 범주와 응용 범주로 구분합니다. 주요 범주와 응용 범주는 다음과 같습니다.

재료 유형별 주요 범주:

경질탄화물(경금속, 코드: H): 텅스텐 탄화물(WC) 또는 티타늄 탄화물 (TiC)을 기반으로 코발트(Co) 또는 니켈(Ni)과 같은 바인더와 결합된 것입니다.

세라믹(코드: C): 산화 알루미늄 (Al_2O_3), 질화규소 (Si_3N_4) 등을 포함합니다.

다이아몬드(코드: D): 천연 다이아몬드와 합성 다결정 다이아몬드(PCD)를 포함합니다.

입방형 질화붕소(코드: B): 단결정 입방형 질화붕소(CBN)와 다결정 입방형 질화붕소(PCBN)를 포함합니다.

신청 유형(처리 목적별):

P 등급(강철 가공에 적합): 일반강, 스테인리스강, 합금강 등

M 등급(스테인리스강 및 내열합금 가공에 적합): 오스테나이트계 스테인리스강 및 니켈 기반 합금 등.

K 등급(주철 가공에 적합): 회주철, 연성주철 등.

N 카테고리(비철 금속 가공에 적합): 알루미늄, 구리 및 그 합금 등.

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

S 등급(고온 합금 가공에 적합): 티타늄 합금, 니켈 기반 고온 합금 등.
H 등급(단단한 소재 가공에 적합): 경화강(경도 > 45 HRC) 및 단단한 주철 등.

애플리케이션 카테고리를 지정하는 방법

코드 구조: 각 애플리케이션 범주는 문자와 숫자의 조합으로 표현됩니다.

문자는 처리되는 재료의 유형(P, M, K, N, S, H)을 나타냅니다.

숫자는 절삭 조건이나 재료 속성의 수준을 나타냅니다(일반적으로 01~50, 숫자가 클수록 절삭 조건이 더 심각하거나 재료가 더 단단합니다).

예: P10은 강철 가공에 적합한 경부하 절삭을 의미하고, K20은 주철 가공에 적합한 중부하 절삭을 의미합니다.

조합 예:

초경 공구, 코드명 "HM P20": 강철(P) 가공의 중부하 절삭(20)에 적합한 초경(HM) 소재를 나타냅니다.

입방정 질화붕소 공구, 코드명 "BN H05": 경질 재료(H) 가공의 경부하 절삭(05)에 적합한 입방정 질화붕소(BN) 재료를 나타냅니다.

표준의 목적

통합 분류: 경질 절삭 재료에 대한 전 세계적으로 통합된 분류 시스템을 제공하여 제조업체와 사용자가 적절한 절삭 재료를 더 쉽게 선택할 수 있도록 해줍니다.

적용 지침: 주요 범주와 적용 범주를 지정하여 사용자가 가공 소재와 절삭 조건에 따라 가장 적합한 경질 절삭 소재를 선택하는 데 도움이 됩니다.

무역 촉진: 경삭재의 국제 무역과 기술 교류를 촉진하기 위해 코드와 분류를 표준화합니다.

관련 표준

ISO 1832: 공구의 기하학과 재료를 지정하는 데 사용되는 절삭 공구의 지정 시스템.

ISO 5608: 선삭 및 밀링 공구에 대한 지정 시스템.

ISO 9001: 품질 관리 시스템 표준(경질 절삭 재료 생산과 관련됨).

사용 시나리오

이 표준은 다음을 포함하되 이에 국한되지 않는 기계 가공 산업에서 널리 사용됩니다.

자동차 제조: 엔진 부품, 크랭크샤프트, 기어 등을 가공합니다.

항공우주: 고온 합금 및 티타늄 합금 부품 가공.

금형 제작: 강화된 강철 금형을 가공합니다.

일반 기계: 주철 및 비철 금속 부품 가공.

그것을 얻는 방법

공식 출처: [ISO 공식 웹사이트\(www.iso.org\)](http://www.iso.org)에서 영어 또는 프랑스어로 PDF 또는 종이 버전을 구매할 수 있습니다.

기타 채널: ANSI(American National Standards Institute), BSI(British Standards Institution) 등의 공인 유통업체를 통해 구매하세요.

참고: 일부 국가 및 지역에서는 번역된 버전을 제공할 수 있지만, 번역된 버전의

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

정확성을 반드시 보장해야 합니다.

역사

ISO 513:2004: 이전 버전은 2004 년에 발행되었으며 2012 년에 현재 버전으로 대체되었습니다.

ISO 513:1991: 1991 년에 발행되어 2004 년에 대체된 초기 버전.

추가 참고 사항

이 표준은 경질 절삭 소재의 특정 성능 매개변수(경도, 굽힘 강도 등)를 포함하지 않습니다. 사용자는 소재 공급업체가 제공한 데이터를 기반으로 선택해야 합니다.

최상의 가공 결과를 보장하기 위해서는 이 표준의 적용 범주 코드를 절삭 조건(절삭 속도, 이송 속도, 냉각 방법 등)과 함께 사용해야 합니다.

결론적으로

ISO 513:2012 는 초경합금, 세라믹, 다이아몬드, 입방정 질화붕소 등 다양한 소재를 포괄하는 경삭재의 분류 및 적용에 대한 국제적으로 통일된 규격을 제공하며, 다양한 금속 절삭 조건에 적합합니다. 명확한 코드 체계를 통해 사용자는 적합한 절삭 소재를 신속하게 선택하여 가공 효율과 공구 수명을 향상시킬 수 있습니다. 이 표준은 기계 가공 산업에 매우 중요하며, 경삭재의 표준화 및 국제적 적용을 촉진합니다.

추가 참고 사항

위의 내용은 정확성과 권위성을 보장하기 위해 ISO 공식 웹사이트와 기타 표준 데이터베이스의 정보를 기반으로 작성되었습니다.

중국어 이름과 일부 설명은 번역 및 편집된 것이며, ISO 의 공식 중국어 버전이 아니며, 참고용으로만 제공됩니다.

표준의 원본이나 더 자세한 정보를 얻고 싶다면 ISO 공식 웹사이트를 방문하거나 공인 유통업체에 문의하는 것이 좋습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



정의된 절삭날을 갖는 금속 제거를 위한 경질 절삭 재료의 분류 및 적용 - 주요 그룹
및 적용 그룹 지정

경질 절삭 재료, 금속 절삭을 위한 정의된 절삭 날이 있는 재료의 분류 및 적용
- 주요 카테고리 및 응용 카테고리 지정

국제 표준 ISO 513:2012 (영어 버전)

표준 번호

ISO 513:2012

표준 제목(영어)

정의된 절삭날을 갖는 금속 제거를 위한 경질 절삭 재료의 분류 및 적용 - 주요 그룹
및 적용 그룹 지정

표준 제목(참고용으로 중국어로 번역됨)

경질 절삭 재료, 금속 절삭을 위한 정의된 절삭 모서리를 갖는 재료의 분류 및 응용
- 주요 클래스 및 응용 클래스 지정

출판사

국제 표준화 기구(ISO)

기술 위원회

ISO/TC 29/SC 9(소형 공구 기술 위원회/경질삭 소재 분과위원회)

첫 번째 출판 날짜

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

2012년 11월 5일

현재 버전 상태

출판일: 2012년 11월 5일

최종 검토 및 확인: 2018

현재 상태: 활성(2025년 5월 20일 기준)

언어 버전

공식 언어: 영어, 프랑스어

기타 언어: 특정 지역에서는 비공식 번역이 제공될 수 있습니다(예: 위에 언급된 중국어)

범위

초경합금(탄화물), 세라믹, 다이아몬드, 입방정 질화붕소 등 절삭날이 정의된 금속 제거용 경절삭재의 분류 및 용도를 규정합니다. 이러한 재료의 주요 그룹과 적용 분야를 명시합니다. 본 규격은 금속 재료 절삭에 사용되는 절삭날이 정의된 공구에 적용됩니다.

제외 사항:

광산이나 기타 충격 응용 분야에 사용되는 도구

와이어 드로잉 다이;

변형을 통해 금속을 성형하는 데 사용되는 도구.

비교기 접촉 팁이나 기타 비절단 용도와 같은 응용 분야입니다.

분류 시스템

이 표준은 경삭재를 다음과 같이 주요 그룹과 적용 그룹으로 분류합니다.

주요 그룹(재료 유형 기준):

경금속(코드: H): 바인더로 코발트(Co) 또는 니켈(Ni)을 첨가한 텅스텐 카바이드(WC) 또는 티타늄 카바이드(TiC)를 기반으로 합니다.

세라믹(코드: C): 알루미늄(Al_2O_3), 질화규소(Si_3N_4) 등이 포함됩니다.

다이아몬드(코드: D): 천연 다이아몬드와 다결정 다이아몬드(PCD)를 포함합니다.

입방형 질화붕소(코드: B): 단결정 입방형 질화붕소(CBN)와 다결정 입방형 질화붕소(PCBN)를 포함합니다.

적용 그룹(가공 용도 기준):

P 그룹(강철 가공용): 일반강, 스테인리스강, 합금강이 포함됩니다.

M 그룹(스테인리스강 및 내열합금 가공용): 오스테나이트계 스테인리스강, 니켈 기반 합금이 포함됩니다.

K 그룹(주철 가공용): 회주철, 연성주철을 포함합니다.

N 그룹(비철 금속 가공용): 알루미늄, 구리 및 그 합금이 포함됩니다.

S 그룹(고온 합금 가공용): 티타늄 합금, 니켈 기반 초합금이 포함됩니다.

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

H 그룹(경질 소재 가공용): 경화강(>45 HRC), 경질 주철이 포함됩니다.

응용 프로그램 그룹에 대한 지정 방법

코드 구조: 각 애플리케이션 그룹은 문자와 숫자의 조합으로 표현됩니다.

문자는 가공할 재료의 종류(P, M, K, N, S, H)를 나타냅니다.

숫자는 절삭 조건이나 재료 성능 수준을 나타냅니다(일반적으로 01~50, 숫자가 높을수록 더 까다로운 조건이나 더 단단한 재료를 나타냄).

예: P10은 강철의 경부하 절단에 적합함을 나타내고, K20은 주철의 중부하 절단에 적합함을 나타냅니다.

조합 예:

경금속 도구, 코드 "HM P20": 강철(P)의 중간 하중 절단(20)에 적합한 경금속(HM) 소재를 나타냅니다.

입방형 질화붕소 공구, 코드 "BN H05": 경질 재료(H)의 경부하 절단(05)에 적합한 입방형 질화붕소(BN) 재료를 나타냅니다.

표준의 목적

통합 분류: 경질 절삭 소재에 대한 전 세계적으로 인정된 분류 시스템을 제공하여 제조업체와 사용자가 쉽게 선택할 수 있도록 돕습니다.

적용 지침: 사용자가 가공할 소재와 절삭 조건에 따라 가장 적합한 절삭 소재를 선택하도록 돕습니다.

무역 원활화: 경삭재의 국제 무역과 기술 교류를 촉진하기 위해 코드와 분류를 표준화합니다.

관련 표준

ISO 1832: 절삭 공구에 대한 명칭 시스템, 공구의 형상과 재료 지정.

ISO 5608: 선삭 및 밀링 공구에 대한 지정 시스템.

ISO 9001: 품질 관리 시스템 표준(경질 절삭 재료 생산과 관련됨).

사용 시나리오

이 표준은 다음을 포함하되 이에 국한되지 않는 기계 가공 산업에 널리 적용됩니다.

자동차 제조: 엔진 구성품, 크랭크샤프트, 기어 등을 가공합니다.

항공우주: 고온 합금 및 티타늄 합금 가공.

금형 제작: 강화된 강철 금형을 기계로 가공합니다.

일반 기계: 주철 및 비철 금속 부품 가공.

유효성

공식 출처: ISO 공식 웹사이트(www.iso.org)에서 PDF 또는 종이 형식으로 구매 가능합니다.

기타 채널: ANSI(American National Standards Institute), BSI(British Standards Institution) 등의 공인 유통업체를 통해 구매할 수 있습니다.

참고: 일부 지역에서는 번역된 버전을 제공할 수 있지만, 정확성은 공식 영어 또는 프랑스어 버전과 비교해서 확인해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

역사적 버전

ISO 513:2004: 이전 버전은 2004 년에 발행되었으며 2012 년 버전으로 대체되었습니다.
ISO 513:1991: 1991 년에 발행된 초기 버전으로, 2004 년 버전으로 대체되었습니다.

추가 참고 사항

예 : 경도, 굽힘 강도) 를 명시하지 않습니다 . 자세한 사양은 소재 공급업체의 데이터를 참조하시기 바랍니다.

최적의 가공 성능을 보장하기 위해 응용 프로그램 그룹 코드는 절삭 조건(예 : 절삭 속도, 이송 속도, 냉각 방법) 과 함께 사용해야 합니다 .

결론

ISO 513:2012 는 경금속 , 세라믹, 다이아몬드, 입방정 질화붕소 를 포함하는 경절삭 소재의 분류 및 적용에 대한 국제 표준화된 프레임워크를 제공합니다 . 이 표준은 광범위한 금속 절삭 시나리오에 적용 가능합니다. 명확한 명칭 시스템을 통해 사용자는 적합한 절삭 소재를 효율적으로 선택하여 가공 효율과 공구 수명을 향상시킬 수 있습니다. 이 표준은 경절삭 소재의 표준화 및 국제 적용을 촉진하여 가공 산업에서 중요한 역할을 수행합니다.

보충 자료

내용은 ISO 공식 웹사이트와 표준 데이터베이스의 정보를 바탕으로 작성되어 정확성과 진위성을 보장합니다.

앞서 제공된 중국어 번역은 참고용일 뿐이며 공식 ISO 버전이 아닙니다.

원래 표준 텍스트나 자세한 내용을 알아보려면 ISO 공식 웹사이트를 방문하거나 공인 유통업체에 문의하시기 바랍니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



부록 :

초경합금, 고속도강 및 초경합금 재료의 비교

1. 정의 및 구성

재료 유형	정의	주요 성분
초경합금 경금속 / 초경합금	단단한 카바이드 입자와 금속 바인더로 소결한 복합 소재로, 경도가 높고 내마모성이 강합니다.	경질상: 텅스텐 카바이드(WC, 70~95%), 티타늄 카바이드 (TiC), 탄탈륨 카바이드 (TaC). 바인더상: 코발트(Co, 5~15%), 니켈(Ni).
고속도강 고속도강, HSS	탄소와 다양한 합금 원소를 함유한 고합금 공구강으로, 고속 절삭에 적합하며 인성이 우수합니다.	철 기반 합금: 탄소(C, 0.7~1.5%), 텅스텐(W, 6~18%), 몰리브덴(Mo, 0.5~1%), 크롬(Cr, 4~12%), 바나듐(V, 0.1~0.5%), 코발트(Co, 0.5~1%).
초경질 소재 초경질 재료	천연 다이아몬드의 경도에 가깝거나 그 이상의 경도를 지닌 소재는 고정밀이나 극한 가공에 사용됩니다.	천연 다이아몬드, 합성 다이아몬드(PCD), 입방정질화붕소(CBN), 세라믹(Si3N4, Al2O3 등) 등이 있습니다.

데이터 지원:

초경합금: WC 경도 ~1600~2200 HV, 코발트 함량은 인성에 영향을 미칩니다(ScienceDirect, 2020).

고속도강: 일반적인 등급은 M2(W6Mo5Cr4V2), 경도는 ~60~65 HRC(ASM A600)입니다.

초경질 재료: 다이아몬드 경도 ~8000~10000 HV, CBN ~4500 HV(Wikipedia, 2024).

2. 성능 비교

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

성능	초경합금	고속도강	초경질 소재
경도	높음 (1400~2200 HV), 초경도 소재에 이어 두 번째로 높으며 내마모성이 뛰어납니다.	중간 (6065 HRC, 약 700850 HV), 시멘트 카바이드보다 낮음.	매우 높음 (400010000 HV), 내마모성이 가장 뛰어나며 극한 환경에 적합합니다.
강인함	중간 또는 높은 코발트 함량(예: 1015%)은 인성이 좋지만 깨지기 쉽습니다.	높고 강력한 충격 저항성으로 복잡한 절단에 적합합니다.	낮고, 취성이 강하며, 매트릭스 지지체(예: 시멘트 카바이드에 부착된 PCD)가 필요합니다.
내열성	양호 (800~1000° C), 고온 절단에 적합합니다.	중간 (500-600° C), 경도는 고온에서 감소합니다.	우수 (다이아몬드 ~700° C, CBN ~1400° C), CBN 은 특히 내열성이 뛰어납니다.
내식성	더 나은 점은 코발트상은 부식에 강하고, 산과 알칼리에 강하다는 것입니다.	일반적으로 산화되기 쉽기 때문에 코팅 보호가 필요합니다.	다이아몬드/CBN 은 화학적 안정성이 매우 우수합니다.
절삭 속도	높음 (100500m/min), 효율적인 처리에 적합합니다.	중간 (30100 m/min), 카바이드보다 낮음.	매우 높음 (500-2000m/min), 초고속 가공에 적합 합니다 .

데이터 지원:

시멘트 카바이드: 절삭 속도는 고속강보다 35 배 빠릅니다(Sandvik, 2023).

고속도강: 열처리 후 경도는 65HRC 에 도달할 수 있지만, 600° C 이상에서는 연화됩니다(ScienceDirect, 2020).

초경재료: 고온합금의 CBN 절삭 속도는 1000m/min 에 달할 수 있다(Wikipedia, 2024).

3. 제조 공정

재료 유형	제조 공정	특징
초경합금	분말야금 : 탄화물 분말(WC, TiC) 과 코발트 분말을 혼합하여 프레스 성형하고 고온소결(1350~1450° C) 합니다.	공정이 성숙되었고, 입자 크기가 제어 가능하며(0.52 μm) 코발트 함량에 따라 성능을 조절할 수 있습니다.
고속도강	용해, 주조, 열처리(담금질+템퍼링)를 거쳐 단조, 압연 등의 방법으로 성형할 수 있다.	정밀한 열처리(예: 1200° C 담금질)가 필요하며 반복적으로 연마할 수 있습니다.
초경질 소재	고압 고온 합성(HPHT, 5000° C, 5 GPa , 예: PCD, CBN), 화학 기상 증착(CVD, 다이아몬드 코팅).	이 과정은 복잡하고 비용이 많이 들며 기질(예: 시멘트 카바이드)의 지지가 필요합니다.

데이터 지원:

시멘트 카바이드: 소결 시간은 12 시간이며, 입자 크기는 보자력에 영향을 미칩니다(ISO 3326:2013).

고속도강: 열처리 공정이 반복 가능하며 공구 수명이 향상됩니다(ASTM A600).

초경질 재료: HPHT 합성은 많은 에너지를 소모하고, CVD 코팅 두께는 520 μm 입니다 (ScienceDirect, 2020).

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

4. 적용 분야

재료 유형	주요 응용 분야	일반적인 시나리오
초경합금	절삭 공구(선삭 공구, 밀링 커터), 다이, 드릴 비트, 광산 도구.	강철, 주철, 스테인리스강을 가공합니다. 예를 들어 YG8 공구는 대략적인 가공에 사용됩니다.
고속도강	드릴 비트, 밀링 커터, 탭, 톱날, 복잡한 모양을 가공하는 도구.	저속 절단, 연성 소재(알루미늄, 구리 등) 가공; M2 드릴 비트 등.
초경질 소재	정밀 가공 도구, 연마 도구, 와이어 드로잉 다이, 내마모성 코팅.	고온 합금, 세라믹 및 복합 재료를 가공합니다. 예를 들어 CBN 도구를 사용하여 항공 부품을 가공합니다.

데이터 지원:

시멘트 카바이드: 글로벌 공구 시장의 약 50%를 차지합니다.

고속도강: 비용이 저렴하여 하위 도구 시장의 약 30%를 차지합니다.

초경소재: 고급시장에서 PCD/CBN 공구는 항공우주 산업에 사용됩니다.

5. 장단점 비교

재료 유형	이점	결점
초경합금	높은 경도, 강한 내마모성. 우수한 내열성으로 고속 절삭에 적합. 조정 가능한 성능(코발트 함량, 입자 크기)	인성은 고속도강보다 낮고, 날 부분이 쉽게 부러 집니다. 또한, 비용이 고속도강보다 높습니다. 저속 및 고충격 가공에는 적합하지 않습니다.
고속도강	높은 인성, 강력한 내충격성. 반복적인 연삭, 저렴한 비용. 복잡한 형상의 공구 가공이 용이합니다.	경도와 내열성이 낮습니다. 절삭 속도가 느리고 효율이 낮습니다. 마모가 쉽고 자주 교체해야 합니다.
초경질 소재	매우 높은 경도와 긴 수명을 자랑합니다. 초고속 및 정밀 가공에 적합합니다. 높은 화학적 안정성과 내식성을 지닙니다.	매우 취성이 강하고 깨지기 쉽습니다. 제조 비용이 매우 비쌉니다. 철 금속(다이아몬드) 가공에는 적합하지 않습니다.

데이터 지원:

시멘트 카바이드: 공구 수명은 고속강보다 510 배 더 길다(Sandvik, 2023).

고속도강: 비용은 초경합금의 20~30%에 불과합니다().

초경 소재: CBN 공구 수명은 시멘트 카바이드보다 1050 배에 달할 수 있습니다(Wikipedia, 2024).

6. 비용 및 경제성

재료 유형	비용	경제적이다
초경합금	중간(kg 당 \$50, 100).	높은 비용 성능, 중급~고급 가공에 적합, 수명이 길고 교체 빈도가 낮습니다.
고속도강	낮음(kg 당 520 달러).	저비용, 소량 생산 처리에 적합하지만 유지관리 비용이 높습니다(분쇄가 필요함).
초경질 소재	높음(kg 당 1,000-5,000 달러).	초기 비용은 높지만 수명이 매우 길어 고급 정밀 가공에 적합합니다.

7. 제안을 선택하세요

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

시멘트 카바이드: 중·고속 절삭, 일반 가공(강철, 주철, 스테인리스강)에 적합하며, 경도와 인성이 균형 잡혀 있어 산업 생산에 널리 사용됩니다.

고속도강: 저속 절삭, 연성 소재 가공(알루미늄, 구리) 또는 복잡한 도구(탭, 성형 도구)에 적합하며 예산이 제한적일 때 선호됩니다.

초경소재: 초고속, 초정밀 가공(고온 합금, 세라믹, 복합소재)에 적합하며, 높은 정밀도와 긴 수명이 요구되는 항공우주 및 자동차 부품에 적합합니다.

예:

주철 가공: 초경(YG6) 공구, 속도 150m/min, 수명 23 시간.

알루미늄 합금 가공: 고속강(M2) 드릴 비트, 속도 50m/min, 저렴한 가격.

티타늄 합금 가공: CBN 블레이드, 속도 800m/min, 수명 10 시간.

결론적 으로

시멘트 카바이드, 고속도강 및 초경합금 소재는 각각 고유한 장점을 가지고 있으며 다양한 가공 시나리오에 적합합니다.

경금속 / 초경합금: 경도가 높고, 내마모성이 뛰어나고, 중·고속 절삭에 적합하며, 비용 대비 성능이 뛰어나 산업의 주류입니다.

고속도강(HSS): 인성이 높고, 비용이 저렴하며, 저속 가공과 복잡한 공구에 적합하지만, 내열성이 약합니다.

초경재료(PCD/CBN): 경도와 수명이 매우 높아 정밀하고 고속 가공에 적합하지만, 비용이 높고 취성이 높습니다.

가공 소재(강철, 알루미늄, 세라믹), 절삭 속도, 정밀도 요구 사항 및 예산을 고려하여 선택해야 합니다. 일반적으로 초경 소재가 선택되고, 고속도강은 저비용 가공에 적합하며, 초경 소재는 고가 가공에 적합합니다.

참고자료:

경도: 초경합금 14002200 HV, 고속도강 700850 HV, 초경재료 400010000 HV (ScienceDirect, 2020).

표준: ISO 3326, ASTM B886, GB/T 3849(경합금 자기 포화 시험).

시장: 초경합금은 공구 시장의 약 50%를 차지하고, 초경합금은 약 10%를 차지합니다(Sandvik, 2023).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



부록 :

카바이드란 무엇입니까?

1. 텅스텐강이란 무엇인가요?

텅스텐강은 텅스텐(W)을 주 합금 원소로 하는 고합금강입니다. 텅스텐 함량은 일반적으로 3~18%(질량 분율)이며, 탄소(C, 0.5~1.5%), 크롬(Cr, 1~5%), 몰리브덴(Mo, 0.5~5%), 바나듐(V, 0.5~2%) 및 기타 원소가 보충됩니다. 텅스텐강은 제련, 단조, 압연 및 열처리 공정을 통해 제조되는 금속 합금입니다. 높은 경도(HV600~1000), 우수한 내마모성, 우수한 적색 경도(고온, $\leq 700^{\circ}\text{C}$ 에서도 경도 유지), 높은 인성(K_{1c} 20~50 MPa·m)으로 잘 알려져 있습니다. $\sqrt{1/2}$ 이며 절삭공구, 금형, 칼, 내마모부품, 군사 분야 등에 널리 사용됩니다.

텅스텐강 및 시멘트 카바이드

초경합금은 텅스텐 카바이드(WC)와 같은 탄화물을 기지로 하고, 코발트(Co) 또는 니켈(Ni)을 분말 야금 공정을 통해 접합하여 만든 복합 소재입니다. 경도는 HV1000~1800으로 더 높지만 인성은 낮습니다. 텅스텐강은 균질 금속 합금입니다. 텅스텐은 철(Fe) 기지에 고용체 또는 탄화물(예: WC, W_2C) 형태로 존재합니다. 인성과 가공성이 더 우수하며, 비용은 초경합금의 약 1/3 수준입니다. 텅스텐강은 고속도강(HSS)의 하위 범주로 간주되기도 하지만, 텅스텐 함량과 성능은 더 광범위합니다.

2025년 시장 전망에 따르면 텅스텐강 시장 규모는 약 220억 위안으로, 합금강

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

시장의 16%를 차지할 것으로 예상되며, 연평균 성장률(CAGR)은 약 5.2%에 달할 것으로 전망됩니다. 주요 성장 요인으로는 산업 제조, 자동차 금형, 신에너지 장비, 의료용 칼 등의 수요 증가가 있습니다.

2. 텅스텐 강의 종류와 특성

텅스텐강은 텅스텐 함량, 합금 원소 및 용도에 따라 여러 유형으로 나뉘며, 각 유형은 특정 성능에 최적화되어 있습니다. 다음은 주요 유형과 그 특징을 표로 정리한 것입니다.

텅스텐강 종류	일반적인 성적	주요 성분	경도(HV)	인성 (K _{1c} , MPa) (1/2))	적색 경도(° C)	내마모성(ASTM G65, mm ³)	일반적인 응용 프로그램
고속 텅스텐강	T1, M2, M35	W 6-12%, Cr 3-5%, V 1-2%, Mo 0.5-5%, C 0.7-1.2%	800-900	25-40	≤650	20~40 세	절삭 공구(밀링 커터, 드릴 비트 등)
금형 텅스텐강	D2, A2, H13	W 5~10%, Cr 4~6%, Mo 1~3%, C 1~1.5%	700-850	30~50 세	≤600	30~50 세	냉간 스템핑 다이, 열간 단조 다이
초경 텅스텐강	PM-M4, ASP23	W 9-18%, Cr 3-5%, V 1-3%, C 0.8-1.3%	900-1000	20~30 세	≤700	<30	고경밀 공구, 복잡한 금형
내식성 텅스텐강	440C, 의료용 텅스텐강	W 5~10%, Cr 10~15%, Ni 1~3%, C 0.5~1%	700-850	25-40	≤600	30~50 세	의료용 칼, 화학 장비
군용 텅스텐강	장갑 관통 코어 합금	W 10-18%, Cr 3-5%, Mo 1-5%, C 0.8-1.2%	800-950	20~35 세	≤650	20~40 세	장갑 관통 코어, 장갑 부품
분말 야금 텅스텐 강철	ASP60, Vanadis 4 Extra	W 6-12%, Cr 3-5%, V 1-3%, C 0.7-1.2%	900-1000	25-35	≤700	<30	고급 절삭 공구, 정밀 금형

예시:

V, C) 의 함량 범위를 나열하세요 .

성능 매개변수: 경도(비커스 경도 HV), 인성(파괴 인성 K_{1c}) , 적색 경도(고온 경도 유지 온도), 내마모성(ASTM G65 마모량).

일반적인 적용 분야: 절삭 공구, 금형, 칼, 내마모성 부품 및 군수 산업. 중국어 설명만 포함됩니다.

3. 텅스텐 강의 화학적 조성 및 미세구조

3.1 화학 성분

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 강의 일반적인 구성은 다음과 같습니다.

텅스텐(W): 3~18%, 고용체 또는 탄화물(WC, W₂C 등) 형태로 존재하며, 경도와 적색경도를 향상시킵니다.

탄소(C): 0.5~1.5%, 탄화물(WC, Cr₃C₂)을 형성하여 내마모성을 향상시킵니다.

크롬(Cr): 1~15%, 내식성과 내산화성을 향상시킵니다.

몰리브덴(Mo): 0.5~5%, 고온 강도를 향상시킵니다.

바나듐(V): 0.5~2%, 입자를 미세화(크기 5~20 μm)하고 인성을 향상시킵니다.

철(Fe): 기지성분은 60~80%로 인성과 가공성을 제공합니다.

기타: Co, Ni(의료용 텅스텐강)는 인성과 내식성을 향상시킵니다.

3.2 미세구조

기지조직: 담금질 후 마르텐사이트(경도 HV400-600)가 되고, 템퍼링 후 템퍼링 마르텐사이트+잔류 오스테나이트가 되어 인성이 10~20% 증가합니다.

탄화물상: WC, W₂C, Cr₃C₂ 입자(1-10 μm), 경도 HV1500-2000, 부피 분율 5-15%.

결정구조: 마르텐사이트는 체심입방정계(BCC)이고, 탄화물은 육방정계(WC) 또는 사방정계(Cr₃C₂)이다.

특성: X 선 회절(XRD)은 WC의 (111) 및 (200) 결정면을 보여주었고, 주사 전자 현미경(SEM)은 탄화물 분포의 균일성(분리 <5%)을 관찰했습니다.

미세구조는 열처리를 통해 최적화됩니다. 담금질(850~950°C)은 단단한 마르텐사이트를 형성하고, 템퍼링(200~600°C)은 응력을 완화하며, 탄화물 침전은 기지를 강화합니다.

4. 텅스텐강의 개발 역사

텅스텐강의 개발은 산업 혁명 및 현대 제조업과 밀접한 관련이 있습니다. 주요 이정표는 다음과 같습니다.

19세기 후반(1860년대~1890년대)

배경: 산업 혁명은 내마모성이 매우 뛰어난 공구 소재를 요구했지만, 초기 공구강은 충분히 단단하지 않았습니다(HV200-300).

획기적인 발전: 1868년, 영국의 야금학자 로버트 무세는 최초로 강철에 텅스텐을 첨가하여 2~3%의 텅스텐을 함유한 "자체 경화 강철"(무세 강철)을 개발했습니다. 이 강철은 경도가 HV400 이고 내마모성이 두 배나 높아 선반 도구에 사용하기에 적합합니다.

제한 사항: 텅스텐 함량이 낮고, 붉은 경도가 부족합니다(<400°C).

20세기 초(1900년대~1920년대)

고속도강의 탄생: 1900년 미국의 테일러와 화이트가 텅스텐을 7% 함유하고 경도가 HV600~700, 적경도가 ≤600°C이며 절삭속도가 3배 향상된 고속도강(T1)을 개발하여 텅스텐 강의 기초를 마련했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

산업적 응용: 1910 년대에 텅스텐강 절삭 공구는 자동차 제조(예: 포드 모델 T 생산 라인)에 널리 사용되어 효율성이 50% 증가했습니다.

주요 사건: 1914-1918 년, 제 1 차 세계대전 수요로 텅스텐 채굴(중국, 포르투갈)이 증가하고, 텅스텐 가격이 kg 당 10 달러로 상승함.

20 세기 중반(1930 년대~1960 년대)

합금 최적화: 1930 년대에 Cr, Mo, V 를 첨가하여 M2(6% W), D2(8% W)와 같은 등급을 개발했으며, 경도는 HV700-850, 인성은 20% 증가했습니다.

열처리 기술: 1940 년대에 담금질 + 다단계 템퍼링 공정이 성숙되어 내부 응력이 30% 감소하고 금형 수명이 2 배로 연장되었습니다.

군사적 적용: 제 2 차 세계 대전 중에 텅스텐 강은 장갑 관통탄심(W 12% 함유)에 사용되어 관통력이 30% 증가했습니다.

분말야금: 1960 년대에 분말야금 텅스텐강(PM-M4 등)의 입자 크기가 $10 \mu m$ 로 미세화되었고, 경도는 HV900 이 되었으며, 내마모성이 40% 증가했습니다.

20 세기 후반(1970 년대~1990 년대)

코팅 기술: 1980 년대에 PVD/CVD 증착 TiN 및 TiAlN 코팅(두께 $2 \sim 5 \mu m$)이 마찰 계수를 0.4 로 낮추고 공구 수명을 3~5 배 연장했습니다.

초경 텅스텐강: 1990 년대, ASP23, ASP60 및 기타 등급의 경도는 HV950-1000 으로, 시멘트 카바이드의 저가 시장에 도전합니다.

의료 분야: 텅스텐을 6~8% 함유한 의료용 텅스텐강은 수술용 칼에 사용되며, 내식성이 50% 증가합니다.

21 세기(2000 년대~2025 년)

나노 강화: 2010 년대에 나노 카바이드($0.5 \mu m$) 강화 텅스텐 강은 HV1000 에 가까운 경도를 가지게 되었고, 내마모성이 30% 증가했습니다.

친환경 제조: 2020 년대에는 텅스텐 강철을 재활용(재활용률 > 85%)하면 비용이 20%, 탄소 발자국이 30% 감소할 것으로 예상됩니다.

새로운 응용 분야: 2025 년까지 신에너지 자동차 금형(수명 40% 연장), 풍력 기어(내마모성 2 배 증가), 지열 굴착(고온 내구성 > $600^{\circ} C$)에서 텅스텐 강철에 대한 수요가 급증할 것으로 예상됩니다.

지능: AI 가 열처리 매개변수를 최적화하여(오차 3%) 생산 효율을 25% 높입니다.

5. 텅스텐 강의 용도

텅스텐강은 높은 경도, 적색 경도, 그리고 높은 인성으로 인해 다음 분야에서 널리 사용됩니다. 구체적인 용도와 사례는 표에 제시되어 있습니다.

사용	대표적인 제품	상표	경도(HV)	주요 성과	일반적인 응용 프로그램	사례
절삭 공구	밀링 커터	엠 2	850	적색 경도	강철	및 샌드빅 M2 밀링 커터, 항공 알루미늄

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	드릴 비트			≤650° C, 마모량 20 - 40 mm ³	알루미늄 합금 가공	합금 가공, 효율성 25% 증가, 비용은 초경합금의 40%
금형 제조	냉간 스탬핑 다이, 열간 단조 다이	디 2	800	150 만번 착용 가능	자동차 부품 스탬핑	주저우 다이아몬드 D2 편지, 스탬핑 강판, 수명 150 만회
칼과 절단 도구	메스, 가위	440 도	900	내식성(중량감소 <0.2 mg/ cm ²)	정형외과, 산업절단	아이치 스틸 메스, 절단 정확도 ±0.005mm, 내식성 50% 향상
내마모성 부품	펌프 샤프트, 베어링 슬리브	8%W 를 함유한 합금	750	마모 <50 mm ³	해양공학, 화학장비	중국 퍼스트 중공업 펌프 샤프트, 내마모성 수명 2 배 증가
군대	갑옷 관통 코어	15%W 를 함유한 합금	900	관통력: 600mm	장갑 관통 투사체, 장갑 부품	미국 M829A4 코어, 관통력 20% 증가
새로운 에너지	지열 드릴 비트, 풍력 기어	8%W 를 함유한 합금	850	고온 저항성 >600° C	지열 시추, 풍력 발전 장비	에피록 지열 드릴 비트, 15% 더 효율적
의료 및 정밀 제조	치과 드릴 비트, 마이크로 커터	의료용 텅스텐강 함유	850 - 900	정확도 ±0.01mm, 내식성	치과 수술, 정밀 가공	주저우 다이아몬드 치과 드릴 비트, 내마모성 3 배 증가, 2024 년 EU 수출 25% 증가

예시:

응용 분야: 절삭 공구, 금형, 절삭 공구, 내마모 부품, 군수 산업, 신에너지, 의료 및 정량적 데이터 추출을 포함합니다.

사례: 각 용도는 구체적인 사례에 해당하며, 성능 개선 및 비용 비교와 같은 데이터를 나열하고 중국어 설명만 유지합니다.

6. 텅스텐강과 고속도강의 유사점과 차이점

텅스텐강과 고속도강은 구성과 용도가 서로 겹치지만, 상당한 차이점이 있습니다. 다음 표는 두 강종의 유사점과 차이점을 비교한 것입니다.

특성	텅스텐강	고속도강(HSS)
정의	3~18%의 텅스텐을 함유한 광범위한 고합금강으로 광범위한 용도를 포괄합니다.	고속 절단을 위해 설계된 6~12%의 텅스텐을 함유한 텅스텐 강 하위 범주입니다.
일반적인 성적	D2, H13, 440C, PM-M4	T1, M2, M35, M42
주요 성분	W 3 - 18%, Cr 1 - 15%, Mo 0.5 - 5%, V 0.5 - 2%, C 0.5 - 1.5%	W 6 - 12%, Cr 3 - 5%, Mo 0.5 - 5%, V 1 - 2%, C 0.7 - 1.2%
경도(HV)	600 - 1000	800 - 900

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

인성 (K_{1c} , MPa · m ^{1/2})	20~50 세	25 - 40
적색 경도(° C)	≤700	≤650
내식성	일부 등급은 우수합니다(예: 440C, 염수 분무 중량 감소 <0.2 mg/ cm ²)	일반(Cr 함량 낮음)
제조 공정	용해, 단조, 열처리; 일부 분말 야금	용해, 단조, 열처리
비용(USD/kg)	10~50 개	15~30 세
일반적인 응용 프로그램	절삭공구, 금형, 내마모부품, 군수산업, 의료	절삭 공구(드릴, 밀링 커터 등)

예시:

유사점: 둘 다 텅스텐, Cr, Mo, V 등이 함유된 고합금강으로, 제련 및 열처리 공정을 거쳐 절삭 및 주형에 적합합니다.

차이점: 텅스텐강은 범위가 더 넓고(고속강, 다이스강 등) 용도도 다양합니다. 고속강은 고속 절삭에 최적화되어 있으며, 적색 경도와 내식성이 약간 떨어집니다.

사례 비교:

고속도강: M2 드릴 비트(6%W), 경도 HV850, 저탄소강 가공용, 일반강보다 수명이 5 배 깁니다.

텅스텐강: D2 다이(8% W), 경도 HV800, 스탬핑 스테인리스강, 수명은 최대 100 만회.

7. 텅스텐강과 초경합금의 유사점과 차이점

텅스텐강과 초경합금 모두 텅스텐을 주요 원소로 사용하지만, 재료 특성과 용도는 상당히 다릅니다. 다음 표는 두 강종의 유사점과 차이점을 비교한 것입니다.

특성	텅스텐강	초경합금
정의	3~18%의 텅스텐을 함유한 고합금강, 균질금속합금	70~94% WC 등 + Co/Ni 를 함유하는 카바이드 기반 복합재
주요 성분	W 3 - 18%, Cr 1 - 15%, Mo 0.5 - 5%, V 0.5 - 2%, C 0.5 - 1.5%, Fe 기반	화장실, TiC , TaC (70~94%), Co/Ni (6~20%)
구조	마르텐사이트 + 탄화물 입자(WC, Cr3C2)	카바이드 입자 + 바인더 상
경도(HV)	600 - 1000	1000 년 - 1800 년
인성 (K_{1c} , MPa · m ^{1/2})	20~50 세	8~20 세
적색 경도(° C)	≤700	≤1000
내식성	일부 등급은 우수합니다(예: 440C, 염수 분무 중량 감소 <0.2 mg/ cm ²)	Ni 기반(YN8 등, 중량감소 <0.1 mg/ cm ²)
밀도(g/cm ³)	7.8 - 8.5	12 - 15.6
제조 공정	용해, 단조, 열처리; 일부 분말 야금	분말야금(혼합, 압착, 소결)
비용(USD/kg)	10~50 개	50~150
일반적인 응용 프로그램	절삭공구, 금형, 군수, 의료, 풍력발전기	고정밀 도구, 광산용 곡괭이, 분무 재료

예시:

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

유사점: 둘 다 텅스텐을 함유하고 있으며 일반 강철보다 경도와 내마모성이 뛰어나 칼과 내마모성 부품에 적합합니다.

차이점: 텅스텐 강은 인성이 높고 비용이 저렴한 금속 합금이고, 초경합금은 경도가 높지만 취성이 높은 복합 재료입니다.

사례 비교:

텅스텐강: M2 밀링커터(6%W), 경도 HV850, 알루미늄 합금 가공, 비용은 초경합금의 40%입니다.

초경 : YG6 블레이드(WC 기초, Co 6%), 경도 HV1500, 스테인리스강 가공, 수명은 텅스텐강의 3 배입니다.

8. 텅스텐강의 제조공정

텅스텐강은 전통적인 야금 공정을 통해 제조되며, 공정 흐름은 다음과 같습니다.

원자재 준비:

(FeW, 70~80% W 함유) 또는 텅스텐 분말 형태로 첨가되며 순도는 >99.5%입니다.

기타 원소: 철합금 형태의 Cr, Mo, V, 흑연 형태의 C가 첨가됨.

혼합: 진공 용해로를 통해 구성의 균일성(편차 < 0.5%)이 보장됩니다.

제련:

장비: 전기 아크로 또는 중주파 유도로, 용융 온도 1500~1600° C.

공정: 탈산 및 탈황, 산소 함량을 <50 ppm, 유황 함량을 <0.02%로 제어합니다.

주조 및 성형:

연속 주조: 치수 편차가 1% 미만인 잉곳을 형성합니다.

열간단조/압연: 1000~1200° C, 결정립 미세화 5~20 μm, 강도 15% 증가.

열처리:

담금질: 850~950° C, 물/오일 냉각, 마르텐사이트 형성, 경도 HV800~1000.

템퍼링: 200~600° C, 다단계 템퍼링, 인성이 20% 증가하고, 내부 응력이 30% 감소합니다.

어닐링: 700~800° C(다이 강철의 경우) 가공성을 개선합니다.

표면 처리:

침탄/질화: 표면 경도가 HV1000 으로 향상되고 내마모성이 30% 증가합니다.

PVD/CVD 코팅: TiN, TiAlN, CrN (두께 2~5 μm), 마찰계수 <0.4, 수명 3 배 연장.

분말 야금 텅스텐 강철

공정: 원료 분말(입자 크기 1~10 μm) → 압착 → 소결(1400~1500° C) → 열간 정수압 압착(HIP).

장점: 균일한 입자 크기(<10 μm), 경도 HV900 - 1000, 내마모성 40% 증가.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9. 중국, 미국, 국제 및 전 세계의 텅스텐강 표준

고합금강인 텅스텐강의 성능과 용도는 여러 국가와 국제 표준화 기구에서 제정한 표준에 의해 엄격하게 규제됩니다. 이러한 표준은 텅스텐강의 화학적 조성, 기계적 성질, 열처리 공정 및 시험 방법을 명시하여 국경 간 무역에서 제품 품질과 일관성을 보장합니다. 아래에서는 중국, 미국, 국제표준화기구(ISO) 및 기타 국가(일본, 유럽연합, 호주 등)의 관점에서 텅스텐강 관련 표준을 자세히 설명하고, 주요 표준을 표를 통해 비교합니다.

9.1 중국 표준

중국의 텅스텐강 표준은 국가표준화국 (SAC)과 중국 국가표준화시스템(GB/T)에서 제정하며, 고속도강, 다이스강, 특수 합금강을 포함합니다. 중국은 세계 최대 텅스텐 생산국(2024년 6만 7천 톤, 전 세계 생산량의 83%)이라는 점을 고려할 때, 중국의 표준은 세계 텅스텐강 시장에 상당한 영향을 미칩니다.

의 텅스텐 강의 주요 표준 :

GB/T 9943-2008: 고속 공구강

T1(W18Cr4V) 및 M2(W6Mo5Cr4V2)와 같은 등급의 화학 조성(예: W 6-18%), 경도(HV800-900) 및 열처리 공정이 지정됩니다.

GB/T 1299-2014: 합금 공구강

지정된 인장 강도(>1500 MPa) 및 내마모성(ASTM G65 마모량 <50 mm³)을 갖춘 D2(Cr12Mo1V1, 8% W 함유)와 같은 다이 강철을 다룹니다.

GB/T 20878-2007: 스테인리스강 및 내열강

표준 의료용 텅스텐강(예: 440C, 5~10% W 함유)은 내식성(염수 분무 중량 감소 <0.2 mg/cm²)이 요구됩니다.

특징: 높은 경도와 내마모성에 중점을 두고 중국 제조 산업(예: 자동차 금형, 지열 시추)의 요구에 맞게 조정되었습니다.

ISO 표준(예: ISO 4957)을 통합하여 수출 제품의 규정 준수를 보장합니다.

텅스텐 채굴 할당량(2024년 수출 할당량 13,582 톤)과 수출 관세(2025년 2월 미국에 대한 10% 관세)를 통해 텅스텐 자원을 감소시켜 글로벌 공급망에 영향을 미칩니다.

9.2 미국 표준

미국 텅스텐강 표준은 주로 ASTM International과 AISI(미국철강협회)에서 제정하며 북미 및 세계 시장에서 널리 사용되고 있습니다. ASTM 표준은 엄격성과 국제화(140개국 이상에서 채택된 12,575개 표준)로 높은 평가를 받고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

미국 텅스텐강 표준의 주요 표준:

ASTM A600-92a(2021): 고속 공구강

T1, M2 등의 등급을 표준화하고, W 함량(6~18%), 경도(HV800~900) 및 적색 경도($\leq 650^{\circ}\text{C}$)를 지정합니다.

ASTM A681-08(2022): 합금 공구강

(K_{1c} 30~50MPa·m) 이 요구되는 D2, H13 등의 금형강을 포괄합니다. $\hat{c}(1/2)$ 및 내마모성(마모 손실 $< 50\text{ mm}^3$) .

ASTM A276/A276M-23: 스테인리스 강철 막대 및 모양

W(예: 440C)를 함유한 의료용 텅스텐 강의 사양으로, 내식성과 정확도($\pm 0.01\text{ mm}$)가 요구됩니다.

특징: 제품 일관성을 보장하기 위해 기계적 성능 테스트(ASTM E8 인장 강도, ASTM G65 내마모성 등)에 중점을 둡니다.

이는 미국 연방 규정(예: 1995년 국가 기술 이전 및 촉진법)에서 자주 인용되며 의무적 표준이 되었습니다.

응용 분야: ASTM 표준은 미국 군수 산업(예: M829A4 철갑탄 코어) 및 항공 제조(Sandvik M2 밀링 커터)에서 널리 사용됩니다.

9.3 국제표준(ISO)

국제표준화기구(ISO)는 국제 텅스텐강 표준을 개발하고, 국가 표준을 조정하며, 무역 및 기술 교류를 증진합니다. 중국, 미국, 일본 등이 모두 ISO 회원국이며, 중국은 1947년부터 ISO 활동에 참여해 왔습니다.

주요 기준:

ISO 4957:2018: 공구강, 고속강(T1, M2 등) 및 다이강(D2 등)에 대한 사양

W 함량(3 - 18%), 경도(HV600 - 1000) 및 열처리 공정이 지정됩니다.

ISO 683-17:2023: 열처리강, 합금강 및 스테인리스강

ISO 10993 에 따라 내식성과 생체적합성이 요구되는 W(예: 440C)를 함유한 의료용 텅스텐강을 포함합니다.

ISO 513:2012: 초경합금 및 고속강 절삭 공구 분류

텅스텐강 절삭 공구의 특성(적색경도 $\leq 700^{\circ}\text{C}$ 등)을 정의합니다.

특징: ISO 범위 내에서 국가가 지역 표준(예: ISO 4957 을 참조하는 GB/T)을 개발할 수 있도록 공통 프레임워크를 제공합니다.

ISO 와 유럽표준화위원회(CEN)는 국경 간 상호 인정을 강조하며 2022 년에 텅스텐 카바이드 표준의 적용을 확대하기 위한 기술 협력 협정을 갱신했습니다.

응용 분야: ISO 표준은 절삭 공구(Kennametal M2 절삭 공구), 금형 및 신에너지

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

장비의 글로벌 제조에 널리 사용됩니다.

9.4 세계의 다른 표준들

일본, 유럽연합, 호주, 아프리카 등 다른 국가의 텅스텐강 표준은 지역적 요구 사항과 산업적 배경을 반영하여 고유한 특성을 가지고 있습니다.

일본(JIS)

JIS G 4403:2021 : 고속 공구강

SKH2(T1) 및 SKH51(M2)의 사양은 지진 발생 위험이 있는 지역의 절삭 공구에 적합한 W 6~18% 및 경도 HV800~900 을 요구합니다.

특징: 내충격성과 고정밀성에 중점을 둡니다. JIS 는 2025 년에 G4403 을 개정하고 의료용 텅스텐강 표준을 추가할 계획입니다.

용도: JIS G4404(스테인리스 스틸)에 부합하는 아이치 스틸 수술용 칼입니다.

유럽연합(EN):

EN ISO 4957:2018: ISO 와 동기화됨

사양 1.2080(D2), 1.2379(W 다이스강 포함), 내마모성(마모 <math><50 \text{ mm}^3</math>) 및 CE 인증에 대한 요구 사항.

특징: 환경 보호 및 내식성 강화. EU 는 2025 년에 EN 10083 을 개정하고 W 를 함유한 군용 강철에 대한 새로운 표준을 추가할 계획입니다.

적용 분야: EN ISO 4957 에 따른 Bohler ASP60 도구.

호주(AS/NZS):

AS 1444:2007: 합금강

이 사양서는 광산 장비에 적합한 HV600~900 의 경도를 갖는 W 함유 공구강을 지정합니다.

특징: ISO 및 ASTM 을 참조하여 2025 년에 AS 1444 를 업데이트하여 신에너지 기어에 대한 텅스텐 강철 표준을 추가할 계획입니다.

아프리카:

SANS 50025(남아프리카공화국) 및 ISO 10721

광산 및 지열 시추에 사용되는 W 함유 강철을 포함한 구조용 및 공구용 강철에 대한 사양입니다.

특징: 통일된 표준이 부족하여 아프리카는 대부분 ISO 를 채택하고 있습니다. 아프리카 연합은 2025 년에 지역별 텅스텐강 표준을 도입할 계획입니다.

9.5 표준 비교

다음 표는 중국, 미국, ISO 및 주요 국가의 텅스텐강 표준을 비교하여 등급, 구성 및 적용 분야의 차이점을 강조합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

표준화 기구	대표 표준	일반적인 성적	텅스텐 함량(%)	경도(HV)	주요 요구 사항	일반적인 응용 프로그램
중국 GB/T	GB/T 9943-2008	T1 (W18Cr4V), M2 (W6Mo5Cr4V2)	6 - 18	800 - 900	적색 경도 $\leq 650^{\circ}C$, 마모량 $< 40 \text{ mm}^3$	절삭 공구, 금형
ASTM	ASTM A600-92a	T1, M2, D2	6 - 18	800 - 900	인성 $K_{1c} \text{ } 25-50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, ASTM E8 인장 강도	칼, 군용
국제 ISO	ISO 4957:2018	T1, M2, D2	3 - 18	600 - 1000	열처리 공정, 내식성	글로벌 절삭 공구 및 금형
일본 JIS	JIS G4403:2021	SKH2(T1), SKH51(M2)	6 - 18	800 - 900	충격 저항성, 정확도 $\pm 0.01\text{mm}$	의료용 칼과 절단 도구
EU EN	EN ISO 4957:2018	1.2080(D2), 1.2379	5~10 개	700 - 850	CE 인증, 내마모성 $< 50 \text{ mm}^3$	금형 및 절삭 공구
호주 AS/NZS	AS 1444:2007	W 함유 공구강	3 - 10	600 - 900	광산 내마모성	광산 장비, 지열 드릴 비트

표준 범위: 중국 GB/T와 미국 ASTM은 경도와 내마모성을 강조하고, ISO는 일반적인 프레임워크를 제공하며, 일본 JIS는 충격 저항성과 정밀도에 중점을 두고, EU EN은 환경 인증을 요구합니다.

상호 인정: ISO 4957은 글로벌 벤치마크입니다. GB/T 9943, ASTM A600, JIS G4403은 모두 ISO를 참조하여 국경 간 무역의 일관성을 보장합니다.

9.6 표준 응용 프로그램 및 과제

애플리케이션:

중국: GB/T 9943은 주저우 다이아몬드 M2 절삭 공구를 규제하며, EU로 수출하는 경우 ISO 4957을 준수해야 합니다.

미국: ASTM A600은 Sandvik M2 밀링 커터의 품질을 보장하고, 군사 표준(MIL-STD 등)은 더 높은 관통력을 요구합니다.

국제: ISO 4957은 Kennametal의 글로벌 공구 생산을 조화시키고 무역 장벽을 줄입니다.

도전:

표준 차이: 구성 범위(예: C 0.5 - 1.5%)와 시험 방법(ASTM E8 대 ISO 6892)이 국가마다 완전히 일치하지 않아 국경 간 인증 비용이 증가합니다.

업데이트 지연: 분말야금텅스텐강(PM-M4) 등 신소재에 대한 표준 개발이 느리며, 2025년 개정을 가속화해야 합니다.

10. 텅스텐 카바이드의 미래 동향

초경텅스텐강: 텅스텐을 12~18% 함유하고 있으며, 경도는 HV950~1000으로 저가형 초경합금을 대체하며 시장 점유율이 20%까지 상승할 것으로 예상됩니다.

TiSiN 등)은 마찰 계수가 < 0.3 이고 공구 수명을 5배 연장합니다.

녹색 제조: 재활용률 $> 90\%$, 탄소발자국 15kg CO₂/kg으로 감소, 비용 25% 절감.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

지능화: AI 는 열처리 및 코팅 공정을 최적화하여 매개변수 오차를 2% 미만으로 줄이고 효율성을 30% 높였습니다.

새로운 응용 분야:

신에너지: 풍력발전 기어(내마모성 2 배 증가), 전기자동차 금형(수명 40% 연장).

의료용: 마이크로 텅스텐강 절삭 공구, 정확도 $\pm 0.005\text{mm}$, 수요 성장률은 연간 15%.

지열/심해: 고온 및 내식성 텅스텐 강철 드릴 비트, 효율성 20% 증가.

11. 텅스텐 카바이드의 한계와 과제

경도 한계: HV600 - 1000, 초경합금(HV1000 - 1800)보다 낮아 초고하중 마모에 적합하지 않음.

내식성: Cr 함량이 제한적이며, 내산성(pH <4)이 Ni 계 초경합금(YN8)만큼 좋지 않습니다.

고온 성능: 적색 경도 $\leq 700^{\circ}\text{C}$, 시멘트 카바이드($\leq 1000^{\circ}\text{C}$)보다 낮아 고온 절단이 제한됩니다.

자원 의존성: 텅스텐(전 세계 매장량 340 만 톤, 그중 70%가 중국에 있음) 가격 변동(kg 당 20~30 달러)이 비용에 영향을 미칩니다.

가공 난이도: 담금질 후 경도가 높아 다이아몬드 연삭이 필요하며, 가공비용이 20~30%를 차지합니다.

12. 결론

고합금강인 텅스텐강은 높은 경도, 내마모성, 적색 경도, 그리고 인성을 갖추고 있어 절삭 공구, 금형, 절삭 공구, 내마모 부품, 군수 산업 및 신에너지 분야에서 중요한 역할을 합니다. 텅스텐강은 고속도 텅스텐강, 금형 텅스텐강, 초경도 텅스텐강 등 다양한 종류가 있으며, 열처리, 코팅, 분말야금 기술을 통해 성능이 지속적으로 최적화되고 있습니다. 고속도강에 비해 텅스텐강은 더 널리 사용되고 있으며, 초경합금에 비해 인성이 높고 가격이 저렴하지만 경도와 내열성은 다소 떨어집니다. 중국, 미국, ISO 및 기타 국가 표준(GB/T, ASTM, ISO 4957 등)은 품질과 거래의 일관성을 보장하기 위해 텅스텐강 생산을 규제합니다. 앞으로 초경도 텅스텐강, 친환경 제조, 그리고 지능형 공정은 고정밀 제조 및 지속 가능한 산업 분야에서 텅스텐강의 적용을 촉진할 것입니다. 자원 의존성, 가공의 어려움, 표준 차이 등의 어려움에도 불구하고 텅스텐강은 여전히 산업 4.0 과 신에너지 시대에 핵심 소재로 남을 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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