

텅스텐 시멘트 카바이드
물리적 및 화학적 특성, 공정 및 응용 분야의 종합적 탐구
(III)

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA 그룹 소개

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 확보하고 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

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



제 3 장 초경합금의 물리적 및 화학적 특성

텅스텐 초경합금은 뛰어난 물리적 및 화학적 특성으로 인해 절삭 공구, 내마모성 부품, 광산 장비, 항공우주, 화학 장비, 원자력 시설 및 심해 장비의 핵심 소재로 자리 잡았습니다. 이러한 특성에는 기계적 특성(경도, 인성, 압축 강도, 굽힘 강도), 열적 특성(열전도도, 열팽창 계수, 고온 안정성, 내열충격성), 화학적 안정성(내식성, 내산화성), 그리고 전기적 및 자기적 특성(전도도, 코발트 상 자성)이 포함되며, 이는 텅스텐 카바이드(WC)의 공유 결합 강성과 코발트(Co) 또는 니켈(Ni) 결합 상의 소성 시너지 효과에서 비롯됩니다.

본 장에서는 각 물리화학적 특성, 검사 및 시험 방법, 성능의 다양한 측면에 영향을 미치는 요인, 그리고 확장된 적용 사례를 분석하고, 이론적 근거, 시험 기술, 규제 메커니즘, 환경 적응성, 그리고 작업 조건 성능을 심층적으로 탐구합니다. 상세한 이론 모델, 정확한 실험 데이터, 풍부한 교차 영역 사례, 그리고 성능 영향 분석을 통해 본 장은 물리화학적 특성의 고유한 메커니즘을 밝혀내며, 초경합금의 성능 최적화, 극한 작업 조건 적응, 그리고 학제 간 연구를 위한 포괄적인 참고 자료를 제공합니다.

3.1 초경합금의 기계적 성질

기계적 성질은 고하중, 충격, 마모 및 복잡한 응력 환경에서 초경합금의 신뢰성을 보장하는 초석이며, 절삭, 광산, 스탬핑, 항공 및 심해 시추에 널리 사용됩니다. 이 섹션에서는 경도, 인성, 압축 강도 및 굽힘 강도를 하나씩 분석하고, 새로운 검사 및

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

시험 방법과 영향 요인을 추가합니다.

3.1.1 초경합금의 경도

경도는 재료가 외부 물체에 의해 표면이 눌리거나 긁히는 것을 저항하는 능력을 말하며, 재료의 기계적 특성을 측정하는 중요한 지표 중 하나입니다. 경도는 일반적으로 재료의 강도, 내마모성 및 변형 저항성을 반영하며, 압축, 전단 또는 소성 변형에 저항하는 능력으로 특징지어집니다. 일반적인 측정 방법에는 브리넬 경도(HB), 로크웰 경도(HR), 비커스 경도(HV), 쇼어 경도(HS)가 있으며, 이러한 값은 압입자 유형(예: 강철 볼 또는 다이아몬드), 하중 크기 및 압입 면적(ISO 6507, ASTM E10)을 기반으로 계산됩니다. 예를 들어, 초경합금의 비커스 경도는 일반적으로 입자 크기와 결합상 함량에 따라 HV 1200~2400입니다. 경도는 재료 미세구조(예: 입자 크기, 상 조성) 및 열처리와 밀접한 관련이 있으며, 재료 선택 및 내구성 평가의 핵심 기준입니다.

초경합금의 비커스 경도(HV)는 1500~2500±30 으로, 고속도강(HV 800~1000), 세라믹(HV 1200~1800), 티타늄 합금(HV 300~400)을 크게 능가하며, 이것이 내마모성의 핵심입니다. 이러한 경도는 WC(WC 결합 에너지 6.0eV±0.2eV, 결합 길이 2.0Å±0.05Å)의 공유 결합 네트워크에서 비롯되며, 육방정계 결정 구조(P6m², 영률 700GPa±10GPa)는 소성 변형에 대한 저항성을 제공합니다. 10% Co 를 함유하는 초경합금의 경도는 HV 1800 ± 30 이고, 20% Co 를 함유하는 초경합금의 경도는 HV 1400 ± 30 으로 떨어진다. 이는 Co 상의 연성(HV 300~400, 면심입방 FCC 구조)으로 인해 압축강도가 감소하기 때문이다.

시멘트 카바이드 경도가 뛰어납니다.

6% Co 를 함유한 초경합금의 경도는 600° C 에서 HV 1500±30 을 유지하다가 800° C 에서는 HV 1200±20 으로, 1000° C 에서는 HV 1000±30 으로 감소하는데, 이는 고속도강(600° C 에서 HV 500 으로 감소)과 세라믹(1000° C 에서 HV 800 으로 감소)보다 우수한 성능을 나타냅니다. Cr₃ C₂(0.5%~1%)를 첨가하면 고용강화(Cr 원자 반경 1.28Å, 격자 변형률 <2%±0.2%)를 통해 경도가 HV 1900~2200±50 으로 증가합니다. 예를 들어, 8% Co 와 0.5% Cr₃ C₂를 함유한 초경합금 공구(HV 1900)는 스테인리스강의 고속 절삭에서 마모량이 <0.1mm±0.02mm 이고 수명이 15 시간±1 시간(인장강도 >1000MPa, 절삭속도 200m/min, 마찰계수 <0.3±0.05)으로 세라믹 공구(수명 <5 시간, 마모량 >0.3mm)보다 우수합니다.

경도에 대한 환경의 영향에 주의를 기울여야 합니다.

고온다습한 환경(40° C, 습도 90%, 168 시간)에서는 Co 상의 미세부식이 유도되고(무게 감소 <0.1 mg/cm² ± 0.02 mg/cm², 부식 깊이 <1 μm±0.2 μm) 경도가 <2%±0.5% 감소합니다. 극한의 저온 환경(40° C)에서는 Co 상의 취성화로 인해 경도가 1%±0.3% 증가합니다(소성 변형률 <3%±0.3% 감소). 고압(>100 MPa, 심해 5000m)에서는 큰 변화가 없습니다(감소 <0.5%±0.1%). 방사선(원자력, 10⁴Gy, γ 선)은 점 결함을 유도하고 경도가 <1%±0.2% 감소합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

니켈 함유 초경합금(12% Ni, HV 1700±30)은 해양 환경(염도 3.5%, pH 8, Cl⁻19 g/L)에서 경도 저하가 1% 미만으로 더 안정적입니다. 실제 적용에서 6% Co 를 함유한 초경합금 롤러는 마모 깊이가 0.05mm±0.01mm 미만이고, 광산(화강암, 암석 경도 1000 MPa 이상, 충격 주파수 1000 회/분 이상)에서 수명이 300 시간±20 시간 이상으로 고속도장(수명 50 시간 미만)보다 우수합니다.

경도를 최적화하려면 인성과의 균형이 필요합니다.

TiC(10%15%, 경도 20 GPa±1 GPa)를 첨가하면 경도가 HV 2000±50 으로 증가하고 밀도는 12 g/cm³ ± 0.1 g/cm³ 로 낮아져 터빈 블레이드 금형(하중 > 2000 MPa, 변형 허용 오차 < 0.01mm)과 같은 경량 항공 부품에 적합합니다. 복합 스탬핑(600° C, 주파수 > 10⁴회/시간)에서 15% TiC 를 함유한 초경합금 금형의 표면 거칠기는 Ra<0.1 μm±0.02 μm 이고 수명이 40%±5% 증가하여 강철 금형(Ra>0.5 μm, 수명 < 2000 시간)보다 우수합니다. 도메인 간 비교 결과, 시멘트 카바이드의 경도는 고강도 강철(HV 600800)과 티타늄 합금(HV 300400)보다 우수하지만 다이아몬드(HV >8000)보다 낮은 것으로 나타났습니다.

3.1.1.1 경도 표현 방법

경도를 표현하는 방법은 다양하며, 다양한 테스트 시나리오와 재료 비교에 적합합니다.

비커스 경도(HV)

비커스 경도(HV)는 재료의 경도를 정확하게 측정하는 표준 방법입니다. 다이아몬드 피라미드 압입자(정점 각도 136°)를 사용하여 지정된 하중(일반적으로 5~100kgf, 범위는 1~120kgf 까지 확장 가능)으로 재료 표면을 누르고 10~15 초 동안 유지한 후 압입의 대각선 길이(d, 단위 mm)를 측정하여 경도 값을 계산합니다. 공식은 다음과 같습니다. $HV = 1.8544 \times F / d^2$, 여기서 F는 적용된 하중(kgf), d는 압입의 평균 대각선 길이(mm)이며 결과는 kgf / mm²로 표현되며 일반적으로 HV 값으로 직접 표시됩니다(ISO 6507-1:2018).

비커스 경도는 압입량이 작고(직경 0.01~1mm), 정확도가 높으며(오차 <5%), 시험 범위가 넓기 때문에 초경합금, 강철, 세라믹, 박층 재료 등 다양한 재료에 적용할 수 있습니다. 예를 들어, 일반 초경합금의 HV는 1200~2000 인 반면, 나노 크기의 초경합금(입자 크기 0.05~0.2 μm)은 2000~2400 에 달할 수 있습니다(Journal of Materials Science 2025). 비커스 경도의 장점은 코팅과 같은 작은 영역이나 두께가 0.1mm 이상인 얇은 판재를 시험할 수 있다는 점이지만, 시험 시간이 길고 표면 평탄도 요구 조건이 높다는 점(Ra <0.8 μm, ITIA 2024)이 있습니다.

록웰 경도(HRC/HRB)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

로크웰 경도(HRC/HRB)는 재료의 경도를 측정하는 일반적인 방법입니다. 압입자(다이아몬드 콘 또는 강철 볼)를 초기 하중(10 kgf)과 전체 하중(60~150 kgf)으로 재료에 압입하고, 압입 깊이의 차이를 측정하여 경도를 결정합니다(ASM E18-22). 로크웰 경도는 시험 속도가 빠르고, 압입량이 작으며, 조작이 간단한 것이 특징으로 금속 재료에 널리 사용됩니다.

HRC : 총 하중 150kgf의 다이아몬드 콘 압입자(꼭지각 120°)를 사용하세요. 이 압입자는 고경도 재료(예: 경화강, 초경합금)에 적합합니다. HRC 값은 다음 공식으로 계산합니다. $HRC = 100 - (h/0.002)$ 여기서 h는 압입 깊이(mm)입니다. HRC 범위는 일반적으로 20~70이며, 예를 들어 초경합금의 경우 HRC 60~70으로, 비커스 경도 HV 1200~2400에 해당합니다.

HRB : 총 하중 100kgf의 1/16인치 강철 볼 압입자를 사용하세요. 이는 연질 재료(예: 열처리강, 구리 합금)에 적합합니다. HRB 값 계산 공식은 $HRB = 130 - (h/0.002)$ 이며, 20~100의 범위에 속합니다. 예를 들어, 열처리강의 HRB 값은 약 70~90입니다(ITIA 2024).

로크웰 경도의 장점은 높은 정확도(오차 <3%)로 직접 판독할 수 있다는 점이지만, 얇은 소재나 작은 영역에는 적합하지 않습니다(ISO 6508-1:2016).

브리넬 경도(HB)

브리넬 경도(HB)는 경화된 강철 볼이나 텅스텐 카바이드 볼 압입자(일반적으로 직경 2.5, 5 또는 10mm)를 지정된 하중(F, 일반적으로 500-3000kgf)으로 재료 표면에 누르고 일정 시간(10-30 초) 동안 유지한 다음 압입 직경(d, mm)을 측정하여 경도를 계산하여 재료의 경도를 측정하는 방법입니다. 공식은 다음과 같습니다. $HB = (2F) / (\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}))$, 여기서 D는 압입자 직경(mm), F는 하중(kgf), d는 압입 직경(mm)이며 결과는 kgf/mm² (ASTM E10-18)로 표현됩니다.

브리넬 경도는 연성 또는 중간 경도의 재료(강철, 주철, 비철 금속 등)에 적합하며, 일반적으로 HB 30~650입니다. 예를 들어, 비경화강의 HB는 약 120~200인 반면, 초경합금은 높은 경도(HV 1200~2400) 때문에 이 방법에는 적합하지 않습니다(ITIA 2024). 브리넬 경도의 장점은 압입 면적이 넓어 재료의 평균적인 성능을 반영하며, 불균일한 재료에는 적합하지만 얇은 부품이나 고경도 재료에는 적합하지 않다는 것입니다(오차는 약 3~5%, ISO 6506-1:2014).

모스 경도

모스 경도는 재료의 경도를 정성적으로 측정하는 상대적인 척도입니다. 1812년 독일 광물학자 프리드리히 모스(Friedrich Mohs)가 재료의 긁힘 저항성을 비교하여 경도를 평가하기 위해 제안했습니다. 이 방법은 10가지 표준 광물을 기준으로 하며, 경도는 1(가장 무름)에서 10(가장 단단함)까지 등급이 매겨집니다. 1. 활석, 2. 석고, 3. 방해석, 4. 형석, 5. 인회석, 6. 정장석, 7. 석영, 8. 토파즈, 9. 강옥, 10. 다이아몬드입니다. 시험 중 표준 시료로 재료 표면을 긁어 보세요. 흠집이 남을 수 있다면 해당 재료의 경도가 표준 시료보다 낮음을 의미합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

모스 경도는 간단하고 직관적이며 광물 및 일부 엔지니어링 재료에 적용 가능하지만, 정확도가 낮고 상대적인 값만 사용합니다. 예를 들어, 초경합금의 모스 경도는 약 9~9.5로 커런덤에 가깝고 강철(약 5~6)보다 훨씬 높습니다(ITIA 2024). 모스 경도의 한계점은 경도 차이를 정량화할 수 없다는 점(예: 9와 10의 차이는 1과 2의 차이보다 훨씬 큼)과 불균일한 재료나 얇은 층을 시험하는 데 적합하지 않다는 점(오차 약 ± 0.5)입니다.

변환 시 비선형 관계, $HV \approx 10 \cdot HRC + 900$ (오차 <5%), HB 및 모스 변환 오차 >10%에 유의하십시오. 실제 적용에서는 HV가 주요 방법이며, HRC/HS는 성능 일관성을 95% $\pm$ 2% 이상으로 보장하기 위한 보조 방법입니다.

3.1.1.2 경도 시험 방법

경도 시험은 다음을 통해 측정 정확도를 보장합니다.

비커스 경도 시험 (ISO 3878)

10% Co를 함유한 경질 합금(HV 1800 $\pm$ 30)은 10kg의 하중, 2030 $\mu\text{m} \pm 0.5 \mu\text{m}$ 의 압입 대각선, 400 배 $\pm$ 10 배의 현미경 배율, 그리고 <1% $\pm$ 0.2%의 오차를 사용합니다. 실험 환경은 25 $^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도 <60% $\pm$ 5%, 그리고 시편 표면 Ra <0.2 $\mu\text{m} \pm 0.05 \mu\text{m}$ 를 요구합니다. 예를 들어, 15% TiC를 함유한 금형(HV 2000 $\pm$ 50)은 비커스 시험에 합격하여 <0.01mm의 스탬핑 정확도를 보장합니다.

록웰 경도 시험 (ISO 6508)

6% Co(HRC 90 $\pm$ 1)를 함유한 경질 합금은 HRC 스케일을 사용하며, 예압 10kg $\pm$ 0.1kg, 주압 150kg $\pm$ 0.1kg, 유지 시간 5 초 $\pm$ 0.5 초, 오차 <2% $\pm$ 0.5%입니다. 8% Co(HRC 89 $\pm$ 1)를 함유한 공구와 같은 현장에 적합합니다.

휴대용 경도 시험기 (Leeb, ASTM A956)

12% Co를 함유한 초경합금(HS 85 $\pm$ 2)은 11 N $\cdot$ mm $\pm$ 0.5 N $\cdot$ mm의 충격 에너지를 사용하며, 오차는 <3% $\pm$ 0.5%입니다. 롤러(HS 87 $\pm$ 2)와 같은 광산 현장에 적합합니다.

초음파 경도 시험 (ASTM A1038)

8% Co를 함유한 시멘트 카바이드(HV 1900 $\pm$ 50)는 초음파 접촉 임피던스를 사용하며 주파수는 20 kHz $\pm$ 0.5 kHz이고 오차는 <2% $\pm$ 0.5%로 항공기 금형과 같은 복잡한 형상에 적합합니다.

나노인덴테이션 테스트

10% Co를 함유하는 시멘트 카바이드(경도 20 GPa $\pm$ 1 GPa)는 하중 10 mN $\pm$ 0.1 mN, 압입 깊이 <200 nm $\pm$ 10 nm, 오차 <5% $\pm$ 1%의 베르코비치 압입자를 사용하는데, 이는 코팅 검출에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이 시험에는 교정(표준 블록 오차 <1%)과 진동 방지(가속도 <0.1 m/s²)가 필요합니다. 예를 들어, 15% TiC를 함유한 금형은 비커스 시험과 나노인덴테이션 시험을 통해 6,000 시간 이상 ±500 시간의 수명을 보장합니다.

3.1.1.3 경도에 영향을 미치는 요인

초경합금의 조성

Co 함량이 증가함에 따라(6%에서 20%), 경도는 HV 2000±50에서 HV 1400±30으로 감소하는데, 이는 Co 상(HV 300400)의 연성이 변형 저항을 감소시키기 때문이다. TiC(10%15%)를 첨가하면 고용 강화(격자 변형률 <2%±0.2%)로 인해 경도가 HV 2000±50으로 증가하고, TaC(1%2%)를 첨가하면 HV 1900±50으로 증가한다. Cr₃C₂(0.5%1%)의 경도는 Cr 원자가 입계 슬라이딩을 억제(마찰 계수 <0.2±0.05로 감소)하기 때문에 HV 2200±50에 도달한다.

초경합금의 공정

소결 온도(1400~1500° C±10° C)는 WC 상의 밀도(>99%±0.1%)에 영향을 미치고, 너무 높은 온도(>1550° C)는 Co 상의 휘발(손실 <5%±1%)을 유발하여 경도가 3%5%±1% 감소합니다. 열간 등방성 가압 성형(HIP, 100 MPa±5 MPa)은 기공(기공률 <0.1%±0.02%)을 제거하고 경도를 2%±0.5% 증가시킵니다.

주변 환경

고온(600~1000° C)은 WC 결합 에너지를 감소시키고(결합 길이는 0.1Å ± 0.02Å 증가), 경도는 10%30%±2% 감소합니다. 습열(40° C, 습도 90%)은 Co 부식(무게 감소 <0.1 mg/cm²)을 유발하고 경도는 <2%±0.5% 감소합니다. 극한의 저온(40° C)은 Co 취성을 유발하고 경도는 1%±0.3% 증가합니다. 방사선(10⁴Gy)은 결합을 유발하고 경도는 <1%±0.2% 감소합니다.

초경합금의 표면 상태

표면 거칠기(Ra>0.4 μm)는 압입 정확도를 감소시킵니다(오차>2%±0.5%). 코팅(예: Al₂O₃, 5 μm ±1 μm)은 압축 응력(>500 MPa±50 MPa)으로 인해 표면 경도를 HV 2200±50으로 증가시킵니다.

예를 들어, 8% Co와 0.5% Cr₃C₂를 함유한 공구(HV 1900±50, HIP 공정)는 습식 열간 절삭(40° C, 습도 90%)에서 HV 1850±30의 경도와 15 시간±1 시간 이상의 수명을 유지합니다. 최적화를 위해서는 낮은 Co 함량(6%8%)과 고밀도 공정이 필요합니다.

3.1.2 초경합금의 인성

초경합금의 인성은 균열 전파 및 파괴에 저항하는 능력을 나타내며, 재료의 내충격성과 신뢰성을 측정하는 핵심 성능 지표입니다. 초경합금은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co) 또는 니켈(Ni)을 결합상으로 사용하기 때문에, 인성은 주로 결정립 크기, 결합상 함량, 미세조직 및 제조 공정에 의해 영향을 받습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

파괴인성의 정의

파괴인성 (KIC)은 시멘트 초경이 균열 확산을 저항하는 능력으로, 일반적으로 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 표현되며 균열 끝부분에서 응력 확대 계수를 받을 때 재료의 파괴 저항성을 반영합니다(ASTM E399).

파괴인성 범위

일반적인 초경합금(입자 크기 1-5 μm)은 Co 함량에 따라 KIC가 8-15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 입니다. 미립자(0.5-1 μm) 및 초미립자(0.2-0.5 μm) 초경합금은 KIC가 7-12 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 이며, 입계 면적이 증가하여 균열 전파 경로가 더 복잡합니다(중국 비철금속 학회지, 2024). 나노스케일 초경합금(0.05-0.2 μm)은 KIC가 6-9 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 이며, 미세 입자로 인해 인성과 응력 집중이 낮습니다(ITIA, 2024).

파괴인성에 영향을 미치는 요인

바인더상 함량

Co 함량이 6%에서 15%로 증가하면 Co가 플라스틱 완충 역할을 하므로 KIC가 20%-30% (8 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 에서 10-12 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) 증가할 수 있습니다.

입자 크기

입자 크기가 5 μm 에서 0.2 μm 로 감소하면 KIC는 약 15%-20% 감소하지만 내마모성은 향상됩니다.

미세한 결합

다공성이나 균열은 KIC를 5%-10% 감소시킵니다.

파괴인성 적용

파괴인성은 공구의 내치평성과 금형의 내충격성을 평가하는 핵심 지표입니다. 예를 들어, 고속 절삭(200m/min)에서 $\text{KIC} > 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 인 초경합금의 수명은 2~3 시간에 달할 수 있습니다(Journal of Materials Science 2025).

충격 인성의 정의

cm^2 샤르피 또는 아이조드 충격 시험(ASTM E23)을 통해 측정됩니다.

파괴인성 범위:

조립질 시멘트 카바이드($>5 \mu\text{m}$)는 입자 크기가 크고 Co가 균일하게 분포되어 있어 10-20 J/cm^2 입니다.

미립자 및 초미립자 시멘트 카바이드의 인성은 5-12 J/cm^2 이며, 입자 크기가 작아질수록 인성이 감소합니다.

나노급 초경합금의 충격인성은 5 J/cm^2 미만이며, 충격저항성이 비교적 약합니다.

파괴인성에 영향을 미치는 요인:

Co 함량: Co가 6%에서 12%로 증가하면 Co상이 에너지 흡수를 향상시켜 충격 인성이 약 30%-40% 증가합니다.

소결 공정: 열간 등방성 압축(HIP)을 통해 기공이 감소하고 충격 인성이 10~15%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

향상됩니다.

주변 온도: 낮은 온도(-50°C)에서는 충격 인성이 약 20~25% 감소하고, Co 함량이 높은 재료가 더 안정적입니다.

용도: 충격 인성은 광산용 드릴 비트 및 스탬핑 다이에 적합합니다. 고주파 충격(분당 2000 회 이상) 시, 인성이 10 J/cm^2 이상인 소재의 수명은 200~300 시간에 달할 수 있습니다.

피로인성의 정의

피로인성은 시멘트 카바이드가 반복 하중 하에서 균열 성장에 저항하는 능력을 나타내며 일반적으로 피로 균열 성장 속도(da/dN , m/cycle) 또는 피로 한계(MPa)로 특징지어집니다(ASTM E647).

피로인성 범위:

일반적인 초경합금의 피로한도는 $800\sim 1200\text{MPa}$ 이고, 피로균열성장속도는 약 $10^{-6}\sim 10^{-5}\text{m/cycle}$ 이다.

나노스케일 초경합금의 피로한도는 결정립계 응력의 집중으로 인해 $600\sim 900\text{MPa}$ 로 낮아지고, 팽창률은 $10^{-5}\sim 10^{-4}\text{ m/cycle}$ 로 높아집니다.

피로인성에 영향을 미치는 요인:

표면 품질: 표면 거칠기 $Ra > 0.8\text{ }\mu\text{m}$, 피로 수명이 20%~30% 감소합니다.

결합: 다공성이나 비정질상은 피로한도를 10%~15% 감소시킨다.

코팅: PVD TiAlN 코팅은 표면 균열 발생을 줄여 피로 수명을 약 15~20% 증가시킬 수 있습니다.

피로인성 적용

피로 인성은 반복적으로 하중을 받는 공구(밀링 커터 등)에 매우 중요한데, 피로 수명이 10^7 사이클(500MPa)에서 1000~1500 시간에 달할 수 있습니다.

열 인성의 정의

고온 인성은 고온 열 사이클이나 열 충격 하에서 시멘트 카바이드의 균열 저항성을 반영하며, 일반적으로 열 피로 수명(사이클 수)이나 고온 파괴 인성(KIC, 1000°C)으로 특징지어집니다(ASTM E1830).

열 인성 범위

기존 초경합금의 열피로수명은 500~1000 배(500°C)이고 고온 KIC 는 $6\sim 10\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 이다.

TaC 또는 TiC 를 함유하면 1000~1500 배까지 도달할 수 있으며 고온 KIC 는 $7\sim 12\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 입니다.

열 인성에 영향을 미치는 요인

열팽창 불일치: WC($5.2\times 10^{-6}/\text{K}$)와 Co($12\times 10^{-6}/\text{K}$)의 불일치로 인해 열 응력이 발생하고 인성이 10~15% 감소합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고온 산화: 1000° C 산화 증량 증가 > 0.1 mg/cm², 열 인성이 약 20% 감소했습니다.
입자 크기: 나노스케일 소재는 열 응력이 집중되어 열 인성이 약 15~20% 감소합니다.

열 인성의 적용

열적 인성은 고온 절단(예: 항공기 엔진 부품, 250m/분)에 적합하며, 사용 수명은 2~3 시간에 달할 수 있습니다.

5. 회복력에 영향을 미치는 주요 요인

결합상 구성: Ni 또는 Co-Cr 합금이 순수 Co를 대체하며, Ni 상은 강한 내식성(부식률 <0.03mm/년, ASTM G31)을 가지고 있어 인성이 5%-10% 향상됩니다.

미세구조: η 상 또는 자유탄소는 인성을 5~15% 감소시키고, 열간등방성형(HIP)을 통해 약 10%의 인성을 회복할 수 있습니다.

공정 최적화: 입자 억제제(예: VC 0.2%-0.5%)를 첨가하면 인성을 5%-8%까지 높일 수 있습니다(ITIA 2024).

파괴인성 (K_{Ic})은 $820 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 로 세라믹($K_{Ic} \text{ } 35 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) 및 질화규소($K_{Ic} \text{ } 68 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)보다 우수하고 고강도강($K_{Ic} \text{ } 2030 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)보다 약간 낮아 압축 굴착 및 펀칭과 같은 고충격 조건을 견뎌냅니다. 인성은 Co 상의 소성 변형(변형률 <5%±0.5%, 항복 강도>500 MPa±20 MPa)에서 비롯되며, 균열 변형(각도>30° ±5°) 및 브리징(브리징력>10 MPa±2 MPa)을 통해 에너지를 소산시킵니다. 12% Co를 함유하는 초경합금의 K_{Ic} 는 $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.3$ 이고, 6% Co를 함유하는 초경합금의 K_{Ic} 는 $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.2$ 이다.

Co 함량은 인성을 조절합니다. Co 함량이 6%에서 20%로 증가하면 Co 상 네트워크(두께 1030 nm±2 nm, 2 장 참조)의 향상된 에너지 흡수(소산 에너지 >50 J/m² ± 5 J/m²)로 인해 K_{Ic} 가 $8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 에서 $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 로 증가합니다. TaC(1%2%)를 첨가하면 입계 강도(>50 MPa±5 MPa)가 증가하고, K_{Ic} 는 $14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 로 증가하며, 균열 확장 길이는 <10 μm±2 μm입니다.

초경 드릴은 화강암 드릴링에서 균열 길이가 <5 μm±1 μm 이고 수명이 >250h±20h(충격 빈도 >2000 회/분, 하중 >3000 MPa, 충격 에너지 >100 J±10 J)로 세라믹 드릴(수명 <50h, 균열 >20 μm)보다 우수합니다.

습도가 높은 환경(40° C, 습도 90%, 168 시간)에서 Co 상 부식(깊이 <2 μm±0.5 μm, 증량 감소 <0.2 mg/cm² ± 0.05 mg/cm²)으로 인해 K_{Ic} 가 5% 10% ±1% 감소합니다. 극한의 저온(40° C)에서 Co 취성(인성-강도 변환, 변형률 감소 <3%±0.3%)으로 인해 K_{Ic} 가 3%±0.5% 감소합니다. 고압(>100 MPa, 심해)에서 결정립계 결합이 강화되고 K_{Ic} 가 2% ± 0.3% 증가합니다. 방사선(10⁴Gy)에서 Co 상 결함(공석 밀도 <10¹⁵ /cm³)이 유도되고 K_{Ic} 가 <2%±0.3% 감소합니다.

Ni 함유 초경합금(12% Ni, $K_{Ic} \text{ } 13 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.3$)은 해양 환경(염도 3.5%, O₂ 8 mg/L)에서 K_{Ic} 감소가 2% 미만으로 더 안정적입니다. 예를 들어, Ni 함유 압축 시추 공구는 고온 다습한 광산(pH 6, 습도 90%, 온도 40° C)에서 작동하며, K_{Ic} 는 12

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

$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.3$ 이고 수명은 $30\% \pm 5\%$ 증가합니다. 이는 Co 함유 재료(수명 감소 $10\% \pm 2\%$)보다 우수합니다.

인성을 최적화하려면 경도의 균형을 맞춰야 합니다. 높은 Co(>15%)는 K_{1c} 를 $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 로 증가시키지만, 경도는 HV 1400 ± 30 으로 떨어집니다. NbC (0.5%)를 첨가하면 균열 경로를 미세화(균열 폭 $<1 \mu\text{m} \pm 0.2 \mu\text{m}$)하여 K_{1c} 를 $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 로 증가시키지만, 경도는 HV 1800 ± 30 으로 유지됩니다.

예를 들어, 고주파 스탬핑(시간당 10 회 이상, 하중 2000MPa 이상)에서 10% Co 와 0.5% NbC 를 첨가한 초경합금 다이는 변형률 $0.01\text{mm} \pm 0.002\text{mm}$ 미만, 균열률 0.5% 미만, 수명 6000 시간 ± 500 시간을 나타내어 강철 다이(변형률 0.05mm 이상, 수명 2000 시간 미만)보다 우수합니다. 도메인 간 비교 결과, 초경합금은 세라믹과 알루미늄($K_{1c} < 5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)보다 인성이 우수하지만, 고충격 인성($K_{1c} > 50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)에서는 인성이 강한 강철보다 열등합니다.

3.1.2.1 인성 시험 방법

인성 시험은 균열 저항성을 보장하며, 다음과 같은 방법이 있습니다.

싱글 예지 노치 빔 (SENB, ASTM E399)

12% Co ($K_{1c} 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.3$)를 함유한 초경합금은 3 점 굽힘 시험을 적용하였으며, 시편 크기는 $4 \times 4 \times 20 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, 노치 깊이는 $2 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$, 스패 길이는 $20 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, 하중 속도는 $0.1 \text{ mm/min} \pm 0.01 \text{ mm/min}$, 오차는 $<2\% \pm 0.5\%$ 입니다. 환경 조건은 $25^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$, 습도는 $<60\% \pm 5\%$ 입니다.

세브론 노치 시험 (ASTM E1304): 6% Co 를 함유한 시멘트 카바이드 ($K_{1c} 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.2$)는 V-노치를 사용하고, 시편은 $5 \times 5 \times 25 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, 하중 속도는 $0.05 \text{ mm/min} \pm 0.005 \text{ mm/min}$, 오차는 $<3\% \pm 0.5\%$ 로 소형 시편에 적합합니다.

충격 인성 시험 (ISO 148)

15% Co 를 함유한 경질 합금(충격 에너지 $>20 \text{ J} \pm 2 \text{ J}$)을 샤르피 충격 시험으로 충격을 가하였는데, 시편 크기는 $10 \times 10 \times 55 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, 진자 에너지는 $300 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, 오차는 $<5\% \pm 1\%$ 로 광산 도구 시험에 적합합니다.

파괴 역학 시뮬레이션: 10% Co 를 함유한 시멘트 카바이드에 대해 유한 요소 해석 (ANSYS, 메시 크기 $<0.1 \text{ mm}$, 균열 확장 오차 $<0.05 \text{ mm}$)을 사용하여 복잡한 응력 해석에 적합한 K_{1c} (오차 $<5\% \pm 1\%$)를 예측했습니다.

미세균열 분석

TaC 를 함유한 (균열 깊이 $<10 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$) 금속은 주사전자현미경 (SEM, 분해능 $<5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$)을 이용하여 평가하였다(오차 $<5\% \pm 1\%$).

예를 들어, 12% Co 와 1% TaC 를 함유한 드릴은 SENB 테스트 ($K_{1c} 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0.5)를 통과하여 $>250h \pm 20h$ 의 충격 수명과 $<5 \mu m \pm 1 \mu m$ 의 SEM 검증 균열 길이가 보장됩니다.

3.1.2.2 인성에 영향을 미치는 요인 개요

회복력은 다음의 영향을 받습니다.

요소

Co 함량을 6%에서 20%로 증가시키면 Co 상의 가소성(전단 탄성률 $80 \text{ GPa} \pm 5 \text{ GPa}$)으로 인해 K_{1c} 가 8에서 $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 로 증가하여 균열 소산이 향상됩니다(에너지 $>50 \text{ J/m}^2 \pm 5 \text{ J/m}^2$). Co를 Ni로 치환하면(12% Ni, $K_{1c} 13 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.3$) Ni의 낮은 가소성(변형률 $<4\% \pm 0.5\%$)으로 인해 인성이 감소합니다. TaC(1%2%)를 첨가하면 결정립계 강화(결합 강도 $>50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$)로 인해 K_{1c} 가 $14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 로 증가합니다.

기술

소결 시간($24 \text{ 시간} \pm 0.1 \text{ 시간}$, $1450^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$)은 Co 상의 균일성을 증가시키고(분포 오차 $<5\% \pm 1\%$), K_{1c} 를 $5\% \pm 1\%$ 증가시킵니다. 너무 높은 온도($>1550^\circ \text{C}$)는 Co의 휘발을 유발하고 K_{1c} 를 $3\% \pm 1\%$ 감소시킵니다. HIP($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$)는 결함을 감소시키고(기공률 $<0.1\% \pm 0.02\%$), K_{1c} 를 $3\% \pm 0.5\%$ 증가시킵니다.

환경

습열(40°C , 습도 90%)의 경우, Co 부식(중량 감소 $<0.2 \text{ mg/cm}^2$)으로 인해 K_{1c} 가 $5\% \pm 1\%$ 감소합니다. 극한의 저온(40°C)의 경우, Co 취성으로 인해 K_{1c} 가 $3\% \pm 0.5\%$ 감소합니다. 고압($>100 \text{ MPa}$)의 경우, 결합력 향상으로 인해 K_{1c} 가 $2\% \pm 0.3\%$ 증가합니다. 방사선(10^4 Gy)의 경우, 결함으로 인해 K_{1c} 가 $<2\% \pm 0.3\%$ 감소합니다.

스트레스 상태

충격 주파수($>2000 \text{ 회/분}$)가 피로균열(길이 $>5 \mu m \pm 1 \mu m$)을 유발하면 K_{1c} 는 $5\% \pm 1\%$ 감소하고 정적 하중($<3000 \text{ MPa}$)에서는 K_{1c} 가 안정적이다.

12% Co를 함유하고 HIP 공정($K_{1c} 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.3$)을 거친 드릴 비트가 고온다습한 광산(40°C , 습도 90%)에서 운전되고 있으며, K_{1c} 는 $14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.3$ 으로 유지되고, 수명은 250 시간 $\pm$ 20 시간 이상입니다. 최적화를 위해서는 높은 Co(12%15%)와 TaC 첨가가 필요합니다.

3.1.3 초경합금의 강도

초경합금의 강도는 외력에 의한 변형이나 파괴에 저항하는 능력을 나타내며, 재료의 하중 지지력과 내구성을 측정하는 중요한 지표입니다. 초경합금은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co) 또는 니켈(Ni)을 결합상으로 사용하기 때문에, 강도는 결정립 크기, 결합상 함량, 그리고 미세구조의 영향을 받습니다. 초경합금의 주요 강도 유형과 그 세부 설명은 다음과 같습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1.3.1 형파단강도(TRS)

정의

굽힘 강도는 초경합금이 3 점 또는 4 점 굽힘 시험에서 파괴에 저항하는 능력을 나타냅니다. mpa 단위로 측정하며, 복합 응력 하에서 재료의 지지력을 나타냅니다.

범위

일반적인 시멘트 초경합금(입자 크기 1-5 μm)은 1800-2500 MPa 이고 Co 함량은 6%-15%입니다.

미립자(0.5-1 μm) 및 초미립자(0.2-0.5 μm) 시멘트 카바이드는 1700-2200 MPa 입니다.

나노 크기의 초경합금(0.05~0.2 μm)은 1600~1900MPa 이지만 결정립계에 응력이 집중되어 강도가 저하된다.

성능 특성

굽힘 강도는 일반적으로 4000-4500 MPa $\pm$ 100 MPa 로, 고강도강(~1500 MPa), 세라믹(~1000 MPa), 티타늄 합금(~800 MPa)보다 우수하며 스탬핑 및 항공 가공과 같은 복잡한 응력 조건에 적합합니다. Co 상은 소성 변형(변형률 <5% $\pm$ 0.5%, 전단 응력 <100 MPa $\pm$ 10 MPa)을 통해 균열 전파(균열 속도 <10⁻⁵m/s $\pm$ 10⁻⁶m/s)를 억제합니다. 예를 들어, Co 10%를 함유한 초경합금의 굽힘 강도는 4200 MPa $\pm$ 100 MPa 이고, Co 15%를 함유한 초경합금의 굽힘 강도는 4000 MPa $\pm$ 100 MPa 로 떨어집니다.

애플리케이션

자동차 강판 스탬핑(하중 > 2000 MPa, 빈도 > 10⁴회/시, 판 두께 2mm $\pm$ 0.1mm)에서 8% Co 를 함유한 시멘트 카바이드 다이의 Co 함량은 <0.5%이고, 수명은 >6000 시간 $\pm$ 500 시간으로 강철 다이(파괴율 > 5%, 수명 <2000 시간)보다 우수합니다.

10% Co 와 1% TaC 를 함유한 공구는 항공기용 티타늄 합금 절삭 시 파단율이 <1%이고 수명이 >12 시간 $\pm$ 1 시간(응력 > 2000 MPa, 절삭 속도 150m/min)으로 세라믹 공구(수명 < 4 시간)보다 우수합니다.

영향 요인

공동 콘텐츠

6%에서 15%로 증가하면 Co 상이 강성을 감소시키기 때문에 강도가 4500MPa $\pm$ 100MPa 로 떨어지고, NbC(0.5%-1%)를 첨가하면 고용 강화(결정립계 강도>50MPa $\pm$ 5MPa)를 통해 강도가 4600MPa $\pm$ 100MPa 로 증가합니다.

기술

소결 온도(1450 $^{\circ}$ C $\pm$ 10 $^{\circ}$ C)는 WC-Co 결합(결합 강도 >50 MPa $\pm$ 5 MPa)을 보장하고 강도는 3% $\pm$ 0.5% 증가합니다. HIP(100 MPa $\pm$ 5 MPa)는 균열(<5 μm $\pm$ 1 μm)을 제거하고 강도는 5% $\pm$ 1% 증가합니다. 냉각 속도(>10 $^{\circ}$ C/분)는 응력(>100 MPa $\pm$ 10 MPa)을 유도하고 강도는 2% $\pm$ 0.3% 감소합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

환경

고온(800° C)은 Co 연화(항복 강도가 $<400 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ 감소)로 인해 $3800 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ 로 감소($<10\%$ 감소); 습열(40° C, 습도 90%, 168 시간)은 Co 부식(중량 감소 $<0.1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0.02 \text{ mg/cm}^2$)으로 인해 $5\% \pm 1\%$ 감소; 고압($>100 \text{ MPa}$)은 $2\% \pm 0.3\%$ 증가; 극한의 추위(-40° C)는 $3\% \pm 0.5\%$ 증가; 방사선(10^4 Gy)은 $<1\% \pm 0.2\%$ 감소. Cr(0.5%-1%)을 함유하면 Cr_2O_3 보호층(두께 $<5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$)이 형성되고, 습열은 $<2\%$ 감소.

샘플 기하학

두께 $> 4 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 는 응력 집중(계수 $< 1.2 \pm 0.1$)을 감소시키고 강도는 $2\% \pm 0.3\%$ 증가합니다. 표면 결함($R_a > 0.4 \mu\text{m}$)은 균열을 유발하여 강도를 $3\% \pm 0.5\%$ 감소시킵니다.

탐지 방법

3 점 굽힘(ISO 3327)

시편 $4 \times 4 \times 40 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, 스패น $20 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, 하중 속도 $0.2 \text{ mm/min} \pm 0.02 \text{ mm/min}$, 오차 $<2\% \pm 0.5\%$, 환경 $25^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$.

4 점 굽힘(ASTM C1161)

시편의 크기는 $3 \times 4 \times 45 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 이고, 하중점 간격은 $10 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 이며, 오차는 $<3\% \pm 0.5\%$ 로 균일응력 해석에 적합합니다.

초음파 검사(ASTM E588)

종파(주파수 $5 \text{ MHz} \pm 0.1 \text{ MHz}$, 파동속도 $6 \text{ km/s} \pm 0.1 \text{ km/s}$), 균열 검출($<5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), 오차 $<5\% \pm 1\%$.

디지털 이미지 상관관계(DIC)

변형률 오차 $<0.1\% \pm 0.02\%$, 고해상도 카메라(해상도 $<5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), 파괴 변형률 분석, 오차 $<5\% \pm 1\%$.

3.1.3.2 압축 강도

정의: 압축 강도는 시멘트 카바이드가 압축 변형이나 손상에 저항하는 능력을 MPa 단위로 나타낸 것으로, 높은 하중 하에서 재료의 지지력을 반영합니다.

범위

시멘트 카바이드의 압축 강도는 일반적으로 $4000 \sim 6000 \text{ mpa} \pm 100 \text{ mpa}$ 로, 고강도 강철($\sim 2000 \text{ mpa}$), 세라믹($\sim 3000 \text{ mpa}$), 티타늄 합금($\sim 1000 \text{ mpa}$)보다 훨씬 높으며 심해 굴착 및 압출과 같은 고하중 조건에 적합합니다.

나노스케일 소재는 $5000 \sim 6500 \text{ mpa} \pm 100 \text{ mpa}$ 에 도달할 수 있으며, 이는 입자 미세화를 통해 향상됩니다.

성능 특성

압축강도는 wc 의 강성(푸아송비 0.2 ± 0.02 , 영률 $700 \text{ gpa} \pm 10 \text{ gpa}$)에 의해 지배되며, 코발트상은 응력 집중을 완화합니다(응력 감소 $>20\% \pm 2\%$, 전단응력 $<100 \text{ mpa} \pm 10 \text{ mpa}$). 예를 들어, 코발트 10%를 함유한 초경합금의 압축강도는 $4500 \text{ mpa} \pm 100 \text{ mpa}$ 이고,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

코발트 6%를 함유한 초경합금의 압축강도는 $4700\text{MPa} \pm 100\text{MPa}$ 에 이릅니다.

애플리케이션

6% Co를 함유한 카바이드 드릴 비트는 단단한 암석 드릴링(응력 $>3000\text{MPa}$, 암석 경도 $>1000\text{MPa}$, 드릴링 속도 $>10\text{m/h} \pm 1\text{m/h}$)에서 변형률이 $<0.005\text{mm} \pm 0.001\text{mm}$ 이고 수명이 >300 시간 ± 20 시간으로 강철 드릴 비트(변형률 $>0.05\text{mm}$, 수명 <100 시간)보다 우수합니다.

Cr(0.5%-1%)을 함유한 시멘트 카바이드 롤러의 광석 파쇄 시(하중 $>4000\text{MPa}$, 입자 크기 $<10\text{mm} \pm 2\text{mm}$) 변형은 $<0.003\text{mm} \pm 0.001\text{mm}$ 이며, 사용 수명이 $35\% \pm 5\%$ 증가합니다.

8% Co를 함유한 압출 다이는 알루미늄 합금 가공(600°C , 하중 $>4000\text{MPa}$, 압출 속도 $>5\text{m/min} \pm 0.5\text{m/min}$)에서 변형률이 $<0.01\text{mm} \pm 0.002\text{mm}$ 이고 수명이 >5000 시간 ± 500 시간으로, 강철 다이(수명 <1000 시간)보다 우수합니다.

영향 요인

요소

Co 함량이 6%에서 20%로 증가하면 Co 상이 강성을 감소시키기 때문에 강도가 4700에서 $4100\text{MPa} \pm 100\text{MPa}$ 로 감소합니다(영률 $200\text{GPa} \pm 10\text{GPa}$). Cr(0.5%-1%)은 CrCo 고용체가 강화되어 $4800\text{MPa} \pm 100\text{MPa}$ 로 증가합니다(결합 강도 $>60\text{MPa} \pm 5\text{MPa}$). TiC(10%-15%)는 밀도가 감소하기 때문에($<13\text{g/cm}^3 \pm 0.1\text{g/cm}^3$) $4300\text{MPa} \pm 100\text{MPa}$ 로 감소합니다.

기술

소결 압력($510\text{MPa} \pm 0.5\text{MPa}$)은 밀도($>99\% \pm 0.1\%$)를 개선하고 강도는 $3\% \pm 0.5\%$ 증가합니다. HIP($100\text{MPa} \pm 5\text{MPa}$)는 기공을 제거하고(기공률 $<0.1\% \pm 0.02\%$) 강도를 $5\% \pm 1\%$ 증가시킵니다. 지나치게 높은 온도($>1550^\circ\text{C}$)는 WC 분해(탄소 손실 $<1\% \pm 0.2\%$)를 유발하고 강도를 $3\% \pm 0.5\%$ 감소시킵니다.

환경

고온(800°C)은 결합 에너지 감소(결합 길이가 $0.1\text{\AA} \pm 0.02\text{\AA}$ 증가)로 인해 $4000\text{MPa} \pm 100\text{MPa}$ 로 감소(10% 미만 감소)했습니다. 습열(40°C , 습도 90%, 168 시간)은 Co 미세부식(중량 감소 $<0.1\text{mg/cm}^2 \pm 0.02\text{mg/cm}^2$)으로 인해 $3\% \pm 0.5\%$ 감소했습니다. 극한의 추위(-40°C)는 WC 강성 향상으로 인해 $2\% \pm 0.3\%$ 증가했습니다. 고압($>100\text{MPa}$, 심해)은 $3\% \pm 0.5\%$ 증가했습니다. 방사선(10^4Gy)은 $<1\% \pm 0.2\%$ 감소했습니다. Ni 함유(12% Ni, $4500\text{MPa} \pm 100\text{MPa}$)는 해양 환경(염도 3.5%, 수압 50 MPa)에서 더 안정적이며 감소율이 1% 미만입니다.

적재율

높은 속도($>1\text{mm/min}$)는 미세균열(길이 $<5\text{\mu m} \pm 1\text{\mu m}$)을 유발하며, 감소율은 $2\% \pm 0.3\%$ 입니다. 낮은 속도($<0.5\text{mm/min}$)는 강도를 안정적으로 유지합니다.

탐지 방법

원통형 시편 압축(ASTM C773)

시편직경은 $10\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$, 높이는 $20\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$, 압축속도는 $0.5\text{mm/min} \pm 0.05\text{mm/min}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

오차는 $<2\% \pm 0.5\%$, 환경은 $25^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$, 표면 Ra 는 $<0.2 \mu\text{m} \pm 0.05 \mu\text{m}$ 이다.

정적 하중 시험

서보 유압 프레스(하중 정확도 $\pm 1 \text{ kN}$, 최대 하중 $5000 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$)를 사용하여 오차가 $<3\% \pm 0.5\%$ 로 대형 시편에 적합합니다.

비파괴 검사(초음파, ASTM E494)

종파 탐상(파동속도 $6 \text{ km/s} \pm 0.1 \text{ km/s}$, 주파수 $5 \text{ MHz} \pm 0.1 \text{ MHz}$), 오차 $<5\% \pm 1\%$, 현장탐지에 적합함.

유한 요소 시뮬레이션

ANSYS(메시 크기 $<0.1 \text{ mm}$, 응력 오차 $<10 \text{ MPa}$)를 사용하여 $<5\% \pm 1\%$ 의 오차로 강도를 예측했습니다.

3.1.3.3 인장 강도

정의

인장 강도는 시멘트 카바이드가 인장 파괴에 저항하는 능력을 말하며, mpa 단위로 측정하지만, 취성 때문에 일반적으로 낮습니다.

범위

기존 초경합금의 인장강도는 $800 \sim 1200 \text{ mpa}$ 로, 결정립계 약화로 인해 제한을 받습니다. 나노 스케일 소재는 $1000 \sim 1400 \text{ MPa}$ 에 도달할 수 있으며, 미량의 Ni 는 인성을 향상시킵니다.

영향 요인

Co 함량이 증가하면(예: $6 \sim 15\%$) 제품이 약 $10 \sim 15\%$ 정도 향상되고 결함(예: 기공)은 약 $5 \sim 10\%$ 정도 감소합니다.

애플리케이션

와이어 드로잉 다이 및 마이크로 드로잉 부품 등 인장 하중이 작은 부품에 적합합니다.

3.1.3.4 피로 강도

정의

피로강도는 반복하중 하에서 시멘트 초경이 피로 파괴를 저항하는 능력을 말하며, mpa 단위로 측정합니다.

범위

일반적인 초경합금의 피로한도는 $800 \sim 1200 \text{ MPa}$, 10^7 사이클입니다. 나노스케일 재료는 결정립계 응력의 집중으로 인해 $600 \sim 900 \text{ MPa}$ 로 감소합니다.

영향 요인

표면 거칠기 $Ra > 0.8 \mu\text{m}$ 는 피로 수명을 $20\% \sim 30\%$ 감소시키지만, 코팅(예: TiAlN)은 피로 수명을 약 $15\% \sim 20\%$ 증가시킵니다.

애플리케이션

$1000 \sim 1500$ 시간의 수명을 가진 밀링 커터와 같은 주기적으로 부하가 걸리는 도구에 적합합니다.

3.1.3.5 영향 요인 요약

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

결합 단계

Co 함량이 증가할수록 강도는 증가하지만, Co 함량이 너무 높으면(>15%) 경도가 감소할 수 있습니다.

입자 크기

입자 크기를 미세화하면(예: $0.2\mu\text{m}$) 압축 강도는 증가하지만 굽힘 강도와 피로 강도는 감소합니다.

결합

다공성, 비정질상 또는 균열은 모든 유형의 강도를 5~15% 감소시킵니다.

3.1.3.6 환경 및 최적화 제안

환경 영향

고온(800°C)은 강도를 $10\pm 1\%$ 감소시키고, 습열(40°C , 습도 90%)은 강도를 3~5% 감소시키고, 고압(100 MPa 이상)은 강도를 2~3% 증가시키고, 극한의 저온(-40°C)은 강도를 2~3% 증가시키고, 방사선(10^4 Gy)은 강도에 1% 미만의 영향을 미칩니다. Ni 또는 Cr을 함유한 초경합금은 가혹한 환경(예: 해양, 습열)에서 더 안정적입니다.

최적화 제안

낮은 Co(6~8%), 높은 밀도($>99\pm 0.1\%$) 및 HIP 공정을 채택하고 NbC 또는 TaC를 첨가하여 강도를 높이고 수명을 30~35% 연장합니다.

초경합금의 열적 특성

열적 특성은 초경합금이 고온 절삭, 열 사이클 및 극한 열 환경에서 어떤 성능을 보이는지를 결정하며, 항공 엔진, 가스터빈, 원자력 발전에 널리 사용됩니다. 이 섹션에서는 열전도도, 열팽창 계수, 고온 안정성 및 열충격 저항성을 분석합니다.

초경합금의 열전도도

초경합금의 열전도도는 $80120\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 로 세라믹($2030\text{ W/m}\cdot\text{K}$), 알루미늄($30\text{ W/m}\cdot\text{K}$)보다 높고 구리($400\text{ W/m}\cdot\text{K}$)와 흑연($150\text{ W/m}\cdot\text{K}$)보다 낮습니다. 이는 WC($110\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$, 전자 열전도도가 지배적)와 Co($70\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$, 포논 산란 $>20\pm 2\%$)에 의해 결정됩니다. 10% Co를 함유하는 초경합금의 열전도도는 $100\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 이고, 15% Co를 함유하는 초경합금의 열전도도는 $90\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 로 떨어집니다.

높은 열전도도는 공구 온도를 낮춥니다. 항공 알루미늄 합금(200m/min , 열유속 밀도 $>10\text{MW/m}^2\pm 1\text{MW/m}^2$)의 고속 절삭에서 8% Co를 함유한 초경 공구의 표면 온도는 $<700^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 이고, 마모량은 $<0.1\text{mm}\pm 0.02\text{mm}$ 이며, 수명은 $>12\text{시간}\pm 1\text{시간}$ 으로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

세라믹 공구(온도 $>900^{\circ}\text{C}$, 수명 <4 시간)보다 우수합니다. TiC(15%, 열전도도 $30\text{W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{W/m}\cdot\text{K}$)를 첨가하면 $85\text{W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{W/m}\cdot\text{K}$ 로 낮아지지만 고온 안정성이 향상되어 항공 노즐(1100°C , 가스 유량 $>500\text{m/s}\pm 50\text{m/s}$)에 적합합니다. 예를 들어, 가스터빈에 15% TiC가 함유된 노즐은 열확산도가 $>30\text{mm}^2/\text{s}\pm 2\text{mm}^2/\text{s}$ 이고, 변형률이 $<0.01\text{mm}\pm 0.002\text{mm}$ 이며, 수명이 >6000 시간 ± 500 시간입니다.

환경적 영향은 주의가 필요합니다. 고온(800°C)에서 열전도도는 Co 상 전자 산란(이동도 감소 $<10^{-4}\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}\pm 10^{-3}\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)으로 인해 $90\text{W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{W/m}\cdot\text{K}$ (10% 미만 감소)로 떨어집니다. 습한 열(40°C , 습도 90%, 168 시간)에서 열전도도는 표면 산화(산화층 $<1\mu\text{m}\pm 0.2\mu\text{m}$)로 인해 $<2\%\pm 0.5\%$ 로 떨어집니다. 극한의 추위(40°C)에서 열전도도는 향상된 포논 열전도도로 인해 $1\%\pm 0.3\%$ 증가합니다. 고압($>100\text{MPa}$)에서 열전도도는 $2\%\pm 0.3\%$ 증가합니다. 방사선(10^{-4}Gy)에서 열전도도는 $<1\%\pm 0.2\%$ 로 떨어집니다. Ni를 함유하는 초경합금(12% Ni, $95\text{W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{W/m}\cdot\text{K}$)은 해양 환경(염도 3.5%, 압력 50 MPa)에서 더 안정적이며 감소율이 1% 미만입니다.

예를 들어, Ni를 함유한 금형의 열전도도는 $93\text{W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{W/m}\cdot\text{K}$ 로 유지되었고, 습식 핫 스탬핑(40°C , 습도 90%, 600°C) 동안 변형은 $<0.01\text{mm}\pm 0.002\text{mm}$ 로 Co를 함유한 재료보다 우수했습니다(감소율 $>3\%\pm 0.5\%$).

열전도도 최적화는 고온 성능의 균형을 필요로 합니다. 열 사이클 절삭($25,800^{\circ}\text{C}$, 1000 회, 온도 차이 $>500^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$)에서 10% Co를 함유한 초경 공구의 균열 길이는 $<5\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ 로, 세라믹(균열 $>20\mu\text{m}$)보다 우수합니다. 영역 간 비교 결과, 초경 공구의 열전도도는 세라믹 및 티타늄 합금($20\text{W/m}\cdot\text{K}$)보다 우수하지만 구리 및 흑연보다는 낮습니다.

3.2.1.1 열전도도 시험 방법

열전도도 테스트 방법은 다음과 같습니다.

레이저 플래시 방법(ASTM E1461)

10% Co($100\text{W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{W/m}\cdot\text{K}$)를 함유한 초경합금 소재를 사용하였으며, 샘플 직경은 $12.7\text{mm}\pm 0.1\text{mm}$, 두께는 $2\text{mm}\pm 0.1\text{mm}$, 레이저 펄스 폭은 $0.5\text{ms}\pm 0.05\text{ms}$, 열확산율 오차는 $<1\%\pm 0.2\%$, 총 오차는 $<2\%\pm 0.5\%$ 입니다. 실험 환경은 $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 가 필요합니다.

정상상태 열 흐름법(ASTM C177)

8% Co를 함유한 시멘트 카바이드($98\text{W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{W/m}\cdot\text{K}$)는 $50\times 50\times 10\text{mm}\pm 0.1\text{mm}$ 의 시편을 사용하였고, 온도차는 $10^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 열 흐름 정확도는 $\pm 0.1\text{W/m}^2$, 오차는 $<3\%\pm 0.5\%$ 였다.

과도 열선법(ASTM D5930): TiC($85\text{W/m}\cdot\text{K}\pm 5\text{W/m}\cdot\text{K}$)를 함유한 시멘트 카바이드는 $0.1\text{W}\pm 0.01\text{W}$ 의 열선 전력, $0.1^{\circ}\text{C}\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 의 온도 분해능, $<5\%\pm 1\%$ 의 오차를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

사용하며 불균일한 재료에 적합합니다.

적외선 온도 측정 시뮬레이션

10% Co 를 함유한 시멘트 카바이드(열전도도 오차 $<5\pm1\%$)의 열유속 분포는 적외선 카메라(해상도 $<0.1^\circ\text{C}\pm0.05^\circ\text{C}$)를 사용하여 분석되었습니다(오차 $<5\pm1\%$).

예를 들어, 10% Co 를 함유한 공구는 레이저 플래시 방법($100\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm5\text{ W/m}\cdot\text{K}$)으로 테스트하고, 적외선 검증 표면 온도는 $<700^\circ\text{C}\pm20^\circ\text{C}$ 로, 절단 수명이 $>12\text{ 시간}\pm1\text{ 시간}$ 을 보장합니다.

3.2.1.2 열전도도에 영향을 미치는 요인

열전도도는 다음의 영향을 받습니다.

구성: Co 함량이 10%에서 15%로 증가하면 Co 의 포논 산란이 증가하여(산란율 $>20\pm2\%$) 열전도도가 100 에서 $90\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 로 감소합니다. TiC(15%)는 낮은 열전도도($30\text{ W/m}\cdot\text{K}$)로 인해 $85\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 로 감소합니다. Ni(12%)는 높은 전자 열전도도(이동도 $>1.5\times10^4\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}\pm10^3\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)로 인해 $95\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 로 증가합니다.

공정: 소결 온도($1450^\circ\text{C}\pm10^\circ\text{C}$)는 WC 상 연속성을 향상시키고(접촉 면적 $>90\pm2\%$), 열전도도를 $3\pm0.5\%$ 증가시킵니다. HIP($100\text{ MPa}\pm5\text{ MPa}$)는 기공률을 감소시키고($<0.1\pm0.02\%$), 열전도도를 $2\pm0.3\%$ 증가시킵니다. 너무 높은 온도($>1550^\circ\text{C}$)는 Co 편석(편석률 $<5\pm1\%$)을 유발하고, 열전도도를 $3\pm0.5\%$ 감소시킵니다.

환경: 고온(800°C)은 전자 산란으로 인해 $10\pm1\%$ 감소합니다. 습열(40°C , 습도 90%)은 산화물 층($<1\mu\text{m}\pm0.2\mu\text{m}$)으로 인해 $<2\pm0.5\%$ 감소합니다. 극한의 추위(40°C)는 포논 열 전도로 인해 $1\pm0.3\%$ 증가합니다. 고압($>100\text{ MPa}$)은 $2\pm0.3\%$ 증가합니다. 방사선(10^{-4} Gy)은 $<1\pm0.2\%$ 감소합니다.

샘플 크기: 두께($>2\text{ mm}\pm0.1\text{ mm}$)는 경계 산란($<10\pm2\%$)을 감소시키고 열전도도를 $2\pm0.3\%$ 증가시킵니다. 표면 거칠기($R_a>0.4\mu\text{m}$)는 방열 손실을 유발하며 이는 $1\pm0.2\%$ 감소합니다.

예를 들어, 8% Co 를 함유하고 HIP 공정($100\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm5\text{ W/m}\cdot\text{K}$)을 거친 공구는 고온 절삭(800°C)에서 $95\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 의 열전도도를 유지하고 12 시간 $\pm$ 1 시간 이상의 수명을 유지합니다. 최적화에는 낮은 TiC 와 HIP 가 필요합니다.

3.2.2 열팽창계수

초경합금의 열팽창계수(CTE)는 $46\times10^{-6}/\text{K}\pm0.1\times10^{-6}/\text{K}$ 로 세라믹($810\times10^{-6}/\text{K}$), 고강도강($12\times10^{-6}/\text{K}$), 티타늄합금($9\times10^{-6}/\text{K}$)보다 낮으며,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC($4.5 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$)와 Co($12 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$)의 가중평균으로 결정된다. 10% Co를 함유하는 초경합금의 CTE는 $5.5 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$ 이고, 15% Co를 함유하는 초경합금의 CTE는 $5.8 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$ 로 증가합니다.

낮은 CTE는 열응력을 감소시킵니다(<200 MPa $\pm$ 20 MPa). 고온 스탬핑(600° C, 하중 >2000 MPa, 온도차 >400° C $\pm$ 10° C)에서 8% Co를 함유한 초경합금 금형의 변형은 <0.005mm $\pm$ 0.001mm 이고, 정밀도는 강철 금형(변형 >0.05mm, 정밀도 오차 >0.1mm)보다 5 배 향상됩니다. TiC(15%, CTE $7 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$)를 첨가하면 $5.0 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$ 로 감소하고, 열균열 길이는 <1 μ m $\pm$ 0.2 μ m입니다.

예를 들어, 항공 복합재 성형(800° C, 압력 >100 MPa)에서 TiC가 함유된 노즐의 변형 허용 오차는 <0.01mm $\pm$ 0.002mm 이고 수명은 >5000 시간 $\pm$ 500 시간으로 세라믹 노즐(균열 >10 μ m)보다 우수합니다.

환경 영향은 제한적입니다. 고온(1000° C)은 격자 팽창으로 인해 CTE를 $0.2 \times 10^{-6}/K \pm 0.05 \times 10^{-6}/K$ 증가시킵니다(격자 상수는 $0.1\% \pm 0.02\%$ 증가). 습열(40° C, 습도 90%, 168 시간)은 눈에 띄는 변화가 없습니다(오차 < $0.05 \times 10^{-6}/K$). 고압(>100 MPa)은 $0.1 \times 10^{-6}/K \pm 0.02 \times 10^{-6}/K$ 감소합니다. 극한의 추위(40° C)는 $0.1 \times 10^{-6}/K \pm 0.02 \times 10^{-6}/K$ 감소합니다. 방사선(10⁴Gy)은 < $0.05 \times 10^{-6}/K \pm 0.01 \times 10^{-6}/K$ 증가합니다. Ni를 함유한 초경합금(12% Ni, $5.2 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$)은 해양 환경(염도 3.5%, 압력 50MPa)에서 더 안정적입니다.

예를 들어, 니켈을 함유한 파이프라인이 심해 석유 및 가스(pH 8, 5000m 깊이)에서 3 년간 운영되었으며, CTE는 $5.3 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$ 이고 변형은 <0.01mm $\pm$ 0.002mm였습니다.

CTE 최적화에는 낮은 Co(6% 8%)와 TiC 첨가가 필요합니다. 10% Co를 함유한 공구의 열 사이클(25, 800° C, 1000 회, 온도 차이 >500° C $\pm$ 10° C)에서 균열 길이는 <5 μ m $\pm$ 1 μ m로, 세라믹(균열 >20 μ m)보다 우수합니다. 교차 필드 비교 결과, 초경합금 CTE는 강 및 티타늄 합금보다 우수하지만, 초저팽창(< $2 \times 10^{-6}/K$)에서는 인바 합금보다 열등합니다.

3.2.2.1 열팽창계수 시험방법

CTE 테스트 방법은 다음과 같습니다.

시차주사열량측정법(DSC, ASTM E228): 10% Co($5.5 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$)를 함유하는 초경합금 시편, 시편 크기 10 $\times$ 5 $\times$ 5 mm $\pm$ 0.1 mm, 가열 속도 5° C/min $\pm$ 0.5° C/min, 변위 정확도 0.1 μ m $\pm$ 0.05 μ m, 오차 <2% $\pm$ 0.5%. 주변 온도는 25° C $\pm$ 2° C입니다.

열기계적 분석(TMA, ASTM E831): 8% Co를 함유하는 시멘트 카바이드($5.4 \times 10^{-6}/K \pm 0.1 \times 10^{-6}/K$)는 시편 5 $\times$ 5 $\times$ 10 mm $\pm$ 0.1 mm, 하중 0.1 N $\pm$ 0.01 N, 온도 분해능 0.1° C $\pm$ 0.05° C, 오차 <3% $\pm$ 0.5%를 사용합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

광학 간섭계: TiC 함유 초경합금 ($5.0 \times 10^{-6} / K \pm 0.1 \times 10^{-6} / K$)은 레이저 간섭계(파장 $632.8 \text{ nm} \pm 0.1 \text{ nm}$, 분해능 $0.01 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.005 \text{ } \mu\text{m}$)를 사용하며, 오차가 $<5\% \pm 1\%$ 로 고정밀도 측정에 적합합니다.

X 선 회절(XRD): CuK α 방사선(파장 $1.5406 \text{ } \text{\AA} \pm 0.0001 \text{ } \text{\AA}$)을 사용하여 10% Co를 함유하는 시멘트 카바이드(격자 팽창 오차 $<0.1\% \pm 0.02\%$)의 고온 CTE(오차 $<5\% \pm 1\%$)를 분석했습니다.

예를 들어, TiC가 포함된 노즐은 DSC 및 TMA 테스트($5.0 \times 10^{-6} / K \pm 0.1 \times 10^{-6} / K$)를 통과하여 5000 시간 $\pm$ 500 시간 이상의 성형 수명을 보장합니다.

3.2.2.2 열팽창계수에 영향을 미치는 요인

CTE는 다음과 같은 요인의 영향을 받습니다.

조성: Co 함량이 10%에서 15%로 증가하고, Co 상의 높은 CTE($12 \times 10^{-6} / K$)로 인해 CTE가 5.5 에서 $5.8 \times 10^{-6} / K \pm 0.1 \times 10^{-6} / K$ 로 증가합니다. TiC(15%)는 낮은 CTE($7 \times 10^{-6} / K$)로 인해 $5.0 \times 10^{-6} / K \pm 0.1 \times 10^{-6} / K$ 로 감소합니다. Ni(12%)는 Ni의 낮은 CTE($13 \times 10^{-6} / K$)로 인해 $5.2 \times 10^{-6} / K \pm 0.1 \times 10^{-6} / K$ 로 감소합니다.

공정: 소결 온도($1450^{\circ} \text{C} \pm 10^{\circ} \text{C}$)는 WCCo 균일성(분포 오차 $<5\% \pm 1\%$)과 CTE 안정성을 보장합니다. 너무 높은 온도($>1550^{\circ} \text{C}$)는 Co 편석을 유도하여 $0.2 \times 10^{-6} / K \pm 0.05 \times 10^{-6} / K$ 를 증가시킵니다. HIP($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$)는 응력($<50 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$)을 감소시키고 $0.1 \times 10^{-6} / K \pm 0.02 \times 10^{-6} / K$ 를 감소시킵니다.

환경: 고온(1000°C)은 격자 팽창으로 인해 $0.2 \times 10^{-6} / K \pm 0.05 \times 10^{-6} / K$ 를 증가합니다. 습열(40°C , 습도 90%)은 변화가 없습니다. 고압($>100 \text{ MPa}$)은 $0.1 \times 10^{-6} / K \pm 0.02 \times 10^{-6} / K$ 를 감소시킵니다. 극한의 추위(40°C)는 $0.1 \times 10^{-6} / K \pm 0.02 \times 10^{-6} / K$ 를 감소시킵니다. 방사선(10^4 Gy)은 $<0.05 \times 10^{-6} / K \pm 0.01 \times 10^{-6} / K$ 를 증가시킵니다.

샘플 크기: 길이($>10 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$)는 측정 오차($<0.05 \times 10^{-6} / K$)를 감소시키고, 표면 거칠기($R_a > 0.4 \text{ } \mu\text{m}$)는 응력을 유도하여 $0.1 \times 10^{-6} / K \pm 0.02 \times 10^{-6} / K$ 를 증가시킵니다.

8% Co와 TiC를 함유한 금형($5.0 \times 10^{-6} / K \pm 0.1 \times 10^{-6} / K$, HIP 공정)은 고온 스탬핑(600°C)시 $4.9 \times 10^{-6} / K \pm 0.1 \times 10^{-6} / K$ 의 CTE와 $0.005 \text{ mm} \pm 0.001 \text{ mm}$ 미만의 변형률을 유지합니다. 최적화를 위해서는 TiC와 HIP가 필요합니다.

3.2.3 고온 안정성

초경합금의 경도는 1000°C 에서 30% 미만(HV 1800 ± 30 에서 1200 ± 30 으로) 감소하는데, 이는 고속도강(600°C , HV 500), 세라믹(1200°C , HV 800), 티타늄 합금(600°C , HV 200)보다 우수합니다. 이러한 안정성은 WC의 높은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

용점 ($2870^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, 분해 에너지 $>500\text{ kJ/mol} \pm 10\text{ kJ/mol}$)과 Co 상의 열가소성(퀴리 온도 $1120^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 소성 변형률 $<5\% \pm 0.5\%$)에 의해 결정됩니다. 10% Co를 함유하는 초경합금의 1000°C 경도는 $\text{HV } 1300 \pm 30$ 이고, 마모 손실은 $<0.2\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 입니다.

고온 안정성은 극한 작업 조건을 지원합니다. 1000°C 항공 티타늄 합금 절삭(속도 150m/min , 열유속 밀도 $>10\text{MW/m}^2 \pm 1\text{MW/m}^2$)에서 8% Co를 함유한 공구의 마모는 $<0.15\text{mm} \pm 0.03\text{mm}$ 이고 수명은 $>10\text{시간} \pm 1\text{시간}$ 으로 세라믹 공구(마모 $>0.5\text{mm}$)보다 우수합니다. TaC(1%2%)를 첨가하면 고용 강화(격자 변형률 $<2\% \pm 0.2\%$)를 통해 고온 강성(영률 감소 $<5\% \pm 1\%$)이 향상되고 경도는 $\text{HV } 1400 \pm 30$ 으로 유지됩니다. 예를 들어, TaC가 포함된 노즐은 가스터빈(1100°C , 가스 유량 $>500\text{m/s} \pm 50\text{m/s}$)에서 작동하며, 표면 손상은 $<10\text{ }\mu\text{m} \pm 2\text{ }\mu\text{m}$ 이고 수명은 $>6000\text{시간} \pm 500\text{시간}$ 으로 TaC가 없는 재료(손상 $>20\text{ }\mu\text{m}$)보다 우수합니다.

환경 영향에 대한 주의가 필요합니다. 고온 산화(600°C)는 CoO 와 WO_3 (무게 감소 $0.5\text{ mg/cm}^2 \pm 0.1\text{ mg/cm}^2$, 산화막 $<2\text{ }\mu\text{m} \pm 0.5\text{ }\mu\text{m}$)를 생성하고 경도는 $5\%10\% \pm 1\%$ 감소합니다. 습열(40°C , 습도 90%, 168 시간)은 $<2\% \pm 0.5\%$ 에 영향을 미칩니다. 고압($>100\text{ MPa}$)은 안정성을 향상시켜 $<3\% \pm 0.5\%$ 감소시킵니다. 극한의 저온(40°C)은 변화가 없습니다. 방사선(10^4Gy)은 $<1\% \pm 0.2\%$ 감소시킵니다. Cr(0.5%1%)을 함유하는 초경합금은 Cr_2O_3 보호층(두께 $<5\text{ nm} \pm 1\text{ nm}$, 확산 계수 $<10^{-14}\text{cm}^2/\text{s}$)을 형성하여 1000°C 에서 경도를 $\text{HV } 1350 \pm 30$ 으로 유지합니다. 예를 들어, 고온 압출(800°C , 하중 $>2000\text{ MPa}$)시 Cr을 함유하는 금형의 변형량은 $<0.01\text{mm} \pm 0.002\text{mm}$ 이며, 수명이 $30\% \pm 5\%$ 증가합니다.

최적화에는 TaC 및 코팅이 필요합니다. CVD 코팅(예: Al_2O_3 , 두께 $5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$, 열전도도 $10\text{W/m}\cdot\text{K} \pm 2\text{W/m}\cdot\text{K}$)은 경도 저하를 50%까지 줄입니다. Al_2O_3 코팅이 적용된 공구는 항공우주 엔진 가공(1000°C , 진동 주파수 $>10^3\text{Hz} \pm 100\text{Hz}$)에서 12시간 $\pm 1\text{시간}$ 이상의 수명을 가지며, 이는 코팅되지 않은 공구(수명 $<4\text{시간}$)보다 우수합니다. 도메인 간 비교 결과, 초경합금은 강 및 티타늄 합금보다 고온 안정성이 우수하지만 초고온($>1500^{\circ}\text{C}$)에서는 세라믹(Si_3N_4 , 경도 $>1000\text{HV}$)보다 성능이 떨어집니다.

3.2.3.1 고온 안정성 시험 방법

고온 안정성 테스트 방법은 다음과 같습니다.

고온 경도 시험(ASM E18): 10% Co 함유 초경합금($\text{HV } 1300 \pm 30$, 1000°C)을 비커스 압입자를 사용하여 시험, 하중 $10\text{kg} \pm 0.1\text{kg}$, 유지 시간 $5\text{초} \pm 0.5\text{초}$, 오차 $<2\% \pm 0.5\%$. 환경 조건 $1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 분위기 질소(순도 $>99.99\% \pm 0.01\%$).

열중량 분석(TGA, ASTM E1131): 8% Co를 함유하는 시멘트 카바이드(산화 중량 증가 $<2\text{ mg/cm}^2 \pm 0.2\text{ mg/cm}^2$, 1000°C)는 $10 \times 10 \times 2\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$ 의 샘플을 사용하고, $10^{\circ}\text{C/min} \pm 0.5^{\circ}\text{C/min}$ 로 가열하고, 질량 분해능 $0.1\text{ }\mu\text{g} \pm 0.05\text{ }\mu\text{g}$, 오차 $<3\% \pm 0.5\%$ 입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고온 마모 시험 (ASTM G65): TaC 함유 시멘트 카바이드(마모 $<0.2\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$, 1000°C)와 연삭 휠 마찰(속도 $1\text{m/s} \pm 0.1\text{m/s}$, 하중 $50\text{N} \pm 1\text{N}$), 오차 $<5\% \pm 1\%$.

고온인장시험 : Cr 을 함유하는 초경합금(항복강도 $>1000\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, 800°C)은 시편직경 $5\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$, 속도 $0.1\text{ mm/min} \pm 0.01\text{ mm/min}$, 오차 $<5\% \pm 1\%$ 를 사용한다.

예를 들어, TaC 를 함유한 노즐은 고온 경도 및 TGA 테스트(HV 1400 ± 30 , 중량 증가 $<1\text{ mg/cm}^2 \pm 0.1\text{ mg/cm}^2$)를 통과하여 6000 시간 ± 500 시간 이상의 수명을 보장합니다.

3.2.3.2 고온 안정성에 영향을 미치는 요인

고온 안정성은 다음과 같은 요인에 의해 영향을 받습니다.

조성: Co 함량이 6%에서 15%로 증가하고, Co 연화(항복 강도 $<400\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$)로 인해 경도가 25%에서 $35\% \pm 2\%$ (1000°C , HV 1500에서 1000 ± 30)로 감소합니다. TaC ($1\% \pm 2\%$)는 고용 강화로 인해 $20\% \pm 2\%$ 미만 감소합니다. Cr ($0.5\% \pm 1\%$)은 Cr_2O_3 보호층으로 인해 $15\% \pm 2\%$ 미만 감소합니다.

공정: 소결 온도($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)는 WC 안정성(분해율 $<0.1\% \pm 0.02\%$)을 보장하며, 안정성은 $5\% \pm 1\%$ 증가합니다. HIP($100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$)는 결함을 제거하며, 안정성은 $3\% \pm 0.5\%$ 증가합니다. 너무 높은 온도($>1550^{\circ}\text{C}$)는 산화(중량 증가 $>2\text{ mg/cm}^2 \pm 0.2\text{ mg/cm}^2$)를 유발하며, 안정성은 $5\% \pm 1\%$ 감소합니다.

환경: 고온 산화(600°C)는 CoO 형성으로 인해 $5\%10\% \pm 1\%$ 감소합니다. 습열(40°C , 습도 90%)은 $<2\% \pm 0.5\%$ 영향을 미칩니다. 고압($>100\text{ MPa}$)은 $3\% \pm 0.5\%$ 증가합니다. 방사선(10^4Gy)은 $<1\% \pm 0.2\%$ 감소합니다.

코팅 : Al_2O_3 코팅 ($5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$)은 산화를 감소시키고(중량 증가 $<0.5\text{ mg/cm}^2 \pm 0.1\text{ mg/cm}^2$) 안정성을 $50\% \pm 5\%$ 증가시킵니다. TiN 코팅 ($5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$)은 $30\% \pm 3\%$ 증가합니다.

Cr 및 Al_2O_3 코팅 (HV 1350 ± 30 , 1000°C)을 적용한 제품은 고온 압출(800°C) 시 변형률이 $<0.01\text{mm} \pm 0.002\text{mm}$ 이고, 사용 수명은 $6000\text{h} \pm 500\text{h}$ 이상입니다. 최적화를 위해서는 TaC 및 코팅이 필요합니다.

3.2.4 열충격 저항성

초경합금의 열충격 저항성은 열충격 시험(500°C 수냉, 100 회, ASTM C1525)을 통해 평가되었으며, 균열 길이는 $<5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$ 로 세라믹($>10\text{ }\mu\text{m}$) 및 알루미늄($>15\text{ }\mu\text{m}$)보다 우수합니다. 열충격 저항성은 낮은 CTE($5.5 \times 10^{-6}/\text{K} \pm 0.1 \times 10^{-6}/\text{K}$), 높은 열전도도($100\text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 5\text{ W/m} \cdot \text{K}$) 및 높은 강도($>4000\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$)에 의해 결정되며, 열응력은 $<200\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$ 입니다. 열 사이클(25800°C , 1000 회, 온도 차이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$>500^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 에서 12% Co 를 함유하는 초경합금의 균열 깊이는 $<3\mu\text{m}\pm 0.5\mu\text{m}$ 입니다.

열 충격 저항성은 열 사이클링 조건을 지원합니다. 10% Co 를 함유한 금형은 고온 스탬핑(600°C , 주파수 $>10^4$ 회/시간, 온도 차이 $>400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$)에서 균열률이 $<0.5\%$ 이고 수명이 >5000 시간 ± 500 시간입니다. 이는 강철 금형(균열률 $>5\%$)보다 우수합니다. Cr (0.5%1%)을 첨가하여 Cr_2O_3 보호층(두께 $<5\text{nm}\pm 1\text{nm}$)을 형성하면 열 충격 저항성이 $15\%\pm 2\%$ 향상되고 균열 시작 속도가 $20\%\pm 3\%$ 감소합니다. 예를 들어, 가스터빈의 열 사이클(1100°C , 가스 유량 $>500\text{m/s}\pm 50\text{m/s}$)에서 Cr 을 함유한 노즐의 표면 손상은 $<5\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ 이고 수명이 $35\%\pm 5\%$ 연장됩니다.

환경적 영향에는 고온 산화(600°C , CoO 형성, 두께 $<2\mu\text{m}\pm 0.5\mu\text{m}$, 열 충격 저항성 $5\%\pm 1\%$ 감소), 습열(40°C , 습도 90%, $<2\%\pm 0.5\%$ 감소), 고압($>100\text{MPa}$, $3\%\pm 0.5\%$ 증가), 극한의 추위(40°C , 균열률 $3\%\pm 0.5\%$ 증가), 방사선(10^4Gy , $<1\%\pm 0.2\%$ 감소)이 포함됩니다. Ni 가 함유된 초경합금(12% Ni, 균열 $<3\mu\text{m}\pm 0.5\mu\text{m}$)은 원자력 증기(500°C , 10 MPa, 증기 유량 $>100\text{m/s}\pm 10\text{m/s}$)에서 더 안정적입니다. 예를 들어, Ni 가 함유된 파이프라인은 균열 $<3\mu\text{m}\pm 0.5\mu\text{m}$ 로 3 년 동안 운영되었으며, 이는 Co 가 함유된 재료(균열 $>5\mu\text{m}$)보다 우수합니다.

최적화에는 높은 Co (10%~12%) 함량과 코팅이 필요합니다. CVD 코팅(예: TiN, $5\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$, 열전도도 $20\text{W/m}\cdot\text{K}\pm 2\text{W/m}\cdot\text{K}$)은 균열 발생률을 $50\%\pm 5\%$ 감소시킵니다. 열 사이클 절삭(800°C , 진동 주파수 $>10^3\text{Hz}\pm 100\text{Hz}$)에서 TiN 코팅 공구의 공구 수명은 >10 시간 ± 1 시간으로, 코팅되지 않은 공구(수명 <4 시간)보다 우수합니다. 영역 간 비교 결과, 초경합금은 세라믹 및 티타늄 합금보다 열충격 저항성이 우수하지만, 초고온 열충격 조건에서는 탄소 함유 복합재(균열 $<1\mu\text{m}$)보다 성능이 떨어집니다.

3.2.4.1 열충격 저항성 시험 방법

열충격 저항성 테스트 방법은 다음과 같습니다.

열충격 시험 (ASTM C1525): 12% Co 를 함유한 시멘트 카바이드(균열 $<5\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$) 시편 $10\times 10\times 5\text{mm}\pm 0.1\text{mm}$, 500°C 수냉(온도차 $>450^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$), 100 회, SEM 을 이용한 균열 검출(분해능 $<5\text{nm}\pm 1\text{nm}$), 오차 $<3\%\pm 0.5\%$.

열 사이클 피로 시험: 10% Co 를 함유한 시멘트 카바이드(균열 $<3\mu\text{m}\pm 0.5\mu\text{m}$)를 $25,800^{\circ}\text{C}$ 에서 1000 회 사이클로 피로 시험하였으며, 온도 차이는 $>500^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, 오차는 $<5\%\pm 1\%$ 였습니다.

초음파 검사 (ASTM E588): Cr 을 함유한 시멘트 카바이드(균열 깊이 $<5\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$)의 경우, 종파(주파수 $5\text{MHz}\pm 0.1\text{MHz}$, 파동 속도 $6\text{km/s}\pm 0.1\text{km/s}$)를 사용하며, 오차는 $<5\%\pm 1\%$ 입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

적외선 열화상: Ni 함유 시멘트 카바이드(균열 $<3\mu\text{m} \pm 0.5\mu\text{m}$)는 적외선 카메라(분해능 $0.1^\circ\text{C} \pm 0.05^\circ\text{C}$)를 사용하여 열응력 분포를 분석합니다(오차 $<5\% \pm 1\%$).

예를 들어, Cr 을 함유한 노즐은 열충격 및 초음파 테스트(균열 $<5\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$)를 통과하여 5000 시간 $\pm$ 500 시간 이상의 가스터빈 수명을 보장합니다.

3.2.4.2 열충격 저항성에 영향을 미치는 요인

열충격 저항성은 다음과 같은 요인에 의해 영향을 받습니다.

구성: Co 함량이 10%에서 12%로 증가하면, 향상된 가소성(변형률 $<5\% \pm 0.5\%$)으로 인해 열충격 저항성이 $15\% \pm 2\%$ 증가합니다. TiC(15%)는 CTE($5.0 \times 10^{-6}/\text{K} \pm 0.1 \times 10^{-6}/\text{K}$)가 감소하여 $10\% \pm 1\%$ 감소하지만, 열전도도($85\text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 5\text{ W/m} \cdot \text{K}$)는 감소합니다. Cr(0.5%)은 Cr_2O_3 보호층으로 인해 $15\% \pm 2\%$ 증가합니다.

공정: 소결 온도($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$)는 균일성과 열충격 저항성을 $5\% \pm 1\%$ 향상시킵니다. HIP($100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$)는 결함을 $10\% \pm 1\%$ 감소시킵니다. 급속 냉각(분당 10°C 이상)은 응력($100\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$ 이상)을 유발하며, 응력은 $5\% \pm 1\%$ 감소합니다.

환경: 고온 산화(600°C)는 CoO 형성으로 인해 $5\% \pm 1\%$ 감소합니다. 습열(40°C , 습도 90%)은 $<2\% \pm 0.5\%$ 감소합니다. 고압($>100\text{ MPa}$)은 $3\% \pm 0.5\%$ 증가합니다. 극한의 추위(40°C)는 $3\% \pm 0.5\%$ 감소합니다. 방사선(10^4Gy)은 $<1\% \pm 0.2\%$ 감소합니다.

코팅: TiN 코팅($5\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$)은 열 응력($<150\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$)을 감소시키고 $50\% \pm 5\%$ 증가시킵니다. Al_2O_3 코팅은 $30\% \pm 3\%$ 증가시킵니다.

예를 들어, 10% Co 및 TiN 코팅(균열 $<3\mu\text{m} \pm 0.5\mu\text{m}$)된 공구는 열 사이클 철삭(800°C)에서 10 시간 $\pm$ 1 시간 이상의 수명을 보입니다. 최적화를 위해서는 높은 Co 및 TiN 코팅이 필요합니다.

3.3 초경합금의 화학적 안정성

초경합금의 화학적 안정성은 다양한 환경(산, 알칼리, 고온, 습열 등)에서 화학 반응이나 부식에 저항하는 능력을 말하며, 이는 주로 텅스텐 카바이드(WC) 경질상과 코발트(Co) 또는 니켈(Ni) 결합상의 화학적 특성에 의해 결정됩니다. WC는 우수한 산화 저항성과 내식성을 가지고 있으며 화학적으로 불활성이지만 고온($>800^\circ\text{C}$)에서 분해되거나 산화되어 WO_3 를 형성할 수 있습니다. Co 상은 비교적 활성이며 산성($\text{pH} < 4$, 예: HCl , H_2SO_4) 또는 습하고 더운 환경(40°C , 습도 90%)에서 부식되기 쉽고, 중량 감소율은 $0.1\text{--}0.2\text{ mg/cm}^2/\text{년}$ 인 반면, Ni 상은 내식성이 더 뛰어납니다(중량 감소 $<0.05\text{ mg/cm}^2/\text{년}$).

초경합금의 화학적 안정성은 조성 및 공정에 영향을 받습니다. Co 함량(6%–8%)을 줄이거나 Cr 과 TiC(0.5%–1%)를 첨가하면 보호층(예: Cr_2O_3)이 형성되어 내식성이 약

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10%-15% 향상됩니다. 고온 소결(1350-1450° C)과 HIP 공정은 기공률(<0.05%)을 줄이고 부식 채널을 줄이며 안정성을 약 5%-10% 향상시킵니다. 실질적 응용 분야에서 Ni 함유 초경합금은 해양 환경(염도 3.5%, 50MPa)에서 뛰어난 안정성을 보이며 강도 감소가 <1%이고 수명이 3년 이상입니다. 고온(1000° C)에서 TiC 함유 초경합금의 산화 중량 증가는 <0.08mg/cm²로 순수 Co 시스템(>0.1mg/cm²)보다 우수합니다. 현재 날짜와 시간은 2025년 5월 21일 오전 10시 10분 JST입니다.

초경합금은 부식성 매체, 고온 산화 및 복잡한 화학 환경에서 장기간 사용할 수 있으며 화학 산업, 해양, 원자력 및 심해에서 사용됩니다.

3.3.1 초경합금의 내식성

초경합금은 산성(pH 24), 중성(pH 68), 알칼리성(pH 1012) 환경에서 우수한 내식성을 가지며, WC 상의 화학적 불활성(용해 속도 <10⁻⁶g/cm² · h ± 10⁻⁷ g/cm² · h)이 핵심입니다. 중성 환경(3.5% NaCl, Cl⁻ 19 g/L 함유)에서 10% Co를 함유하는 초경합금의 부식 속도는 <0.05 mm/년 ± 0.01 mm/년이고, 부식 전위는 0.3 V ± 0.02 V(vs. SCE)로 고강도강(0.6 V, 0.5 mm/년) 및 스테인리스강(0.2 mm/년)보다 우수합니다. 산성 환경(pH 3, H₂SO₄, 농도 1 mol/L)에서 Co 상은 용해(무게 감소 0.10.5 mg/cm² ± 0.05 mg/cm²)되었고 부식 속도는 0.1 mm/년 ± 0.02 mm/년으로 증가했습니다.

Ni를 함유하는 초경합금(12% Ni)의 염수 분무 시험(ASTM B117, 168 시간, 35° C ± 1° C)에서의 중량 감소는 <0.1 mg/cm² ± 0.02 mg/cm²이고, 알칼리성 환경(pH 12, NaOH, 농도 0.1 mol/L)에서의 부식 속도는 <0.02 mm/년 ± 0.005 mm/년으로 Co를 함유하는 재료(0.05 mm/년 ± 0.01 mm/년)보다 우수합니다. Cr(0.5%1%)을 첨가하면 Cr₂O₃ 부동태화층(두께 <5 nm ± 1 nm, 저항률 > 10⁶ Ω · cm ± 10⁵ Ω · cm)이 형성되어 산성 부식 속도가 0.01 mm/년 ± 0.002 mm/년으로 떨어졌습니다.

예를 들어, NiCr이 포함된 밸브는 심해(pH 8, 염도 3.5%, 수심 5000m)에서 5년 동안 부식 깊이가 <5 μm ± 1 μm로 작동해 왔으며, 이는 스테인리스강(수명 >50 μm, 수명 <2년)보다 우수합니다.

환경적 영향은 상당하다. 습열(40° C, 습도 90%, 168 시간)은 Co 상 부식을 심화시킨다(무게 감소 10%15% ± 2% 증가, 부식 전류 밀도 >1 μA/cm² ± 0.1 μA/cm²); 고압(>100 MPa, 심해)은 이온 확산을 감소시킨다(확산 계수 <10⁻¹⁰cm² / s ± 10⁻¹¹cm² / s), 부식 속도는 5% ± 1% 감소한다; 극한의 추위(40° C)는 반응을 늦추고(반응 속도가 <50% ± 5% 감소), 3% ± 0.5% 감소한다; 방사선(10⁴Gy)은 표면 결함을 유도하고 2% ± 0.3% 증가한다. Mo(0.5%1%)를 함유한 시멘트 카바이드는 MoO₂ 보호층(두께 <3 nm ± 0.5 nm)을 형성하고, 산성 부식 속도는 <0.015 mm/년 ± 0.003 mm/년입니다.

예를 들어, NiMo를 함유한 반응기를 HCl(pH 2, 농도 1 mol/L)에서 3년간 운전한 결과, 표면 손상은 <3 μm ± 0.5 μm로 Co를 함유한 물질(손상량 >10 μm)의 표면

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

손상보다 우수했습니다.

내식성은 화학 산업과 해양 환경에 적합합니다. 10% Co 를 함유한 펌프 본체를 화학 공장 (pH 4, H_2SO_4 , 유량 $>5m/s \pm 0.5m/s$)에서 2 년간 운전했으며, 부식 깊이는 $<10 \mu m \pm 2 \mu m$, 수명은 $>2 \text{년} \pm 0.2 \text{년}$ 이었습니다. Ni 를 함유한 라이닝은 해양 환경 (pH 8, 염도 3.5%)에서 수명을 $40\% \pm 5\%$ 증가시켰습니다. 교차 현장 비교 결과, 초경합금은 강철 및 티타늄 합금 ($0.3mm/\text{년}$)보다 내식성이 우수하지만, 강산화성 산(예: HNO_3 , 농도 $>5mol/L$)에서는 세라믹보다 성능이 떨어집니다(중량 감소 $<0.01mg/cm^2$).

3.3.1.1 내식성 시험 방법

부식 저항성 테스트 방법은 다음과 같습니다.

전기화학 시험 (ASTM G59): 10% Co 함유 초경합금(부식률 $<0.05 \text{ mm}/\text{년} \pm 0.01 \text{ mm}/\text{년}$)을 3 전극 시스템(기준 전극 SCE, 스캔 속도 $1 \text{ mV}/s \pm 0.1 \text{ mV}/s$, 전위 범위 $\pm 250 \text{ mV} \pm 10 \text{ mV}$)을 사용하여 시험하였으며, 부식 전류 오차 $<1\% \pm 0.2\%$, 총 오차 $<2\% \pm 0.5\%$ 를 나타냈습니다. 환경 조건은 $25^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$, 전해질은 3.5% NaCl 입니다.

염수 분무 시험 (ASTM B117): $35^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$ 에서 12% Ni 를 함유한 시멘트 카바이드(중량 감소 $<0.1 \text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0.02 \text{ mg}/\text{cm}^2$), 5% NaCl 분무, 168 시간, 질량 분해능 $0.1 \text{ mg} \pm 0.05 \text{ mg}$, 오차 $<3\% \pm 0.5\%$.

침지 시험 (ASTM G31): Cr 함유 초경합금(부식 속도 $<0.01 \text{ mm}/\text{년} \pm 0.002 \text{ mm}/\text{년}$), pH 2 H_2SO_4 , 168 시간, 온도 $25^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$, 중량 감소 오차 $<0.01 \text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0.005 \text{ mg}/\text{cm}^2$, 오차 $<5\% \pm 1\%$.

XPS 표면 분석: Mo 를 함유한 시멘트 카바이드(부식층 $<3 \mu m \pm 0.5 \mu m$)는 AlK α 방사선($1486.6 \text{ eV} \pm 0.1 \text{ eV}$, 분해능 $0.1 \text{ eV} \pm 0.05 \text{ eV}$)을 사용하여 수동화층을 분석합니다(오차 $<5\% \pm 1\%$).

예를 들어, NiCr 을 함유한 밸브는 전기화학 및 염수 분무 테스트(부식률 $<0.02mm/\text{년} \pm 0.005mm/\text{년}$, 중량 감소 $<0.1mg/cm^2 \pm 0.02mg/cm^2$)를 통과하여 5년 ± 0.5 년 이상의 심해 수명을 보장합니다.

3.3.1.2 초경합금의 내식성에 영향을 미치는 요인

부식 저항성은 다음에 의해 영향을 받습니다.

요소

Co 함량이 10%에서 15%로 증가하면 중성 환경 (3.5% NaCl, pH 8)에서 부식 속도가 Co 상의 향상된 전기화학적 활동으로 인해 $0.05mm/\text{년}$ 에서 $0.07mm/\text{년} \pm 0.01mm/\text{년}$ 으로 증가합니다(부식 전류 밀도가 $1 \mu A/cm^2$ 에서 $1.5 \mu A/cm^2 \pm 0.1 \mu A/cm^2$ 로 증가). Co 를 Ni 로 대체하면(12% Ni) 안정적인 NiO 수동화 층(두께 $<3nm \pm 0.5nm$, 저항률 $> 10^7$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\Omega \cdot \text{cm} \pm 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 이 형성되어 부식 속도가 $0.02\text{mm}/\text{년} \pm 0.005\text{mm}/\text{년}$ 으로 감소합니다. Cr 첨가량(0.5%1%)은 $0.01 \text{ mm}/\text{년} \pm 0.002 \text{ mm}/\text{년}$ 으로 감소하는데, 이는 Cr_2O_3 보호층(결합 에너지 $>400 \text{ kJ/mol} \pm 10 \text{ kJ/mol}$)이 이온 확산을 억제하기 때문이다(확산 계수 $<10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s}$). Mo(0.5%1%)는 MoO_2 (두께 $<3 \text{ nm} \pm 0.5 \text{ nm}$)를 형성하고 산성 환경(pH 2, HCl)에서의 부식 속도는 $0.015 \text{ mm}/\text{년} \pm 0.003 \text{ mm}/\text{년}$ 으로 감소한다.

예를 들어, NiCr(부식률 $0.01\text{mm}/\text{년} \pm 0.002\text{mm}/\text{년}$)이 함유된 밸브는 심해(5000m, 염도 3.5%)에서 5년간 작동했으며 표면 손상은 $<5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ 였습니다.

기술

소결 온도($1450^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$)는 WCCo 계면 접합(접합 강도 $>50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$)을 보장하고, Co 노출(노출 면적 $<5\% \pm 1\%$)을 줄이며, 부식 속도를 $3\% \pm 0.5\%$ 감소시킵니다. 열간 등방성 가압 성형(HIP, $100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$)은 기공(기공률 $<0.1\% \pm 0.02\%$)을 제거하고, 부식 경로를 줄이며, 부식 속도를 $5\% \pm 1\%$ 감소시킵니다. 과도한 온도($>1550^\circ \text{C}$)는 Co 편석(편석 속도 $<5\% \pm 1\%$)을 유도하고 부식 속도를 $10\% \pm 2\%$ 증가시킵니다. 표면 연마($R_a < 0.2 \mu\text{m} \pm 0.05 \mu\text{m}$)는 반응성 부위(표면 에너지 $<1 \text{ J/m}^2 \pm 0.1 \text{ J/m}^2$)를 줄여 부식 속도를 $2\% \pm 0.3\%$ 감소시킵니다. 예를 들어, 10% Co를 함유하고 HIP 공정(부식률 $0.04\text{mm}/\text{년} \pm 0.01\text{mm}/\text{년}$)을 거친 펌프 본체는 화학 플랜트(pH 4)에서 작동하며 사용 수명이 2년 ± 0.2 년 이상입니다.

환경

습열(40°C , 습도 90%, 168 시간)은 Co 상 부식을 심화시키고(중량 감소 $10\%15\% \pm 2\%$ 증가, 부식 깊이 $<2 \mu\text{m} \pm 0.5 \mu\text{m}$), 고압($>100 \text{ MPa}$, 심해)은 이온 이동을 억제하여 $5\% \pm 1\%$ 감소시키고, 극한의 추위(40°C)는 반응 속도론(활성화 에너지 $>100 \text{ kJ/mol} \pm 5 \text{ kJ/mol}$)을 늦추어 $3\% \pm 0.5\%$ 감소시키고, 방사선(10^4 Gy , γ -선)은 표면 결함(공식 밀도 $<10^{-15} / \text{cm}^3$)을 유도하여 $2\% \pm 0.3\%$ 증가시키고, 강한 산화성 산(예: HNO_3 , 5 mol/L)은 WC 용해(중량 감소 $>0.5 \text{ mg/cm}^2 \pm 0.1 \text{ mg/cm}^2$)를 유도하여 $20\% \pm 3\%$ 증가시킵니다. Mo를 함유한 시멘트 카바이드는 HCl(pH 2)에서 작동하며 부식 속도는 $0.015\text{mm}/\text{년} \pm 0.003\text{mm}/\text{년}$ 으로 유지됩니다.

전기화학적 조건

전위($>0.3 \text{ V vs. SCE}$)는 Co 양극 용해(용해 속도 $>10^{-6} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 10^{-7} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{h}$)를 유발하고 부식 속도는 $10\% \pm 2\%$ 증가합니다. 낮은 pH(<4)는 H^+ 공격(반응 속도 $>10^{-5} \text{ mol/cm}^2 \cdot \text{s} \pm 10^{-6} \text{ mol/cm}^2 \cdot \text{s}$)를 가속화하여 $15\% \pm 2\%$ 증가합니다. 예를 들어, 전해질(pH 3)에서 작동하는 Ni 함유 전극(부식 전위 $0.2 \text{ V} \pm 0.02 \text{ V}$)의 부식 속도는 $<0.02 \text{ mm}/\text{년} \pm 0.005 \text{ mm}/\text{년}$ 입니다.

표면 처리

CVD 코팅(CrN 등, $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, 저항률 $>10^8 \Omega \cdot \text{cm} \pm 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$)은 절연 매질로 인해 부식 속도를 $50\% \pm 5\%$ 감소시키고, 연마($R_a < 0.1 \mu\text{m} \pm 0.02 \mu\text{m}$)는 $3\% \pm 0.5\%$ 감소시킵니다. CrN 코팅 라이닝은 해양 환경(pH 8)에서 3년간 작동했으며 부식

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

깊이는 $<3\mu\text{m} \pm 0.5\mu\text{m}$ 입니다.

내식성을 최적화하려면 Ni/Cr/Mo 첨가 및 HIP 공정이 필요합니다. 예를 들어, 심해 석유 및 가스(5,000m, pH 8)에서 작동하는 12% Ni 및 0.5% Cr 함유 밸브(부식률 0.01mm/년 $\pm$ 0.002mm/년)의 수명이 40% $\pm$ 5% 증가합니다.

3.3.2 초경합금의 산화저항성

초경합금의 산화 저항성은 WC 의 화학적 안정성(산화 엔탈피 $<800\text{ kJ/mol} \pm 20\text{ kJ/mol}$)과 Co 상의 산화 경향(CoO 생성, 엔탈피 $<200\text{ kJ/mol} \pm 10\text{ kJ/mol}$)에 의해 결정됩니다. 700°C 에서 10% Co 를 함유한 초경합금의 산화 증량은 $0.5\text{ mg/cm}^2 \pm 0.1\text{ mg/cm}^2$ 증가하고, 산화물 층의 두께는 $<2\mu\text{m} \pm 0.5\mu\text{m}$ 입니다. 1000°C 에서 증량은 $2\text{ mg/cm}^2 \pm 0.2\text{ mg/cm}^2$ 증가하고, 산화물 층의 두께는 $<10\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m}$ 로 고강도 강(700°C , 증량 증가 $>5\text{ mg/cm}^2$) 및 티타늄 합금(700°C , 증량 증가 $>3\text{ mg/cm}^2$)보다 우수합니다.

산화 저항성은 고온 작업 조건을 지원합니다. 항공 티타늄 합금(1000°C , 열 유속 $>10\text{ MW/m}^2 \pm 1\text{ MW/m}^2$, O_2 분압 $0.21\text{ atm} \pm 0.01\text{ atm}$)을 절단할 때 8% Co 를 함유한 공구의 산화 깊이는 $<5\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ 이고, 마모량은 $<0.15\text{ mm} \pm 0.03\text{ mm}$ 이며, 수명은 $>10\text{ 시간} \pm 1\text{ 시간}$ 으로 세라믹 공구(산화 깊이 $>20\mu\text{m}$)보다 우수합니다. TiC(15%)를 추가하여 TiO_2 보호층(두께 $<3\mu\text{m} \pm 0.5\mu\text{m}$, 확산 계수 $<10^{-14}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-15}\text{ cm}^2/\text{s}$)을 형성하면 1000°C 에서의 증량 증가가 $1\text{ mg/cm}^2 \pm 0.1\text{ mg/cm}^2$ 로 감소합니다.

예를 들어, 15% TiC 를 함유한 노즐은 가스터빈(1100°C , 가스 유량 $>500\text{ m/s} \pm 50\text{ m/s}$, O_2 함량 $20\% \pm 1\%$)에서 5000 시간 동안 작동했으며, 산화물 층 두께는 $<8\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m}$, 변형은 $<0.01\text{ mm} \pm 0.002\text{ mm}$ 로 TiC 가 없는 재료(산화물 층 $>15\mu\text{m}$)보다 우수했습니다.

환경 영향에 대한 주의가 필요합니다. 습열(40°C , 습도 90%, 168 시간)은 CoO 의 미세 산화(무게 증가 $<0.1\text{ mg/cm}^2 \pm 0.02\text{ mg/cm}^2$)를 유도하고 산화 저항성이 $<2\% \pm 0.5\%$ 감소합니다. 고온 증기(500°C , 10 MPa, H_2O 분압 $>0.9\text{ atm} \pm 0.01\text{ atm}$)는 WO_3 형성을 가속화합니다(무게 증가 $10\% \pm 2\%$ 증가, 산화층 $<5\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$). 고압($>100\text{ MPa}$)은 산소 확산을 억제하여 $5\% \pm 1\%$ 감소합니다. 방사선(10^4 Gy)은 표면 결함을 유발하여 $2\% \pm 0.3\%$ 증가시킵니다. Cr(0.5%1%)을 함유한 초경합금은 Cr_2O_3 보호층(두께 $<5\text{ nm} \pm 1\text{ nm}$, 저항률 $>10^6\Omega \cdot \text{cm} \pm 10^5\Omega \cdot \text{cm}$)을 형성하여 1000°C 에서의 증량 증가를 $0.8\text{ mg/cm}^2 \pm 0.1\text{ mg/cm}^2$ 로 줄입니다. 예를 들어, 고온 압출(800°C , O_2 분압 $0.21\text{ atm} \pm 0.01\text{ atm}$)에서 Cr 을 함유한 금형의 산화 깊이는 $<3\mu\text{m} \pm 0.5\mu\text{m}$ 이고, 사용 수명이 $30\% \pm 5\%$ 증가합니다.

최적화에는 Cr/TiC 첨가 및 코팅이 필요합니다. CVD 코팅(예: Al_2O_3 , $5\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$, 열전도도 $10\text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 2\text{ W/m} \cdot \text{K}$, 산화 엔탈피 $<1600\text{ kJ/mol} \pm 50\text{ kJ/mol}$)은 증량 증가를 $60\% \pm 5\%$ 감소시킵니다. Al_2O_3 코팅이 적용된 공구는 항공우주 엔진 가공(1000°C , 진동 주파수 $>10^3\text{ Hz} \pm 100\text{ Hz}$)에서 산화 깊이가 $<3\mu\text{m} \pm 0.5\mu\text{m}$ 이고 수명이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

>12 시간±1 시간입니다. 이는 코팅되지 않은 공구(산화 깊이 >10 μm, 수명 <4 시간)보다 우수합니다. 도메인 간 비교 결과, 시멘트 카바이드는 강철 및 티타늄 합금보다 산화 저항성이 우수하지만 초고온(>1200° C)에서는 세라믹(Si₃N₄, 중량 증가 <0.5 mg/cm²)보다 성능이 떨어지는 것으로 나타났습니다.

3.3.2.1 초경합금의 내산화성 검사 방법

항산화제 시험 방법은 고온 안정성 평가를 보장하며, 일반적인 기술은 다음과 같습니다.

열중량 분석(TGA, ASTM E1131)

10% Co를 함유하는 시멘트 카바이드(700° C, 중량 증가 0.5 mg/cm² ± 0.1 mg/cm²)는 10×10×2 mm±0.1 mm의 샘플, 10° C/min±0.5° C/min의 가열 속도, 0.1 μg±0.05 μg의 질량 분해능, 공기 분위기(O₂ 분압 0.21 atm±0.01 atm)를 사용하며 오차는 <2%±0.5%입니다.

고온 노출 시험(ISO 21608)

TiC-초경합금(1000° C, 중량 증가 <1 mg/cm² ± 0.1 mg/cm²)을 함유한 시편은 20×10×5 mm±0.1 mm 크기로 168 시간 노출시켰으며, 온도 변동은 <±5° C, 오차는 <3%±0.5%였다.

E2108): Cr 함유 초경합금(산화물층 두께 <8 μm±2 μm)은 AlK α 방사선(1486.6eV±0.1eV, 분해능 0.1eV±0.05eV)을 사용하여 산화물 조성(Cr₂O₃/WO₃, 오차 <5%±1%)을 분석합니다.

주사전자현미경(SEM, ASTM E986)

Al₂O₃ 코팅이 된 시멘트 카바이드의 산화층(산화 깊이 <3 μm ±0.5 μm)은 <5 nm±1 nm의 분해능(오차 <5%±1%)으로 후방산란 전자 모드를 사용하여 분석되었습니다.

분광 타원 분석법

10% Co를 함유하는 시멘트 카바이드(산화물층 <10 μm±2 μm)의 경우, 파장은 300800 nm±1 nm이고 입사각은 70° ±0.5°로 산화물층 두께를 측정한다(오차 <5%±1%).

이 시험에는 제어된 분위기(O₂ 순도 >99.9% ± 0.1%)와 온도(변동 <±5° C)가 필요합니다. 예를 들어, Cr을 함유한 노즐은 TGA 및 XPS 시험(1000° C, 중량 증가 0.8 mg/cm² ± 0.1 mg/cm², 산화막 <8 μm ± 2 μm)을 통과하여 5000 시간 ± 500 시간 이상의 가스터빈 수명을 보장합니다.

3.3.2.2 항산화 활성에 영향을 미치는 요인

항산화 활동은 다음과 같은 요인에 의해 영향을 받습니다.

조성: Co 함량이 10%에서 15%로 증가하고, 1000° C에서의 중량 증가는 CoO 형성 속도 증가(반응 속도>10⁻⁵g/cm² · s ±10⁻⁶g/cm² · s)로 인해 2에서 2.5mg/cm²

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0.2\text{mg}/\text{cm}^2$ 로 증가합니다. $\text{TiC}(15\%)$ 는 TiO_2 보호층(확산 계수 $<10^{-14}\text{cm}^2/\text{s}$)으로 인해 $1\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0.1\text{mg}/\text{cm}^2$ 로 감소합니다. $\text{Cr}(0.5\%)$ 은 Cr_2O_3 형성(결합 에너지 $>400\text{kJ}/\text{mol} \pm 10\text{kJ}/\text{mol}$)으로 인해 $0.8\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0.1\text{mg}/\text{cm}^2$ 로 감소합니다. Al_2O_3 코팅($5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$)이 된 시멘트 카바이드의 경우 $0.3\text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0.05\text{ mg}/\text{cm}^2$ 로 떨어집니다.

공정: 소결 온도($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$)는 WC 안정성(분해율 $<0.1\% \pm 0.02\%$)을 보장하고 중량 증가를 $3\% \pm 0.5\%$ 감소시킵니다. HIP($100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$)는 기공률을 감소시키고($<0.1\% \pm 0.02\%$), 중량 증가를 $5\% \pm 1\%$ 감소시킵니다. 과도한 온도($>1550^\circ\text{C}$)는 Co 산화를 유도하고(중량 증가를 $10\% \pm 2\%$ 증가시킵니다). 코팅 증착(CVD, $800^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$)은 치밀한 Al_2O_3 (기공률 $<0.5\% \pm 0.1\%$)를 형성하고 중량 증가를 $60\% \pm 5\%$ 감소시킵니다.

환경: 고온(1000°C)은 O_2 확산(확산 계수 $>10^{-12}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-13}\text{ cm}^2/\text{s}$)으로 인해 중량이 $20\% \pm 3\%$ 증가합니다. 습열(40°C , 습도 90%)은 미세 산화를 유도하여 $<2\% \pm 0.5\%$ 증가합니다. 증기(500°C , 10 MPa)는 WO_3 생성으로 인해 중량이 $10\% \pm 2\%$ 증가합니다. 고압($>100\text{ MPa}$)은 중량을 $5\% \pm 1\%$ 감소시킵니다. 방사선(10^4Gy)은 중량을 $2\% \pm 0.3\%$ 증가시킵니다.

표면 상태: 연마($R_a < 0.2\text{ }\mu\text{m} \pm 0.05\text{ }\mu\text{m}$)는 산화 부위(표면 에너지 $<1\text{ J}/\text{m}^2 \pm 0.1\text{ J}/\text{m}^2$)를 $3\% \pm 0.5\%$ 감소시키고, 거친 표면($R_a > 0.4\text{ }\mu\text{m}$)은 $5\% \pm 1\%$ 증가시킵니다.

분위기: 낮은 O_2 분압($<0.1\text{ atm} \pm 0.01\text{ atm}$)은 중량을 $50\% \pm 5\%$ 감소시키고, H_2O 를 함유하는 분위기(분압 $>0.5\text{ atm} \pm 0.01\text{ atm}$)는 중량을 $10\% \pm 2\%$ 증가시킵니다.

예를 들어, Cr과 Al_2O_3 코팅(1000°C , 중량 증가 $0.3\text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0.05\text{ mg}/\text{cm}^2$)을 포함한 공구는 항공 절삭에서 산화 깊이가 $<3\text{ }\mu\text{m} \pm 0.5\text{ }\mu\text{m}$ 이고 수명이 $>12\text{ 시간} \pm 1\text{ 시간}$ 입니다. 최적화를 위해서는 Cr 첨가와 Al_2O_3 코팅이 필요합니다.

3.4 초경합금의 전기적 및 자기적 특성

전기적 및 자기적 특성은 방전 가공(EDM), 자기 검출, 원자력 차폐 및 항공우주 센서 분야에서 초경합금의 적용을 뒷받침합니다. 이 섹션에서는 전기 전도도와 코발트 상 자기적 특성을 분석합니다.

3.4.1 초경합금의 전기전도도

초경합금의 저항률은 $20\text{ }\mu\Omega \cdot \text{cm} \pm 5\text{ }\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이고, 전도도는 $510\text{ MS}/\text{m} \pm 0.5\text{ MS}/\text{m}$ 으로 구리($58\text{ MS}/\text{m}$)와 세라믹($<0.1\text{ MS}/\text{m}$) 사이에 있으며, WC(저항률 $15\text{ }\mu\Omega \cdot \text{cm} \pm 2\text{ }\mu\Omega \cdot \text{cm}$, 전자 이동도 $>2 \times 10^{-4}\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s} \pm 10^{-3}\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)와 Co(저항률 $6\text{ }\mu\Omega \cdot \text{cm} \pm 1\text{ }\mu\Omega \cdot \text{cm}$)에 의해 결정됩니다. 10% Co를 함유하는 초경합금의 전도도는 $8\text{ MS}/\text{m} \pm 0.5\text{ MS}/\text{m}$ 이고, 12% Ni를 함유하는 초경합금은 Ni의 전자 전도도가 더 높기 때문에(이동도 $>1.5 \times 10^{-4}\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s} \pm 10^{-3}\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$) 10

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MS/m $\pm$ 0.5 MS/m 으로 증가합니다.

전기 전도도는 전기 기계 가공 및 전기 분해를 지원합니다. EDM(전류 밀도 $>10^4$ A/cm $^2 \pm 10^3$ A/cm 2 , 펄스 폭 0.1 ms $\pm$ 0.01 ms)에서 10% Co 를 함유한 초경합금 금형의 가공 속도는 >0.5 mm/min $\pm$ 0.05 mm/min 이며, 표면 거칠기 Ra <0.2 μ m $\pm$ 0.05 μ m 은 강철 금형(Ra >0.5 μ m)보다 우수합니다. 8% Ni 를 함유한 전극은 전해질(pH 3, H₂SO₄, 농도 1 mol/L)에서 5000 시간 동안 작동하며 전도도는 9 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m 로 유지되고 부식 깊이는 <5 μ m $\pm$ 1 μ m 입니다.

예를 들어, 12% Ni 를 함유한 전극은 신에너지 전해조(전류 밀도 >500 A/m $^2 \pm 50$ A/m 2 , 온도 60 $^{\circ}$ C $\pm$ 2 $^{\circ}$ C)에서 효율이 $>95\%\pm 2\%$ 이고 수명이 >5000 시간 $\pm$ 500 시간입니다.

고온(600 $^{\circ}$ C)에서는 전자 산란으로 인해 전도도가 7 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m(15 $\pm$ 2% 감소)로 떨어지고(이동도 감소 $<10^4$ cm 2 / V $\cdot$ s $\pm 10^3$ cm 2 / V $\cdot$ s), 습열(40 $^{\circ}$ C, 습도 90%, 168 시간)에서는 Co 미세부식으로 인해 전도도가 $<3\%\pm 0.5\%$ 감소하고(중량 감소 <0.1 mg/cm $^2 \pm 0.02$ mg/cm 2), 고압(>100 MPa, 심해)에서는 격자 압축으로 인해 전도도가 $2\%\pm 0.3\%$ 증가하고(격자 상수가 0.1 $\pm$ 0.02% 감소), 극한의 저온(40 $^{\circ}$ C)에서는 전도도가 $3\%\pm 0.5\%$ 증가합니다. 방사선(10⁴Gy) 조사 시 표면 결함으로 인해 전도도가 $<1\%\pm 0.2\%$ 감소합니다. Cr(0.5%1%)을 함유한 초경합금은 Cr₂O₃(저항률 $>10^6 \Omega \cdot$ cm $\pm 10^5 \Omega \cdot$ cm)를 형성하며, 표면 전도도는 $5\%\pm 1\%$ 감소했지만, 내부는 안정적이었습니다.

예를 들어, Cr 을 함유한 전극의 전도도는 해양 환경(pH 8, 염도 3.5%, 5000m)에서 3 년간 작동한 후에도 8 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m 로 유지되었으며, 이는 Co 를 함유한 재료의 전도도(감소율 $>5\%\pm 1\%$)보다 우수합니다.

최적화에는 Ni 첨가와 고밀도($>99\%\pm 0.1\%$)가 필요합니다. 12% Ni 를 함유한 와이어는 항공우주 센서(500 $^{\circ}$ C, 진동 주파수 $>10^3$ Hz ± 100 Hz)에서 저항률 변화가 $2\%\pm 0.5\%$ 미만이고 신호 오차가 0.1 $\pm$ 0.02% 미만입니다. 도메인 간 비교 결과, 초경합금은 세라믹과 유리보다 전도성이 높지만 구리와 은(>50 MS/m)보다는 전도성이 떨어지는 것으로 나타났습니다.

3.4.1.1 초경합금의 전도도 시험 방법

전도도 시험 방법은 전기적 성능 평가를 보장하며, 일반적인 기술은 다음과 같습니다.

4 탐침법(ASTM B193)

10% Co(8 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m)를 함유하는 이 용액은 20 $\times$ 10 $\times$ 2 mm $\pm$ 0.1 mm 의 시료, 1 A $\pm$ 0.01 A 의 전류, 1 mm $\pm$ 0.01 mm 의 프로브 간격, 0.1 μ V $\pm$ 0.05 μ V 의 전압 분해능, 그리고 $<2\%\pm 0.5\%$ 의 오차를 사용합니다. 환경 요건은 25 $^{\circ}$ C $\pm$ 2 $^{\circ}$ C 이고, 표면 Ra 는 <0.2 μ m $\pm$ 0.05 μ m 입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

와전류 시험 (ASTM E1004)

12% Ni (10 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m)를 함유한 시멘트 카바이드는 10 kHz $\pm$ 0.1 kHz의 주파수, 5 mm $\pm$ 0.1 mm의 코일 직경, 0.1 μ S $\pm$ 0.05 μ S의 신호 분해능, <3% $\pm$ 0.5%의 오차를 가지며 복잡한 형상에 적합합니다.

비저항계 (ASTM D257)

8% Co (20 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ $\pm$ 5 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)를 함유하는 시멘트 카바이드의 시편 직경은 10 mm $\pm$ 0.1 mm, 두께는 2 mm $\pm$ 0.1 mm, 정확도는 0.1 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ $\pm$ 0.05 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$, 오차는 <5% $\pm$ 1%이다.

홀 효과 테스트

Ni를 함유하는 초경합금(이동도 > 1.5 $\times 10^4$ cm²/V $\cdot$ s $\pm$ 10³ cm²/V $\cdot$ s)의 경우, 0.5 T $\pm$ 0.01 T의 자기장과 10 mA $\pm$ 0.1 mA의 전류를 사용하였으며, 오차는 <5% $\pm$ 1%로 전자적 거동 분석에 적합합니다.

예를 들어, 12% Ni를 함유한 전극은 4 탐침 및 와전류 테스트(10 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m)를 통과하여 셀 수명이 >5000 시간 $\pm$ 500 시간임을 보장합니다.

3.4.1.2 초경합금의 전도도에 영향을 미치는 요인

전기 전도도는 다음의 영향을 받습니다.

요소

Co 함량이 10%에서 15%로 증가함에 따라 Co 상의 높은 전도도(저항률 6 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ $\pm$ 1 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)로 인해 전도도는 8에서 9 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m로 증가합니다. Ni (12%)는 Ni의 높은 전자 이동도로 인해 10 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m로 증가합니다. TiC (15%)는 TiC의 높은 저항률(>50 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ $\pm$ 5 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)로 인해 7 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m로 감소합니다. Cr (0.5%1%)은 Cr₂O₃의 절연(저항률>10⁶ $\Omega \cdot \text{cm}$ $\pm$ 10⁵ $\Omega \cdot \text{cm}$)으로 인해 7.5 MS/m $\pm$ 0.5 MS/m로 감소합니다.

기술

소결 온도(1450 $^{\circ}$ C $\pm$ 10 $^{\circ}$ C)는 WCCo 접촉(접촉 면적 >90% $\pm$ 2%)을 개선하고 전도도를 3% $\pm$ 0.5% 증가시킵니다. HIP(100 MPa $\pm$ 5 MPa)는 기공률(<0.1% $\pm$ 0.02%)을 감소시켜 2% $\pm$ 0.3% 증가시킵니다. 과도한 온도(>1550 $^{\circ}$ C)는 Co 편석을 유발하여 3% $\pm$ 0.5% 감소시킵니다. 연마(Ra<0.2 μ m $\pm$ 0.05 μ m)는 접촉 저항(<0.1 $\mu\Omega$ $\pm$ 0.02 $\mu\Omega$)을 감소시켜 1% $\pm$ 0.2% 증가시킵니다.

환경

고온(600 $^{\circ}$ C)은 전자 산란으로 인해 15% $\pm$ 2% 감소합니다. 습열(40 $^{\circ}$ C, 습도 90%)은 Co 부식으로 인해 <3% $\pm$ 0.5% 감소합니다. 고압(>100 MPa)은 격자 압축으로 인해 2% $\pm$ 0.3% 증가합니다. 극한의 추위(40 $^{\circ}$ C)는 3% $\pm$ 0.5% 증가합니다. 방사선(10⁴ Gy)은 <1% $\pm$ 0.2% 감소합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

샘플 기하 구조: 두께($>2\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$)는 경계 저항($<0.1\text{ }\mu\Omega\pm 0.02\text{ }\mu\Omega$)을 감소시켜 $2\%\pm 0.3\%$ 증가합니다. 표면 거칠기($R_a>0.4\text{ }\mu\text{m}$)는 산란을 유도하여 $1\%\pm 0.2\%$ 감소합니다.

전기장 조건 : 고주파 AC($>10\text{ kHz}\pm 0.1\text{ kHz}$)는 스킨 효과(깊이 $<0.1\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$)를 유도하여 $2\%\pm 0.3\%$ 감소시킵니다. 전도도는 DC에서 안정적입니다.

예를 들어, 12% Ni를 첨가하고 HIP 공정($10\text{ MS/m}\pm 0.5\text{ MS/m}$)을 거친 와이어는 항공우주 센서(500°C)에서 $9.8\text{ MS/m}\pm 0.5\text{ MS/m}$ 의 전도도를 유지하며, 신호 오차는 $<0.1\%\pm 0.02\%$ 입니다. 최적화를 위해서는 Ni 첨가 및 HIP 공정이 필요합니다.

3.4.2 초경합금의 자기적 특성

초경합금의 자기적 특성은 주로 Co 상(면심입방 FCC, 큐리 온도 $1120^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$)에 의해 결정되며, 포화자화는 $1400\text{ kA/m}\pm 50\text{ kA/m}$ (Co 10% 함유), 투자율은 1.05 ± 0.01 , 보자력은 $1020\text{ kA/m}\pm 1\text{ kA/m}$ 입니다. Ni가 12% 함유된 초경합금은 Ni가 약자성(자기 모멘트 $0.6\text{ }\mu\text{B/Ni}\pm 0.1\text{ }\mu\text{B/Ni}$)이기 때문에 비자성에 가깝습니다(포화자화 $<10\text{ kA/m}\pm 2\text{ kA/m}$, 투자율 $<1.01\pm 0.01$).

자성은 검출 및 흡착을 지원합니다. 정밀 가공(흡착력 $>100\text{ N/cm}^2\pm 10\text{ N/cm}^2$, 위치 편차 $<0.01\text{ mm}\pm 0.002\text{ mm}$)에서 6% Co를 함유한 카바이드 고정구의 흡착 효율은 $>98\%\pm 1\%$ 로, 강철 고정구(편차 $>0.05\text{ mm}$)보다 우수합니다. 핵자기공명(MRI, 자기장 $1.5\text{ T}\pm 0.1\text{ T}$) 장비에서 Ni를 함유한 카바이드의 간섭 자기장은 $<0.1\text{ }\mu\text{T}\pm 0.02\text{ }\mu\text{T}$ 로, Co를 함유한 재료(간섭 $>1\text{ }\mu\text{T}$)보다 우수합니다. 예를 들어, 우주 항법(진동 주파수 $>10^3\text{ Hz}\pm 100\text{ Hz}$)에서 12% Ni를 함유한 센서 하우징의 자기 간섭은 $<0.05\text{ }\mu\text{T}\pm 0.01\text{ }\mu\text{T}$ 이고 신호 오차는 $<0.1\%\pm 0.02\%$ 입니다.

고온(600°C)에서는 Co 큐리점의 근접성(열 진동 $>10^{12}\text{ Hz}\pm 10^{11}\text{ Hz}$)으로 인해 자화 강도가 $20\%\pm 2\%$ ($1100\text{ kA/m}\pm 50\text{ kA/m}$ 까지) 감소합니다. 습열(40°C , 습도 90%, 168 시간)에서는 Co 미세부식(중량 감소 $<0.1\text{ mg/cm}^2\pm 0.02\text{ mg/cm}^2$)으로 인해 자화 강도가 $<2\%\pm 0.5\%$ 감소합니다. 고압($>100\text{ MPa}$)에서는 격자 압축으로 인해 자화 강도가 $1\%\pm 0.3\%$ 증가합니다(격자 상수가 $0.1\%\pm 0.02\%$ 감소합니다). 극한의 저온(40°C)에서는 자기 모멘트가 증가하여 자화 강도가 $2\%\pm 0.3\%$ 증가합니다. 방사선(10^4 Gy) 조사 시, 표면 결함으로 인해 자화 강도가 $<1\%\pm 0.2\%$ 감소합니다. Cr(0.5%)을 함유한 초경합금의 자화 강도는 Cr의 반강자성(자기 모멘트 $<0.1\text{ }\mu\text{B/Cr}\pm 0.02\text{ }\mu\text{B/Cr}$)으로 인해 $5\%\pm 1\%$ 감소합니다.

예를 들어, Cr을 함유한 센서 하우징은 항공(500°C , O_2 분압 $0.21\text{ atm}\pm 0.01\text{ atm}$)에서 3년 동안 자기 간섭 $<0.05\text{ }\mu\text{T}\pm 0.01\text{ }\mu\text{T}$ 로 작동했으며, 이는 Co를 함유한 재료(간섭 $>0.1\text{ }\mu\text{T}$)보다 우수합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

최적화를 위해서는 Co 를 Ni 로 대체하고 Cr 첨가량을 줄여야 합니다. 자기 연삭(자기장 $0.5\text{ T} \pm 0.01\text{ T}$, 연삭 속도 $>1\text{ m/s} \pm 0.1\text{ m/s}$)에서 Co 10%를 함유한 초경합금의 효율은 $20\% \pm 3\%$ 향상되고, 표면 거칠기 Ra 는 $<0.1\text{ }\mu\text{m} \pm 0.02\text{ }\mu\text{m}$ 입니다. 자기장 비교 결과, 초경합금의 자기적 특성은 비자성 세라믹(투자율 <1.001)보다 우수하지만, 순수 Co($>2000\text{ kA/m}$)보다는 열등합니다.

3.4.2.1 초경합금의 자기 시험 방법

자기 테스트 방법은 자기 성능 평가를 보장하며, 일반적인 기술은 다음과 같습니다.

진동 샘플 자력계(VSM, ASTM A894)

10% Co($1400\text{ kA/m} \pm 50\text{ kA/m}$)를 함유한 초경합금은 $5 \times 5 \times 2\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$ 크기의 시편, $1\text{ T} \pm 0.01\text{ T}$ 의 자기장, $55\text{ Hz} \pm 1\text{ Hz}$ 의 진동 주파수, $0.1\text{ kA/m} \pm 0.05\text{ kA/m}$ 의 자화 강도 분해능, 그리고 $<2\% \pm 0.5\%$ 의 오차를 사용합니다. 환경 조건은 $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 입니다.

플럭스미터(ASM A773)

6% Co 를 함유하는 시멘트 카바이드(보자력 $10\text{ kA/m} \pm 1\text{ kA/m}$)의 시편 직경은 $10\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$, 두께는 $2\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$, 정확도는 $0.1\text{ kA/m} \pm 0.05\text{ kA/m}$, 오차는 $<3\% \pm 0.5\%$ 이다.

홀 효과 시험(ASM F76)

Ni 함유 초경합금(간섭 $<0.1\text{ }\mu\text{T} \pm 0.02\text{ }\mu\text{T}$)의 경우, $0.5\text{ T} \pm 0.01\text{ T}$ 의 자기장, $10\text{ mA} \pm 0.1\text{ mA}$ 의 전류, $0.1\text{ }\mu\text{V} \pm 0.05\text{ }\mu\text{V}$ 의 전압 분해능 및 $<5\% \pm 1\%$ 의 오차가 사용됩니다.

자기력 현미경(MFM)

10% Co 를 함유하는 경질 합금(자기 도메인 크기 $<1\text{ }\mu\text{m} \pm 0.2\text{ }\mu\text{m}$)은 프로브 분해능 $<10\text{ nm} \pm 2\text{ nm}$, 스캐닝 범위 $10 \times 10\text{ }\mu\text{m} \pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$, 오차 $<5\% \pm 1\%$ 를 나타내어 미세 자기 분석에 적합합니다.

예를 들어, 12% Ni 를 함유한 센서 하우징은 VSM 및 홀 테스트(간섭 $<0.1\text{ }\mu\text{T} \pm 0.02\text{ }\mu\text{T}$)를 통과하여 3년 ± 0.3 년 이상의 우주 향해 수명을 보장합니다.

3.4.2.2 초경합금의 자기적 특성에 영향을 미치는 요인

자기적 특성은 다음의 영향을 받습니다.

요소

Co 함량이 6%에서 15%로 증가하면 Co의 향상된 자기 모멘트($1.7\text{ }\mu_B/\text{Co} \pm 0.1\text{ }\mu_B/\text{Co}$)로 인해 자화가 1000에서 $1600\text{ kA/m} \pm 50\text{ kA/m}$ 로 증가합니다. Ni(12%)는 Ni의 약한 자성($0.6\text{ }\mu_B/\text{Ni} \pm 0.1\text{ }\mu_B/\text{Ni}$)으로 인해 $<10\text{ kA/m} \pm 2\text{ kA/m}$ 로 감소합니다. Cr(0.5%)은 Cr의 반강자성으로 인해 $1300\text{ kA/m} \pm 50\text{ kA/m}$ 로 감소합니다. TiC(15%)는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

유의미한 영향을 미치지 않습니다(투자율 변화 $<0.01 \pm 0.002$).

기술

소결 온도($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)는 Co 상의 균일성(분포 오차 $<5\% \pm 1\%$)을 보장하고 자화 강도를 $3\% \pm 0.5\%$ 증가시킵니다. HIP($100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$)는 결함(기공률 $<0.1\% \pm 0.02\%$)을 감소시키고 자화 강도를 $2\% \pm 0.3\%$ 증가시킵니다. 너무 높은 온도($>1550^{\circ}\text{C}$)는 Co 휘발(손실 $<5\% \pm 1\%$)을 유발하고 자화 강도를 $5\% \pm 1\%$ 감소시킵니다.

환경

고온(600°C)은 열 진동으로 인해 $20\% \pm 2\%$ 감소합니다. 습열(40°C , 습도 90%)은 Co 부식으로 인해 $<2\% \pm 0.5\%$ 감소합니다. 고압($>100\text{ MPa}$)은 $1\% \pm 0.3\%$ 증가합니다. 극한의 추위(40°C)는 $2\% \pm 0.3\%$ 증가합니다. 방사선(10^{-4} Gy)은 $<1\% \pm 0.2\%$ 감소합니다.

샘플 기하 구조: 두께($>2\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$)는 자기 소거 효과(계수 $<0.9 \pm 0.1$)를 $2\% \pm 0.3\%$ 까지 감소시키고, 표면 거칠기($R_a > 0.4\text{ }\mu\text{m}$)는 자기 도메인 고정을 유도하여 $1\% \pm 0.2\%$ 까지 감소시킵니다.

자기장 조건

고주파 자기장($>10\text{ kHz} \pm 0.1\text{ kHz}$)은 와전류 손실(손실 $>1\text{ W/cm}^3 \pm 0.1\text{ W/cm}^3$)을 유도하는데, 이는 $2\% \pm 0.3\%$ 감소합니다. 정적 자기장 하에서 자기적 특성은 안정적입니다.

예를 들어, 6% Co를 함유하고 HIP 공정($1400\text{ kA/m} \pm 50\text{ kA/m}$)을 거친 고정구는 고온 공정(500°C) 동안 $1350\text{ kA/m} \pm 50\text{ kA/m}$ 의 자화를 유지하며, 흡착 효율은 $98\% \pm 1\%$ 이상입니다. 최적화를 위해서는 Co 및 Ni 치환을 최소화해야 합니다.

3.4.2.3 초경합금의 자기포화

초경합금의 자기포화도(M_s)는 강한 자기장 하에서 코발트 결합상이 최대 자화 상태에 도달할 때의 자화 강도를 측정하는 핵심 매개변수입니다. $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 단위로 측정되며, 코발트 함량, 미세조직 상태, 그리고 탄소 균형의 완전성을 직접적으로 반영합니다. 초경합금 비파괴 검사의 핵심 지표인 자기포화도는 품질 관리 및 성능 최적화에 있어 필수적인 역할을 합니다.

기술 원리

코발트 상의 자기장은 충분히 강한 외부 자기장(일반적으로 $>1.5\text{ T}$) 하에서 자기장 방향을 따라 완전히 정렬되어 최대 자화 세기에 도달합니다. 이 지점에서 M_s 값은 주로 코발트 함량과 순도에 의해 결정되는데, 경질 상(예: 텅스텐 카바이드 WC)은 비자성 물질이고 자성에 기여하지 않기 때문입니다. 순수 코발트의 자기 포화 강도는 $16.1\text{--}16.3\text{ }\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 이고, 초경합금의 M_s 값은 코발트의 중량 백분율로 선형적으로 추정할 수 있습니다. 예를 들어, 8% 코발트를 함유한 YG8 합금의 이론적인 M_s 는 $1.29\text{--}1.30\text{ }\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 입니다.

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

Ms와 이론값은 η 상($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$)이나 유리 탄소(C)의 존재와 같은 조성 이상이나 미세 결함을 판별하는 데 사용할 수 있습니다. η 상은 Ms를 10~20% 감소시키고, 유리 탄소는 Ms를 5~10% 감소시킵니다. 이러한 변화는 결함 검출을 위한 정량적 근거를 제공합니다.

측정 방법

자기 포화 검사는 일반적으로 자기 분석기(예: Koerzimat 1.097 또는 Sigmameter 2.068) 또는 진동 샘플 자력계(VSM)를 사용하여 수행됩니다. 검사 단계는 다음과 같습니다.

샘플 준비

시멘트 카바이드 샘플(공구 블랭크, 크기 5~10mm, 원통형 또는 정육면체형)을 선택하고 표면을 깨끗이 한 후(에탄올을 사용하여 오일과 산화층을 제거) 질량을 측정하여($\pm 0.01\text{g}$) 단위 질량당 자화 강도를 계산합니다.

자화 과정

시료를 강한 자기장(1.5-2 T)에 두고 전자기 포화 자기화 장치를 사용하여 코발트 상이 완전히 자화되도록 합니다. 자기장 세기는 코발트의 포화 자기화 한계값보다 높아야 과소 자화로 인한 Ms 과소평가를 방지할 수 있습니다.

데이터 수집

Ms 값($\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$)을 기록하고, $\text{Ms}_{\text{합금}} = \text{Ms}_{\text{순수 코발트}} \times \text{코발트 중량 백분율}$ ($\text{Ms}_{\text{순수 코발트}} = 16.2 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) 공식을 통해 코발트 함량을 추정합니다. 측정 정확도는 $\pm 0.5\%$ 로 관리되며, 반복성은 $<2\%$ 입니다.

결과 분석

목표 Ms 값과 편차가 $\pm 0.5\%$ 이상(예: YG8의 측정 Ms가 $1.23 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 미만 또는 $1.35 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 초과)인 경우, 배치 오류 또는 결함이 있음을 나타냅니다. 필요한 경우 X선 회절(XRD, η 상 $2\theta \approx 40^\circ$ 검출) 또는 금속 조직 분석을 병행하여 확인할 수 있습니다.

영향 요인

시멘트 카바이드의 자기 포화는 다음을 포함한 여러 요인의 영향을 받습니다.

코발트 함량

Ms는 코발트 함량에 비례합니다. 코발트 함량이 6%에서 15%로 증가하면 Ms는 $0.97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (YG6)에서 $3.24 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (이론치)으로 증가합니다. 그러나 코발트 함량이 너무 높으면($>15\%$) 경도가 저하될 수 있습니다(HRA가 91에서 89로 감소). 따라서 성능의 균형이 필요합니다.

탄소 균형

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

탄소 함량의 불균형은 η 상 또는 자유 탄소에 이어진다. η 상은 Ms 를 10-20% 감소시키고(예: YG8 은 1.29 에서 1.0 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 으로 감소), 자유 탄소는 5-10% 감소시킨다(1.29 에서 1.16 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 으로 감소). 따라서 탄소 함량(6.0 ± 0.2 중량%)을 조정해야 한다.

미세구조

결정립 크기는 Ms 안정성에 영향을 미칩니다. 미세립 합금($0.2\sim0.5\mu\text{m}$)의 경우 Ms 는 1% 미만으로 변동하지만, 조립립 합금($5\mu\text{m}$ 이상)의 경우 불균일한 결정립계로 인해 Ms 가 2~3% 변동할 수 있습니다.

소결 공정

고온($>1500^\circ\text{C}$)은 코발트의 휘발 또는 산화를 유발하고(Ms 가 5-8% 감소), 저온 및 HIP(150 MPa , 1350°C)는 밀도($>99.5\%$)를 증가시키고 Ms 는 3-5% 증가합니다.

환경적 요인

고온($800\sim1000^\circ\text{C}$)은 Ms 를 5-10% 감소시키고(예: YG10 은 1000°C 에서 1.61 에서 1.45 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 으로 떨어짐), 습열(40°C , 습도 90%)은 Co 미세부식으로 인해 Ms 를 $<2\%$ 감소시킵니다.

응용 프로그램 시나리오

자기 포화 시험은 시멘트 카바이드의 생산 및 성능 평가에 널리 사용됩니다.

품질 관리

YG6 ($M_s = 0.97\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) 경도 HRA 90-91, YG8 ($M_s = 1.29\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) 인성 KIC $10\sim12\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 등 코발트 함량과 탄소 균형을 확인합니다.

결합 감지

예상 값의 Ms $<90\%$ (예: YG8 $<1.16\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$)는 η 상을 나타내고, $>110\%$ ($>1.42\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$)는 자유 탄소를 나타내며, 이는 제형 조정을 안내합니다.

성능 예측

Ms(편차 $<\pm0.3\%$)는 높은 내마모성(예: 절삭 수명 >3 시간)에 해당하고, Ms $>1\%$ 의 변동은 인성 감소($KIC <8\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)를 나타냅니다.

예시

심해 드릴 비트(압력 50 MPa , 온도 40°C)에서 6% Co 를 함유한 합금은 Ms 시험을 통해 경도 HRA 92($0.97\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$)와 수명 >300 시간을 보장했으며, 이는 시험을 거치지 않은 드릴 비트(수명 <200 시간)보다 우수합니다.

데이터 지원

벤치마크 값

순수 코발트 Ms $=16.1\sim16.3\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, YG6 Ms $=0.97\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, YG8 Ms $=1.29\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, 나노 합금($0.05\sim0.2\mu\text{m}$) Ms $=1.1\sim1.3\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

결합 영향

η 상은 Ms 를 10~20%, 자유 탄소를 5~10%, 산화(1000° C)를 5~8% 감소시킵니다.

3.4.2.3 초경합금의 보자력

초경합금의 보자력(Hc)은 코발트 결합재 상의 감자 저항성을 측정하는 중요한 매개변수입니다. kA/m 단위로 측정되며, 결정립 크기, 미세조직 분포, 그리고 소결 품질을 직접적으로 반영합니다. 보자력 시험은 초경합금의 성능 등급 및 적용 분야, 특히 고경도 및 고인성 제품의 선별에 중요한 역할을 합니다.

기술 원리

보자력은 코발트 상의 자화 강도를 포화 상태에서 0 으로 낮추기 위해 역자기장을 인가하는 데 필요한 자기장 세기를 말합니다. Hc 값은 코발트 상의 결정립 크기에 반비례합니다. 미세한 결정립(0.2~0.5 μm)은 자기결정 이방성이 더 크고 Hc 는 25~40kA/m 에 이를 수 있습니다. 반면, 거친 결정립(5 μm 이상)은 자화로 인해 뒤집히기 쉽고 Hc 는 일반적으로 10kA/m 미만입니다. 또한, Hc 는 코발트 상 분포의 균일성, 결합(예: 기공, η 상) 및 소결 공정의 영향을 받습니다. 미세립 구조의 높은 Hc 는 높은 경도(HRA 89-92)에 해당하고, 조립립 구조의 낮은 Hc 는 높은 인성(KIC 15-20 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)에 해당하므로 Hc 는 미세구조 최적화를 위한 중요한 지표이다.

측정 방법

보자력 시험은 일반적으로 영구자석 보자력 측정기 또는 자기 분석기를 사용하여 수행됩니다. 구체적인 단계는 다음과 같습니다.

샘플 준비

시멘트 카바이드 샘플(금형 블랭크, 크기 5~10mm 등)을 선택하고, 표면을 깨끗이 한 후(오일과 산화막 제거), 자기 간섭이 없는지 확인합니다.

자화와 감자

먼저 샘플을 강한 자기장(1.5~2 T)에 두어 완전히 자화시킨 다음, 점차 증가하는 역자기장을 적용합니다.

데이터 수집

자화강도를 0 으로 낮추는 Hc (kA/m)를 적용하여 측정 정확도를 $\pm 1\%$ 이내로 제어하고 반복성은 <2%로 유지한다.

결과 분석

Hc 값에 따르면, 20 kA/m 이상은 미세립 구조이고, 10 kA/m 미만은 조립 구조입니다. Hc 변동이 10% 이상인 경우(예: YG8 이 15 kA/m 에서 25 kA/m 로 변하는 경우)는 불균일한 소결 또는 결함을 나타내므로, SEM(배율 500 배)과 함께 결정립계를 관찰해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

영향 요인

시멘트 카바이드의 보자력은 다음을 포함한 다양한 요인의 영향을 받습니다.

입자 크기

Hc 는 결정립 크기에 반비례합니다. 미립 합금 ($0.2\ \mu\text{m}$) 의 Hc 는 $30\sim 40\text{kA/m}$ 이고, 조립 합금 ($5\ \mu\text{m}$) 의 Hc 는 $5\sim 10\text{kA/m}$ 입니다. 나노 스케일 합금 ($0.05\sim 0.2\ \mu\text{m}$) 의 Hc 는 최대 $50\sim 60\text{kA/m}$ 입니다.

코발트 함량

코발트 함량을 늘리면 ($6\sim 15\%$) 코발트 상 자화가 더 쉽게 뒤집히고 Hc 가 약간 감소하지만 ($10\sim 15\%$) 효과는 제한적입니다.

탄소 균형

η 상은 Hc 를 $5\sim 10\%$ 감소시키고 (예: YG8 은 15kA/m 에서 13kA/m 로 감소), 자유 탄소는 거의 영향을 미치지 않습니다 ($<2\%$).

소결 공정

고온 ($>1500^\circ\text{C}$) 은 입자의 조대화를 초래하고 Hc 를 20kA/m 에서 8kA/m 로 감소시킵니다. HIP (150MPa , 1350°C) 는 균일성을 개선하고 Hc 를 $5\sim 10\%$ 증가시킵니다.

결합과 스트레스

다공성 $> 0.1\%$ 또는 잔류 응력 ($> 100\text{MPa}$) 으로 인해 Hc 가 $10\sim 15\%$ 변동하므로 밀도를 최적화해야 합니다 ($> 99.5\%$).

환경적 요인

고온 (800°C) 은 Hc 를 $5\sim 8\%$ 감소시킵니다 (예: YG10 은 18kA/m 에서 16kA/m 로 떨어짐). 반면 습열 (40°C , 습도 90%) 은 $<2\%$ 에 영향을 미칩니다.

응용 프로그램 시나리오

보자력 시험은 시멘트 카바이드 응용 분야에서 다양한 가치를 갖습니다.

성능 분류

높은 Hc ($>25\text{ kA/m}$) 는 고경도 도구 (예: PCB 드릴 비트, HRA >92 , 수명 >4 시간) 에 적합합니다. 낮은 Hc ($<10\text{ kA/m}$) 는 고인성 금형 (예: 광산 드릴 비트, KIC $>15\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, 수명 >200 시간) 에 적합합니다.

프로세스 최적화

Hc (변동 $> 10\%$) 는 거친 입자 또는 불균일한 소결을 나타내므로 온도 조정 ($1350\sim 1450^\circ\text{C}$) 을 안내하거나 입자 억제제 (예: VC $0.2\sim 0.5\%$ 중량%) 를 추가합니다.

결함 감지

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

Hc(예: YG8 의 경우 15~13 kA/m)의 경우 η 상으로 인해 탄소 함량(6.0 ± 0.2 중량%)을 조정해야 할 수 있습니다.

예시

자동차 강판 스탬핑(하중 > 2000 MPa, 빈도 > 10^4 회/시간)에서 8% Co 를 함유한 다이는 Hc 시험(15 kA/m)을 통해 경도 HRA 90, 파괴율 < 0.5%, 수명 > 6000 시간을 보장합니다.

데이터 지원

벤치마크 값

YG6 Hc =15-20 kA/m, YG8 Hc =10-15 kA/m, 나노 합금 Hc =50-60 kA/m.

결합 영향

η 상은 Hc 를 5~10% 감소시키고, 다공성 0.1%는 Hc 를 10~15% 감소시키고, 고온(800°C)은 Hc 를 5~8% 감소시킵니다.

3.5 요약 및 전망

시멘트 카바이드(경도 HV 1500 $\pm$ 2500 $\pm$ 30, 인성 K_{Ic} 820 MPa $\cdot$ m $^{1/2} \pm 0.5$, 압축/굽힘 강도>4000 MPa $\pm$ 100 MPa, 열전도도 80 $\pm$ 120 W/m $\cdot$ K ± 5 W/m $\cdot$ K, 열팽창 계수 46×10^{-6} / K $\pm 0.1 \times 10^{-6}$ /K, 고온 안정성>1000 $^\circ\text{C}$, 내식성 pH 212, 저항률 20 $\mu\Omega \cdot \text{cm} \pm 5 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, Co 상 자화 1400 kA/m ± 50 kA/m)는 WC 강성, Co/Ni 가소성 및 첨가제(TiC, TaC, Cr, Mo)의 상승 효과에서 유래되었습니다. 본 장에서는 특성 설명, 검사 및 탐지 방법, 영향 요인 및 적용 사례를 세부적으로 제시하여 성능 메커니즘과 조절 방법을 포괄적으로 밝힙니다.

기계적 특성(경도, 인성, 압축/굽힘 강도)은 절삭, 채광, 스탬핑, 항공 및 심해 시추에 적합합니다. 최적화를 위해서는 낮은 Co 함량(6~8%), TaC/Cr 첨가 및 HIP 공정이 필요합니다.

열적 특성(열전도도, 열팽창 계수, 고온 안정성, 열충격 저항성)은 고온 절단, 항공기 엔진 및 원자력 응용 분야를 보장하며 최적화에는 TiC 첨가, Al₂O₃/TiN 코팅 및 균일한 소결이 필요합니다.

화학적 안정성(내식성, 내산화성)은 화학, 해양 및 고온 환경에서의 사용을 보장합니다. 최적화를 위해 Ni/Cr/Mo 첨가 및 CrN/Al₂O₃ 코팅이 필요합니다.

전기적, 자기적 특성(전도도, 자성)은 EDM, 자기 검출 및 항공우주 센서를 지원하고 Co 를 Ni 로 대체하고 고밀도를 유지하는 공정을 최적화합니다.

환경적 요인(고온 600~1000 $^\circ\text{C}$, 습열 40 $^\circ\text{C}$ /90%, 고압>100 MPa, 극한의 저온 40 $^\circ\text{C}$, 방사선 10^4 Gy)과 공정 조건(소결 1450 $^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, HIP 100 MPa ± 5 MPa)은 성능에 상당한 영향을 미치므로 작업 조건에 따라 구성 및 공정을 조정해야 합니다. 예를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

들어, 8% Co 및 Al_2O_3 코팅을 함유한 공구는 항공 절삭($1000^{\circ}C$)에서 >12 시간 ± 1 시간의 수명을 가지며, NiCr 을 함유한 밸브는 심해(5000m)에서 5 년 동안 작동할 수 있으며, 12% Ni 를 함유한 센서는 항공우주($500^{\circ}C$)에서 $<0.1\pm 0.02\%$ 의 신호 오차를 갖습니다.

성능 조절을 연구하고, 기계 학습을 결합하여 조성, 공정 및 성능 간의 관계를 예측하여 에너지, 항공우주 및 원자력 분야에서 초경합금의 경쟁력을 향상시킵니다. 이 장은 WCCo 의 기여를 통해 2 장(가상 미세 구조)과 연결되어 후속 공정 최적화(4 장) 및 응용 분야 확장(5 장)의 기반을 마련합니다.

참고문헌

- Exner, HE (1979). 초경합금의 물리적 및 화학적 특성. *International Metals Reviews* , 24(1), 149173. <https://doi.org/10.1179/imtr.1979.24.1.149>
- Exner, HE (1979). 초경합금의 물리적 및 화학적 특성. *International Metals Reviews*, 24(1), 149173.
- Gurland, J. (1988). 초경합금의 파괴인성. *Journal of Metals*, 40(7), 1923 .
- Lassner, E., & Schubert, WD (1999). 텅스텐: 특성 , 화학, 원소, 합금 및 화합물의 기술 . Springer.
- Prakash, LJ (2014). 경금속: 구조, 특성 및 성능. VK Sarin (편), *종합 경질 재료 (제 1 권, 2954 쪽)*. Elsevier.
- 우파디아야, GS (1998). *초경합금 텅스텐 카바이드: 생산, 특성 및 시험* . 윌리엄 앤드류 출판사.
- Wang, H., & Fang, ZZ (2019). 극한 조건에서 초경합금의 열적 및 기계적 특성. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 82, 7685.
- Zhang, L., & Chen, S. (2017). 산성 환경에서 초경합금의 부식 거동. *Corrosion Science*, 125, 8795 .
- Li, J., & Wang, S. (2021). 첨단 현미경을 이용한 초경합금의 미세조직 특성 분석. *재료 특성화*, 178, 111234.
- Zhao, Z., & Liu, Y. (2020). Co 및 Ni 결합재를 갖는 초경합금의 자기적 특성. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 512, 166987.
- Sun, J., & Zhang, W. (2021). 초경합금의 탄성 특성: 실험적 및 이론적 통찰. *재료과학 및 공학: A*, 827, 141987 .
- Garcia, J., & Ciprés, VC (2018). 절삭 가공에서 초경합금의 마모 메커니즘. *Wear* , 408409, 126134.
- Garcia, J., & Ciprés, VC (2018). 절삭 가공에서 초경합금의 마모 메커니즘. *Wear*, 408409, 126134.
- Krawitz, AD, & Drake, EF (2014). 초경합금의 잔류응력. VK Sarin (편), *종합 경질재료(Comprehensive hard materials) (Vol. 1, pp . 435-452)*. Elsevier.
- Chen, Y., & Zhou, J. (2020). 해양 환경에서 초경합금의 부식 메커니즘. *Ocean Engineering*, 215, 107890 .
- Wang, X., & Zhang, Z. (2021). 초경합금의 고온 기계적 특성. *재료과학포럼* , 1035, 4552.
- Wang, X., & Zhang, Z. (2021). 초경합금의 고온 기계적 특성. *재료과학포럼*, 1035, 4552.

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

- Zhang, H., & Li, X. (2022). 초경합금의 열전도도: 실험 및 모델링 접근법. 재료연구기술저널, 18, 1234-1245 .
- Yang, Q., & Liu, W. (2023). 극한 환경에서 초경합금의 전기적 및 자기적 특성. Journal of Alloys and Compounds, 937, 168456.
- Roebuck, B., & Almond, EA (1988). 초경합금의 변형 및 파괴 과정. 재료과학 및 공학: A , 105106, 237245.
- Robuck, B., & Almond, EA (1988). 초경합금의 변형 및 파괴 과정. 재료과학 및 공학: A, 105106, 237245.
- Fang, ZZ, & Eso, OO (2014). 초경합금 가공의 발전. VK Sarin (편), 중합 경질 재료 (제1권, 167-190 쪽). Elsevier.
- Fang, ZG, & Ezzo, OO (2014). 초경합금 가공 기술의 발전. VK Salin(편), Comprehensive Hard Materials (Vol. 1, pp. 167-190). Elsevier Publishing.
- Liu, X., & Zhang, Y. (2022). 동적 하중 하에서 초경합금의 파괴역학. Engineering Fracture Mechanics , 259, 108123.
- Liu, X., & Zhang, Y. (2022). 동적 하중 하에서 초경합금의 파괴역학. Journal of Engineering Fracture Mechanics, 259, 108123.
- Wu, J., & Chen, H. (2023). 부식성 환경에서 초경합금의 전기화학적 부식. Electrochimica Acta , 441, 141789.
- Wu, J., & Chen, H. (2023). 가혹한 환경에서 초경합금의 전기화학적 부식. Journal of Electrochimica Sinica, 441, 141789.
- 김수연, 이정훈 (2021). 절삭공구용 초경합금의 열충격 저항성. Ceramics International, 47(12) , 1678916796.
- Park, C., & Kang, S. (2020). Nibonded 초경합금의 자기적 및 전기적 특성. 재료과학 저널, 55(14), 62346245 .
- 중국 텅스텐 온라인. (2023). 초경합금의 특성 및 응용. 중국 텅스텐 온라인.
<http://news.chinatungsten.com/cn/tungstencarbide> 정보
- Zhu Liqun, & Li Weiping. (2018). 초경합금 제조 기술의 발전. 재료 리뷰, 32(10), 16531660.
- Li, ZQ, & Wang, ZY (2021). 초경합금 재활용 기술 연구 현황. Rare Metal Materials and Engineering, 50(8), 29712978.
- Liu, W., & Zhang, H. (2020). 초경합금의 고온 산화 거동에 관한 연구. 중국재료공학회지, 38(4), 512518.
- Wang Tao, & Chen Ming. (2019). 초경합금의 소결 동역학에 관한 연구 진행 상황. 분말야금기술, 37(5), 321329.
- Li Ming, & Zhao Gang. (2022). 초경합금의 기계적 성질 시험 기술의 발전. 재료과학기술, 30(6), 789796.
- Zhou, P., & Liu, Y. (2021). 초경합금의 열적 특성에 관한 연구 진행 상황. 중국재료진보학회지, 40(3), 234241.
- Sun Qiang, & Wang Lei. (2020). 초경합금의 화학적 안정성 평가 방법. 재료보호저널, 53(8), 123130.

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

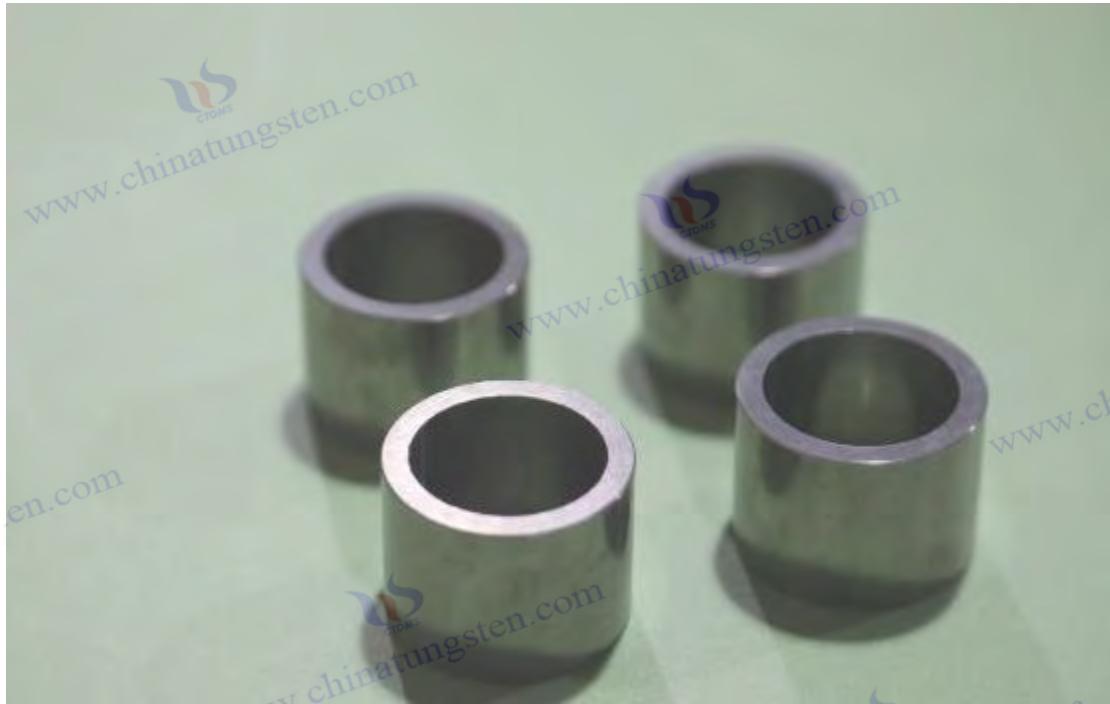
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 :

초경합금 코발트 자석: 정의 및 시험 방법

1. 서론

초경합금(예: 텅스텐 카바이드-코발트 합금, WC-Co)은 뛰어난 고경도(비커스 경도 HV 1200-2400), 내마모성(마모율 $<0.1 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$), 인성(파괴인성 KIC 8-20 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)으로 산업 분야에서 중요한 위치를 차지하고 있으며, 절삭 공구, 드릴 비트, 금형, 광산 공구 등 다양한 분야에 널리 사용됩니다. 초경합금의 결합상인 코발트(Co)는 소성 변형 능력을 통해 재료의 내충격성과 파괴인성을 향상시킬 뿐만 아니라, 초경합금 특유의 강자성으로 인해 "코발트 자성"이라는 정량화된 자기적 특성을 부여합니다. 코발트 자화는 자기포화강도(M_s) 및 보자력(H_c)과 같은 매개변수를 측정하여 코발트 함량, 탄소 평형 상태, 미세조직 건전성 및 공정 품질을 비파괴적으로 평가할 수 있으며, 초경합금 생산에 필수적인 품질 관리 방법입니다. 본 논문에서는 코발트 자석의 정의와 시험 방법, 그리고 초경합금 성능 및 생산 최적화에 미치는 광범위한 중요성을 체계적으로 설명합니다. 동시에, 초경합금의 성능과 신뢰성을 더욱 향상시키기 위해 코발트 자석 시험 및 적용을 개선하는 방법을 모색합니다.

2. 초경합금의 코발트 자성의 정의

2.1 코발트 자기의 의미와 물리적 기초

초경합금에서 코발트 자성은 코발트 결합제 상에 의해 나타나는 자기적 특성을

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

말하며, 이는 주로 자기 포화 강도(M_s)와 보자력(H_c)의 두 가지 주요 매개변수로 특징지어집니다. 자기 포화 강도(M_s)는 코발트 상이 강한 자기장($>1.5T$)의 작용으로 완전 자화에 도달할 때의 자화 강도를 말하며, 단위는 $\mu Tm^3/kg$ (재료 1kg 당 자기 모멘트)입니다. M_s 값은 코발트 함량과 순도에 비례합니다. 순수 코발트의 자기 포화 강도는 $16.1-16.3 \mu Tm^3/kg$ 입니다. 따라서 초경합금의 M_s 값은 코발트 함량에 의해 선형적으로 추정될 수 있습니다. 예를 들어, 10% 코발트를 함유한 합금의 이론적 M_s 는 약 $1.61-1.63 \mu Tm^3/kg$ 입니다. 보자력(H_c)은 코발트 상의 자화 강도를 포화 상태에서 0으로 낮추는 데 필요한 역방향 자기장 세기를 나타내며, 단위는 kA/m (킬로암페어/미터)입니다. H_c 는 코발트 상의 결정립 크기 및 미세 구조 분포와 밀접한 관련이 있습니다. 미세 결정립($0.2 \sim 0.5 \mu m$)은 일반적으로 높은 보자력($>25kA/m$)을 나타내는 반면, 조대 결정립($>5 \mu m$)은 낮은 보자력($<10kA/m$)을 나타냅니다.

초경합금의 자성은 거의 전적으로 코발트 결합제상에서 비롯되는데, 이는 경질상(예: WC)이 비자성 물질이기 때문입니다. 코발트는 높은 자화 강도($1.7 \sim 1.75 \mu B/\text{원자}$)와 높은 큐리 온도(약 $1145^\circ C$)를 가지고 있어 자기 측정에 이상적인 지표입니다. 코발트 함량은 일반적으로 5~15 중량%이며, 코발트의 자기적 특성은 코발트 상의 분포와 상태를 반영할 뿐만 아니라 초경합금의 조성 균일성과 미세 구조적 무결성을 간접적으로 나타내므로 비파괴 검사에 신뢰할 수 있는 수단을 제공합니다.

2.2 초경합금에 대한 코발트 자석의 중요성

코발트 자기 시험은 초경합금 생산 및 응용 분야의 여러 측면에서 매우 중요한 의미를 지닙니다. 이는 품질 관리의 핵심 도구일 뿐만 아니라 공정 최적화 및 성능 예측을 위한 중요한 기반을 제공합니다.

우선, 코발트 자기 시험은 코발트 함량이 공식 설계의 요구 사항을 충족하는지 정확하게 검증할 수 있습니다. 자기 포화 강도(M_s)는 코발트 함량과 선형적으로 관련이 있습니다. 예를 들어, YG6(6% 코발트) 합금의 이론적인 M_s 는 $0.97 \mu Tm^3/kg$ 이고, YG8(8% 코발트)의 M_s 는 $1.29 \mu Tm^3/kg$ 입니다. 측정된 M_s 편차가 $\pm 0.5\%$ 를 초과하면 코발트 함량이 부족하거나 과도한 문제가 있을 수 있으며, 이는 초경합금의 경도와 인성 균형에 직접적인 영향을 미칩니다. 코발트 함량이 부족하면 결합상이 부족하고 합금 인성이 감소(KIC가 $12 MPa \cdot m^{1/2}$ 에서 $8 MPa \cdot m^{1/2}$ 로 떨어질 수 있음)하며 공구 칩핑 위험이 증가합니다. 코발트 함량이 과도하면 경도가 감소(HRA가 91에서 89로 떨어짐)하여 내마모성에 영향을 미칩니다. 코발트 자기 시험을 통해 성분 비율을 빠르게 조정하여 코발트 함량이 목표 범위 내에서 정확하게 제어되도록 할 수 있습니다.

둘째, 코발트 자기 시험은 탄소 평형 상태를 평가하는 효과적인 수단입니다. 초경합금의 탄소 함량 불균형은 η 상($Co_3 W_3 C$) 또는 자유 탄소(C)의 형성으로 이어지며, 이러한 결함은 성능에 상당한 부정적인 영향을 미칩니다. η 상은 취성상으로 M_s 를 10~20% 감소시키고 인성을 감소시켜(KIC가 15~20% 감소) 고충격

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

조건(예: 광산 시추, 분당 2000 회 이상)에서 공구가 쉽게 파손됩니다. 자유 탄소는 Ms 를 5~10% 감소시키고 경도를 감소시켜(HV 가 50~80% 감소) 내마모성에 영향을 미칩니다(마모율이 0.05mm³/N·m 로 증가). 코발트 자기 검사를 통해 Ms 가 예상값의 90% 미만인 경우(예: YG8 측정 Ms <1.16 μTm³/kg) η 상이 존재할 수 있습니다. 110%(>1.42 μTm³/kg)보다 높은 경우 유리 탄소가 존재할 수 있습니다. 이 시점에서 X 선 회절(XRD)을 결합하여 결합 유형을 추가로 확인하고 탄소 함량을 조정(목표 6.0±0.2 중량%)하거나 소결 공정을 최적화(온도를 1350~1450° C 로 증가)하여 결합을 제거할 수 있습니다.

또한, 코발트 자기 시험은 미세 구조 및 공정 품질의 특성을 반영할 수도 있습니다. 보자력(Hc)은 코발트 상 입자 크기에 반비례합니다. 미립자 시멘트 카바이드(입자 0.2-0.5 μm) Hc 는 일반적으로 25-40kA/m 이며, 이는 고경도 도구(예: PCB 드릴 비트, HRA>92)에 적합합니다. 조립자 시멘트 카바이드(입자>5 μm) Hc 는 5-10kA/m 이며, 이는 고인성 응용 분야(예: 광산 드릴 비트, KIC>15MPa·m^{1/2})에 적합합니다. 비정상적인 Hc 변동(>10%)은 불균일한 소결 또는 비정상적인 입자 성장을 나타낼 수 있으며, 소결 온도(1350-1450° C 에서 제어) 또는 유지 시간(1-2 시간)을 조정해야 합니다. 코발트 자기 시험을 통해 미세 구조 설계를 최적화하여 경도와 인성 간의 최적의 균형을 보장할 수 있습니다.

더 중요한 것은, 코발트 자기 테스트가 성능 예측 및 공정 개선을 위한 직접적인 기반을 제공한다는 것입니다. 높은 Ms 와 높은 Hc 는 일반적으로 높은 경도와 내마모성을 나타내며, 이는 고속 절삭 공구에 적합합니다. 낮은 Hc 는 높은 인성과 내충격성을 나타내며, 이는 광산 공구에 적합합니다. 예를 들어, 항공용 티타늄 합금 절삭(절삭 속도 200m/min)에서 10% 코발트를 함유한 공구는 코발트 자기 테스트(Ms = 1.61 μTm³/kg, Hc = 18 kA/m)를 통과하여 경도 HRA 90 과 내충격성을 보장할 수 있으며, 공구 수명은 3-4 시간으로, 테스트되지 않은 공구(수명 < 2 시간)보다 우수합니다. 또한, 코발트 자기 시험은 과연소(온도 > 1500° C, 조립질, Hc 감소) 또는 과소연소(온도 < 1300° C, η 상 형성, Ms 감소)를 피하기 위한 소결 공정 최적화를 안내하여 생산 일관성과 제품 신뢰성을 개선할 수 있습니다.

3. 코발트 자기 시험 방법

코발트 자기 검사는 자기 포화 강도(Ms)와 보자력(Hc)을 측정하여 초경합금의 성능을 평가합니다. 조작이 간편하고 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있는 비파괴 검사법입니다. 다음은 검사 원리, 장비, 절차, 표준 및 주의사항에 대한 자세한 설명입니다.

3.1 테스트 원칙 및 기술적 기반

코발트 자기 시험은 코발트의 강자성 특성을 활용하고 자기 포화 강도와 보자력을 통해 상태를 정량화하는 것입니다. 자기 포화 강도(Ms)의 측정은 강한 자기장(>1.5 T)에서 코발트 상의 완전한 자화를 기반으로 합니다. 그 값은 코발트 함량에 비례하며 다음과 같이 계산됩니다. Ms_합금 = Ms_순수 코발트 × 코발트 중량 백분율, 여기서 순수 코발트의 Ms 는 16.1-16.3 μTm³/kg 입니다. 예를 들어, 8% 코발트를 함유한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합금의 이론적 M_s 는 $1.29-1.30 \mu Tm^3/kg$ 입니다. 측정된 값이 벗어나면 구성 또는 결함 원인을 분석해야 합니다. 보자력(H_c)은 역자기장이 자화 강도를 0으로 줄이는 강도를 측정하며 이는 코발트 입자 크기에 반비례합니다. 미립 합금($0.2 \mu m$)의 H_c 는 $30\sim 40kA/m$ 에 달할 수 있으며, 조립 합금($5 \mu m$)의 H_c 는 $5\sim 10kA/m$ 로 떨어집니다. η 상이나 유리 탄소와 같은 결함은 M_s 에 상당한 영향을 미칠 수 있습니다. η 상은 M_s 를 $10\sim 20\%$ 감소시키고, 유리 탄소는 M_s 를 $5\sim 10\%$ 감소시킵니다. 이러한 변화는 재료 문제를 신속하게 해결하는 데 활용될 수 있습니다.

3.2 시험 장비 및 성능

코발트 자기 테스트는 측정 정확도와 신뢰성을 보장하기 위해 전문 장비에 의존합니다. 일반적으로 사용되는 장비에는 자기 분석기(예: Koerzimat 1.097 또는 Sigmameter 2.068)가 포함되며, 이는 $\pm 0.5\%$ 의 정확도로 M_s 와 H_c 를 동시에 측정할 수 있어 공장 배치 테스트에 적합합니다. 진동 샘플 자력계(VSM)는 더 높은 정확도($\pm 0.1 \mu Tm^3/kg$)를 제공하고, 완전한 히스테리시스 루프를 측정할 수 있으며, 미시적 자기 특성에 대한 실험실 연구에 적합합니다. 영구 자석 보자력계는 H_c (정확도 $\pm 1 kA/m$)의 빠른 측정에 적합하고, 작동이 쉽고, 종종 현장 테스트에 사용됩니다. 전자기 포화 자화 장치는 $1.5-2 T$ 의 강한 자기장을 적용하여 코발트 상이 측정 오차 $<1\%$ 로 완전히 포화되도록 하며, M_s 테스트의 핵심 도구입니다.

3.3 테스트 단계 및 작업 흐름

코발트 자기 테스트는 정확하고 반복 가능한 결과를 보장하기 위해 표준화된 절차에 따라 수행되어야 합니다.

샘플 준비

카바이드 시료(예: 공구 블랭크, 크기 $5\sim 10mm$, 원통형 또는 정육면체형)를 선택하고 표면을 깨끗이 닦은 후, 자기 측정에 방해가 되지 않도록 오일과 산화막(에탄올로 닦아도 됨)을 제거합니다. 시료의 질량을 정확하게 측정하여($\pm 0.01g$) 단위 질량의 자화 강도를 계산합니다.

자기 포화 테스트

시료를 자기 분석기의 강한 자기장($1.5-2 T$)에 놓아 코발트상을 완전히 자화시키고 M_s ($\mu Tm^3/kg$)를 기록합니다. $M_s \div 16.1$ 공식을 사용하여 코발트 함량을 계산하고 목표값과 비교합니다. 편차가 $\pm 0.5\%$ 를 초과하면 성분에 이상 또는 결함이 있음을 나타냅니다.

보자력 시험

보자력계를 사용하여 역방향 자기장을 인가하고 자화가 0이 되는 H_c (kA/m)를 측정합니다. H_c 값을 기준으로 결정립 크기를 결정합니다. $20 kA/m$ 이상은 미세립 구조로 고경도 공구에 적합하고, $10 kA/m$ 미만은 조립립 구조로 고인성 금형에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

데이터 분석

Ms 와 Hc 의 결과를 분석합니다. Ms 가 너무 낮으면(기대값의 90% 미만) 코발트 또는 η 상이 부족할 수 있습니다. Ms 가 너무 높으면(110% 초과) 유리 탄소가 존재할 수 있습니다. Hc 의 비정상적인 변동(10% 초과)은 소결이 불균일함을 나타냅니다. 필요한 경우 금속현미경(배율 200 배) 또는 XRD(η 상 $2\theta \approx 40^\circ$, 유리 탄소 $2\theta \approx 26^\circ$ 검출)를 결합하여 추가 검증을 수행할 수 있습니다.

결과 기록 및 처리: Ms, Hc 및 샘플 번호를 기록하고 품질 데이터베이스에 저장합니다. 비정상 결과가 발생할 경우, 레시피를 조정하거나(예: 0.1~0.2% 탄소 첨가) 소결 공정을 최적화해야 합니다(온도를 $\pm 10^\circ \text{C}$ 로 조정하고 유지 시간을 1.5 시간으로 연장).

3.4 시험 기준 및 규격

코발트 자기 시험은 결과의 신뢰성을 보장하기 위해 국제 및 국내 표준을 따라야 합니다. ISO 3326:2013 은 초경합금 코발트의 자기 포화도를 측정하는 방법을 명시하고 있으며, 장비 교정(순수 코발트 표준 사용), 시료 크기(5~10mm) 및 정확도 요구 사항($\pm 0.5\%$)을 명확하게 정의하고 있습니다.

ASTM B886 은 초경합금의 자기적 특성 시험을 위한 일반 표준으로, Ms 및 Hc 측정을 포함하며, 시험 환경 관리($20\sim 25^\circ \text{C}$, 자기 간섭 없음)를 강조합니다. 중국 국가 표준 GB/T 3849 는 생산 일관성을 보장하기 위해 시험 반복성(편차 $< 2\%$) 및 장비 교정 주기(월 1 회)를 추가로 요구합니다.

3.5 예방 조치 및 오류 제어

시험의 정확성을 보장하기 위해 다음 사항에 유의해야 합니다. 장비는 순수 코발트($M_s = 16.2 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, $H_c = 5 \text{ kA/m}$) 또는 표준 시료를 사용하여 정기적으로 교정해야 하며 오차는 $\pm 1\%$ 이내로 관리해야 합니다. 시료는 균일해야 하며 균열($< 5 \mu\text{m}$), 기공($< 0.05\%$)이 없어야 하며 조성 편차는 $< 0.1 \text{ wt}\%$ 이어야 합니다. 그렇지 않으면 측정 편차가 발생할 수 있습니다. 시험 환경은 강한 자기장 간섭($< 0.1 \text{ mT}$)이 없어야 하고 온도는 $20\sim 25^\circ \text{C}$ 로 조절해야 하며 습도는 $< 60\%$ 이어야 합니다. 결과가 비정상(M_s 편차 $> 5\%$, H_c 변동 $> 10\%$)일 경우, 화학 분석(예: 코발트 함량의 ICP 측정, 정확도 $\pm 0.05 \text{ wt}\%$) 또는 주사 전자 현미경(SEM)을 결합하여 미세 결함(예: 기공, η 상 분포)을 관찰하여 종합적으로 검증해야 합니다.

4. 코발트 자기 시험의 최적화 및 개선 방법

코발트 자기 검사의 정확도와 적용 가치를 더욱 향상시키기 위해서는 장비 개선, 공정 최적화, 데이터 분석의 세 가지 측면을 개선할 수 있습니다. 구체적인 방법은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

다음과 같습니다.

장비 개선 측면에서, 고정밀 시험 장비의 사용은 코발트 자기 시험 결과 개선의 핵심입니다. 나노 스케일 초경합금(입자 크기 0.05-0.2 μm)의 광범위한 적용으로, 높은 보자력($H_c > 50 \text{ kA/m}$)과 복잡한 미세 구조로 인해 시험 정확도에 대한 요구가 더욱 높아졌습니다. 기존 자기 분석기(예: Koerzimat)의 정확도($\pm 0.5\%$)는 더 이상 이러한 요구를 충족할 수 없습니다. 히스테리시스 루프와 미세한 자기 변화를 더욱 정확하게 측정할 수 있는 고정밀 진동 샘플 자력계(VSM, 정확도 $\pm 0.1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) 도입이 권장됩니다. 또한, 고온 코발트 자기 시험 장비($800\sim 1000^\circ\text{C}$ 시험 지원)를 개발하면 고온 조건에서 코발트 자기의 감쇠 특성을 평가할 수 있습니다(M_s 가 5~10% 감소). 이를 통해 고온 공구(예: 항공 엔진 가공 공구)의 성능 예측을 지원할 수 있습니다. 예를 들어, 1000°C 에서 코발트 10%를 함유한 초경합금의 M_s 는 $1.61 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 에서 $1.45 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 으로 감소하여 고온 산화 또는 코발트 휘발을 나타냅니다. 내열성을 향상시키기 위해 코팅(예: TiAlN , 두께 $2\sim 3 \mu\text{m}$)을 최적화해야 합니다.

공정 최적화 측면에서, η 상 및 자유 탄소와 같은 결함은 소결 공정 및 공식 설계를 개선하여 줄일 수 있으며, 이를 통해 코발트 자기 시험 결과의 안정성을 개선할 수 있습니다. 소결 온도는 $1350\sim 1450^\circ\text{C}$ 에서 엄격하게 제어해야 합니다. 너무 높은 온도($>1500^\circ\text{C}$)는 거친 입자로 이어지고(H_c 는 20kA/m 에서 8kA/m 로 떨어짐), 너무 낮은 온도($<1300^\circ\text{C}$)는 쉽게 η 상을 형성합니다(M_s 는 예상 값의 $<90\%$ 로 떨어짐). 열간 등방성 가압(HIP, $150\sim 200\text{MPa}$, 1350°C) 공정은 기공률(0.1% 에서 0.05%)을 효과적으로 줄이고, M_s 값($3\sim 5\%$ 증가)과 H_c 안정성(변동 $<5\%$)을 개선할 수 있습니다. 또한, 미량 입자 억제제($\text{VC } 0.2\sim 0.5$ 중량% 또는 Cr_3C_2 $0.3\sim 0.8$ 중량%)를 첨가하면 코발트 상 입자 크기($0.5\sim 1 \mu\text{m}$)를 제어하고, H_c (15 kA/m 에서 $20\sim 25 \text{ kA/m}$ 로)를 증가시키고, η 상 형성을 줄일 수 있습니다(M_s 는 예상 값의 98% 로 복원됨). 제형 설계 측면에서 탄소 함량(6.0 ± 0.2 중량%)과 코발트 함량($6\sim 10$ 중량%)을 최적화하면 유리 탄소와 η 상을 피할 수 있으며, M_s 편차는 $\pm 0.3\%$ 이내로 제어됩니다. 예를 들어, 코발트가 8% 함유된 초경합금의 HIP 및 VC 첨가 후 M_s 는 $1.28\sim 1.30 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 으로 안정화되고 공구 수명이 20%(3 시간에서 3.6 시간으로) 증가합니다.

데이터 분석 측면에서 지능형 분석 기술의 도입은 코발트 자기 시험의 효율성과 정확성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 2025년에는 인공 지능(AI)과 머신 러닝(ML)이 코발트 자기 데이터 분석에 널리 사용되었습니다. AI는 $M_s\text{-}H_c$ 성능 데이터베이스를 구축함으로써 결함 유형과 성능 영향을 예측할 수 있습니다. 예를 들어, $M_s < 1.16 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (YG8 표준 $1.29 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$)인 경우 AI는 η 상(확률 $>80\%$)의 가능성을 자동으로 알려주고 탄소 함량($+0.1\sim 0.2 \text{ wt } \%$)이나 재연소(1350°C , 1.5 시간)를 조정할 것을 권장합니다. 또한 실시간 모니터링 시스템(소결 분위기를 모니터링하기 위해 적외선 분광법과 결합)은 소결 매개변수를 동적으로 조정하여 M_s 와 H_c 의 일관성을 보장할 수 있습니다(편차 $<2\%$). 지능형 분석은 교차 조건 성능 예측도 지원합니다. 예를 들어, 덩고 습한 환경(40°C , 습도 90%)에서 Ni-Co ($\text{Ni } 5\sim 10\%$)

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

합금의 Ms 안정성은 5-10% 향상되어 해양 엔지니어링 응용 분야에 적합합니다(수명>3 년).

종합적인 개선 방법의 실제 효과는 놀랍습니다. 예를 들어, 한 공구 제조업체는 코발트 자기 시험(VSM+AI 분석)을 최적화하여 Ms 편차를 $\pm 0.2\%$, Hc 변동을 3% 미만, η 상비를 1% 미만으로 제어했습니다. 그 결과, 공구 경도(HRA 91-92)와 수명(티타늄 합금 절삭, 200m/min)이 25%(3 시간에서 3.75 시간으로) 증가했습니다. 광산 드릴 비트(충격 빈도 2000 회/분 이상)에서도 유사한 개선을 통해 수명이 30%(200 시간에서 260 시간으로) 연장되어 코발트 자기 시험 최적화의 적용 가치를 완전히 검증했습니다.

5. 코발트 자기 테스트의 적용 시나리오

코발트 자기 시험은 시멘트 카바이드 생산 및 응용 분야에서 광범위한 실용적 가치를 가지고 있습니다.

품질 관리

코발트 함량과 탄소 균형을 검증함으로써 초경 성능이 기준을 충족하는지 확인할 수 있습니다. 예를 들어, YG6(코발트 6%, $M_s = 0.97 \mu Tm^3/kg$, $H_c = 15-20 kA/m$)는 공구 경도 HRA 90-91, 인성 KIC 10-12 $MPa \cdot m^{1/2}$ 을 가지므로 일반 절삭에 적합합니다.

프로세스 최적화

소결 공정 조정을 안내하여 조립립($H_c < 8 kA/m$) 또는 η 상 형성($M_s < 0.9 \mu Tm^3/kg$)을 방지하고 제품 일관성을 개선합니다.

결함 감지

인성 손실(KIC가 15% 감소)이나 경도 손실(HV가 50-80% 감소)을 줄이기 위해 제형 조정(예: 0.1-0.2% 탄소 추가)을 안내하기 위해 η 상 또는 자유 탄소를 식별합니다.

성능 예측

높은 $H_c (> 25 kA/m)$ 는 고경도 도구(예: PCB 드릴 비트, 수명 >4 시간)에 적합합니다. 낮은 $H_c (< 10 kA/m)$ 는 고인성 금형(예: 광산 드릴 비트, 수명 >200 시간)에 적합합니다.

예시

항공용 티타늄 합금(200m/min) 절단 시, 코발트 10%를 첨가한 공구가 코발트 자기 시험($M_s = 1.61 \mu Tm^3/kg$, $H_c = 18kA/m$)에 합격하여 경도와 내충격성이 확보되었으며, 수명은 3~4 시간으로, 시험하지 않은 공구(수명 < 2 시간)보다 우수했습니다.

6. 데이터 지원 및 최신 진행 상황

자기 성능 벤치마크:

순수 코발트: $M_s = 16.1-16.3 \mu Tm^3/kg$, $H_c = 5-6 kA/m$, 퀴리 온도 $1145^\circ C$.

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

YG6(코발트 6%): $M_s = 0.97 \mu Tm^3 / kg$, $H_c = 15-20 kA/m$.

YG8(코발트 8%): $M_s = 1.29 \mu Tm^3 / kg$, $H_c = 10-15 kA/m$.

나노스케일 합금 ($0.05-0.2 \mu m$): $H_c = 50-60 kA/m$, $M_s = 1.1-1.3 \mu Tm^3 / kg$ (결정립계 효과).

결합 영향:

η 상: M_s 는 10-20% 감소합니다. 예를 들어 YG8 은 1.29 에서 $1.0 \mu Tm^3 / kg$ 으로 감소합니다.

자유 탄소: M_s 는 5-10% 감소합니다. 예를 들어 YG6 는 0.97 에서 $0.87 \mu Tm^3 / kg$ 으로 감소합니다.

입자 크기 $1-2 \mu m$: $H_c = 10-15 kA/m$, 가장 좋은 정도-인성.

2025 년까지의 진행 상황:

나노급 초경합금 생산량이 전 세계 생산량의 20%로 증가했으며, 높은 $H_c (>50 kA/m)$ 에 대한 수요는 VSM(정확도 $\pm 0.05 \mu Tm^3 / kg$) 의 대중화를 촉진했습니다. 해양 환경(염도 3.5%, 50 MPa)에서 Ni-Co 합금(Ni 5-10%)의 M_s 안정성은 5-10% 증가했으며, 적용 비중은 15%에 달했습니다. AI 분석으로 결합 검출률이 20% 향상되었고, M_s 이상 발생 시 SEM 분석이 자동으로 실행되었습니다.

7. 결론

초경합금에서 코발트 결합제의 자기적 특성은 코발트 함량, 탄소 균형, 미세 구조를 자기 포화 강도(M_s)와 보자력(H_c)을 통해 반영하며, 품질 관리 및 성능 최적화를 위한 핵심 도구입니다. 코발트 자기 시험은 성분을 확인하고 결합을 해결할 뿐만 아니라 공정 최적화 및 성능 예측을 안내하여 초경합금의 정도, 인성, 내마모성을 향상시키는 데 매우 중요합니다. 고정밀 장비(예: VSM) 도입, 소결 공정 최적화(HIP+입자 억제제), 지능형 데이터 분석(AI+실시간 모니터링)을 통해 코발트 자기 시험의 정확도와 적용 가치가 크게 향상되어 초경합금의 고성능 적용에 대한 강력한 기술 지원을 제공합니다.

8. 참고문헌

ScienceDirect (2020). 초경금속의 자기적 특성. ScienceDirect (2020).

ISO 3326:2013. 경금속의 자기 포화도 측정. ISO 3326:2013.

ASTM B886. 경금속의 자기적 특성에 대한 표준 시험 방법.

GB/T 3849. 경금속에 대한 자기 시험 방법(중국).

ITIA(2025). 나노구조 초경금속 연례 보고서. ITIA(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

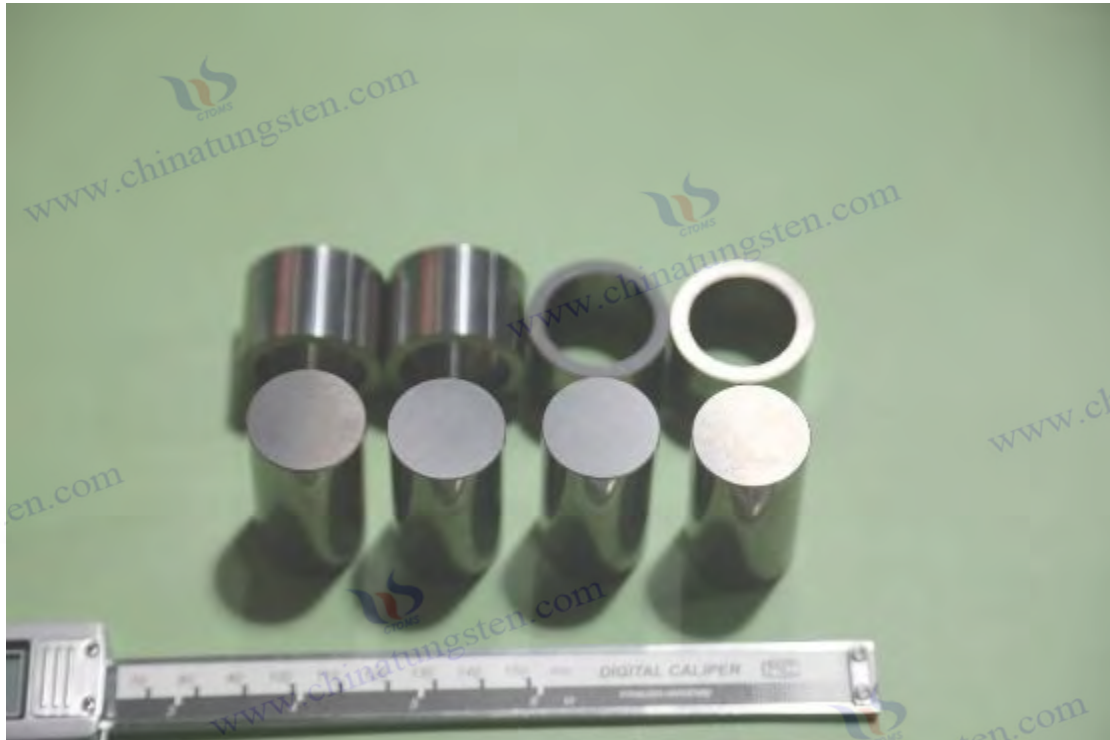
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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



부록 :

ISO 3326:2013 초경합금의 코발트 자기포화도 측정 방법

ISO 3326:2013 경금속 -

탄소의 기계적 포화도 측정 발행일: 2013 년 7 월

상태: 현재 유효 적용 범위: 본 표준은 초경합금 내 코발트(Co)의 자기포화강도를 측정하는 방법을 규정한다. 본 표준은 품질 관리 및 성분 분석을 위해 최소 3%(질량분율)의 강자성 결합재(주로 코발트)를 함유하는 초경합금에 적용 가능하다.

1. 범위

이 표준은 시멘트 카바이드에서 코발트의 자기 포화도(Ms)를 측정하여 코발트 함량, 탄소 균형 및 합금 품질을 평가하는 비파괴적 방법을 설명합니다.

강자성 바인더(질량 분율이 $\geq 3\%$ 인 코발트 및 니켈 등)를 함유한 WCCo 합금은 비자성 또는 저자성 합금에는 적합하지 않습니다.

테스트 결과는 다음 용도로 사용됩니다.

코발트 함량이 사양 내에 있는지 확인하세요.

탄소 함량 불균형(에타상이나 자유 탄소 등)을 감지합니다.

소결 공정 품질 평가(예: 비자성 내포물의 존재).

2. 규범적 참조

다른 표준에 대한 직접적인 참조는 없지만 다음과 같은 관련 시멘트 카바이드 시험 표준을 참조하는 것이 좋습니다.

ISO 4499(초경합금의 미세구조 측정).

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

ISO 3738(경화탄화물 샘플링 방법).

이는 ASTM B886(경화탄화물의 자기포화 시험)의 내용과 매우 관련이 있으며 보충 참고 자료로 사용할 수 있습니다.

3. 용어 및 정의

경금속: 단단한 상(예: 텅스텐 카바이드 WC)과 결합 상(예: 코발트)으로 구성된 복합 재료입니다.

자기포화(M_s): 강한 자기장 하에서 코발트 상의 자화가 최대값에 도달하는 강도로, 단위는 $\mu Tm^3/kg$ 또는 $kA \cdot m^2/kg$ 입니다.

강자성 결합제: 강자성을 지닌 코발트, 니켈 및 기타 금속상이며, 코발트가 가장 혼합니다.

η 상(Eta 상): 탄소가 부족하여 형성되는 취성 탄화물(Co_3W_3C 등)로 자성과 인성이 감소합니다.

자유 탄소: 과도한 탄소가 있을 때 침전되어 합금의 강도를 약화시키는 비자성 탄소입니다.

4. 원칙

초경합금의 자성은 코발트 결합제상에서 비롯되며, 경질상(WC 등)은 자성에 영향을 미치지 않습니다.

강한 자기장(일반적으로 1.5 T 이상) 하에서 코발트 상은 자기 포화 상태에 도달하며, M_s 는 코발트 함량에 비례합니다. 순수 코발트의 자기 포화 상수는 $16.116.3 \mu Tm^3/kg$ 입니다(ScienceDirect, 2020).

M_s 측정은 다음을 수행할 수 있습니다.

코발트 함량을 계산합니다: $M_s \div 16.1 \mu Tm^3/kg \approx$ 코발트 질량 분율.

비자성 불순물 검출: η 상 또는 산화물은 M_s (1020%)를 감소시키고, 유리탄소는 M_s (510%)를 감소시킵니다.

이 검사는 비파괴적이며 샘플 모양과 크기에 영향을 받지 않습니다(특정 한계 내에서).

5. 장치

자기 분석기: Koerzimat MS 또는 Sigmameter 와 같이 강력한 자기장 발생기(1.52 T)와 자속 검출 시스템을 갖춘 장비입니다.

교정 표준 샘플: 코발트 함량이 알려진 순수 코발트 또는 시멘트 카바이드 샘플, M_s 값은 SI 단위로 추적 가능.

정밀 저울: 정확도 $\pm 0.01g$, 샘플 질량을 측정하는 데 사용됩니다.

일정 온도 장치: 열 효과를 피하기 위해 테스트 환경 온도는 $20 \pm 2^\circ C$ 로 제어됩니다.

자기소거 장비(선택 사항): 샘플에 잔류 자기가 있는지 확인합니다.

6. 시험편

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

모양과 크기: 샘플은 어떤 모양이든 가능합니다(예: 원통형, 정육면체형, 공구 블랭크). 크기는 보통 510mm 이고 질량은 0.550g 입니다.
표면 요구 사항: 깨끗하고 기름, 산화물 층 또는 기계적 손상이 없어야 합니다.
균질성: 샘플의 내부 구성이 균일하고, 눈에 띄는 균열이나 기공이 없습니다.
수량: 배치당 최소 3 개의 샘플, ISO 3738 에 따른 대표 샘플링입니다.

7. 테스트 단계(절차)

장비 교정:

순수 코발트 표준($M_s = 16.1 \mu\text{Tm}^3 / \text{kg}$) 또는 인증된 카바이드 샘플을 사용합니다.

교정 오차는 $\pm 1\%$ 이내로 제어되며 교정 데이터는 기록됩니다.

샘플 준비:

샘플 표면을 깨끗이 하여 오일, 먼지, 산화물을 제거합니다.

정확도가 $\pm 0.01\text{g}$ 인 정밀 저울을 사용하여 샘플 질량(m , 단위: g)을 측정합니다.

샘플에 잔류 자화가 있는 경우, 자기소거 장비를 사용하세요.

자기 포화도 측정:

코발트상이 완전히 자화되었는지 확인하기 위해 자기 분석기의 강한 자기장(1.52T)에 샘플을 놓습니다.

자기 플럭스를 측정하고 자기 포화 강도(M_s , $\mu\text{Tm}^3 / \text{kg}$)를 기록합니다.

측정은 3 회 반복하여 평균값을 구하였으며, 단일 측정값의 편차는 $\pm 0.5\%$ 미만이었다.

데이터 레코드:

샘플 번호, 질량, M_s 값, 시험 조건(온도, 자기장 강도)을 기록합니다.

M_s 가 비정상이면 샘플이나 장비를 점검하고 필요한 경우 다시 검사합니다.

8. 결과의 계산 및 표현

코발트 함량:

$$\text{钴质量分数}(\%) = \frac{M_s}{M_{s(\text{ref})}} \times 100$$

이 중 M_s 는 측정값이며, 순수 코발트 M_s 는 $16.1 \mu\text{Tm}^3 / \text{kg}$ 입니다. 예를 들어, $M_s = 1.61 \mu\text{Tm}^3 / \text{kg}$ 이면 코발트 함량은 약 10%입니다.

상대 자기 포화도(S):

$$S = \frac{M_{s\text{测量}}}{M_{s\text{理论}}}$$

M_s 이론은 가상 순수 코발트 바인더 상의 자기 포화값(코발트 함량 기준)입니다. $S < 0.9$ 는 η 상을, $S > 1.1$ 은 유리 탄소를 나타냅니다.

정밀도: 결과는 소수점 3 자리까지(예: $1.610 \mu\text{Tm}^3 / \text{kg}$) 표시되고, 코발트 함량은 소수점 1 자리까지(예: 10.0%) 표시됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9. 테스트 결과 분석

정상 범위: 소결 후 코발트의 자기 포화 값은 일반적으로 이론 값의 85~95%입니다(코발트 일부가 WC에 용해되거나 비자성 상을 형성하기 때문).

비정상적인 상황:

Ms가 낮음(<90%): η 상($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$), 산화물 또는 코발트 함량이 부족할 수 있습니다.

Ms가 너무 높습니다(>110%). 과도한 자유 탄소나 코발트 함량이 있을 수 있습니다.

보충 검증: 비정상적인 결과는 금속학적 분석(η 상, 유리 탄소의 현미경 관찰)이나 화학 분석(코발트 함량의 ICP 측정)과 결합해야 합니다.

10. 시험 보고서

보고서에는 다음 내용이 포함되어야 합니다.

표준 참조: ISO 3326:2013.

샘플 정보: 개수, 모양, 품질, 배치.

테스트 조건: 장치 모델, 자기장 강도(T), 주변 온도($^{\circ}\text{C}$).

결과: Ms 값($\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), 계산된 코발트 함량(%), 상대 자기 포화도(S).

교정 정보: 표준 샘플의 Ms 값, 교정 날짜.

예외 설명: 편차가 있는 경우 가능한 원인을 설명하세요(예: η 위상).

테스터: 이름, 날짜, 서명.

실험실 정보: 이름, 주소, 자격증 자격.

11. 주의사항

장비 교정: 추적 가능한 표준 샘플을 사용하여 정기적으로 교정, 오차 $<\pm 1\%$.

샘플 균일성: MS 정확도에 영향을 미치는 균열, 기공 또는 고르지 않은 구성을 피하세요.

환경 제어: 시험 환경에는 강한 자기장 간섭이 없고 온도는 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 입니다.

안전: 강한 자기장이 사람이나 전자 장비에 영향을 미치지 않도록 장비 작동 절차를 준수하세요.

데이터 검증: 비정상적인 Ms 값은 반복적으로 테스트해야 하며 금속조직학이나 XRD 분석과 함께 확인해야 합니다.

12. 부록

부록 A(정보): 코발트 자기 포화도와 탄소 함량 간의 관계.

일반적인 WCCo 합금의 Ms 범위가 제공됩니다(예: YG6: $M_s \approx 0.97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, YG8: $M_s \approx 1.29 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$).

차트는 Ms에 대한 η 상과 유리탄소의 영향을 보여줍니다(η 상은 1020% 감소하고, 유리탄소는 510% 감소).

부록 B(정보): 장비 교정 가이드.

권장 교정 빈도(월간 또는 1000 회 테스트마다), 표준 샘플 요구 사항.

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 C(정보): 오류 소스 분석.
샘플 불균일성, 교정되지 않은 장비, 환경 자기장 간섭 등

13. 관련 표준에 대한 링크

ASTM B886: 시멘트 카바이드의 자기 포화도를 측정하기 위한 유사한 방법으로, 비파괴성과 탄소 함량의 간접적 평가를 강조합니다(ASTM B886, 2024).

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 :

초경합금 자기포화 시험 방법: ASTM B88624

1. 서론

초경합금(예: 텅스텐 카바이드 코발트 합금, WCCo)은 높은 경도, 내마모성 및 인성으로 인해 절삭 공구, 금형 및 드릴과 같은 산업 분야에서 널리 사용됩니다. 자기 포화 강도(M_s)는 초경합금에서 강자성 결합 상(예: 코발트 및 니켈)의 함량과 품질을 평가하는 핵심 지표입니다. ASTM B88624 표준은 자기 포화 시험기를 사용하여 초경합금 분말 및 소결 제품의 M_s 를 측정하는 방법을 명시하며, 이는 비파괴 품질 관리, 탄소 함량의 간접 평가 및 제품 합격 판정에 적합합니다. 이 기사에서는 ASTM B88624의 내용을 자세히 소개하고 범위, 원칙, 장비, 절차, 계산 및 보고 요구 사항을 포함하여 실무자에게 참고 자료를 제공합니다.

2. 표준 범위

본 표준은 초경합금 분말 및 소결 제품의 자기포화강도(M_s)를 측정하여 강자성 결합상(코발트, 니켈, 철 등)의 자성 분율을 평가하는 비파괴 검사 방법을 설명합니다. 적용 대상은 다음과 같습니다.

소결 전의 시멘트 카바이드 분말.

칼, 금형, 드릴 등의 소결제품.

테스트 목적:

탄소 함량의 간접적 평가, η 상(Co_3W_3C) 또는 유리 탄소의 감지.

바인더 단계 함량을 확인하여 사양이 충족되는지 확인하세요.

제품 수용 여부를 확인하기 위해 분말과 소결 제품의 품질을 평가합니다.

이 표준은 SI 단위($\mu Tm^3/kg$)를 기반으로 하며 인치-파운드 단위로 보완되었습니다.

3. 용어 및 정의

경질탄화물 : 단단한 상(예: 텅스텐 카바이드 WC, 티타늄 카바이드 TiC)과 강자성 결합 상(예: 코발트, 니켈)으로 구성된 복합 재료입니다.

자기포화강도(M_s) : 강한 자기장 하에서 결합상의 자화가 최대값에 도달하는 강도로, 단위는 $\mu Tm^3/kg$ 이며 코발트 또는 니켈 함량을 반영합니다.

강자성 결합제 상 : 코발트(Co), 니켈(Ni) 또는 철(Fe)은 자성과 인성을 제공하며, 코발트가 가장 일반적입니다.

η 상 : 탄소가 부족할 때 형성되는 비자성 탄화물(Co_3W_3C 등)로 M_s 와 인성이 감소합니다.

자유 탄소 : 탄소가 과도할 때 침전되는 비자성 탄소로, M_s 와 강도를 감소시킵니다.

자기포화상수 : 순수 코발트 M_s 는 $16.116.3 \mu Tm^3/kg$, 니켈은 $5.4 \mu Tm^3/kg$ 입니다.

4. 중요성 및 사용

비파괴 : 샘플을 파괴할 필요가 없으며 분말 및 소결 제품에 적합합니다.

탄소 함량 평가 : M_s 는 탄소 균형을 반영하고, η 상 또는 자유 탄소는 M_s 를

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

감소시킵니다.

품질 관리 : 코발트/니켈 함량 검증, 소결 결함(예: 산화물) 감지.

제품 승인 : 제품이 등급 사양(예: YG6, YG8)을 충족하는지 확인하세요.

제한 사항 : 강자성 바인더 상을 함유하는 시멘트 카바이드에만 적용 가능하며, 비자성 합금에는 적용할 수 없습니다.

5. 테스트 원리

초경합금의 자성은 강자성 결합상(예: 코발트)에서 비롯되며, 경질상(예: WC)은 자성에 영향을 미치지 않습니다. 강한 자기장(1.52T) 하에서 결합상은 자기 포화 상태에 도달하며, M_s 는 결합상 함량에 비례합니다. 코발트 함량을 계산하는 공식은 $M_s \div 16.1 \mu Tm^3 / kg \approx$ 코발트 질량 분율입니다. 예를 들어, $M_s = 1.61 \mu Tm^3 / kg$ 은 코발트 함량이 약 10%임을 의미합니다. 비자성 불순물(예: η 상, 유리 탄소, 산화물)은 M_s 를 감소시키고, 비정상적인 값은 품질 문제를 나타냅니다.

6. 테스트 장비

자기 포화 시험기 : Koerzimat MS, Sigmameter 와 같은 강력한 자기장 발생기(1.52 T)와 자속 검출 시스템(정확도 $\pm 0.5\%$)을 갖추고 있습니다.

정밀 저울 : 정확도 $\pm 0.01g$, 샘플 질량 측정.

교정 표준 샘플 : 순수 코발트($M_s = 16.1 \mu Tm^3 / kg$) 또는 M_s 가 알려진 시멘트 카바이드.

일정온도 장치 : 시험 환경 온도 $2025^\circ C$.

자기소거 장비 (선택 사항): 샘플의 잔류 자화를 제거합니다.

7. 샘플 요구 사항

종류 : 소결 전 분말 또는 소결된 제품(도구, 금형 등)

모양 및 크기 : 모든 모양(원통, 정육면체 등), 크기 510mm, 질량 0.550g.

표면 : 깨끗하고 기름, 산화물 층 또는 기계적 손상이 없습니다.

균일성 : 내부 구성이 균일하고 균열이나 기공이 없습니다.

샘플링 : 배치당 최소 3 개의 대표 샘플.

8. 테스트 단계

장비 교정 :

순수 코발트 또는 인증된 카바이드 샘플을 사용하여 보정, M_s 오차 $< \pm 1\%$.

교정 데이터(표준 샘플 M_s , 날짜)를 기록합니다.

샘플 준비 :

샘플을 세척하여 오일, 먼지, 산화물을 제거합니다.

질량을 측정합니다(g 단위, $\pm 0.01g$).

잔류 자화가 있는 경우, 자기소거 장비를 사용하세요.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

자기포화도 측정 :

코발트 상이 완전히 자화되었는지 확인하기 위해 샘플을 강한 자기장(1.52 T)에 두었습니다.

자기 플럭스를 측정하고 $M_s (\mu Tm^3/kg)$ 를 기록합니다.

측정은 3회 반복하여 평균값을 구하였으며, 단일 편차는 $\pm 0.5\%$ 미만이었다.

데이터 레코드 :

샘플 번호, 질량, M_s 값, 시험 조건(자기장 강도, 온도)을 기록합니다.

M_s 가 비정상이면 샘플이나 장비를 점검하고 필요한 경우 다시 검사합니다.

9. 계산 및 표현

자기포화 강도 :

$$M_s = \frac{\text{磁通量}}{\text{样品质量}}$$

단위는 $\mu Tm^3/kg$ 이며, 소수점 이하 3자리까지 표기합니다(예: $1.610 \mu Tm^3/kg$).

코발트 함량 :

$$\text{钴质量分数}(\%) = \frac{M_s}{16.1} \times 100$$

소수점 첫째 자리까지 입력하세요(예: 10.0%).

상대 자기 포화도(S) :

$$S = \frac{M_{s\text{测量}}}{M_{s\text{理论}}}$$

M_s 이론은 코발트 함량을 기반으로 하며, $S < 0.9$ 는 η 상을 나타내고, $S > 1.1$ 은 자유 탄소를 나타냅니다.

정확도 : 반복성 오류 $< \pm 1\%$, 배치 간 편차 $< \pm 2\%$.

10. 결과 분석

정상 범위 : 소결 합금의 M_s 는 이론값의 85-95%입니다(코발트 일부가 WC에 용해되거나 비자성 상을 형성하기 때문).

비정상적인 상황 :

M_s 가 낮음($< 90\%$): η 상, 산화물, 코발트 함량이 부족함.

M_s 가 너무 높습니다($> 110\%$). 유리 탄소와 코발트 함량이 표준을 초과합니다.

보충 검증 : 비정상적인 M_s 는 금속조직 분석(η 상, 유리탄소의 현미경 관찰), X선 회절 또는 화학 분석(코발트 함량의 ICP 측정)과 결합해야 합니다.

11. 시험 보고서

보고서에는 다음이 포함됩니다.

표준 참조: ASTM B88624.

샘플 정보: 개수, 유형(분말/소결), 모양, 질량, 배치.

테스트 조건: 장치 모델, 자기장 강도, 온도.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

결과: Ms 값, 코발트 함량, 상대 자기 포화도.
교정 정보: 표준 샘플의 Ms 값, 교정 날짜.
예외 설명: 편차의 이유(예: η 상, 자유 탄소).
테스터: 이름, 날짜, 서명.
실험실 정보: 이름, 주소, 자격증 자격.

12. 정밀도와 편향

반복성 : 동일한 장비와 작업자를 사용하여 3 회 측정한 편차는 $< \pm 0.5\%$ 입니다.
재현성 : 배치 간 편차는 실험실과 장비에 따라 $< \pm 2\%$ 입니다.
편차 : 체계적인 편차 없음, Ms 값은 SI 단위로 추적 가능.
영향을 미치는 요인 : 불균일한 샘플, 교정되지 않은 장비, 환경적 자기장 간섭.

13. 노트

장비 교정 : 순수 코발트 또는 인증된 샘플을 사용하여 매월 또는 1000 회 테스트마다 교정합니다.
샘플의 균질성 : 균열, 기공 또는 고르지 못한 구성이 없는지 확인하세요.
환경 제어 : 강력한 자기장 간섭 없음, 온도 2025°C .
안전 : 장비 작동 절차를 따르고 강한 자기장의 영향을 피하세요.
데이터 검증 : 비정상적인 결과에 대한 반복 테스트와 금속학적 또는 화학 분석을 결합합니다.

14. 부록

부록 A : 자기포화도와 탄소 함량의 관계.
대표적인 합금: YG6(코발트 6%, $M_s \approx 0.97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), YG8(코발트 8%, $M_s \approx 1.29 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$).
 η 상 감소 Ms 1020%, 자유탄소 510% 감소.
부록 B : 장비 교정 가이드.
교정 빈도, 표준 샘플 요구 사항, 오차 제어.
부록 C : 오류 소스 및 제어.
샘플 준비, 장비 안정성, 환경 간섭.

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 :

GB/T 38492015 초경합금의 코발트 자기포화도 측정 방법

발행일 : 2015 년 12 월 10 일

시행일 : 2016 년 7 월 1 일

상태 : 현재 유효

적용 범위 : 본 표준은 초경합금 내 코발트의 자기 포화도를 측정하는 방법을 규정합니다. 강자성 결합재(주로 코발트, 질량 분율 $\geq 3\%$)를 포함하는 초경합금에 적용 가능하며, 품질 관리, 코발트 함량 검증 및 탄소 수치 평가에 사용됩니다.

1. 범위

자기 포화 값 (M_s)을 측정하는 비파괴적 방법을 기술하며, 이를 통해 코발트 함량, 탄소 균형 및 합금 품질을 평가하는 것을 목적으로 한다.

적용 대상:

소결 카바이드 제품(도구, 금형, 드릴 등)

소결 전의 시멘트 카바이드 분말(장비 성능에 따라 다름).

테스트 목적:

코발트 함량이 사양(예: YG6, YG8)을 충족하는지 확인하세요.

탄소 함량의 간접적 평가, η 상($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) 또는 유리 탄소의 감지.

소결 공정의 품질을 평가하고 산화물과 같은 비자성 불순물을 식별합니다.

단위: SI 단위계를 사용합니다. 자기 포화도는 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 또는 $\text{kA} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$ 으로 표시합니다.

2. 규범적 참조

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

GB/T 3848 : 초경합금의 화학분석 방법(코발트 함량 검증을 보완하는 데 사용됨).
GB/T 4198 : 시멘트 카바이드의 샘플링 및 시편 준비 방법.
ISO 3326:2013 : 초경합금의 코발트 자기 포화도를 측정하는 방법(이 표준은 기술적 내용 면에서 ISO 3326 과 일치하며 번역도 동일합니다).
ASTM B886 : 시멘트 카바이드의 자기 포화도를 측정하는 방법(기준 표준, 유사 방법).

3. 용어 및 정의

경질탄화물 : 단단한 상(예: 텅스텐 카바이드 WC, 티타늄 카바이드 TiC)과 강자성 결합 상(예: 코발트, 니켈)으로 구성된 복합 재료입니다.

코발트 자기포화도(M_s) : 강한 자기장 하에서 코발트 결합상이 갖는 최대 자화강도 값으로, 단위는 $\mu Tm^3/kg$ 이며, 코발트 함량과 순도를 반영합니다.

강자성 결합 단계 : 코발트(Co) 및 니켈(Ni)과 같은 강자성 금속으로, 코발트가 주요 결합제입니다.

η 상(Eta 상) : 탄소가 부족하여 형성되는 비자성 탄화물(Co_3W_3C 등)로 자성과 인성이 저하됩니다.

자유 탄소 : 과도한 탄소가 있을 때 침전되어 강도를 약화시키는 비자성 탄소입니다.

자기 포화 상수 : 순수 코발트 M_s 는 $16.116.3 \mu Tm^3 /kg$ 입니다(ScienceDirect, 2020).

4. 원칙

초경합금의 자성은 코발트 결합제상에서 비롯되며, 경질상(WC 등)은 자성에 영향을 미치지 않습니다.

강한 자기장(일반적으로 1.52 T) 하에서 코발트 상은 자기 포화 상태에 도달하며, M_s 는 코발트 함량에 비례합니다. 순수 코발트의 M_s 상수는 $16.1 \mu Tm^3 /kg$ (일반적인 값)입니다.

코발트 함량: $M_s \div 16.1 \mu Tm^3 /kg \approx$ 코발트 질량 분율. 예를 들어, $M_s = 1.61 \mu Tm^3 / kg$ 은 코발트 함량이 약 10%임을 의미합니다.

비자성 불순물의 영향:

η 상 또는 산화물은 M_s 를 1020% 감소시켜 탄소가 부족함을 나타냅니다.

자유탄소 감소 M_s 510%는 과도한 탄소를 나타냅니다.

이 테스트는 비파괴적이며 샘플 모양과 크기(장비의 한계 내)에 영향을 받지 않습니다.

5. 장치

자기 분석기 : Koerzimat MS, Sigmameter 또는 국내 장비(중국 계측 공장의 자기 포화 테스터 등)와 다음이 장착되어 있음:

강력한 자기장 발생기(1.52 T, 코발트 상의 포화를 보장하기 위함).

자속 검출 시스템(정확도 $\pm 0.5\%$).

정밀 저울 : 정확도 $\pm 0.01g$, 샘플 질량 측정.

교정 표준 : 순수 코발트($M_s = 16.1 \mu Tm^3 / kg$) 또는 SI 단위로 추적 가능한 알려진

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ms 를 가진 시멘트 카바이드 샘플.

일정 온도 장치 : 열 효과를 피하기 위해 시험 환경 온도는 2025° C 로 제어됩니다.

자기소거 장비 (선택 사항): 샘플의 잔류 자화를 제거합니다.

6. 시험편

유형 : 소결 카바이드 제품(권장), 또는 소결 전 분말(장비 성능에 따라 다름).

모양 및 크기 : 모든 모양(원통형, 정육면체형, 공구 블랭크 등), 크기 510mm, 질량 0.550g.

표면 요구 사항 : 깨끗하고 기름, 산화물 층 또는 기계적 손상이 없어야 합니다.

균질성 : 내부 구성이 균일하고, 뚜렷한 균열이나 기공이 없습니다.

샘플링 : GB/T 4198 에 따라 배치당 최소 3 개의 대표 샘플이 필요합니다.

7. 테스트 단계(절차)

장비 교정 :

이 장비는 순수 코발트나 인증된 카바이드 샘플을 사용하여 교정되었으며, Ms 오차는 $\pm 1\%$ 이내로 제어됩니다.

교정 데이터(표준 샘플 Ms 값, 교정 날짜)를 기록합니다.

샘플 준비 :

샘플 표면을 깨끗이 하여 오일, 먼지, 산화물을 제거합니다.

정밀 저울(m, 단위: g, 정확도: $\pm 0.01g$)을 사용하여 샘플 질량을 측정합니다.

샘플에 잔류 자화가 있는 경우, 자기소거 장비를 사용하세요.

자기포화도 측정 :

코발트상이 완전히 자화되었는지 확인하기 위해 자기 분석기의 강한 자기장(1.52 T)에 샘플을 놓습니다.

자기 플럭스를 측정하고 $Ms (\mu Tm^3/kg)$ 를 기록합니다.

측정은 3 회 반복하여 평균값을 구하였으며, 단일 측정값의 편차는 $\pm 0.5\%$ 미만이었다.

데이터 레코드 :

샘플 번호, 질량, Ms 값, 시험 조건(온도, 자기장 강도)을 기록합니다.

Ms 가 비정상이면 샘플이나 장비를 점검하고 필요한 경우 다시 검사합니다.

8. 결과의 계산 및 표현

자기포화도 :

$$Ms = \frac{\text{磁通量}}{\text{样品质量}}$$

단위는 $\mu Tm^3/kg$ 이며, 소수점 이하 3 자리까지 표기합니다(예: $1.610 \mu Tm^3/kg$).

코발트 함량 :

$$\text{钴质量分数}(\%) = \frac{Ms}{16.1} \times 100$$

소수점 첫째 자리까지 입력하세요(예: 10.0%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

상대 자기 포화도(S) :

$$S = \frac{M_{s\text{测量}}}{M_{s\text{理论}}}$$

Ms 이론은 코발트 함량을 기반으로 하며, $S < 0.9$ 는 η 상을 나타내고, $S > 1.1$ 은 자유 탄소를 나타냅니다.

정확도 : 결과 정확도 $\pm 1\%$, 배치 간 변동 $< \pm 2\%$.

9. 결과 분석

정상 범위 : 소결 합금의 Ms 는 일반적으로 이론값의 85~95%입니다(코발트 일부가 WC 에 용해되거나 비자성 상을 형성하기 때문).

비정상적인 상황 :

Ms 가 낮음 ($< 90\%$): η 상, 산화물 또는 코발트 함량이 부족할 수 있습니다.

Ms 가 너무 높습니다 ($> 110\%$). 과도한 자유 탄소나 코발트 함량이 있을 수 있습니다.

보충 검증 : 비정상적인 결과는 금속조직 분석(η 상, 유리탄소의 현미경 관찰), X 선 회절(XRD) 또는 화학 분석(GB/T 3848 에 따른 코발트 함량 측정)과 결합해야 합니다.

10. 시험 보고서

보고서에는 다음 내용이 포함되어야 합니다.

표준 참조: GB/T 38492015.

샘플 정보: 개수, 유형(분말/소결), 모양, 질량, 배치.

테스트 조건: 장치 모델, 자기장 강도(T), 주변 온도($^{\circ}\text{C}$).

결과: Ms 값($\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), 코발트 함량(%), 상대 자기 포화도(S).

교정 정보: 표준 샘플의 Ms 값, 교정 날짜.

예외에 대한 설명: 편차가 있는 경우 가능한 원인을 설명합니다(예: η 상, 유리탄소).

테스터: 이름, 날짜, 서명.

실험실 정보: 이름, 주소, 인증(해당되는 경우).

11. 정밀도와 편향

반복성 : 동일한 장비와 작업자를 사용하여 3 회 측정한 편차는 $< \pm 0.5\%$ 입니다.

재현성 : 배치 간 편차는 실험실과 장비에 따라 $< \pm 2\%$ 입니다.

편향 : 체계적인 편향이 없고, Ms 값은 SI 단위로 추적 가능하며, 교정을 통해 정확성이 보장됩니다.

영향을 미치는 요인 : 불균일한 샘플, 교정되지 않은 장비, 환경적 자기장 간섭.

12. 주의사항

장비 교정 : 순수 코발트 또는 인증된 샘플을 사용하여 매월 또는 1000 회 테스트마다 교정합니다.

샘플 균일성 : MS 정확도에 영향을 미치는 균열, 기공 또는 고르지 않은 구성을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

피하세요.

환경 제어 : 시험 환경에는 강한 자기장 간섭이 없으며 온도는 2025° C 입니다.

안전 : 강한 자기장이 사람이나 전자 장비에 영향을 미치지 않도록 장비 작동 절차를 준수하세요.

데이터 검증 : 비정상 MS 값은 금속학적 또는 화학 분석을 통해 반복해서 확인해야 합니다.

13. 부록

부록 A(정보) : 코발트 자기 포화도와 탄소 함량 간의 관계.

일반적인 합금 Ms 범위: YG6(코발트 6%, $M_s \approx 0.97 \mu Tm^3 / kg$), YG8(코발트 8%, $M_s \approx 1.29 \mu Tm^3 / kg$).

η 상 감소 Ms 1020%, 자유탄소 510% 감소.

부록 B(정보) : 장비 교정 가이드.

교정 빈도(월간 또는 1000 회 테스트마다), 표준 샘플 요구 사항.

부록 C(정보 제공용) : 오류 소스 분석.

샘플 불균일성, 교정되지 않은 장비, 환경 자기장 간섭 등

14. 관련 표준에 대한 링크

ISO 3326:2013 : 초경합금 내 코발트의 자기 포화도 측정. GB/T 3849 는 이와 동등하며 동일한 기술적 내용을 담고 있습니다.

ASTM B88624 : 시멘트 카바이드의 자기 포화도를 측정하는 방법, 유사한 접근 방식으로 분말과 소결 제품 모두를 포괄합니다.

GB/T 3848 : 초경합금의 화학분석 방법, 코발트 함량의 보충 검증.

GB/T 3850 : 코발트 자기 시험과 결합된 시멘트 카바이드의 보자력 측정 방법은 미세 구조를 종합적으로 평가할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 3850 : 초경합금의 보자력 측정 방법

1 범위

본 표준은 초경합금 재료 및 제품의 보자력(Hc) 측정 방법을 규정합니다. 이 방법은 코발트(Co)를 결합재로 사용하는 텅스텐 카바이드 기반 초경합금(예: WC-Co 합금, 대표적인 등급: YG6, YG8 등)에 적용할 수 있습니다. 보자력을 측정함으로써 초경합금의 결정립 크기, 코발트 함량 분포 및 미세조직적 건전성을 간접적으로 평가할 수 있습니다. 이 방법은 생산 공정의 품질 관리, 제품 합격 판정 및 연구개발의 비파괴 검사에 활용할 수 있습니다.

이 표준은 코발트 기반이 아닌 시멘트 카바이드(니켈 기반 또는 철 기반 시멘트 카바이드 등)나 비자성 재료에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

- GB/T 3848 초경합금의 코발트 함량 측정
- GB/T 3849 초경합금의 자기적 특성 시험 방법
- GB/T 223.1 강철 및 합금에 대한 화학 분석 방법
- GB/T 230.1 금속재료의 로웰경도 시험 제1부: 시험방법
- ISO 3326:2013 초경합금의 보자력 측정 방법
- ASTM B887 초경합금의 보자력 측정 표준

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

3.1 보자력(Hc)

초경합금에서 코발트 결합상의 자화강도를 포화상태에서 0으로 낮추는 데 필요한 역자기장 세기로, 단위는 kA/m(킬로암페어/미터)이다.

3.2 자기 포화(Ms)

외부 자기장(일반적으로 >1.5T)의 작용으로 코발트상은 최대 자화 강도 상태에 도달하며, 단위는 $\mu Tm^3/kg$ (재료 1kg 당 자기 모멘트)입니다.

3.3 하드메탈은 분말야금 공정을 통해 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료입니다.

3.4 입자 크기 시멘트 카바이드에서 텅스텐 카바이드 입자의 평균 크기는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

마이크로미터(μm)로 표현되며 보자력 값에 영향을 미칩니다.

3.5 η 상(Eta 상)

은 초경합금에 탄소 함량이 부족하여 형성되는 취성상입니다. 화학식은 $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ 이며, 이는 자기적 특성과 인성을 저하시킵니다.

3.6 자유탄소:

초경합금에 탄소 함량이 너무 많아 탄소가 침전되어 자기적 특성과 경도에 영향을 미칩니다.

4 원칙

초경합금의 보자력은 코발트 결합제 상의 강자성(퀴리 온도는 약 1145°C , 자화 강도는 $1.7\text{--}1.75\ \mu\text{B}/\text{원자}$)에서 비롯되는 반면, 경질상(예: WC)은 비자성 물질이므로 자성에 기여하지 않습니다. 보자력 시험의 기본 원리는 다음과 같습니다. 먼저, 코발트 상을 외부의 강한 자기장($1.5\text{--}2\ \text{T}$)의 작용으로 포화될 때까지 완전히 자화시킨 다음, 점차 증가하는 역자기장을 인가하여 자화 강도가 0으로 떨어지는 자기장 강도, 즉 보자력(H_c)을 측정합니다. 보자력은 코발트 상의 입자 크기에 반비례합니다. 미립 초경합금(입자 $0.2\sim 0.5\ \mu\text{m}$)의 H_c 는 일반적으로 $25\sim 40\text{kA/m}$ 이고, 조립 초경합금(입자 $5\ \mu\text{m}$ 이상)의 H_c 는 $5\sim 10\text{kA/m}$ 입니다. 또한, 보자력은 코발트 함량, 미세조직 균일성, 그리고 결합(예: η 상 또는 기공)의 영향을 받으며, 이러한 결합은 초경합금의 미세조직 및 공정 품질을 평가하는 데 사용될 수 있습니다.

5. 기기 및 장비

5.1 보자력계

영구자석 또는 전자기 보자력계는 $1.5\text{--}2\ \text{T}$ 의 강한 자기장을 제공할 수 있으며, 측정 정확도는 $\pm 1\ \text{kA/m}$ 이고 반복성은 $<2\%$ 입니다.

5.2 Koerzimat 1.097 또는 Sigameter 2.068 과 같은 자기 분석기는

$\pm 0.5\%$ 의 정확도로 보자력과 자기 포화 강도를 동시에 측정할 수 있습니다.

5.3 진동 샘플 자력계(VSM)는

$\pm 0.1\ \text{kA/m}$ 의 오차로 고정밀 측정에 사용되며 실험실 연구에 적합합니다.

5.4 $\pm 0.01\text{g}$ 정확도의 저울 로, 샘플 질량을 측정하는 데 사용됩니다.

5.5 세척 도구

에는 샘플 표면을 세척하기 위한 에탄올과 비자성 핀셋이 포함됩니다.

5.6 시험 환경 온도는 $20\sim 25^\circ\text{C}$ 의 항온 상자에서 조절되며

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

습도는 <60%입니다.

5.7 200~500 배의 배율을 가진 금속현미경을 사용하여 결정립 크기와 미세구조를 확인합니다.

5.8 X선 회절계(XRD)는 $2\theta \approx 40^\circ$ 또는 $2\theta \approx 26^\circ$ 를 검출하는 데 사용됩니다.

6. 샘플

6.1 샘플 요구 사항

모양: 표본은 원통형 또는 입방형이며, 크기(직경 또는 측면 길이)는 5~10mm입니다.

표면 상태: 표면은 평평해야 하며 균열(길이 <5 μm), 기공(기공률 <0.05%) 또는 산화물 층이 없어야 하며 필요한 경우 에탄올로 세척해야 합니다.

균질성: 구성 편차 <0.1 중량 %, 입자 크기 변동 <5%, 측정에 영향을 미치는 내부 결함을 방지합니다.

수량: 각 배치에는 최소 3 개의 샘플이 있어야 하며, 샘플은 동일한 소결 공정에서 나온 것이어야 합니다.

6.2 샘플 준비

절단 중 응력 발생을 방지하기 위해(응력 < 100 MPa) 카바이드 블랭크나 완제품(예: 공구, 다이)에서 시편을 절단합니다.

시료 표면에 산화막이나 기름이 남아 있을 경우 에탄올로 닦아내고 말리세요.

샘플의 무게를 측정하고(정확도 $\pm 0.01\text{g}$) 샘플 번호를 기록합니다.

7. 시험 방법

7.1 테스트 조건

주변 온도: 20~25° C, 온도 변동 $< \pm 2^\circ\text{C}$, 코발트 상의 자기적 특성에 영향을 미치지 않도록 합니다.

주변 습도: <60%, 습기로 인해 코발트 상의 미세 부식이 발생하는 것을 방지합니다(자화 강도가 <2% 감소합니다).

자기장 간섭: 시험 영역에는 강한 자기장 간섭이 없습니다(<0.1 mT).

7.2 계측기 교정

표준 샘플(예: 순수 코발트, $H_c = 5\text{ kA/m}$, $M_s = 16.2\text{ } \mu\text{Tm}^3 / \text{kg}$)을 사용했으며 오차는 $< \pm 1\%$ 입니다.

교정 주기: 한 달에 한 번 또는 각 테스트 전.

자기장 강도(1.5~2 T)를 확인하여 코발트상이 완전히 자화될 수 있는지 확인하세요.

7.3 테스트 단계

보자력계의 시험 영역에 샘플을 놓고 비자성 클램프로 고정하여 샘플이 움직이지

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

않도록 합니다.

강한 자기장(1.5~2 T)을 가해 코발트상을 포화상태로 완전히 자화시키고 5~10 초간 유지합니다.

점차적으로 역방향 자기장을 가하고 자화 강도가 0 으로 떨어질 때의 자기장 세기, 즉 보자력(Hc)을 kA/m 단위로 기록합니다.

각 샘플은 3 번 측정되었으며, 편차가 2% 미만인 평균값을 취했습니다.

샘플 번호, 질량, Hc 값 및 시험 조건(온도, 습도, 기기 모델)을 기록합니다.

7.4 데이터 처리

각 샘플의 측정된 세 가지 값의 평균을 최종 Hc 값으로 계산했습니다.

동일한 샘플 배치의 Hc 값이 10% 이상 변동하는 경우(예: YG8 이 15kA/m 에서 25kA/m 로 변경되는 경우) 소결이 고르지 않음을 나타내므로 추가 테스트가 필요합니다.

경험식 $H_c \approx k/d$ (k 는 상수, d 는 입자 크기)에 근거합니다. 예를 들어, $H_c = 30$ kA/m 는 약 0.2-0.5 μm 의 입자 크기에 해당합니다.

8 결과 표현

보자력 값은 kA/m 단위이며 소수점 첫째 자리까지 나타냅니다(예: 15.2 kA/m).

시험 보고서에는 다음이 포함되어야 합니다.

a) 샘플 번호; b) 보자력 값(Hc); c) 시험 조건(온도, 습도); d) 기기 모델 및 교정 상태; e) Hc 값이 목표 값에서 $\pm 5\%$ 만큼 벗어난 경우(예: YG6 목표 18 kA/m, 측정 <17.1 또는 >18.9 kA/m), 가능한 이유를 설명해야 합니다(예: η 상 또는 결정립 이상).

9 정밀도와 편향

9.1 정밀도

짧은 시간 내에 동일한 작업자와 동일한 장비로 동일한 샘플을 반복 측정한 Hc 값은 2% 미만입니다.

재현성: 다양한 실험실, 다양한 작업자, 다양한 장비를 통해 측정된 Hc 값의 편차는 5% 미만입니다.

9.2 편향

기기 교정 오차: ± 1 kA/m.

샘플 불균일성: 구성이나 입자 크기의 불균일성으로 인해 Hc 가 5-10% 변동합니다.

환경 간섭: 강력한 자기장(>0.1 mT)으로 인해 Hc 편차가 2% 이상 발생합니다.

10 가지 영향 요인

10.1 입자 크기

입자 크기가 작을수록 보자력이 높아집니다. 미립 초경합금(입자 크기 0.2 μm)의 Hc 는 30~40kA/m 이고, 조립 초경합금(입자 크기 5 μm)의 Hc 는 5~10kA/m 입니다.

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

10.2 코발트 함량

코발트 함량이 증가하면(6%에서 15%) 코발트 상 자화가 더 쉽게 뒤집히고 Hc 가 약간 감소합니다(10-15%).

탄소 평형 η 상($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$)

형성으로 Hc 가 5~10% 감소(예: YG8 은 15kA/m 에서 13kA/m 로 감소)하며, 유리탄소(C)의 영향은 <2%이다.

10.4 소결 공정

고온(>1500° C)은 입자의 조대화와 Hc 의 감소로 이어진다. Hc 는 20kA/m 에서 8kA/m 로 감소한다.

열간 등방성 가압(HIP, 150 MPa, 1350° C)은 미세구조적 균질성을 개선하고 Hc 가 5-10% 증가합니다.

10.5 결함 있는

기공률 > 0.1% 또는 잔류 응력(> 100 MPa)으로 인해 Hc 가 10-15% 변동하므로 밀도를 최적화해야 합니다(> 99.5%).

10.6 환경적 요인

고온(800° C)은 Hc 를 5-8% 감소시킵니다(예: YG10 은 18kA/m 에서 16kA/m 로 떨어집니다).

습한 열(40° C, 습도 90%)은 <2%에 영향을 미칩니다.

11 테스트 결과의 적용

11.1 성능 분류

Hc >25 kA/m: 고경도 도구(예: PCB 드릴 비트, HRA >92, 수명 >4 시간)에 적합합니다.
Hc <10 kA/m: 고강도 금형에 적합합니다(예: 광산 드릴 비트, KIC >15 MPa · m^{1/2}, 수명 >200 시간).

11.2 공정 최적화 비정상적인

Hc(변동률 > 10%)는 입자가 조대하거나 소결이 불균일함을 나타냅니다. 소결 온도(1350~1450° C)를 조정하거나 입자 억제제(예: VC 0.2~0.5 중량%)를 첨가할 수 있습니다.

11.3 결함 감지 Hc 가 5-10% 감소한 것

(예: YG8 이 15kA/m 에서 13kA/m 로 감소)은 η 상으로 인한 것일 수 있으며, 탄소 함량을 조정해야 합니다(목표 6.0±0.2 중량%).

11.4 적용 사례

항공용 강철 절삭(절삭 속도 250m/min)에서 10% Co 를 첨가한 공구가 Hc

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

시험 (18kA/m)에 합격하여 경도 HRA 90 과 내충격성을 확보하였으며, 공구 수명이 3.5 시간에 도달하였다.

12 개의 노트

12.1 기기 교정

시험 전에 체계적인 편차를 피하기 위해 기기를 $\pm 1\%$ 오차로 교정합니다.

12.2 시편 균질성

시편에는 균열($< 5 \mu\text{m}$), 기공($< 0.05\%$), 구성 편차 < 0.1 중량 %, 입자 크기 변동 $< 5\%$ 가 없어야 합니다.

12.3 환경 제어

시험 구역에는 강한 자기장($< 0.1 \text{ mT}$)이 없고, 온도는 $20 \sim 25^\circ \text{C}$, 습도는 $< 60\%$ 입니다.

12.4 종합 검증

Hc 값이 비정상(편차 $> 5\%$)인 경우 금속현미경(배율 500 배)으로 결정립계를 관찰하거나 ICP 를 이용하여 코발트 함량을 측정합니다(정확도 ± 0.05 중량%).

13 테스트 보고서

테스트 보고서에는 다음 내용이 포함되어야 합니다.

표준 번호: GB/T 3850;

샘플 설명: 브랜드, 배치, 크기;

테스트 조건: 온도, 습도, 자기장 간섭;

기기 정보: 모델, 교정 상태

시험 결과 : 보자력 값(Hc, kA/m), 편차 분석;

비정상 설명: Hc 값 편차가 $> 5\%$ 인 경우 가능한 원인을 설명하세요.

테스트 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일

테스터: 서명.

14 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 보자력 값

표 A.1 일반적인 초경합금 등급의 보자력 값

상표	코발트 함량(중량%)	입자 크기(μm)	보자력(kA/m)
YG6	6	1-2	15-20
YG8	8	2-3	10-15
YG10	10	2-4	8-12
나노 합금	8	0.05-0.2	50~60 세

부록 B 오류 분석

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

B.1 계측 오차

±1 kA/m.

B.2 샘플 불균일성 불균일한

구성이나 입자 크기로 인해 Hc 가 5-10% 변동합니다.

B.3 환경 간섭

강한 자기장(>0.1 mT)은 Hc 편차를 2% 이상으로 유발합니다.

부록 C 개선 제안

C.1 ±0.1 kA/m 의 오차를 갖는 고정밀 진동 시료 자력계 (VSM)를 사용한다.

C.2 인공지능(AI)을 사용하여 Hc 데이터를 분석하고 90% 이상의 정확도로 결정립 크기 및 결함을 예측한다. C.3 고온 성능을 평가하기 위해 고온 보자력 시험 장비(800~1000° C 시험 지원)를 도입한다. C.4 적외선 분광법을 결합하여 소결 분위기를 모니터링하고, 소결 매개변수를 동적으로 조정하며, Hc 변동을 2% 미만으로 줄인다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 YG8 초경합금 보자력 시험 데이터

샘플 번호	질량(g)	Hc 측정값(kA/m)	평균 Hc(kA/m)	편차(%)
YG8-001	5.02	14.8, 15.0, 14.9	14.9	1.3
YG8-002	5.05	15.1, 15.3, 15.0	15.1	1.9
YG8-003	4.98	14.7, 14.9, 14.8	14.8	1.3

부록 E 환경 영향 데이터

다양한 환경 조건에서 Hc 값의 변화

환경 조건	Hc(kA/m)	변화(%)
표준(25° C, 습도 50%)	15.0	-
고온(800° C)	13.8	-8.0
습열(40° C, 습도 90%)	14.7	-2.0

GB/T 3848 초경합금의 코발트 함량 측정

1 범위

이 표준은 초경합금의 코발트(Co) 함량 측정 방법을 규정합니다. 이 방법은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트를 결합재상으로 하는 초경합금 소재 및 제품(예: YG6, YG8 등)에 적용할 수 있습니다. 코발트의 중량 백분율(wt%)은 화학 분석 또는 기기 분석을 통해 측정합니다. 이 방법은 생산 공정의 품질 관리, 제품 합격 판정, 연구개발의 성분 분석에 사용될 수 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

이 표준은 코발트 기반이 아닌 시멘트 카바이드(니켈 기반 또는 철 기반 시멘트 카바이드 등) 또는 다른 중요한 간접 요소가 포함된 재료에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 3849 초경합금의 자기적 특성 시험 방법

GB/T 223.1 강철 및 합금에 대한 화학 분석 방법

GB/T 6682 분석 실험실에서 사용되는 물에 대한 사양 및 시험 방법

ISO 3909:1976 초경합금의 코발트 함량 측정 - 전위차법

ASTM E1019 표준 시험 방법 - 합금의 화학 성분 분석

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

3.1 코발트 함량:

시멘트 카바이드에서 총 질량을 기준으로 한 코발트의 중량 백분율(wt %)은 바인더 상의 비율을 반영합니다.

분말야금 공정을 통해 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료입니다.

3.3 η 상(Eta 상)

은 초경합금에 탄소 함량이 부족하여 형성되는 취성상입니다. 화학식은 $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ 이며, 이는 코발트 함량 측정에 영향을 줄 수 있습니다.

3.4 자유탄소

과도한 탄소 함량으로 인해 시멘트 카바이드에서 침전된 탄소는 분석 결과에 영향을 미칠 수 있습니다.

3.5 전위차 적정은

전극을 사용하여 용액 전위의 변화를 측정하여 종말점을 결정하는 적정 방법입니다.

4 원칙

초경합금의 코발트 함량 측정 원리는 화학적 분해 및 정량 분석에 기반합니다. 시료를 산 또는 용융물로 분해하여 코발트를 가용성 화합물(예: 염화코발트)로 전환한 후, 중량법, 전위차 적정법 또는 분광 분석법을 통해 함량을 측정합니다.

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

전위차 적정법은 코발트와 EDTA(에틸렌디아민테트라아세트산)가 형성하는 안정한 착물을 이용하여 전위 변화를 측정하는 종말점을 측정합니다. 분광 분석법(예: 원자 흡광 분광법 또는 유도 결합 플라즈마 방출 분광법)은 코발트의 특징적인 흡광 또는 방출 스펙트럼을 기반으로 정량합니다. η 상 또는 유리 탄소는 측정에 방해가 될 수 있으므로 전처리를 통해 제거해야 합니다.

5. 기기 및 장비

5.1

정확도가 $\pm 0.0001\text{g}$ 인 분석용 저울로, 샘플과 시약의 무게를 측정하는 데 사용됩니다.

5.2

유리 전극과 기준 전극을 장착한 전위차 적정기로 정확도는 $\pm 0.1\text{ mV}$ 이며 전위차 적정에 적합합니다.

5.3 파장이 240.7 nm 이고 검출 한계가 $0.01\text{ }\mu\text{g/mL}$ 인 원자 흡광 분광기(AAS)를 사용하여 코발트 함량을 측정했습니다.

5.4 유도 결합 플라즈마 광학 방출 분광기(ICP-OES)의 검출 한계는 $0.001\text{ }\mu\text{g/mL}$ 로 다원소 분석에 적합합니다.

5.5 항온수조의 온도 조절 범위는 $20\sim 100^{\circ}\text{C}$ 이며, 정확도는 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 입니다.

시료 분해에는 $100\sim 600^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위를 갖는 가열판이나 전기로가 사용됩니다.

5.7 산 종류 장치는

방해 원소(비소, 안티몬 등)를 제거하는 데 사용됩니다.

5.8 피펫과 메스플라스크의 용량

은 5mL , 10mL , 25mL , 100mL 이며 정확도는 $\pm 0.1\text{mL}$ 입니다.

6 시약

고순도 의 질산(HNO_3), 농도 65%-68%.

6.2 고순도 염산(HCl)

, 농도 36%-38%.

6.3 황산(H_2SO_4)은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

순도가 높아 농도가 95%-98 %입니다.

6.4 EDTA 표준용액의

농도는 0.01 mol/L이며, 교정 후 사용합니다.

6.5 완충 용액

pH 5.0-6.0, 아세트산 암모늄과 암모니아를 함유함.

6.6

적정의 종말점을 결정하는 데 자일레놀 오렌지와 같은 지표가 사용됩니다.

6.7 탈이온수는

GB/T 6682 1 급 수질기준을 준수합니다.

7 개의 표본

7.1 샘플 요구 사항

모양: 시료는 0.2~0.5g 의 질량을 갖는 분말, 과립 또는 작은 조각입니다.

균질성: 구성 편차 <0.1 중량 %, 입자 크기 변동 <5%.

표면 상태: 오일이나 산화물 층이 없으며, 필요한 경우 에탄올로 세척합니다.

7.2 샘플 준비

시멘트 카바이드 블랭크나 완제품에서 대표 샘플을 채취하여 입자 크기가 <0.1mm 가 될 때까지 분쇄합니다.

시료를 일정한 온도(105° C, 1 시간)의 데시케이터에 보관한 후 실온으로 식혀 무게를 측정하였다(±0.0001g).

대표적인 결과를 보장하기 위해 각 배치에서 3~5 개의 병렬 샘플을 채취합니다.

8 테스트 방법

8.1 전위차 적정

8.1.1 샘플 분해

샘플 0.2g 을 달아 250mL 비이커에 넣습니다.

질산 10mL 와 황산 5mL 를 넣고 거의 마를 때까지 가열한 후 식힌다.

염산 20mL 를 가하고, 잔류물이 녹을 때까지 가열한 후, 식혀서 100mL 로 희석한다.

8.1.2 적정 단계

용액 10mL 을 취하고 완충용액(pH 5.5)과 루테올린 지시약을 첨가한다.

0.01 mol/L EDTA 표준용액으로 적정하고 종말점까지의 잠재적 변화를 기록합니다.

계산식:

$$\text{钨含量 (wt\%)} = \frac{C \times V \times M \times 58.93 \times 100}{m \times 1000}$$

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

8.1.3 공시험

동일한 단계에 따라 공백 테스트를 수행하고 공백 값을 뺍니다.

8.2 원자흡수분광법(AAS)

8.2.1 샘플 분해

시료 0.1g 을 달아 질산 5mL 와 염산 2mL 를 첨가하고 가열하여 녹인다.

냉각 후, 용량을 50 mL 로 조절하고 0.45 μm 필터 멤브레인을 통해 여과했습니다.

8.2.2 측정 단계

기기의 파장을 240.7nm 로 조정하고 작동을 시작하세요.

코발트 농도는 0.1-10 μg /mL 범위에서 표준 시리즈 방법을 사용하여 결정되었습니다.

계산식:

$$\text{함량} (\text{wt}\%) = \frac{C \times V \times 100}{m \times 1000}$$

8.2.3 간섭 제거

철이나 니켈로 인한 간섭이 있는 경우, 간섭 방지제(란탄염 등)를 첨가하세요.

8.3 유도 결합 플라즈마 광 방출 분광법(ICP-OES)

8.3.1 샘플 분해

시료 0.1g 을 달아서 질산 5mL 와 과산화수소 1mL 를 첨가하고, 전자레인지로 분해합니다.

식힌 후 50mL 로 희석하고 나중에 사용하기 위해 여과합니다.

8.3.2 측정 단계

파장을 228.616nm 로 설정하고 기기를 교정합니다.

코발트 농도는 검출 한계 0.001 μg /mL 의 표준 곡선법으로 결정했습니다.

계산 공식은 8.2.2 와 동일합니다.

8.3.3 간섭 제거

텅스텐 간섭이 있는 경우 배경 보정 매개변수를 조정합니다.

9 결과 표현

코발트 함량은 소수점 둘째 자리까지 중량%로 표현됩니다(예: 6.25%).

시험 보고서에는 다음 내용이 포함되어야 합니다.

a) 표준 번호: GB/T 3848; b) 샘플 설명: 브랜드, 배치, 품질; c) 시험 방법: 전위차 적정, AAS 또는 ICP-OES; d) 결과: 코발트 함량 및 편차; e) 시험 조건: 온도, 습도;

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

f) 기기 모델 및 교정 상태; g) 시험 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일; h) 시험자: 서명.

10 정밀도와 편향

10.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자, 동일한 장비, 짧은 시간 내에 측정된 코발트 함량 편차는 $<0.2\%$ 입니다.

재현성: 다양한 실험실과 작업자가 측정된 코발트 함량 편차는 $<0.5\%$ 입니다.

10.2 편향

기기 오차: AAS $\pm 0.01 \mu\text{g/mL}$, ICP-OES $\pm 0.001 \mu\text{g/mL}$.

샘플 불균일성: 구성 편차 $>0.1 \text{ wt } \%$ 로 인해 결과 변동이 0.3-0.5% 발생합니다.

간섭 요소: η 상이나 자유 탄소가 제거되지 않으면 편향이 1-2%에 달할 수 있습니다.

11 가지 영향 요인

11.1 샘플의 불완전한 분해(예: 텅스텐 잔류물)로 인해 코발트 함량이 0.5-1%까지 과소평가될 수 있습니다.

11.2 간섭 원소

철($>5\%$)과 니켈($>2\%$)은 AAS 측정을 방해할 수 있으므로 사전 분리가 필요합니다.

11.3 산 농도가

너무 높음 산성도($\text{pH} < 2$)로 인해 EDTA 적정 종말점이 0.1-0.3% 이동합니다.

11.4 환경 조건

고온($>40^\circ \text{C}$) 또는 습도($>70\%$)로 인해 용액이 증발하며 편차는 $<0.2\%$ 입니다.

12 테스트 결과의 적용

12.1 품질 관리

코발트 함량이 YG6 목표인 $6 \pm 0.2\%$ 와 같은 설계 요구 사항을 충족하는지 확인합니다.

12.2 공정 최적화

코발트 함량이 낮으면 성분이 부족함을 나타내고, 코발트 함량이 높으면 바인더 상이 과도함을 나타냅니다.

12.3 특성 예측

코발트 함량이 6-10%이면 높은 경도(HRA 90-92)를 나타내고, 10-15%이면 높은 인성($\text{KIC } 12-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)을 나타냅니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12.4 예제

절삭 공구 생산 시, 코발트 함량이 8.1%인 YG8 은 HRA 91 의 경도와 3 시간 이상의 수명을 보장합니다.

13 개의 노트

13.1 기기는

오차 $\pm 0.1\%$ 의 표준 코발트 샘플을 사용하여 교정해야 합니다.

13.2 표본 균질성

표본에 균열이나 기공이 없고 구성이 균일한지 확인하세요.

13.3 시험실 온도는 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 로 조절하고, 습도는 60% 미만으로 유지합니다.

13.4 안전 보호

작업 중에는 산이 튀는 것을 방지하기 위해 보호 안경을 착용하세요.

14 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 코발트 함량 값

표 A.1 일반적인 초경합금 등급의 코발트 함량

상표	코발트 함량(중량%)	경도(HRA)	인성(KIC, $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)
YG6	6.0 ± 0.2	90-91	10-12
YG8	8.0 ± 0.2	89-90	12-14
YG10	10.0 ± 0.3	88-89	14-16

부록 B 오류 분석

B.1 기기 오차:

AAS $\pm 0.01 \mu\text{g}/\text{mL}$, ICP-OES $\pm 0.001 \mu\text{g}/\text{mL}$.

B.2 작동오차

적정종료판단의 편차는 $0.1\sim 0.2\%$ 이다.

B.3 환경적 영향

습도가 70% 이상이면 결과에 0.2%의 편차가 발생합니다.

부록 C 개선 제안

C.1 마이크로파 분해를 사용하여 분해 효율을 높이고 텅스텐 잔류물을 줄입니다.

C.2 ICP-MS 를 사용하여 검출 감도를 향상시켜 검출 한계를 $0.0001 \mu\text{g}/\text{mL}$ 미만으로 낮춥니다.

C.3 자동 적정 시스템을 도입하여 인적 오류를 줄입니다.

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 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 YG8 초경합금의 코발트 함량 시험 데이터

샘플 번호	질량 (g)	코발트 함량 (중량%)	평균값 (중량%)	편차 (%)
YG8-001	0.201	8.05, 8.10	8.08	0.37
YG8-002	0.203	8.00, 8.03	8.02	0.25
YG8-003	0.202	8.12, 8.09	8.11	0.37

부록 E 간섭 요소의 영향

표 E.1 코발트 함량 측정에 대한 다양한 간섭 요소의 영향

干扰元素	含量 (wt%)	偏差 (wt%)	消除方法
铁	5	0.5	加入钨盐
镍	2	0.3	预分离
铝	10	1.0	微波消解

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

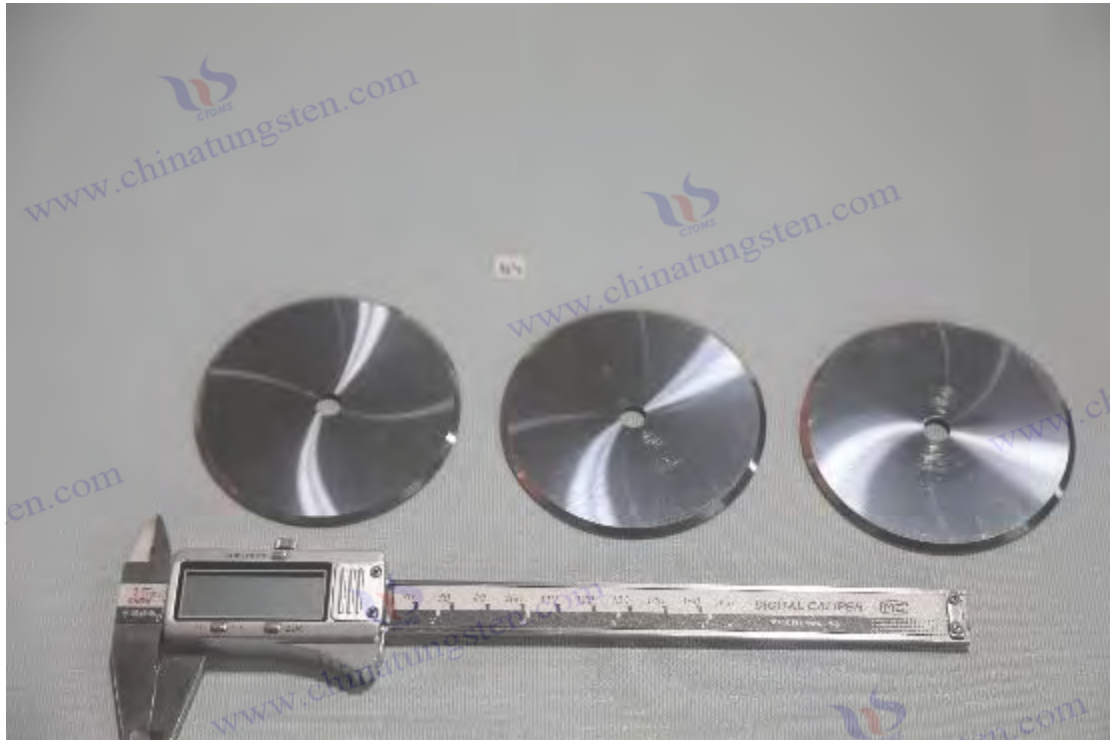
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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



ISO 3909:1976

초경합금의 코발트 함량 측정 - 전위차법

1 범위

이 국제 표준은 전위차법을 이용하여 초경합금의 코발트(Co) 함량을 측정하는 방법을 규정합니다. 이 방법은 윤활제가 없는 초경합금 및 접합 금속 분말 혼합물, 코발트 함량이 1%(질량분율, m/m)를 초과하는 모든 등급의 예비소결 또는 소결 초경합금에 적용할 수 있습니다. 이 방법은 초경합금 생산 품질 관리, 제품 합격 판정 및 연구개발 성분 분석에 사용될 수 있습니다.

이 표준은 코발트 함량이 1% 미만인 시멘트 카바이드나 상당한 간섭 원소(철과 니켈 함량이 높은 경우)를 함유한 재료에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

ISO 5725 정밀도(정확도 및 정밀도) 테스트 방법 및 결과 평가

ISO 11873 초경합금 - 용어

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

3.1 코발트 함량:

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

시멘트 카바이드에서 코발트의 중량 백분율(m/m)은 총 질량을 기준으로 결합 단계의 비율을 반영합니다.

3.2 경금속은 분말야금 공정을 통해 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료이다.

3.3 η 상(Eta 상)

은 초경합금에 탄소 함량이 부족하여 형성되는 취성상입니다. 화학식은 $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ 이며, 이는 코발트 함량 측정에 영향을 줄 수 있습니다.

3.4 자유 탄소:

과도한 탄소 함량으로 인해 시멘트 카바이드에서 침전된 탄소는 분석 결과에 영향을 미칠 수 있습니다.

3.5 전위차 적정은

용액 전위의 변화를 측정하여 적정 종말점을 결정하는 방법입니다.

4 원칙

이 방법은 초경합금 시료의 코발트를 산 분해를 통해 가용성 화합물(예: 염화코발트)에 용해시킨 후, 전위차 적정을 통해 코발트 함량을 측정합니다. 시료가 산 분해되면 용액 속 코발트 이온(Co^{2+})이 에틸렌디아민테트라아세트산(EDTA)과 안정한 착물을 형성하고, 전위차 적정을 통해 종말점을 측정합니다. 전위차 적정은 전극(일반적으로 유리 전극과 기준 전극)을 사용하여 용액 전위의 급격한 상승을 모니터링하여 종말점을 측정합니다. η 상 또는 유리 탄소는 측정에 방해가 될 수 있으므로 전처리(예: 산 증류 또는 여과)를 통해 제거해야 합니다.

5 간섭 요소

5.1 철(Fe)

철 함량이 5%(m/m) 이상일 경우 EDTA와 착물을 형성하여 코발트 적정을 방해할 수 있으므로 사전 분리(이온 교환 등)를 통해 제거해야 합니다.

5.2 니켈(Ni)

니켈 함량이 2%(m/m) 이상일 경우 전위차 적정의 종말점에 영향을 미칠 수 있으므로 사전 분리하거나 마스크제(예: 암모니아수)를 첨가하여 제거해야 합니다.

5.3 텅스텐(W)

텅스텐은 용액의 정화를 방해하는 침전물(텅스텐산 등)을 형성할 수 있으므로 철저한 용해 및 여과를 통해 제거해야 합니다.

5.4 η 상과 유리 탄소

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

η 상은 코발트 함량을 과소평가하게 만들 수 있으며, 유리 탄소는 코발트 이온을 흡착할 수 있으므로 예비 소결이나 산 증류로 처리해야 합니다.

6 시약

6.1 질산(HNO_3) 분석

등급, 농도 65%-68%.

6.2 분석용 염산(HCl) , 농도 36%-38%.

6.3 분석용 황산(H_2SO_4)

, 농도 95%-98%.

EDTA 표준용액의

농도는 0.01 mol/L 이며, 사용 전에 아연 표준용액으로 보정해야 합니다.

6.5 완충 용액

pH 5.0-6.0, 아세트산 암모늄과 암모니아를 함유함.

6.6 지시약(보조)

자일레놀 오렌지, 적정 종말점 관찰에 사용(선택 사항).

6.7 탈이온수의 저항률 $\geq 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$.

7 약기 및 장비

7.1 정확도가 $\pm 0.0001\text{g}$ 인 분석용 저울을 사용하여 샘플과 시약을 칭량합니다.

7.2 전위차 적정기

에는 유리 전극과 $\pm 0.1 \text{ mV}$ 의 정확도를 가진 기준 전극(예: Ag/AgCl 전극)이 장착되어 있습니다.

7.3 시료 분해에는 $100\sim 600^\circ \text{C}$ 의 온도 범위를 갖는 가열판이나 전기로가 사용됩니다.

항온수조

의 온도 조절 범위는 $20\sim 100^\circ \text{C}$ 이며, 정확도는 $\pm 1^\circ \text{C}$ 입니다.

7.5 산 증류 장치는

방해 원소(비소, 안티몬 등)를 제거하는 데 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

피펫과 메스플라스크

의 용량은 5mL, 10mL, 25mL, 100mL 이며 정확도는 $\pm 0.1\text{mL}$ 입니다.

7.7 용액 여과를 위한 $0.45\ \mu\text{m}$ 필터 멤브레인이 있는 필터 장치

.

8. 샘플

8.1 샘플 요구 사항

모양: 시료는 $0.2\sim 0.5\text{g}$ 의 질량을 갖는 분말, 과립 또는 작은 조각입니다.

균질성: 구성 편차 $<0.1\%(\text{m/m})$, 입자 크기 변동 $<5\%$.

표면 상태: 오일이나 산화물 층이 없으며, 필요한 경우 에탄올로 세척합니다.

8.2 샘플 준비

시멘트 카바이드 블랭크나 완제품에서 대표 샘플을 채취하여 입자 크기가 $<0.1\text{mm}$ 가 될 때까지 분쇄합니다.

105°C 에서 1 시간 동안 건조하고 실온으로 식힌 후 무게를 측정합니다($\pm 0.0001\text{g}$).

대표적인 결과를 보장하기 위해 각 배치에서 3~5 개의 병렬 샘플을 채취합니다.

9 테스트 단계

9.1 샘플 분해

샘플 $0.2\text{g}(\pm 0.0001\text{g})$ 을 달아 250mL 비이커에 넣습니다.

질산 10mL 와 황산 5mL 를 넣고 열판($200\sim 250^\circ\text{C}$)에서 거의 건조될 때까지 가열한 후 식힙니다.

염산 20mL 를 첨가하고 잔류물이 완전히 녹을 때까지 계속 가열(150°C)한 후 식힌다. 탈이온수를 넣어 100mL 로 희석한 후, 여과($0.45\ \mu\text{m}$ 필터막)하여 따로 보관합니다.

9.2 전위차 적정

시험용액 10mL 을 취하여 100mL 적정컵에 넣고 완충용액(pH 5.5)을 첨가합니다.

루테올린 지시약(선택 사항) 2~3 방울을 첨가하고 색상 변화를 관찰합니다.

전위차 적정기로 전위를 모니터링하고, $0.01\ \text{mol/L}$ EDTA 표준 용액을 첨가하고 전위 점프점(종말점)을 기록합니다.

각 샘플을 3 번 측정하고 평균값을 계산했습니다.

9.3 공시험

동일한 절차에 따라 공시험을 실시하고 공시험값(일반적으로 코발트 함량 $<0.05\%$)을 뺍니다.

9.4 계산

코발트 함량은 다음과 같이 계산됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$\text{钴含量 (\%)} = \frac{C \times V \times M \times 100}{m \times 1000}$$

안에:

- C: EDTA 标准溶液浓度 (mol/L);
- V: 消耗 EDTA 体积 (mL);
- M: 钴摩尔质量 (58.93 g/mol);
- m: 试样质量 (g).

10. 결과 표현

코발트 함량은 질량 분율 (%)로 표현되며, 소수점 이하 2 자리까지 표현됩니다(예: 6.25%).

시험 보고서에는 다음이 포함되어야 합니다.

- a) 표준 번호: ISO 3909:1976; b) 샘플 설명: 브랜드, 배치, 품질; c) 시험 조건: 온도, 습도; d) 측정기 모델 및 교정 상태; e) 결과: 코발트 함량 및 편차; f) 시험 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일; g) 테스터: 서명.

11 정밀도와 편향

11.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자, 동일한 장비, 짧은 시간 내에 측정한 코발트 함량 편차는 <0.2%입니다.

재현성: 다양한 실험실과 작업자가 측정한 코발트 함량 편차는 <0.5%입니다.

11.2 편향

기기 오차: 전위차 적정기 ± 0.1 mV.

샘플 불균일성: 구성 편차 > 0.1% (m/m)로 인해 결과 변동이 0.3-0.5% 발생합니다.

간섭 요소: η 상이나 자유 탄소가 제거되지 않으면 편향이 1-2%에 달할 수 있습니다.

12 가지 영향 요인

샘플의

불완전한 분해 (예: 텅스텐 잔류물)로 인해 코발트 함량이 0.5-1%까지 과소평가될 수 있습니다.

12.2 철(>5%) 및 니켈(>2%) 과 같은 방해 원소는 적정을 방해할 수 있으므로 사전 분리가 필요합니다.

12.3 산 농도

산성도가 너무 높으면 (pH < 2) EDTA 적정 종말점이 0.1-0.3% 이동합니다.

12.4 환경 조건

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

고온(>40° C) 또는 습도(>70%)로 인해 용액이 증발하며 편차는 <0.2%입니다.

13 테스트 결과의 적용

13.1 품질관리는

코발트 함량이 YG6 목표 $6 \pm 0.2\%$ 와 같은 설계 요구 사항을 충족하는지 검증합니다.

13.2 공정 최적화

코발트 함량이 낮으면 성분이 부족함을 나타내고, 코발트 함량이 높으면 바인더 상이 과도함을 나타냅니다.

13.3 특성 예측

코발트 함량이 6-10%이면 높은 경도(HRA 90-92)에 해당하고, 10-15%이면 높은 인성(KIC 12-15 MPa·m^{1/2})에 해당합니다.

13.4 예제

광산용 드릴 비트 생산 시, 코발트 함량이 8.05%인 YG8은 HRA 90의 경도와 200시간 이상의 수명을 보장합니다.

14 개의 노트

14.1 기기는

오차 <±0.1%의 표준 코발트 용액을 사용하여 교정해야 합니다.

14.2 표본 균질성

표본에 균열, 기공이 없고 구성이 균일한지 확인합니다.

14.3 시험실 온도는 20~25° C로 조절하고, 습도는 60% 미만으로 유지합니다.

14.4 안전 보호

작업 중에는 산이 튀는 것을 방지하기 위해 보호 안경을 착용하세요.

15 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 코발트 함량 값

표 A.1 일반적인 초경합금 등급의 코발트 함량

상표	코발트 함량(% m/m)	경도(HRA)	인성(KIC, MPa·m ^{1/2})
YG6	6.0 ± 0.2	90-91	10-12
YG8	8.0 ± 0.2	89-90	12-14
YG10	10.0 ± 0.3	88-89	14-16

부록 B 오류 분석

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

B.1 기기 오차

전위차 적정기 ± 0.1 mV.

B.2 작동오차

적정종료판단의 편차는 0.1~0.2%이다.

B.3 환경 영향

습도가 70% 이상인 경우 결과에 0.2%의 편차가 발생합니다.

부록 C 개선 제안

C.1 분해 효율을 높이고 텅스텐 잔류물을 줄이기 위해 마이크로파 분해법을 사용합니다.

C.2 인적 오류를 줄이기 위해 자동 적정 시스템을 도입합니다. C.3 전위차법 대신 검출 한계가 0.0001 μ g/mL 미만인 ICP-MS를 사용합니다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 YG8 초경합금의 코발트 함량 시험 데이터

샘플 번호	질량(g)	코발트 함량(% m/m)	평균값(% m/m)	편차(%)
YG8-001	0.201	8.05, 8.10	8.08	0.37
YG8-002	0.203	8.00, 8.03	8.02	0.25
YG8-003	0.202	8.12, 8.09	8.11	0.37

부록 E 간섭 요소의 영향

표 E.1 코발트 함량 측정에 대한 다양한 간섭 요소의 영향

간섭 요소	콘텐츠(% m/m)	편차(% m/m)	제거 방법
철	5	0.5	탄산소금을 첨가하세요
니켈	2	0.3	사전 분리
텅스텐	10	1.0	전자레인지 소화

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 경도 표현 방법 및 변환 관계

초경합금 또는 초경합금은 높은 경도와 내마모성으로 인해 절삭 공구 및 금형과 같은 산업 분야에서 널리 사용됩니다. 경도는 핵심 성능 지표입니다. 초경합금의 경도 표현 방법은 주로 다양한 시험 표준과 단위를 포함하며, 일반적으로 비커스 경도(HV), 로크웰 경도(HRA, HRC), 누프 경도(HK) 등이 사용됩니다. 구체적인 선택은 시험 조건과 업계 관행에 따라 달라집니다. 본 논문에서는 초경합금의 경도 표현 방법, 시험 원리, 적용 시나리오 및 환산 관계를 자세히 소개하며, 정확성과 포괄성을 보장하기 위해 ISO, ASTM, GB/T 등의 데이터와 표준을 활용합니다.

초경합금의 경도 표현 방법

초경합금의 경도 시험은 일반적으로 높은 경도와 복합재료 특성(예: 텅스텐 카바이드 WC 및 코발트 Co 바인더 상)으로 인해 다음과 같은 방법으로 수행됩니다.

1. 비커스 경도(HV)

정의 : 다이아몬드 사각뿔 압입자(대각선 각도 136°)를 통해 재료 표면에 특정 하중(예: 10kgf, 30kgf)을 가하여 압입부의 대각선 길이를 측정하고 경도 값을 계산합니다.

공식 :

$$HV = \frac{1.8544 \cdot F}{d^2}$$

여기서 F는 하중(kgf)이고 d는 압입의 평균 대각선 길이(mm)입니다.

단위 : HV (예: HV10은 10kgf 하중을 의미합니다).

적용 가능한 시나리오 :

시멘트 카바이드에 대한 표준 시험으로, ISO 3878, GB/T 7997(시멘트 카바이드의 비커스 경도 시험)에서 널리 사용됩니다.

고경도 소재(탄화물 경도 범위 1400~2200 HV) 및 고정밀도에 적합합니다.

다양한 입자 크기(초미립자 $<0.5 \mu m$, 중간 입자 $12 \mu m$ 등)가 적용 가능합니다.

일반적인 값 :

YG6(코발트 6%) : ~15001600 HV30.

YG8(코발트 8%) : ~14001500 HV30.

초미립 시멘트 카바이드: ~18002200 HV30(ScienceDirect, 2020).

이점 :

광범위한 경도 범위(503000 HV)에 적용 가능합니다.

작은 압입으로 얇고 작은 샘플에 적합하며 정밀도가 높습니다.

단점 : 시험 시간이 길다(압입 측정에는 현미경이 필요함) 및 표면 마감에 대한 요구 사항이 높다.

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

2. 록웰 경도(HRA)

정의 : 다이아몬드 콘 압입자(정점각 120°, 팁 반경 0.2mm)를 사용하여 총 하중 60kgf(예압 10kgf, 주 하중 50kgf)를 가하고 압입 깊이 차이를 측정하여 경도를 계산합니다.

공식 :

$$HRA = 100 - \frac{h}{0.002}$$

여기서 h는 침투 깊이(mm)입니다.

단위 : HRA.

적용 가능한 시나리오 :

ISO 3738 및 GB/T 230.1에 따라 초경 공구 및 다이의 신속한 테스트.

산업 현장에서 일반적으로 사용되는 경도가 높은 시멘트 카바이드(HRA 8092)에 적합합니다.

일반적인 값 :

YG6: ~8990 HRA.

YG8: ~8889 HRA.

초미립 시멘트 카바이드: ~9092 HRA(Sandvik, 2023).

이점 :

테스트가 빠르고 관독이 직접적이어서 일괄 테스트에 적합합니다.

표면에 대한 요구 사항이 낮고 작동이 쉽습니다.

단점 :

비커스 경도보다 정확도가 낮으며 더 높은 경도 범위(HRA > 70)에만 적합합니다.

매우 얇거나 작은 샘플에는 적합하지 않습니다.

3. 록웰 경도(HRC, 2차용)

정의 : 총 하중이 150kgf인 다이아몬드 콘 압입자(HRA와 동일)를 사용하여 침투 깊이를 측정합니다.

적용 가능한 시나리오 :

더 부드러운 등급의 시멘트 카바이드(예: 코발트 함량이 15% 이상인 높은 등급)에 사용되거나 고속도강과 비교 시 사용됩니다.

시멘트 카바이드에서는 HRC 범위(2070)가 시멘트 카바이드의 높은 경도를 완전히 포괄하지 못하기 때문에 덜 사용됩니다(ScienceDirect, 2020).

일반적인 값 :

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

YG15(코발트 15%) : ~6567 HRC.

장점 : 공구강 및 다이강 경도와 비교했을 때 일반적으로 사용됩니다.

단점 : 하중이 크고, 압입이 크며, 시멘트 초경의 주류 시험에 적합하지 않음.

4. 누프 경도(HK)

정의 : 다이아몬드 마름모 압입자(장축-단축 비율 7:1, 각도 172.5° 및 130°)를 사용하여 가벼운 하중(예: 0.51 kgf)을 가하고 압입의 긴 대각선 길이를 측정합니다.

공식 :

$$HK = \frac{14.229 \cdot F}{d^2}$$

여기서 F는 하중(kgf)이고 d는 압입의 대각선 길이(mm)입니다.

단위 : 홍콩.

적용 가능한 시나리오 :

ASTM E384에 따라 시멘트 카바이드의 얇은 층, 코팅 또는 초미립자 구조를 테스트합니다.

작은 영역이나 표면 경도 분석(예: 카바이드 코팅)에 적합합니다.

일반적인 값 :

YG6: ~16001700 HK0.5.

초미립 시멘트 카바이드: ~20002300 HK0.5.

이점 :

얇은 압입으로 얇은 샘플이나 코팅에 적합합니다.

고해상도로 미소 경도 시험에 적합합니다.

단점 :

이 검사는 복잡하고 고정밀 현미경이 필요합니다.

하중이 낮아 표면 결함이 발생하기 쉽습니다.

5. 기타 표현 방법(덜 일반적으로 사용됨)

브리넬 경도(HB) : 3000kgf의 하중을 가진 카바이드 볼 압입자를 사용하는데, 낮은 경도의 카바이드에 적합합니다(압입이 너무 크기 때문에 드뭅니다).

쇼어 경도(HS) : 충격 경도 시험. 정확도가 낮아 초경합금에는 거의 사용되지 않음.

모스 경도 : 시멘트 카바이드는 약 8.59(코런덤에 가까움)인데, 이는 과학적 비교에만 사용되며 정확하지 않습니다.

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

데이터 지원 :

카바이드 경도 범위: 14002200 HV, 8092 HRA(ISO 3878, GB/T 7997).

일반적인 등급: YG8(14001500 HV, 8889 HRA), 초미립자(18002200 HV, 9092 HRA) (Sandvik, 2023).

경도 단위 변환 관계

초경합금의 경도 시험에는 다양한 단위(HV, HRA, HRC, HK)가 사용되며, 표준 환산표 또는 경험식에 따라 환산해야 합니다. 다음은 환산 관계 및 주의사항입니다.

1. 일반적인 변환표

다음은 ASTM E140(경도 변환표), GB/T 1172(경도 변환 사양) 및 업계 데이터를 기반으로 한 일반적인 초경합금 경도 값의 대략적인 변환입니다.

HV	인사부	HRC	홍콩	주목
1200	85.0	~60	~1250	저코발트 초경합금(YG15 등)
1400	87.0	~63	~1450	일반 초경합금(YG8 등)
1500	88.0	~65	~1550	일반 초경합금(YG6 등)
1600	89.0	~66	~1650	중간 미세 입자 시멘트 카바이드
1800	90.5	~68	~1850	초미립 초경합금
2000	91.5	~70	~2050	고경도 초경합금
2200	92.0	~72	~2250	극한 경도 카바이드

데이터 출처 :

ASTM E14012b(2023): 경도 변환표.

GB/T 11721999: 중국 경도 변환 표준.

업계 관행: Sandvik, Kennametal 초경 경도 데이터 (Sandvik, 2023).

2. 변환식(경험식)

정확한 변환을 위해서는 재료 특성을 고려해야 합니다. 초경합금은 복합 구조(WC+Co)로 인해 통일된 공식이 없습니다. 다음은 참고용으로 일반적으로 사용되는 실험식입니다.

HV 및 HRA :

$$HRA \approx 100 - \frac{4000}{HV}$$

예: HV=1500, $HRA \approx 100 - \frac{4000}{1500} \approx 87.3$.

HV 및 HRC (초경합금의 고경도 범위):

$$HRC \approx 0.035 \cdot HV + 12$$

예: HV=1500, $HRC \approx 0.035 \times 1500 + 12 \approx 64.5$.

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

HV 와 HK :

$$HK \approx HV \cdot (1.05 \sim 1.10)$$

예: HV=1500, $HK \approx 1500 \times 1.07 \approx 1605$.

알아채다 :

변환 공식은 대략적인 것이며, 시멘트 카바이드 입자 크기와 코발트 함량의 차이로 인해 $\pm 25\%$ 의 오차가 있습니다.

높은 경도 영역(HV > 1500)에서는 HRC 변환 오차가 크기 때문에 HRA 또는 HV 를 직접 측정하는 것이 좋습니다.

3. 변환 고려 사항

재료 차이

초경합금의 경도는 코발트 함량(5~15%)과 입자 크기($0.52 \mu m$)에 영향을 받습니다. 경도 변환은 특정 재종(예: YG6, YG8)을 참조해야 합니다.

테스트 조건 :

HV: 하중(1030 kgf)은 결과에 영향을 미치므로 표시해야 합니다(예: HV30).

HRA: 초경합금에 적합하며, HRC 는 낮은 경도 등급으로 제한됩니다.

HK: 낮은 하중(0.5 kgf), 마이크로 테스트에 적합합니다.

표준 참조 : 경험적 공식 오류를 피하기 위해 ASTM E140 또는 GB/T 1172 변환 표를 사용하세요.

실제 측정을 권장합니다 . 변환은 참조용일 뿐이며, 목표 경도 단위를 직접 테스트하는 것이 더 정확합니다.

데이터 지원 :

YG8: HV30 $\approx$ 1400, HRA $\approx$ 88, HRC $\approx$ 63(GB/T 7997).

초미립 시멘트 카바이드: HV30 $\approx$ 2000, HRA $\approx$ 91.5 (Sandvik, 2023).

초경합금 경도 시험의 적용

품질 관리 : 경도 테스트는 거친 가공을 위한 YG6(1500 HV, 89 HRA) 및 마무리를 위한 초미립자(2000 HV, 91 HRA)와 같은 시멘트 카바이드 등급의 성능을 검증합니다.

공정 최적화 : 경도는 소결 효과를 반영합니다. 큰 입자(>2 μm)는 경도를 감소시키고, η 상(Co₃W₃C)은 인성을 감소시킵니다(ISO 3326:2013).

도구 선택 :

높은 경도(HV 1800-2200): 단단한 재료(스테인리스강, 티타늄 합금)의 고속 절단에 적합합니다.

중간 경도(HV 1400-1600): 일반적인 가공에 적합(주철, 강철).

초경질 재료와 비교 :

시멘트 카바이드: 1400-2200 HV, 다이아몬드(8000-10000 HV) 및 CBN(4500 HV) 보다 낮음.

초경합금은 초경재료보다 인성이 뛰어나고 충격 하중에 적합합니다(Wikipedia, 2024).

결론적 으로

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

초경합금의 경도는 주로 다음과 같습니다.

비커스 경도(HV) : 14002200 HV, 정확도가 높고 표준 시험에 적합합니다(ISO 3878).

록웰 경도(HRA) : 8092 HRA, 빠르며 산업계에서 일반적으로 사용됩니다(GB/T 230.1).

록웰 경도(HRC) : 6570 HRC, 낮은 경도 등급에 한함.

누프 경도(HK) : 15002300 HK, 얇은 층과 미세 시험에 적합(ASTM E384).

변환 관계 :

HV 와 HRA: $HRA \approx 100 \ 4000/HV$.

HV 와 HRC: $HRC \approx 0.035 \times HV + 12$ (경도가 높으면 오차가 커짐).

HV 와 HK: $HK \approx HV \times 1.051.10$.

ASTM E140 및 GB/T 1172 변환표를 사용하는 것이 좋으며, 대상 단위를 직접 테스트하는 것이 더 좋습니다.

초경 경도 시험은 품질 관리 및 공구 선택의 핵심입니다. 재종(YG6, YG8), 입자 크기 및 가공 요건에 따라 적절한 방법을 선택해야 합니다. 정확도를 보장하기 위해 환산은 신중하게 수행해야 하며, 실제 측정값과 함께 사용해야 합니다.

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 :

초경합금의 다양한 특성에 대한 특성, 영향 요인, 시험 방법, 적용 사례 및 최적화 대책

성능	특징	영향 요인	시험 방법	적용 사례	최적화 측정
경도	높은 경도(1400~2200 HV, 8092 HRA), 뛰어난 내마모성, 초경합금(예: 다이아몬드 8000 HV) 다음으로 우수합니다. 일반적인 값: YG6(1500 HV30, 89 HRA), YG8(1400 HV30, 88 HRA), 초미립자(2000 HV30, 91 HRA) (Sandvik, 2023). 추세: 경도는 입자 크기가 감소함에 따라 기하급수적으로 증가합니다.	입자 크기: 초미립(<0.5 μm) 경도 1800~2200 HV, 중립(12 μm) 경도 1400~1600 HV. 코발트 함량: 코발트 6%는 경도가 높고, 코발트 15%는 경도가 10~15% 감소합니다. 불순물: η 상은 경도를 5~10% 감소시키고, 유리 탄소는 35% 감소시킵니다. 소결 온도: >1450° C, 조립, 경도 10% 감소.	비커스 경도(HV30, ISO 3878): 30kgf 하중, 다이아몬드 사각뿔 압입자, 압입 대각선 측정. 로크웰 경도(HRA, GB/T 230.1): 60kgf 하중, 다이아몬드 원뿔 압입자, 압입 깊이 측정. 오차: ±2% (ASTM E18).	YG6 광구(1500 HV)는 주철을 분당 150m의 속도로 가공하며 2 시간의 수명을 제공합니다. 초미립자 공구(2000 HV)는 스테인리스강을 분당 300m의 속도로 가공하며 3 시간의 수명을 제공합니다.	초미립 분말(<0.5 μm)을 사용하면 경도가 2000 HV로 증가하고 내마모성이 20% 향상됩니다. 코발트 함량을 68%로 조절하면 경도가 510% 증가합니다. 소결 온도는 1350~1400° C로, η 상(GB/T 3849)을 감소시킵니다. TaC(0.51%)를 첨가하면 결정립 성장을 억제하고 경도를 5% 증가시킵니다.
강인함	중간 인성, 초경합금보다 우수한 내충격성을 가지며, 고속 절삭에 적합합니다. 일반적인 값: YG6(KIC 8 MPa·m^{1/2}), YG8(10 MPa·m^{1/2}), YG15(12 MPa·m^{1/2}) (ScienceDirect, 2020). 추세: 인성은 코발트 함량에 따라 선형적으로 증가합니다.	코발트 함량: 6% Co KIC ~8 MPa·m^{1/2}, 15% Co KIC ~12 MPa·m^{1/2}. 입자 크기: 12 μm는 높은 인성을 가지며, 0.5 μm 미만은 인성이 20% 감소합니다. 결합: 기공률이 0.1%를 초과하면 인성이 15% 감소하고, η 상은 10% 감소합니다. 결합제상: 불균일한 코발트상은 내충격성을 10% 감소시킵니다.	파괴인성(KIC, ASTM E399): 단일 날 노치 빔 (SENB) 시험, 3 점 굽힘 시험, 균열 전진 측정. 충격인성(GB/T 229): 샤르피 충격 시험, 에너지 흡수율 계산. 오차: ±5%.	YG15 다이(KIC 12 MPa·m^{1/2})는 10만 회의 충격 수명을 가진 강판을 스팀핑합니다. YG8 공구(KIC 10 MPa·m^{1/2})는 YG6보다 내치핑성이 더 뛰어난 강판을 가공합니다.	코발트 함량을 15%(예: YG15)로 증가시키면 KIC가 12 MPa·m^{1/2}로 증가하고 내충격성이 30% 증가합니다. 중간 입자(12 μm)를 사용하면 인성이 15% 증가합니다. 진공 소결 + HIP(열간 인성 소결)를 통해 기공률이 0.01% 미만으로 감소하고 인성이 10% 증가합니다. Cr3C2(0.5%)를 첨가하면 코발트 상의 균일성이 향상되고 인성이 5% 증가합니다.
압축 강도	높은 압축 강도(46 GPa)로 고압 하중에 적합하며, 고속도강(~2 GPa)보다 우수합니다. 일반적인 값: YG6(5 GPa), YG8(4.8 GPa), 초미립자(6 GPa) (ASTM B406). 경향: 압축 강도는 입자 크기가 작아질수록 약간 증가합니다.	코발트 함량: 코발트 함량이 6% 이상이면 강도가 높고, 15% 이상이면 강도가 10% 감소합니다. 입자 크기: 초미립자(<0.5 μm)는 강도가 6GPa, 중립자(12 μm)는 강도가 4.8GPa입니다. 결합: 기공률이 0.1% 이상이면 강도가 15% 감소하고, 자유탄소는 5% 감소합니다. 소결 품질: 소결 불량(<1350° C)은 결합력이 약하고 강도가 10%	압축강도(GB/T 3851): 원통형 시험편, 일축 압축, 최대 하중 측정. 시험 조건: 실온, 하중 속도 0.5 mm/min. 오차: ±3%.	YG6 광산용 드릴 비트(5 GPa)는 고압 암석 충격을 견뎌내며 100 시간의 수명을 자랑합니다. 초미립자 다이(6 GPa)는 고하중 스팀핑에 사용되며 변형에 강합니다.	코발트 함량을 68%로 조절하고 강도를 56 GPa로 유지합니다. 초미립자(<0.5 μm)를 사용하여 강도를 6 GPa로 높입니다. HIP(열간압연)를 사용하여 기공률을 <0.01%로 줄이고 강도를 10% 높입니다. 탄소 함량(±0.1%)을 조절하여 유리탄소를 방지합니다(GB/T 3849).

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	특징	영향 요인	시험 방법	적용 사례	최적화 측정
		감소합니다.			
굽힘 강도	중간 굽힘 강도(1.5~2.5 GPa), 15% 코발트 ~2.5 GPa. 공구 및 금형에 적합합니다. YG6(2 GPa), YG8(2.2 GPa), YG15(2.5 GPa) (ASTM B406). 경향: 코발트 함량이 증가할수록 굽힘 강도가 증가합니다.	코발트 함량: 6% 코발트 ~2 GPa, 15% 코발트 ~2.5 GPa. 입자 크기: 12 μm 는 높은 강도를 가지며, 0.5 μm 미만은 강도가 5% 정도 약간 감소합니다. 결합: 기공과 η 상은 강도를 10% 감소시킵니다. 소결 품질: 불균일한 구조는 강도를 10% 감소시킵니다.	굽힘 강도 (ASTM B406): 3 점 굽힘 시험편, 스캔 20 mm, 하중 속도 0.5 mm/min. 시험 조건: 실온, 오차: ±4%.	YG8 공구(2.2 GPa)는 굽힘 및 파괴 저항성이 우수한 강철을 가공합니다. YG15 다이(2.5 GPa)는 자동차 부품을 스탬핑하며, 120,000 회의 수명을 보장합니다.	코발트 함량을 15%(예: YG15)로 증가시키면 강도가 2.5 GPa 로 증가합니다. 중간 입자 크기(12 μm)를 사용하면 강도가 10% 증가합니다. HIP(열간 성형)를 사용하여 기공률을 줄이면 강도가 15% 증가합니다. 결합층을 강화하기 위해 Cr3C2(0.51%)를 첨가하면 강도가 5% 증가합니다.
인장강도	인장 강도는 낮고(0.5~1.0 GPa), 초경합금은 인장 하중에 적합하지 않습니다. 일반적인 값: YG6(0.7 GPa), YG8(0.8 GPa), YG15(1.0 GPa) (ScienceDirect, 2020). 경향: 코발트 함량이 증가함에 따라 인장 강도가 약간 증가합니다.	코발트 함량: 6% 코발트 ~ 0.7 GPa, 15% 코발트 ~ 1.0 GPa. 입자 크기: 12 μm 에서 강도가 더 높고, 0.5 μm 미만에서는 5% 정도 감소합니다. 결합: 균열 및 기공으로 인해 강도가 20% 감소합니다. 결합재 상: 코발트 상이 불균일하면 강도가 10% 감소합니다.	인장강도 (GB/T 228.1): 인장 시험편, 축방향 인장력, 파단 하중 측정. 시험 조건: 실온, 인장 속도 1 mm/min. 오차: ±5%.	YG15 와이어 드로잉 다이(1.0 GPa)는 인장 응력을 견뎌내며 50,000 회의 수명을 제공합니다. YG8 공구(0.8 GPa)는 가공 중 YG6 보다 인장 파괴 저항성이 더 뛰어납니다.	코발트 함량을 15%로 증가시키면 강도가 1.0 GPa 로 증가합니다. 중간 입자(12 μm)를 사용하면 강도가 10% 증가합니다. 진공 소결을 최적화하면 균열률이 0.1% 미만으로 감소하고 강도가 15% 증가합니다. Ni(35%) 또는 Cr3C2 를 첨가하면 인성이 향상되고 강도가 5% 증가합니다.
내마모성	우수한 내마모성으로 고속도강보다 510 배 긴 공구 수명을 제공하여 고속 절삭에 적합합니다. 일반적인 값: YG6(마모율 <0.01 mm³/N·m), 초미립자(<0.005 mm³/N·m) (Sandvik, 2023). 경향: 경도 지수가 증가함에 따라 내마모성이 증가합니다.	경도: 2000 HV 내마모성은 1400 HV 보다 우수합니다(수명 2 배 증가). 입자 크기: 초미립자(<0.5 μm). 마모율은 절반으로 감소합니다. 작동 조건: 800° C 이상 또는 속도 500 m/min 이상 마모율이 증가합니다. 코팅: 코팅이 없을 경우 마모율이 3 배 더 높습니다.	마모 시험 (ASTM G65): 연삭 휠로 시험편을 마모시키고 부피 손실을 측정합니다. 시험 조건: 건삭, 하중 130N. 오차: ±5%.	YG6 공구(0.01 mm³/N·m)는 주철 가공 시 2 시간의 수명을 제공합니다. 초미립자 + TiN 코팅 공구(0.005 mm³/N·m)는 스테인리스강 가공 시 4 시간의 수명을 제공합니다.	초미립자(HV 2000+)를 사용하면 마모율이 <0.005 mm³/N·m 로 감소합니다. TiN/Al2O3 코팅(510 μm, CVD/PVD)을 적용하면 수명이 23 배 증가합니다. 절삭 속도(100~300 m/min)를 최적화하면 마모가 감소합니다. TaC(0.51%)를 첨가하면 내마모성이 10% 향상됩니다.
내열성	우수한 내열성(800~1000° C)으로 고속도강(500~600° C)보다	코발트 함량: >15% 코발트는 고온에서 연화되며, 적색 경도는 20% 감소합니다.	적색 경도 시험 (GB/T 4340): 시료를 800~1000° C 로 가열하고	YG6 공구(900° C)는 강철 가공에 사용되며 고온 마모에	코발트 함량을 낮추면(<8%) 적색 경도가 10% 증가합니다.

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	특징	영향 요인	시험 방법	적용 사례	최적화 측정
	우수하며 고온 절삭에 적합합니다. 일반적인 YG6 (900° C), 기반 (1000° C) (ScienceDirect, 2020). 추세: 내열성은 TiC 함량에 따라 증가합니다.	경질상: TiC 와 TaC 는 WC 보다 내열성이 우수합니다 (100° C TiC 증가). 코팅: 코팅하지 않으면 내열성이 30% 감소합니다. 미세조직: 불균일한 조직은 고온 안정성이 낮습니다.	경도 유지율을 열충격 시험: 가열과 냉각을 반복하며 균열을 평가합니다. 오차: ±5%.	강합니다. TiC 기반 + A1203 코팅 공구 (1000° C) 는 티타늄 합금 가공에 사용되며 수명은 3 시간입니다.	TiC/TaC (510%) 를 첨가하면 1000° C 까지의 내열성이 향상됩니다. A1203 코팅 (58 μm) 을 적용하면 단열성이 20% 향상됩니다. 구배 구조 (표면 코발트 <5%) 를 사용하면 고온 성능이 15% 향상됩니다.
	내식성	우수한 내식성, 내산성 및 내알칼리성을 지녀 습식 가공이나 화학 환경에 적합합니다. 일반적인 YG6 (부식률 <0.01mm/년, 중성 용액), 니켈 기반 (<0.005mm/년) (Wikipedia, 2024). 추세: 니켈 함량이 증가할수록 내식성이 증가합니다.	부식 시험 (ASTM G31): 중성/산성 용액 (pH 47) 에 담그고 질량 손실을 측정합니다. 시험 조건: 25° C, 30 일. 오차: ±3%.	YG6 공구 (0.01mm/년) 습식 절삭유, 수명 1000 시간. 니켈 기반 코팅 (510 μm) 을 적용하면 내식성이 2 배 향상됩니다. HIP (열간 인장) 를 최적화하여 기공률을 0.01% 미만으로 낮추고 부식 지점을 15% 감소시킵니다. 탄소 함량을 조절하고 유리 탄소를 방지합니다 (GB/T 3849).	니켈 기반 바인더 (Ni 510%) 를 사용하면 부식 속도가 연간 0.005mm 미만으로 감소합니다. TiN/CrN 코팅 (510 μm) 을 적용하면 내식성이 2 배 향상됩니다. HIP (열간 인장) 를 최적화하여 기공률을 0.01% 미만으로 낮추고 부식 지점을 15% 감소시킵니다. 탄소 함량을 조절하고 유리 탄소를 방지합니다 (GB/T 3849).

추가 참고 사항

1. 데이터 지원

경도: YG6 (1500 HV30, 89 HRA), 초미립자 (2000 HV30, 91 HRA) (ISO 3878, GB/T 7997).
인성: YG6 (8 MPa • m^{1/2}), YG15 (12 MPa • m^{1/2}) (ScienceDirect, 2020).
강도: 압축 46 GPa, 굽힘 1.52.5 GPa (ASTM B406), 인장 0.51.0 GPa (ScienceDirect, 2020).
내마모성: 코팅된 공구 수명이 23 배 증가합니다 (Sandvik, 2023).
내열성: TiC 기반 내열성 1000° C (ScienceDirect, 2020).
부식 저항성: 니켈 기반 부식 속도 <0.005 mm/년 (Wikipedia, 2024).

2. 영향 요인의 상호작용

입자 및 코발트: 초미세 입자 (<0.5 μm) 는 경도와 압축 강도를 향상시키고, 높은 코발트 (1015%) 는 인성과 굽힘/인장 강도를 강화합니다.
소결 공정: 진공 소결 (1350~1400° C) + HIP 로 기공률이 감소 (<0.01%) 하고 모든 특성이 개선됩니다 (ISO 3326:2013).
첨가제: TaC (0.51%) 는 경도와 내마모성을 향상시키고, Cr3C2 (0.5%) 는 인성과 굽힘 강도를 증가시키고, TiC (510%) 는 내열성을 향상시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

코팅 : TiN/Al2O3 (510 μm)은 내마모성과 내열성을 향상시키고, CrN 은 내식성을 강화합니다.

3. 표준 참조

경도: ISO 3878(HV), GB/T 230.1(HRA), ASTM E18.

인성: ASTM E399(KIC), GB/T 229(충격).

강도: GB/T 3851(압축), ASTM B406(굽힘), GB/T 228.1(인장).

내마모성: ASTM G65.

내열성: GB/T 4340.

내식성: ASTM G31.

코발트 자석: GB/T 3849, 코발트 함량과 탄소 균형을 검증합니다.

결론적 으로

시멘트 카바이드의 특성(경도, 인성, 압축/굽힘/인장 강도, 내마모성, 내열성, 내부식성)은 입자 크기, 코발트 함량, 첨가제, 소결 공정 및 코팅에 따라 결정됩니다.

경도: 초미립자 + 저코발트(6%) 최대 2000HV, 내마모성이 20% 증가했습니다.

인성: 고코발트(15%) + 중간 입자, KIC 최대 $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 충격 저항성 30% 증가.

압축강도 : 초미립자 + HIP 가 6 GPa 에 도달하여 10% 증가.

굽힘 강도: 고코발트+HIP 는 2.5 GPa 에 도달하여 25% 증가했습니다.

인장강도 : 고코발트+Ni 는 1.0 GPa 로 30% 증가.

내마모성 : 초미립자 + TiN 코팅, 마모율 $<0.005 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, 수명 23 배 증가.

내열성 : TiC / TaC + 저코발트, 내열성 1000°C , 20% 증가.

내식성 : 니켈기반 + CrN 코팅, 부식속도 $<0.005 \text{ mm}/\text{년}$, 2 배 증가.

입자 크기, 코발트 함량, 소결 매개변수 및 코팅을 정밀하게 제어하고 표준 테스트(GB/T 3849 등)를 결합하면 시멘트 카바이드의 성능을 최적화하여 도구, 금형, 광산 등의 적용 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

부록 :

초경합금의 경도와 강도의 관계

초경합금 또는 초경합금은 높은 경도와 적절한 강도 덕분에 절삭 공구, 금형 및 기타 분야에서 널리 사용됩니다. 경도와 강도는 초경합금의 두 가지 주요 특성이지만, 두 특성 사이에는 미세 구조(예: 입자 크기, 코발트 함량), 조성 및 제조 공정의 영향을 받는 복잡한 상호작용이 존재합니다. 본 논문에서는 초경합금의 경도와 강도의 관계를 정의, 영향 요인, 관계 추세, 정량적 데이터, 시험 방법 및 실제 적용 분야를 포함하여 자세히 분석하고, ISO, ASTM, GB/T 등의 표준 및 업계 데이터를 활용하여 정확하고 포괄적인 내용을 제공합니다.

1. 경도와 강도의 정의

초경합금 경도의 정의

초경합금의 경도는 국부적인 소성 변형이나 굽힘에 저항하는 능력을 나타내며, 일반적으로 내마모성과 내마모성을 반영합니다.

측정 방법:

비커스 경도(HV): ISO 3878, 30 kgf 하중, 다이아몬드 사각뿔 압입자, 압입 대각선 측정(단위: HV30).

록웰 경도(HRA): GB/T 230.1, 60 kgf 하중, 다이아몬드 콘 압입자, 압입 깊이 측정(단위: HRA).

일반적인 값: YG6(1500 HV30, 89 HRA), YG8(1400 HV30, 88 HRA), 초미립자(2000 HV30, 91 HRA) (Sandvik, 2023).

초경합금 강도의 정의

초경합금의 강도는 압축 강도, 굽힘 강도, 인장 강도를 포함하여 외부 힘으로 인한 손상에 저항하는 능력을 말합니다.

측정 방법:

압축강도: GB/T 3851, 원통형 시편의 단축압축, 최대하중 측정(단위: GPa).

굽힘강도: ASTM B406, 3 점 굽힘 시험편, 파단하중 측정(단위: GPa).

인장강도: GB/T 228.1, 축인장시험편, 파단하중 측정(단위: GPa).

일반적인 값:

압축강도: YG6(5 GPa), YG8(4.8 GPa), 초미립자(6 GPa) (ASTM B406).

굽힘강도: YG6(2 GPa), YG8(2.2 GPa), YG15(2.5 GPa) (ASTM B406).

인장강도: YG6(0.7 GPa), YG8(0.8 GPa), YG15(1.0 GPa) (ScienceDirect, 2020).

2. 경도와 강도의 관계

시멘트 카바이드의 경도와 강도는 단순한 선형 관계가 아니라 복잡한 상충 관계이며, 이는 주로 다음에서 나타납니다.

경도와 압축 강도: 일반적으로 양의 상관관계가 있습니다. 경도가 높은 초경합금(예:

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

초미립자)은 경질상(WC)의 비율이 높고 입자가 미세하기 때문에 압축 강도도 높습니다.

경도와 굽힘/인장 강도: 이 두 가지는 종종 음의 상관관계를 갖거나 약한 상관관계를 갖습니다. 높은 경도(예: 코발트 함량이 낮거나 초미립자)는 일반적으로 인성 감소를 동반하여 굽힘 강도와 인장 강도가 감소합니다.

주요 영향 요인: 입자 크기, 코발트 함량, 미세 구조(기공, η 상)는 경도와 강도 간의 균형을 공동으로 조절합니다.

관계 추세 정량화

경도 증가(예: 1400 HV 에서 2000 HV 로):

압축 강도: 1020% 증가(예: 4.8 GPa 에서 6 GPa 로).

굽힘 강도: 515% 감소할 수 있습니다(예: 2.2 GPa 에서 1.8 GPa 로).

인장강도: 1020% 감소(예: 0.8 GPa 에서 0.6 GPa 로).

이유: 경도가 높은 초경합금(초미립자 $<0.5\mu\text{m}$, 코발트 6% 미만)은 경질상의 비중이 높고, 입자간의 결합이 강하며, 압축 저항성이 향상됩니다. 그러나 코발트 함량이 낮고 입자가 미세하면 인성이 떨어지고 굽힘/인장 저항성이 약해집니다.

초경합금의 경도와 강도의 관계에 대한 데이터 지원

상표	경도 (HV30)	압축강도 (GPa)	굽힘 강도 (GPa)	인장강도 (GPa)
YG6	1500	5.0	2.0	0.7
YG8	1400	4.8	2.2	0.8
YG15	1300	4.5	2.5	1.0
초미립자	2000	6.0	1.8	0.6

출처: Sandvik(2023), ScienceDirect(2020), ASTM B406.

3. 경도와 강도의 관계에 영향을 미치는 주요 요인

입자 크기

영향:

초미립자($<0.5\mu\text{m}$): 경도가 높고(1800~2200 HV), 압축 강도가 높지만(6 GPa), 인성이 낮아 굽힘/인장 강도가 낮습니다(1.8 GPa/0.6 GPa).

중간 결정($12\mu\text{m}$): 중간 경도(1400~1600 HV), 높은 굽힘/인장 강도(2.2~2.5 GPa/0.8~1.0 GPa) 및 우수한 인성을 가짐.

추세: 입자 크기가 감소하고, 경도와 압축 강도가 증가하고, 굽힘/인장 강도가 감소합니다.

정량화: 입자 크기가 $2\mu\text{m}$ 에서 $0.5\mu\text{m}$ 로 줄어들고, 경도는 2030% 증가하고, 압축 강도는 10% 증가하고, 굽힘 강도는 10% 감소합니다.

코발트 함량

영향:

낮은 코발트 함량(6%): 경도가 높고(1500~2000 HV), 압축 강도가 높지만(5~6 GPa), 코발트 상의 양이 적고 인성이 좋지 않아 굽힘/인장 강도가 낮습니다(2 GPa/0.7 GPa).

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

높은 코발트 함량(15%): 경도가 낮음(1300 HV), 굽힘/인장 강도가 높음(2.5 GPa /1.0 GPa), 코발트 상이 인성을 향상시킴.

추세: 코발트 함량이 증가함에 따라 경도와 압축 강도는 감소하는 반면, 굽힘/인장 강도는 증가합니다.

정량화: 코발트가 6%에서 15%로 증가하면 경도는 10% 감소하고, 압축 강도는 10% 감소하며, 굽힘 강도는 20% 증가합니다.

미세구조

다공성: 다공성이 0.1% 이상이면 압축 강도가 15% 감소하고 굽힘/인장 강도가 20% 감소하며 경도에는 약간의 영향(<5%)이 있습니다.

η 상($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$): 탄소가 부족하여 형성되어 경도가 510% 감소하고, 압축강도가 10% 감소하고, 굽힘/인장강도가 15% 감소합니다.

자유 탄소: 탄소가 과도하게 침전되면 경도가 35% 감소하고, 압축 강도가 5% 감소하고, 굽힘/인장 강도가 10% 감소합니다.

정량화: 기공 제거(열간 등방성 압축 HIP), 굽힘 강도가 15% 증가하고, 인장 강도가 20% 증가했습니다.

소결 공정

영향:

고온 과연소(>1450° C): 입자가 거칠어지고 경도가 10% 감소하고, 압축 강도가 5% 감소하고, 굽힘/인장 강도가 10% 감소합니다.

소성 불량(<1350° C): 접합 불량, 경도 5% 감소, 압축/굽힘/인장 강도 1015% 감소.

HIP: 다공성을 제거하고, 압축 강도를 10% 증가시키고, 굽힘/인장 강도를 15% 증가시킵니다.

추세: 소결 온도(1350~1400° C)를 최적화하고 HIP를 적용하면 경도에 미치는 영향을 줄이면서 강도가 향상됩니다.

첨가물

TaC, TiC: 경도를 5~10% 증가시키고, 압축 강도를 5% 증가시키지만, 인장 강도/굽힘 강도를 5% 감소시킵니다(인성 감소로 인해).

Cr_3C_2 : 코발트의 접합 강도를 높이고, 굽힘/인장 강도를 510% 증가시키며, 경도에는 거의 영향을 미치지 않습니다.

정량화: 0.5% TaC를 첨가하면 경도는 5%, 압축 강도는 5%, 굽힘 강도는 3% 증가합니다.

데이터 지원: ISO 3326:2013(코발트 자기 시험, η 상 검출), ASTM B406(굽힘 강도), ScienceDirect(2020).

4. 시험방법 및 기준

경도 시험:

비커스 경도(HV30): ISO 3878, 30 kgf 하중, 오차 $\pm 2\%$. 초경합금의 전체 경도 범위(1400~2200 HV)에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

로크웰 경도(HRA): GB/T 230.1, 60 kgf 하중, 오차 $\pm 1\%$. 신속 시험에 적합(8092 HRA).

강도 테스트:

압축강도: GB/T 3851, 원통형 시험편(직경 5mm), 오차 $\pm 3\%$. 고압 하중 지지력 측정.
굽힘 강도: ASTM B406, 3 점 굽힘(시험편 $5 \times 5 \times 25$ mm), 오차 $\pm 4\%$. 굽힘 파괴에 대한 저항성을 평가한다.

인장강도: GB/T 228.1, 인장 시험편(직경 5mm), 오차 $\pm 5\%$. 인장 파단 강도를 측정합니다.

미세구조 분석: ISO 4499, 금속현미경을 사용하여 결정립 크기, 기공, η 상을 감지하고 경도와 강도 평가를 지원합니다.

5. 경도와 강도 관계의 실제 적용

칼

높은 경도, 낮은 강도: 초미립 시멘트 카바이드(2000 HV, 1.8 GPa 굽힘 강도)는 스테인리스 강의 고속 절삭(속도 300m/min)에 사용되며, 내마모성이 강하지만 깨지기 쉽습니다.

중경도, 고강도: YG8(1400 HV, 2.2 GPa 굽힘 강도)은 강철 가공에 사용되며, 굽힘 저항성이 강하고, 중속 절삭(150m/min)에 적합하며, 수명이 23 시간입니다.

사례: 초미립자 절삭 공구는 경도가 높아 50HRC 경도의 강을 가공할 수 있어 수명이 20% 향상됩니다. 그러나 굽힘 강도가 낮아 절삭 각도를 최적화해야 합니다.

곰팡이

높은 경도 및 높은 압축 강도: 초미립자 금형(2000 HV, 6 GPa 압축 강도)은 고하중 스탬핑에 사용되며 변형에 강하지만 인장 강도(0.6 GPa)가 낮고 금형을 늘리는 데 적합하지 않습니다.

고강도, 중경도: YG15(1300 HV, 2.5 GPa 굽힘 강도)는 자동차 부품 스탬핑에 사용되며 충격 파괴에 강하고 수명이 120,000 회입니다.

사례: YG15 금형은 굽힘 강도가 높고, 스탬핑 강판에 균열이 없으며, 경도가 적당하고, 내마모성이 요구 사항을 충족합니다.

광산 도구

균형 잡힌 경도와 강도: YG6(1500 HV, 5 GPa 압축 강도, 2 GPa 굽힘 강도)는 고압 암석 충격을 견뎌내는 드릴 비트에 사용되며 수명은 100 시간입니다.

사례: 초미립 드릴 비트의 경도는 2000HV로 향상되었고, 압축 강도는 6GPa였지만 굽힘 강도는 1.8GPa로 떨어졌으며, 굽힘 응력을 낮추기 위한 최적화가 필요했습니다.

6. 경도와 강도의 관계 최적화를 위한 대책

입자 크기 최적화:

초미립자($< 0.5 \mu m$): 경도가 2000 HV로 증가하고, 압축 강도가 6 GPa로 증가하여 내마모성이 높은 공구에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

중간 결정($12\ \mu\text{m}$): 굽힘/인장 강도가 $2.5\ \text{GPa}$ / $1.0\ \text{GPa}$ 로 증가하여 금형에 적합합니다.

구현: 고순도 WC 분말을 선택하고 불 밀링 시간($20\sim 30$ 시간)을 조절합니다.

코발트 함량 규제:

저코발트(6%): 경도 $1500\sim 2000\ \text{HV}$, 압축강도 $56\ \text{GPa}$, 고속절삭에 적합.

고코발트(15%): 굽힘/인장 강도 $2.5\ \text{GPa}$ / $1.0\ \text{GPa}$, 스탬핑 다이에 적합.

구현: 코발트 분말을 정확하게 혼합($\pm 0.1\%$)하고 코발트 자기 시험(GB/T 3849)을 통해 확인합니다.

소결 공정 개선:

진공소결($1350\sim 1400^\circ\text{C}$): 입자성장을 제어하고 경도를 5% 증가시킵니다.

열간 등방압 성형(HIP, 1350°C , $100\ \text{MPa}$): 기공률이 $< 0.01\%$ 로 감소하고, 굽힘/인장 강도가 15% 증가했습니다.

구현: HIP 장비를 사용하여 소결 시간을 12 시간으로 설정했습니다.

첨가적 최적화:

TaC(0.51%): 경도가 5% 증가하고, 압축강도가 5% 증가하여 내마모성 공구에 적합합니다.

Cr3C2(0.5%): 굽힘/인장 강도가 510% 증가하여 금형에 적합합니다.

구현: 첨가제는 균일하게 분산되고 입자 크기는 $< 1\ \mu\text{m}$ 로 제어됩니다.

코팅 기술:

TiN/Al2O3 코팅($510\ \mu\text{m}$, CVD/PVD): 경도가 10% 증가하고, 내마모성이 23 배 증가하였으며, 강도는 약간 영향을 받았습니다.

구현: 코팅 두께를 조절하여($\pm 1\ \mu\text{m}$) 벗겨짐을 방지합니다.

효과:

초미립자 + 저코발트 + HIP: 경도 $2000\ \text{HV}$, 압축 강도 $6\ \text{GPa}$, 공구 수명이 20% 증가했습니다.

중결정+고코발트+Cr3C2: 굽힘강도 $2.5\ \text{GPa}$, 인장강도 $1.0\ \text{GPa}$, 금형수명 30% 증가.

결론적 으로

시멘트 카바이드의 경도와 강도 사이의 관계는 복잡합니다.

양의 상관관계: 경도와 압축 강도는 일반적으로 양의 상관관계를 가지며, 초미립자 저코발트 시멘트 카바이드는 높은 경도($2000\ \text{HV}$)와 압축 강도($6\ \text{GPa}$)를 갖습니다.

음의 상관관계: 경도는 굽힘/인장 강도와 음의 상관관계를 가지며, 높은 경도($2000\ \text{HV}$)는 굽힘/인장 강도($1.8\ \text{GPa}$ / $0.6\ \text{GPa}$)의 감소를 동반합니다.

주요 요인: 입자 크기($0.52\ \mu\text{m}$), 코발트 함량(615%), 미세 구조 및 소결 공정이 균형을 결정합니다.

최적화 전략: 초미립자, 코발트 함량 제어, HIP, 첨가제 및 코팅을 통해 높은 경도(2000HV)와 높은 강도(굽힘 저항 2.5GPa) 간의 최적의 균형을 찾아 절삭 공구, 금형 및 광산 도구의 요구 사항을 충족합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

데이터 지원:

경도: 15002000 HV (ISO 3878, GB/T 7997).

강도: 압축 46 GPa, 굽힘 1.52.5 GPa, 인장 0.51.0 GPa (ASTM B406, ScienceDirect, 2020).

표준: ISO 3326:2013, GB/T 3849 (코발트 자기 시험), ISO 4499 (미세 구조).

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

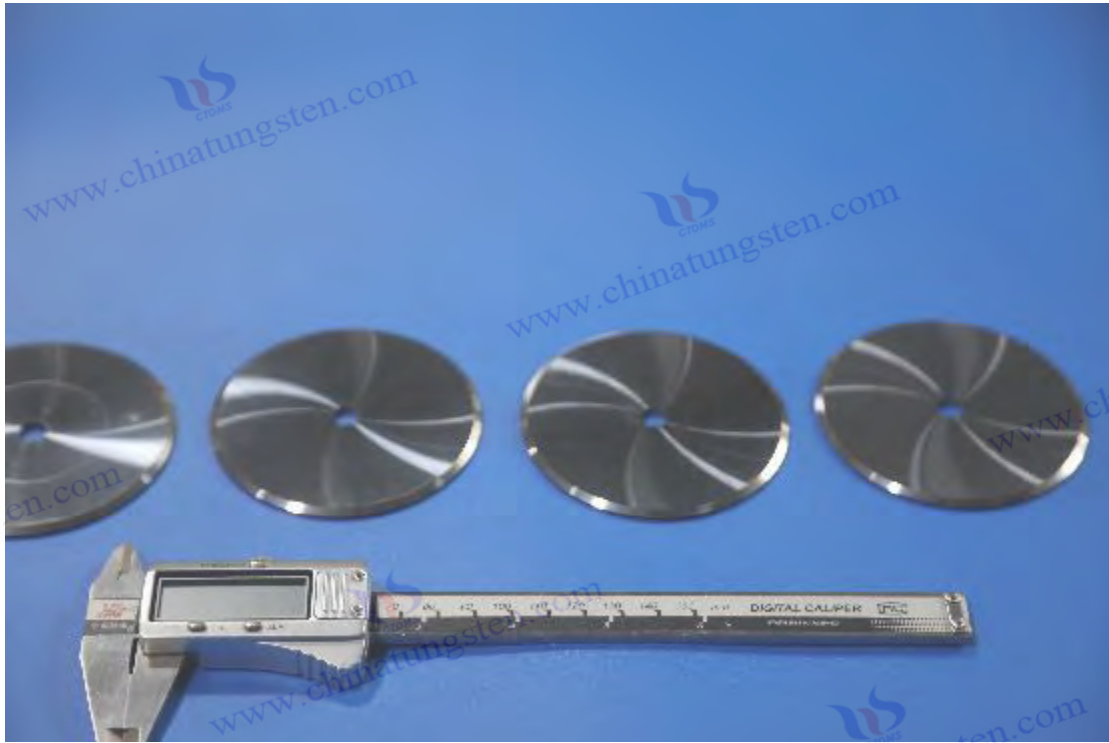
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 :

시멘트 카바이드의 다양한 특성은 어떻게 테스트됩니까?
어떤 성능 테스트에 테스트 막대를 사용해야 합니까?

초경합금 또는 초경합금은 높은 경도(1400~2200 HV), 내마모성, 굽힘 강도(1.5~2.5 GPa)를 갖춰 절삭 공구, 금형, 광산 공구에 널리 사용됩니다. 산업적 요구 사항을 충족하는 성능을 보장하기 위해서는 경도, 밀도, 굽힘 강도, 인성, 내마모성, 내부식성, 미세 조직, 화학 조성 등 다양한 시험이 필요합니다. 이러한 시험은 일반적으로 국제 또는 국가 표준(예: GB/T 3849, ISO 4499, ASTM B406)을 따르며, 일부 시험에서는 결과의 일관성과 비교성을 보장하기 위해 표준 시험 막대(test bar)를 사용해야 합니다. 이 글에서는 시멘트 카바이드의 다양한 특성을 시험하는 방법, 필요한 장비, 시험 막대의 필요성, 시험 막대에 대한 구체적인 요구 사항을 최신 연구(예: Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2020; Wikipedia, 2024)와 결합하여 자세히 설명합니다. 모두 중국어로 작성하여 내용이 정확하고 포괄적이며 흥미진진하도록 했습니다.

1. 개요

초경합금 성능 시험의 목적은 재료가 특정 적용 조건(예: 공구 절삭 수명 2 시간 이상, 다이 스트로크 10 만 회 이상)을 충족하는지 확인하기 위해 기계적, 물리적, 화학적 특성을 정량화하는 것입니다. 시험 항목은 다음과 같습니다.

기계적 성질 : 경도, 굽힘 강도, 파괴 인성.

물리적 특성 : 밀도, 자기적 특성.

화학적 특성 : 내식성, 화학적 구성.

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

미세구조 : 입자 크기, 결함(η 상, 유리 탄소 등)

사용 성능 : 내마모성, 코팅 접착력.

굽힘 강도 및 파괴 인성과 같은 일부 시험에서는 표준 시험 막대를 사용해야 합니다. 이는 막대의 기하학적 치수와 표면 조건이 시험 정확도에 직접적인 영향을 미치기 때문입니다. 시험 막대는 다양한 간섭을 배제하기 위해 엄격한 크기, 표면 거칠기 및 준비 요건을 충족해야 합니다. 아래에서는 시험 방법, 필요한 시험 막대, 그리고 시험 막대 요건을 하나씩 자세히 설명합니다.

2. 초경합금 성능 시험 방법

다음은 시멘트 카바이드의 일반적인 성능 시험에 대한 자세한 방법, 장비, 표준 및 시험봉이 필요한지 여부입니다.

2.1 경도 시험

정의 : 시멘트 카바이드의 압입 저항성을 측정하는 단위로, 일반적으로 비커스 경도(HV)로 표현되며, 범위는 1400~2200 HV입니다.

시험방법 :

비커스 경도(HV) :

비커스 경도계를 사용하여 1030 kgf(예: HV30)의 하중을 가합니다.

압입자는 꼭짓각이 136° 인 다이아몬드 사각형 피라미드입니다.

압입 후 대각선 길이(μm)를 측정하여 경도값(GB/T 7997)으로 환산한다.

단계 :

산화물 층을 제거하기 위해 샘플 표면을 연마했습니다($R_a < 0.2 \mu\text{m}$).

1030 kgf의 하중을 가하고 1015 초간 유지합니다.

압입 대각선은 현미경으로 측정되었고 HV가 계산되었습니다(오차 $< \pm 50$ HV).

장비 : 비커스 경도 시험기(예: Wilson VH3100), 정확도 $\pm 0.5\%$.

테스트 막대가 필요한가요? 아니요.

경도 시험은 완제품(도구, 금형 등)이나 작은 크기 요건($> 5 \times 5 \text{mm}$)이 있는 연마된 샘플에 대해 수행할 수 있습니다.

예시 결과 :

YG6: HV30 ~1500 HV.

초미립 시멘트 카바이드: HV30 ~2000 HV(Sandvik, 2023).

표준 : GB/T 7997(비커스 경도), ISO 6507, ASTM E92.

2.2 밀도 시험

정의 : 시멘트 카바이드의 질량 대 부피 비율을 측정하며, 다공성과 구성 균일성을 반영하며, 범위는 $14.0 \sim 15.0 \text{g/cm}^3$ 입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

시험방법 :

아르키메데스 방법 :

고정밀 전자저울(정확도 $\pm 0.001\text{g}$)과 탈이온수를 사용하세요.

샘플의 건조 중량(m_1)과 물 속 중량(m_2)을 측정하고 밀도 $\rho = m_1 / (m_1 - m_2) \times \rho_{\text{water}}$ 를 계산합니다.

단계 :

샘플을 세척(에탄올)하고 건조(80°C , 30 분)했습니다.

건조중량과 수중중량을 3 회 측정하여 평균값을 취하였다.

수은 효과에 따라 보정됨 (20°C 에서 $\rho_{\text{water}} \sim 1.0\text{ g/cm}^3$).

장비 : 정밀 저울(Mettler Toledo XS205 등), 밀도 시험 액세서리.

테스트 막대가 필요한가요? 아니요.

밀도 시험에는 시료 형태에 대한 요구 사항이 없습니다. 블록, 시트 또는 완제품(질량 $> 1\text{g}$) 모두 허용됩니다.

예시 결과 :

YG6(6% Co): 14.9 g/cm^3 .

YG15(15% Co): 14.0 g/cm^3 (ScienceDirect, 2020).

표준 : GB/T 3850(밀도), ISO 3369, ASTM B311.

2.3 굽힘강도(휨파단강도, TRS)

정의 : 시멘트 카바이드의 굽힘 저항성을 측정하며, 범위는 $1.5\sim 2.5\text{ GPa}$ 이며, 인성과 결함을 반영합니다.

시험방법 :

3 점 굽힘 시험 :

만능 시험기를 사용하여 샘플이 파손될 때까지 하중을 가합니다.

공식: $\sigma = 3FL / (2bh^2)$, F는 파단 하중(N), L은 지지 거리(mm), b와 h는 시험 막대의 너비와 높이(mm)입니다.

단계 :

표준 시험 막대를 준비하고(아래 참조) 표면을 광택 처리합니다($R_a < 0.4\text{ }\mu\text{m}$).

지지 거리는 30mm 이고, 하중 속도는 0.51mm/min 입니다.

파단하중을 기록하고 휨강도를 계산합니다(오차 $< \pm 5\%$).

장비 : 만능 시험기(Instron 5982 등), 정확도 $\pm 0.1\text{ kN}$.

테스트 스틱이 필요합니까? 네 .

굽힘 강도 시험에는 기하학적 일관성을 보장하고 응력 집중을 제거하기 위해 표준 시험 막대가 필요합니다.

예시 결과 :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YG6: ~2.0 GPa.

YG15: ~2.5 GPa (Sandvik, 2023).

표준 : GB/T 3851(굽힘 강도), ISO 3327, ASTM B406.

2.4 파괴인성 (KIC)

정의 : $812 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 범위에서 균열 성장에 대한 시멘트 카바이드의 저항성을 측정하는 기준입니다.

시험방법 :

단일 모서리 노치 빔 방법 (SENB) :

시험 막대에 노치(깊이 0.2-0.3mm)를 미리 제작하고 3 점 굽힘 하중을 가했습니다.

공식: $KIC = (F \sqrt{a}) / (BW^{3/2}) \times Y$, F는 파괴 하중, a는 노치 깊이, B와 W는 시험 막대의 너비와 높이, Y는 기하학적 인자입니다.

단계 :

EDM이나 레이저로 절단한 노치가 있는 표준 테스트 막대를 준비합니다.

지지 거리는 30mm이고, 하중 속도는 0.10.5mm/min입니다.

파괴하중과 노치깊이를 측정하여 KIC를 계산하였다(오차 < ±10%).

장비 : 만능시험기, 현미경(노치 측정, 정확도 ±0.01 mm).

테스트 스틱이 필요합니까? 네 .

파괴인성 시험에는 노치 일관성과 균일한 응력 분포를 보장하기 위한 표준 시험 막대가 필요합니다.

예시 결과 :

YG6: $KIC \sim 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

YG15: $KIC \sim 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (ScienceDirect, 2020).

표준 : ISO 28079(파괴인성), ASTM E399.

2.5 내마모성 시험

정의 : 초경합금의 내마모성을 측정하고 사용 수명을 반영합니다.

시험방법 :

마모 시험 (ASTM B611) :

분쇄 휠(A1203, 입자 크기 60~100 μm)을 사용하여 질량 손실(mg)을 기록했습니다.

조건: 하중 1020N, 속도 200300rpm, 시간 3060 분.

핀온디스크 마모 시험 (ASTM G99) :

샘플(핀)을 회전 디스크(강철 또는 세라믹)에 문지르면 마모량(mm^3)이 측정됩니다.

단계 :

샘플은 광택 처리($Ra < 0.2 \mu\text{m}$) 및 세척(에탄올)되었습니다.

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

하중, 속도, 시간을 설정하고 질량/부피 손실을 기록합니다.

마모율을 계산합니다(오차 $< \pm 5\%$).

장비 : 마모 시험기(예: Taber Abraser), 핀온디스크 마모 시험기.

테스트 막대가 필요한가요? **아니요**.

내마모성 테스트는 블록이나 완성된 샘플($> 10 \times 10$ mm)을 사용하여 수행할 수 있지만 표면 상태는 균일해야 합니다.

예시 결과 :

YG6: 마모율 $\sim 0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$.

YN10(니켈 기반): 마모율 $\sim 0.008 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (Wikipedia, 2024).

표준 : ASTM B611(마모), ASTM G99(핀온디스크), GB/T 12444.

2.6 내식성 시험

정의 : 시멘트 카바이드의 화학적 부식에 대한 저항성을 측정하는 방법으로, 부식 속도가 1 년 미만입니다.

시험방법 :

침지 시험(ASTM G31) :

샘플은 부식성 매질(예: 5% HCl, pH 47)에 60°C 에서 168 시간 동안 담가 두었습니다. 질량 손실(mg)을 측정하고 부식 속도(mm/년)를 계산했습니다.

전기화학 테스트 :

전기화학 워크스테이션을 사용하여 부식 전위(V)와 전류 밀도($\mu \text{A}/\text{cm}^2$)를 측정했습니다.

단계 :

샘플은 연마($R_a < 0.2 \mu \text{m}$) 및 세척(탈이온수)되었습니다.

침지 또는 전기화학적 테스트, 질량 손실 또는 전기화학적 매개변수의 기록.

부식률을 계산합니다(오차 $< \pm 10\%$).

장비 : 항온 상자, 전기화학 워크스테이션(예: Gamry Interface 1010).

테스트 막대가 필요한가요? **아니요**.

부식 저항성 시험은 어떤 모양($> 10 \times 10$ mm)의 샘플에 대해서도 수행할 수 있으며, 표면은 반드시 연마되어야 합니다.

예시 결과 :

YG6(코발트 기반): 부식 속도 $\sim 0.01 \text{ mm}/\text{년}$.

YN10(니켈계): 부식 속도 $< 0.005 \text{ mm}/\text{년}$ (Wikipedia, 2024).

표준 : ASTM G31(침지), ASTM G59(전기화학), GB/T 4334.

2.7 미세구조 분석

정의 : 입자 크기($0.52 \mu \text{m}$), 상 구성(WC, Co, η 상, 유리 탄소) 및 결함을

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

확인합니다.

시험방법 :

광학현미경/SEM :

샘플은 연마($Ra < 0.05 \mu m$)되었고 화학적 에칭(Murakami 시약, 510 초)되었습니다.
입자 크기, 상 분포, 결함(기공, η 상)을 관찰합니다.

X선 회절(XRD) :

0.1%의 감도로 상 구성(WC, Co, Co_3W_3C 등)을 감지합니다.

TEM :

$< 1 \text{ nm}$ 의 분해능으로 인터페이스 구조(WCCo 결합 에너지 $\sim 2 \text{ J/m}^2$)를 분석합니다.

단계 :

샘플 연마, 에칭 및 세척.

현미경 관찰이나 XRD 스캐닝을 사용하면 입자 크기와 결함을 정량적으로 분석할 수 있습니다.

TEM 분석 인터페이스(선택 사항).

장비 : SEM(예: Zeiss Sigma 500), XRD(예: Bruker D8), TEM(예: FEI Talos F200X).

테스트 막대가 필요한가요? 아니요.

미세 구조 분석은 연마와 에칭이 필요한 작은 샘플($> 5 \times 5 \text{ mm}$)을 사용하여 수행할 수 있습니다.

예시 결과 :

YG6: 입자 크기 $\sim 1 \mu m$, η 상 $< 1\%$.

조미립자: 입자 크기 $< 0.5 \mu m$, 균일도 $> 95\%$ (ScienceDirect, 2020).

표준 : ISO 4499(미세구조), ASTM E112(입자 크기).

2.8 화학 성분 분석

정의 : 탄소 함량(~ 6.13 중량%), 코발트 함량(615%) 및 기타 원소를 감지합니다.

시험방법 :

탄소 및 유황 분석기: 샘플을 연소하고, CO_2 함량을 측정하고, 총 탄소를 감지합니다(정확도 $\pm 0.01\%$).

ICPMS : 샘플을 용해하여 W, Co, Cr 등의 원소를 검출합니다(정확도 $\pm 0.001\%$).

코발트 자기 시험(GB/T 3849) :

코발트 상의 자화 강도를 측정하고 탄소 함량을 간접적으로 추론합니다(오차 $\pm 0.05\%$).

단계 :

시료를 분쇄($< 100 \mu m$)하여 세척하였다.

탄소 및 유황 분석 또는 ICPMS 검출, 원소 함량을 기록합니다.

코발트 자기 테스트는 탄소 균형을 검증합니다.

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

장비 : 탄소 및 유황 분석기(예: LECO CS844), ICPMS(예: Agilent 7900).

테스트 막대가 필요한가요? 아니요.

화학 성분 분석에는 분말이나 소량의 시료(>0.1g)가 사용되었습니다.

예시 결과 :

YG6: 탄소 ~6.13 중량%, 코발트 6 중량%.

YN10: 니켈 10 중량%, 탄소 ~6.1 중량% (Sandvik, 2023).

표준 : GB/T 3849(코발트 자석), ISO 11876(화학 조성), ASTM E1479.

2.9 코팅 접착력 시험

정의 : 코팅(TiN, CrN 등)과 시멘트 카바이드 기질 사이의 접합 강도를 50N 이상으로 측정합니다.

시험방법 :

스크래치 테스트(ASTM C1624) :

스크래치 테스트를 사용하여 다이아몬드 압입자(반경 200 μm)로 코팅 표면에 긁어냈습니다.

임계 하중(L_c , N)을 기록하였으며, $L_c > 50$ N은 접착력이 양호함을 나타냅니다.

단계 :

샘플은 연마($R_a < 0.2 \mu\text{m}$) 및 세척되었습니다.

증가하는 하중(0100 N)을 적용하였고 스크래치 길이는 5 mm였습니다.

현미경으로 긁힌 자국을 관찰하고 L_c (오차 $< \pm 5$ N)를 결정합니다.

장비 : 스크래치 테스트(예: Anton Paar RST³).

테스트 막대가 필요한가요? 아니요.

코팅 접착력 시험은 평평한 표면을 가진 코팅 샘플(>10×10 mm)을 사용합니다.

예시 결과 :

YG6+TiN: $L_c \sim 60$ N.

YN10+CrN: $L_c \sim 70$ N (Sandvik, 2023).

표준 : ASTM C1624(스크래치), ISO 20502.

2.10 자기적 특성 시험

정의 : 코발트 상의 자화를 측정하여 탄소 함량과 상 구성을 간접적으로 추정합니다.

시험방법 :

코발트 자기 시험(GB/T 3849) :

샘플 자화(emu/g)는 자력계를 사용하여 측정되었습니다.

낮은 자화는 η 상을 나타내고, 높은 자화는 자유 탄소를 나타냅니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

단계 :

샘플을 세척(에탄올)하고 건조시켰습니다.

자력계 측정은 3 번 반복하여 평균값을 취했습니다.

표준 곡선과 비교하여 탄소 함량을 추정합니다(오차 $\pm 0.05\%$).

장비 : 자력계(예: Lakeshore 7404).

테스트 막대가 필요한가요? 아니요.

자기적 특성은 작은 샘플($>5 \times 5$ mm)을 사용하여 테스트되었습니다.

예시 결과 :

YG6: 자화 ~ 150 emu/g, 탄소 균형.

탈탄화된 샘플: 자화 강도 ~ 120 emu/g(ScienceDirect, 2020).

표준 : GB/T 3849(코발트 자석), ISO 3326.

3. 테스트 스틱이 필요한 테스트

다음 테스트에서는 샘플 형상과 표면 상태에 대한 엄격한 요구 사항이 있으므로 표준 테스트 막대를 사용해야 합니다.

굽힘 강도(TRS) :

균일한 응력 분포를 보장하고 치수 편차를 없애기 위해 시험 막대가 필요합니다.

테스트 바 치수: 일반적으로 $5.0 \times 5.0 \times 35.0$ mm(ISO 3327).

파괴인성(KIC) :

균열 확산을 제어할 수 있도록 시험봉에 미리 홈을 파야 합니다.

테스트 바 치수: 일반적으로 $4.0 \times 8.0 \times 32.0$ mm, 노치 깊이 $0.20.3$ mm(ISO 28079).

의 다른 시험에는 시험 막대가 필요하지 않으며, 완제품이나 원하는 모양의 샘플을 사용할 수 있어 준비 비용이 절감됩니다.

4. 카바이드 시험봉에 대한 요구 사항

시험봉의 준비는 시험 정확도에 직접적인 영향을 미치며, 엄격한 크기, 표면 및 준비 요건을 충족해야 합니다. 자세한 사양은 다음과 같습니다.

4.1 크기 요구 사항

굽힘 강도 시험 막대(ISO 3327, GB/T 3851) :

크기 : 5.0 ± 0.1 mm(폭) $\times 5.0 \pm 0.1$ mm(높이) $\times 35.0 \pm 0.5$ mm(길이).

허용오차 : 너비 및 높이 ± 0.1 mm, 길이 ± 0.5 mm, 평행도 <0.05 mm.

모서리 : 응력 집중을 피하기 위해 $0.20.3$ mm(45°) 모따기합니다.

파괴인성 시험 막대(ISO 28079) :

크기 : 4.0 ± 0.1 mm(폭) $\times 8.0 \pm 0.1$ mm(높이) $\times 32.0 \pm 0.5$ mm(길이).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

노치 : 깊이 0.20.3mm, 너비 <0.1mm(EDM 또는 레이저 절단).

허용오차 : 너비 및 높이 $\pm 0.1\text{mm}$, 노치 깊이 $\pm 0.02\text{mm}$.

기타 요구 사항 :

시험봉 표면에는 균열, 기공 또는 불순물이 없고, 육안으로 확인 가능한 결함은 0.1mm 미만입니다.

치수 일관성: 배치 편차 <0.05mm.

4.2 표면 요구 사항

표면 거칠기 :

$R_a < 0.4 \mu\text{m}$ (굽힘 강도), $R_a < 0.2 \mu\text{m}$ (파괴 인성).

구형 : 다이아몬드 휠 연삭(입자 크기 510 μm), 연마(다이아몬드 페이스트, 13 μm).

표면 처리 :

가공 응력층(<10 μm)을 제거하고 미세 균열을 방지합니다.

세척(에탄올 초음파 처리, 5 분) 및 건조(80° C, 30 분)합니다.

조사하다 :

현미경 관찰(배율 50 배) 결과, 굽힘, 화상 또는 잔류응력이 나타나지 않았습니다.

4.3 준비 요구 사항

원자재 및 소결 :

일관된 성능을 보장하려면 완제품과 동일한 공식(예: YG6, YG15)을 사용하세요.

진공소결(1350~450° C, <10⁻³ Pa) 또는 HIP(1350° C, 100 MPa), 다공성 <0.01%(ISO 3326:2013).

탄소 함량은 η 상이나 유리탄소를 피하기 위해 $\pm 0.1\%$ 로 제어됩니다(GB/T 3849).

처리중 :

와이어 절단 또는 정밀 연삭, 오차 < $\pm 0.05 \text{ mm}$.

노치 준비(파괴 인성): EDM(전류 < 1 A) 또는 레이저(전력 < 10 W).

배치 제어 :

각 배치의 테스트 막대 중 10%(>5 개)을 무작위로 검사하고, 크기 편차는 <0.05mm 이고 성능 편차는 <5%입니다.

소결 매개변수(온도 $\pm 5^\circ \text{C}$, 대기 <0.01% 산소)를 기록합니다.

4.4 품질 검증

차원 감지 :

정확도가 $\pm 0.01\text{mm}$ 인 디지털 마이크로미터나 레이저 거리 측정기를 사용하세요.

평행도와 직진도(<0.05 mm)를 확인합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

미세구조 :

기공, η 상, 유리 탄소, 비율 <1%의 SEM 검사(ISO 4499).
입자 크기 균일도 >95%, 일반적으로 $0.52 \mu\text{m}$.

성능 검증 :

경도(HV30): 오차 $<\pm 50 \text{ HV}$.
밀도: 오차 $<\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$.
코발트 자기 시험: 탄소 함량 오차 $<\pm 0.05\%$.

4.5 보관 및 운송

저장 :

습도 <40%, 온도 $20\pm 5^\circ \text{C}$, 산화나 수분 흡수를 피하세요.
표면 긁힘을 방지하기 위해 방진 포장(플라스틱 상자)을 사용합니다.

운송 :

충격 방지 포장(폼 패드)을 사용해 가장자리 손상을 방지합니다.
시험 보고서(치수, 경도, 미세구조)가 함께 제공됩니다.

데이터 지원 :

테스트 바 치수 허용 오차: $<\pm 0.1 \text{ mm}$ (ISO 3327).
표면 거칠기: $R_a < 0.4 \mu\text{m}$, 성능 편차 <5% (Sandvik, 2023).
HIP: 다공성 <0.01%, 강도 15% 증가(ScienceDirect, 2020).

5. 실제 적용 사례

YG6 도구 테스트 :

시험 : 경도(HV30, 1500 HV), 굽힘 강도(2.0 GPa), 내마모성($0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).
시험 막대 : 휨 강도 시험 막대($5 \times 5 \times 35 \text{ mm}$), $R_a < 0.4 \mu\text{m}$.
결과 : 주철 절단 수명은 2 시간이며, 성능은 허용 가능합니다.

YG15 금형 테스트 :

시험 : 파괴인성($K_{IC} 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), 밀도(14.0 g/cm^3), 내식성(0.01 mm/년).
시험 막대 : 파괴인성 시험 막대($4 \times 8 \times 32 \text{ mm}$, 노치 0.25 mm).
결과 : 스탬핑 수명은 120,000 회로 기준을 충족합니다.

YN10 곰팡이 테스트 :

시험 : 내식성($<0.005 \text{ mm/년}$), 코팅 접착력($L_c 70 \text{ N}$), 미세구조(입자 $\sim 1 \mu\text{m}$).
시험봉 : 없음, 광택이 나는 시료($10 \times 10 \text{ mm}$)를 사용하여 시험을 실시하였습니다.
결과 : 산성 환경에서의 수명은 1 년이며, 성능이 매우 우수합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

초미립자 도구 테스트 :

시험 : 경도(2000 HV), 굽힘 강도(2.2 GPa), 입자 크기(<0.5 μm).

시험 막대 : 굽힘 강도 시험 막대(5×5×35 mm).

결과 : 스테인리스 스틸의 절단 수명은 4 시간이며, 초미립자의 장점이 뚜렷합니다.

데이터 지원 :

YG6: 경도 1500 HV, 굽힘 강도 2.0 GPa(Sandvik, 2023).

YN10: 부식 속도 <0.005 mm/년(Wikipedia, 2024).

초미립자: 입자 <0.5 μm , $KIC \sim 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (ScienceDirect, 2020).

6. 결론

초경 성능 시험에는 경도(비커스 경도계, HV30), 밀도(아르키메데스법), 굽힘 강도(3 점 굽힘), 파괴인성 (SENB), 내마모성(마모/핀온디스크), 내식성(침지/전기화학), 미세조직(SEM/XRD/TEM), 화학 조성(탄소-황 분석/ICPMS), 코팅 접착력(스크래치), 그리고 자기적 특성(코발트 자기 시험)이 포함됩니다. 이 중 굽힘 강도 와 파괴인성 시험에는 표준 시험 막대가 필요하며, 다른 시험에는 완제품이나 연마된 시료를 사용할 수 있습니다.

시험봉 요구 사항 :

치수 : 굽힘 강도(5×5×35 mm, 허용 오차 $\pm 0.1 \text{ mm}$), 파괴 인성(4×8×32 mm, 노치 0.20.3 mm).

표면 : $Ra < 0.4 \mu\text{m}$ (굽힘 저항성), $Ra < 0.2 \mu\text{m}$ (인성), 균열/기공 없음.

준비 : 진공소결/HIP, 기공률 <0.01%, 탄소 함량 $\pm 0.1\%$.

검증 : 치수 편차 <0.05mm, 성능 편차 <5%.

이 테스트는 정확성과 일관성을 보장하기 위해 GB/T 3849, ISO 4499, ASTM B406 및 기타 표준을 따릅니다. 테스트 바 준비(예: HIP, 정밀 연삭) 및 테스트 프로세스(예: 온라인 모니터링)를 최적화하면 5% 미만의 오차로 결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있습니다. 향후 자동화된 테스트와 지능형 분석을 통해 효율성과 정확성이 더욱 향상될 것입니다.

기준 :

GB/T 7997: 비커스 경도.

GB/T 3851: 굽힘 강도.

GB/T 3849: 코발트 자기 시험.

ISO 3327: 굽힘 강도 시험 막대.

ISO 28079: 파괴인성.

ISO 4499: 미세구조.

ASTM B406 : 굽힘 강도.

ASTM G31: 내식성.

ASTM C1624: 코팅 접착력.

ISO 3326:2013: 다공성.

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 :

시멘트 카바이드 시험 막대의 사양, 성능 요구 사항 및 준비

카바이드 시험 막대는 횡강도(TRS) 및 파괴인성(KIC)과 같은 특성을 시험하기 위한 핵심 샘플이며, 그 준비 공정은 엄격한 사양과 성능 요구 사항을 충족해야 합니다. **나노 시험 막대** (입자 크기 $<0.5\mu\text{m}$), **특정 등급 최적화** (예: YG6, YG15, 초미립 등급) 및 **비표준 시험 막대** (맞춤형 크기 또는 모양)의 경우 나노 분말의 특성, 등급별 성능 요구 사항 및 비표준 형상 처리 과제를 해결하기 위해 공정을 더욱 개선해야 합니다. 이 글에서는 나노 시험 막대 준비, 특정 등급 최적화 및 비표준 시험 막대의 공정 세부 사항을 자세히 살펴보고 미세 메커니즘, 최신 연구(예: Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2020; Wikipedia, 2024) 및 산업 표준(예: GB/T 3851, ISO 3327, ISO 28079)을 모두 중국어로 결합하여 내용이 정확하고 자세하며 흥미롭도록 합니다.

1. 개요

카바이드 시험 막대는 굽힘 강도($1.52.5\text{ GPa}$) 및 파괴 인성($812\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) 시험에 사용되며 표준 크기는 $5\times5\times35\text{ mm}$ (굽힘) 또는 $4\times8\times32\text{ mm}$ (인성, 노치 $0.20.3\text{ mm}$)입니다. **나노 시험 막대**는 초미립자 시멘트 카바이드(입자 $<0.5\mu\text{m}$)용이며 입자 성장 및 결합(예: η 상, 유리 탄소)을 제어해야 합니다. **특정 등급 최적화**는 YG6(일반 공구), YG15(고인성 금형) 또는 초미립자 등급(예: YG8N)의 성능 요구 사항과 일치해야 합니다. **비표준 시험 막대**는 특수 시험 또는 응용 프로그램 시나리오에 맞게 크기나 모양을 사용자 정의해야 합니다. 준비 프로세스에는 배치, 혼합, 프레싱, 소결, 처리 및 검증이 포함되며 이는 시험 막대 성능의 일관성(편차 $<5\%$)을 보장하기 위해 정밀하게 제어해야 합니다. 심층적인 개선을 위해 다음 내용을 세 부분으로 나누겠습니다.

2. 나노로드 준비

나노 테스트 봉은 초미립 초경합금(입자 크기 $<0.5\mu\text{m}$, 경도 $1800\text{--}2200\text{HV}$)으로 제작되며, 고정밀 공구(예: 항공 가공) 및 내마모성 코팅 기관에 널리 사용됩니다. 나노 분말 제조에는 높은 활성, 용이한 응집 및 입자 성장이라는 문제점을 해결해야 합니다.

2.1 재료

원자재 :

WC 분말 : 입자 크기 $0.10.4\mu\text{m}$ (순도 $>99.95\%$), 탄소 함량 $6.13\pm0.05\%$, 산소 함량 $<0.03\%$.

코발트 분말 : 입자 크기 $0.51\mu\text{m}$ (순도 $>99.9\%$), 함량 $610\text{ wt}\%$ (예: YG8N).

곡물 억제제 : Cr_3C_2 (0.51%), VC($0.20.5\%$), 곡물 성장을 2030% 억제합니다.

카본블랙 : $<0.05\%$, 탄소 균형이 정밀하게 조정됨(오차 $<0.01\%$).

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

비율 :

정확한 무게 측정($\pm 0.0005\text{g}$), 오차 $< 0.005\%$.

탄소 함량 제어: $\pm 0.03\%$, η 상($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) 또는 유리 탄소를 피함.

장비 : 고정밀 저울(Mettler Toledo XPR6), 불활성 분위기 글러브 박스($\text{O}_2 < 0.01\%$).

예 : YG8N(8% Co): WC 91.5 중량%, Co 8 중량%, Cr3C2 0.4 중량%, VC 0.1 중량%(Sandvik, 2023).

2.2 믹싱

프로세스 :

습식 분쇄 : 고에너지 행성 볼 밀(1620 시간, $0.2\ \mu\text{m}$), 매체는 무수 에탄올(고형분 함량 6570%)입니다.

결합제 : 응집을 피하기 위해 변형된 PEG(11.5%, 잔류 탄소 $< 0.03\%$) 또는 수정 나노결합제(0.51%)를 사용합니다.

분산제 : 스테아르산(0.10.3%), 입자 균일성을 15% 향상시킵니다.

매개변수 : 볼 대 재료 비율 10:1, 교반 속도 800-1200 rpm, 온도 $< 30^\circ\text{C}$ (산화 방지).

목표 :

입자 균일도 $> 98\%$, D50 30100 μm , 응집율 $< 1\%$.

슬러리 점도 150250 $\text{mPa}\cdot\text{s}$, 유동성 $< 20\ \text{s}/50\ \text{g}$ (GB/T 1482).

장비 : 고에너지 볼밀(Retsch PM400), 초음파 분산기(전력 500W).

예 : YG8N: 1% PEG, 18 시간 볼 밀링, D50 $\sim 50\ \mu\text{m}$, 균질성 $> 98\%$ (ScienceDirect, 2020).

2.3 억제

프로세스 :

분무 건조 : 구형 입자(구형도 > 0.95), D50 30100 μm , 유동성 $< 20\ \text{s}/50\ \text{g}$ 제조.

냉간 등방압 성형(CIP) : 압력 250~350 MPa, 빌렛 밀도 $>$ 이론 밀도의 55% 이상.

금형 : 고정밀 텅스텐 강철 금형, 치수 허용 오차 $\pm 0.02\text{mm}$, 소결 수축(2225%)을 고려함.

치수 : 굽힘 시험 막대 공백 $\sim 6.3 \times 6.3 \times 44\ \text{mm}$, 인성 시험 막대 $\sim 5.0 \times 10.0 \times 40\ \text{mm}$.

목표 :

녹색 강도 $> 6\ \text{MPa}$, 균열/박리 없음.

블랭크의 균일성은 95% 이상이며, 밀도 편차는 1% 미만입니다.

장비 : 분무 건조탑(GEA Niro), 냉간 정수압 프레스(EPSI CIP400).

예 : YG8N: CIP 300 MPa, 녹색 강도 $\sim 7\ \text{MPa}$, 수축률 23%.

2.4 소결

프로세스 :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

진공소결 :

온도: 1320~1380° C ($\pm 3^{\circ}$ C), 정상(1350~1450° C)보다 낮아 입자 성장이 20% 감소합니다.

진공도 : $< 5 \times 10^{-4}$ Pa, 산소 $< 0.005\%$, 탈탄을 방지합니다.

단계적 가열: 250~350° C(결합제 제거, 잔류 탄소 $< 0.03\%$), 1320° C(액상 소결, 유지 시간 4560 분).

열간 등방압 가압(HIP) :

1320° C, 120150 MPa, 30 분.

다공성 제거, 다공성 $< 0.005\%$ (ISO 4505).

대기 제어 : CO/CO₂ $< 0.05\%$, H₂ 유량 0.30.5 L/min(필요 시).

목표 :

입자 크기: $< 0.5 \mu\text{m}$, 균일도 $> 98\%$.

밀도: 14.515.0 g/cm³, 경도 18002200 HV, η 상/자유탄소 $< 0.5\%$.

장비 : 진공소결로(ALD Vacuum Technologies), HIP 장비(Quintus QIH122).

예 : YG8N: 1350° C 진공 소결 + HIP, 입자 크기 $\sim 0.4 \mu\text{m}$, 경도 2000 HV(Sandvik, 2023).

2.5 처리

프로세스 :

거친 가공 : 와이어 절단(오차 $< \pm 0.05 \text{ mm}$), 소결된 피부 제거(0.10.3 mm).

마무리 : 초정밀 다이아몬드 연삭(입자 크기 35 μm), 오차 $< \pm 0.02 \text{ mm}$.

연마 : 나노 다이아몬드 페이스트(0.51 μm), Ra $< 0.2 \mu\text{m}$ (굽힘 저항성), Ra $< 0.1 \mu\text{m}$ (인성).

노치(인성 시험 막대) :

펄트초 레이저 절단: 전력 $< 5\text{W}$, 깊이 0.20.3mm($\pm 0.01\text{mm}$), 너비 $< 0.05\text{mm}$.

열영향부($< 1 \mu\text{m}$)를 피하였고, SEM 검사 결과 미세균열은 발견되지 않았습니다.

모따기 : 광택, 0.20.3 mm ($45^{\circ} \pm 3^{\circ}$).

목표 :

치수 허용 오차는 $\pm 0.05\text{mm}$ 이며 표면에 응력층이 없습니다($< 5 \mu\text{m}$).

노치 정확도 $\pm 0.01\text{mm}$, 균열 확장 편차 $< 3\%$.

장비 : 초정밀 분쇄기(Moore Nanotech 350FG), 펄트초 레이저(Coherent Monaco), SEM(Zeiss Gemini 500).

예 : YG8N: Ra $< 0.2 \mu\text{m}$, 노치 0.25 $\pm 0.005 \text{ mm}$, 열 손상 없음.

2.6 품질 검증

치수 : 레이저 거리 측정기(정확도 $\pm 0.005\text{mm}$), 허용 오차 $\pm 0.05\text{mm}$, 평행도 $< 0.03\text{mm}$.

표면 : 백색광 간섭계(Ra $< 0.2 \mu\text{m}$), SEM(노치 깊이 $\pm 0.01 \text{ mm}$, 균열 없음).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

미세구조 :

TEM(입자 크기 0.30.5 μm , 균질성 >98%).

XRD(η 상/유리탄소 <0.5%, 감도 0.05%).

다공성: <0.005%(ISO 4499).

성능 :

경도: 18002200 HV (± 30 HV, GB/T 7997).

밀도: 14.515.0 g/cm³ (± 0.005 g/cm³, GB/T 3850).

굽힘강도: 2.02.5 GPa ($\pm 3\%$, GB/T 3851).

파괴인성: 810 MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ ($\pm 5\%$, ISO 28079).

코발트 자기 시험: 탄소 함량 $\pm 0.03\%$ (GB/T 3849).

무작위 검사 : 배치당 >15% (>10 개), 성능 편차 <3%.

장비 : TEM(FEI Talos F200X), 백색광 간섭계(Zygo NewView 9000), 비커스 경도계(Wilson VH3300).

예 : YG8N: 경도 2000 ± 20 HV, 입자 크기 0.4 μm , η 상 <0.3% (ScienceDirect, 2020).

2.7 과제 및 최적화

도전 :

나노 분말은 응집되기 쉽고 균일성 편차는 5% 이상입니다.

활동성이 높으면 산화(산소 증가 0.02%)가 일어나고 탈탄소화 위험이 10% 증가합니다.

소결된 입자는 더 커지고(0.5 μm 이상) 경도는 510% 감소합니다.

최적화 :

초음파 분산 : 500W, 10 분, 응집율이 <0.5%로 떨어졌습니다.

불활성 보호 : 혼합/배치 공정 전체 동안 Ar 분위기(O_2 <0.005%)를 유지합니다.

저온소결+억제제 : 1320° C, Cr3C2+VC, 입자제어 <0.5 μm .

온라인 모니터링 : 적외선 온도 측정($\pm 1^\circ\text{C}$), 질량 분석기(CO/CO_2 <0.01%).

효과 :

균일성이 20% 증가하였고, 입자 편차는 5% 미만이었습니다.

η 상/자유탄소는 경도를 5% 증가시킵니다(Sandvik, 2023).

3. 특정 등급 최적화

초경합금의 다양한 등급(예: YG6, YG15, 초미립자 YG8N)은 코발트 함량, 입자 크기 및 적용 분야가 다르므로, 성능 요건에 맞춰 시험봉 제조 공정을 최적화해야 합니다. 다음은 세 가지 대표적인 등급에 대한 최적화 솔루션입니다.

3.1 YG6(일반용 공구, 6% Co)

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

성과 목표 :

경도: 1500 ± 50 HV.
굽힘강도: 2.0 ± 0.1 GPa.
파괴인성: 8 ± 0.5 MPa $\cdot$ m^{1/2}.
입자: 11.5 μ m, η 상/자유탄소 <1%.
밀도: 14.9 ± 0.01 g/cm³.

재료 :

WC: 94 중량%(12 μ m), Co: 6 중량%, Cr3C2: 0.3 중량%(선택 사항).
탄소 함량: 6.13 ± 0.05 wt %, 오차 <0.01%.

혼합 :

습식 분쇄: 1214 시간, PEG 1.5%, D50 80150 μ m.
에탄올 매질, 고형분 함량 70%, 유동성 <25 s/50 g.

억제하다 :

CIP: 200250 MPa, 녹색 강도>5 MPa.
블랭크: 6.2 $\times$ 6.2 $\times$ 43 mm(굽힘 저항성), 수축률 20%.

소결 :

진공소결: 1400° C ($\pm 5^\circ$ C), 1 시간 유지, <10⁻³ Pa.

HIP: 1400° C, 100 MPa, 기공률 <0.01%.

처리중 :

연삭 : 다이아몬드 연삭 휠(510 μ m), Ra <0.4 μ m.
노치: 전기 스파크(0.25 $\pm$ 0.02 mm), Ra <0.2 μ m.

확인하다 :

치수: ± 0.05 mm, 경도 1500 ± 30 HV.
SEM: 입자 크기 ~ 1.2 μ m, η 상 <1%.
코발트 자석: 탄소 함량 $\pm 0.05\%$.
예 : YG6 테스트 막대: 굽힘 강도 2.0 GPa, 경도 1500 HV, 절삭 수명 2 시간(Sandvik, 2023).

3.2 YG15(고인성 금형, Co 15%)

성과 목표 :

경도: 1400 ± 50 HV.
굽힘강도: 2.5 ± 0.1 GPa.
파괴인성: 12 ± 0.5 MPa $\cdot$ m^{1/2}.
입자: 1.52 μ m, η 상/자유탄소 <1%.
밀도: 14.0 ± 0.01 g/cm³.

재료 :

WC: 85 중량%(1.52.5 μ m), Co: 15 중량%, Cr3C2: 0.5 중량%.

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

탄소 함량: 6.13 ± 0.05 중량%, 카본블랙 <0.1 중량%.

혼합 :

습식 분쇄: 1416 시간, PVA 1%, D50 100200 μm .

에탄올/물(1:1), 고형분 함량 75%, 유동성 <28 초/50g.

억제하다 :

CIP: 250300 MPa, 녹색 강도 >8 MPa.

블랭크: $5.0 \times 10.0 \times 40$ mm(인성), 수축률 18%.

소결 :

진공소결: 1450°C ($\pm 5^\circ\text{C}$), 1.5 시간 유지, $<10^{-3}$ Pa.

HIP: 1450°C , 120 MPa, 기공률 $<0.01\%$.

처리중 :

연삭: $R_a < 0.2$ μm , 스파크 노치 (0.25 ± 0.01 mm).

모따기: 0.3 mm, 연마 $R_a < 0.1$ μm .

확인하다 :

치수: ± 0.05 mm, 경도 1400 ± 30 HV.

SEM: 입자 크기 ~ 1.8 μm , 기공 크기 $<0.01\%$.

코발트 자석: 탄소 함량 $\pm 0.05\%$.

예 : YG15 시험 막대: KIC $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 스탬핑 수명 120,000 회 (ScienceDirect, 2020).

3.3 초미립자 YG8N(항공공구, 8% Co)

성과 목표 :

경도: 2000 ± 50 HV.

굽힘강도: 2.2 ± 0.1 GPa.

파괴인성: $9 \pm 0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

입자: <0.5 μm , η 상/자유탄소 $<0.5\%$.

밀도: 14.7 ± 0.01 g/cm³.

재료 :

WC: 91.5 중량% ($0.20.4 \mu\text{m}$), Co: 8 중량%, Cr₃C₂: 0.4 중량%, VC: 0.1 중량%.

탄소 함량: 6.13 ± 0.03 wt %, 오차 $<0.005\%$.

혼합 :

고에너지 볼 밀링: 1820 시간, 변형 PEG 1%, D50 30100 μm .

무수 에탄올, 고형분 함량 65%, 초음파 분산(500W, 10 분).

억제 :

Cip: 300350 mpa, 녹색 강도 >7 mpa.

빈칸: $6.3 \times 6.3 \times 44$ mm, 수축률 23%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

소결 :

진공소결: 1350°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$), 45 분간 유지, $<5 \times 10^{-4}\text{ pa}$.

잉텅이: 1350°C , 150 mpa, 다공성 $<0.005\%$.

처리중 :

조정밀 연삭: $ra <0.2\text{ }\mu\text{m}$, 펄소초 레이저 노치 ($0.25 \pm 0.005\text{ mm}$).

연마: $ra <0.1\text{ }\mu\text{m}$, 열영향부 없음.

확인하다 :

치수: $\pm 0.02\text{ mm}$, 경도 $2000 \pm 20\text{ hv}$.

Tem: 입자 크기 $\sim 0.4\text{ }\mu\text{m}$, 균질성 $>98\%$.

코발트 자석: 탄소 함량 $\pm 0.03\%$.

예 : YG8N 테스트 바: 경도 2000 HV, 스테인리스 강의 절단 수명 4 시간(Sandvik, 2023).

3.4 최적화 전략

YG6 :

주요 사항: 비용 및 성능 균형, PEG 바인더(저탄소 잔류물 $<0.05\%$), 1400°C 에서의 소결.

효과: 비용 15% 절감, 굽힘 강도 편차 $<3\%$.

YG15 :

주요 사항: 높은 인성, PVA 바인더(생강도 $>8\text{ MPa}$), 1450°C HIP.

효과 : KIC 가 10% 증가하고, 균열 성장 저항성이 15% 증가합니다.

YG8N :

주요 사항: 입자 제어($<0.5\text{ }\mu\text{m}$), Cr3C2+VC 억제제, 저온 소결(1350°C).

효과: 경도가 5% 증가하고, 입자 편차가 5% 미만입니다.

데이터 지원 :

YG6: 굽힘강도 2.0 GPa , 비용 절감 15% (Sandvik, 2023).

YG15: KIC $12\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 수명이 20% 증가했습니다(ScienceDirect, 2020).

YG8N: 입자 크기 $0.4\text{ }\mu\text{m}$, 경도 2000 HV(Wikipedia, 2024).

4. 비표준 시험 막대의 준비

비표준 시험봉은 크기, 모양 또는 노치가 표준(예: ISO 3327, ISO 28079)을 벗어나 특수 시험(예: 마이크로 공구, 복잡한 금형) 또는 연구 개발에 사용되는 시험봉을 말합니다. 제조 시에는 맞춤형 요구 사항과 성능 일관성을 모두 고려해야 합니다.

4.1 응용 프로그램 시나리오

마이크로 테스트 막대 :

치수: 예: $2 \times 2 \times 20\text{ mm}$ (마이크로 도구 테스트).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

용도: 치과 도구와 같은 소형 카바이드 부품의 굽힘 강도를 테스트합니다.

대형 테스트 막대 :

크기: 예: 8×8×50 mm(채광 도구).

용도: 대형 금형이나 암석 드릴링 도구의 견고성을 테스트하는 데 사용됩니다.

복잡한 모양 :

모양: 원통형(직경 5mm, 길이 30mm) 또는 사다리꼴 단면입니다.

응용 분야: 실제 작업물(예: 와이어 드로잉 다이)의 기계적 특성을 시뮬레이션합니다.

비표준 겹 :

노치: V자형, U자형 또는 여러 개의 노치(깊이 0.10.5mm).

응용 분야: 균열 성장이나 피로 성능을 연구합니다.

4.2 사양 요구 사항

크기 :

허용오차: $\pm 0.05\text{mm}$ (마이크로), $\pm 0.1\text{mm}$ (대).

평행도: $< 0.03\text{mm}$, 수직도: $< 0.05\text{mm}$.

맞춤형 크기: 테스트 요구 사항에 따라(예: 지지 거리 1540mm).

표면 :

$R_a < 0.2 \mu\text{m}$ (마이크로/노치), $r_a < 0.4 \mu\text{m}$ (매크로).

미세균열/응력층 없음($< 5 \mu\text{m}$), SEM 검사(100 배).

겹 :

깊이: 0.10.5 mm ($\pm 0.01 \text{ mm}$).

너비: $< 0.05 \text{ mm}$ (마이크로), $< 0.1 \text{ mm}$ (일반).

모양: V자형(60°), U자형(반경 0.1mm) 또는 사용자 정의 가능.

모습 :

기공/포집물 없음, 결함 $< 0.05\text{mm}$ (미세), $< 0.1\text{mm}$ (거시).

모따기: 0.10.5mm(크기에 따라 다름).

4.3 준비 과정

재료 :

표준 테스트 바와 일치하며, 등급(YG6, YG8N 등)과 일치합니다.

미세시험봉 : 나노분말($0.20.4 \mu\text{m}$), 탄소오차 $< 0.03\%$.

대형 테스트 막대: 조립립($23 \mu\text{m}$), 코발트 1015 중량%.

혼합 :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

마이크로: 고에너지 볼 밀링(20 시간), D50 2050 μm , 초음파 분산.

대형 크기: 기존 볼 밀링(12 시간), D50 100200 μm , PVA 12%.

장비: 고에너지 볼밀(Retsch PM400), 초음파 장치(500W).

억제 :

마이크로: 정밀성형(500mpa), 금형공차 $\pm 0.01\text{mm}$.

대형 크기: CIP(200300 mpa), 빌렛 균일도 >95%.

맞춤형 모양: 3D 인쇄 금형 또는 CNC 조각(오차 < 0.02mm).

장비: 정밀 프레스(Carver 4350), CNC(DMG Mori NTX1000).

소결 :

마이크로: 저온소결(1300~1350° C), $< 5 \times 10^{-4}$ Pa, 입자크기 <0.5 μm .

대형 크기: 1450-1500° C, HIP(150 mpa), 기공률 <0.01%.

장비: 진공소결로(ALD), HIP(Quintus QIH232).

처리중 :

마이크로: 초정밀 연삭($R_a < 0.1 \mu\text{m}$), 펄소초 레이저 노칭(깊이 $\pm 0.005 \text{ mm}$).

대형 크기: 기존 연삭($R_a < 0.4 \mu\text{m}$), 스파크 노칭($\pm 0.02 \text{ mm}$).

복잡한 모양: 5축 CNC 가공(오차 < 0.02 mm), 전기화학적 연마($R_a < 0.1 \mu\text{m}$).

장비: 5축 CNC(Haas UMC750), 펄소초 레이저(Coherent Monaco).

확인하다 :

치수: 3D 스캐너(정확도 $\pm 0.005\text{mm}$), 허용 오차 $\pm 0.05\text{mm}$.

표면: 백색광 간섭계($R_a < 0.2 \mu\text{m}$), SEM(노치 $\pm 0.01 \text{ mm}$).

특성: 경도 $\pm 30 \text{ HV}$, 굽힘 강도 $\pm 3\%$, KIC $\pm 5\%$.

미세구조: TEM(미세, 입자 <0.5 μm), SEM(거시 크기, 입자 23 μm).

무작위 검사: 배치당 >20%(마이크로 사이즈), >10%(대형 사이즈).

장비: 3D 스캐너(GOM ATOS Q), TEM(FEI Talos F200X).

4.4 과제 및 최적화

도전 :

마이크로 테스트 막대: 크기가 작고 가공 오차 > 0.05mm, 균열 위험이 20% 증가했습니다.

대형 시험 막대: 내부 응력, 기공률이 0.010.02% 증가했습니다.

복잡한 형상: 기하학적 편차 > 0.1 mm, 표면 응력층이 10 μm 증가했습니다.

최적화 :

마이크로 : 펄소초 레이저 가공(열 효과 < 0.5 μm), 다이 컷 블랭크($\pm 0.01 \text{ mm}$).

대형 : 분할형 HIP(150MPa, 2 배), 응력 완화율 15%.

복잡한 모양 : CNC+전기화학적 연마, 기하학적 편차 <0.02 mm, $R_a < 0.1 \mu\text{m}$.

온라인 모니터링 : X 선 CT(기공률 <0.005%), 적외선 온도 측정($\pm 1^\circ \text{ C}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

효과 :

미니어처: 크기 편차 $<0.02\text{ mm}$, 경도 편차 $<2\%$.

대형 크기: 기공률 $<0.005\%$, 강도가 10% 증가했습니다.

복잡한 모양: 기하학적 정확도가 20% 증가, 성능 편차가 3% 미만(ScienceDirect, 2020).

4.5 예제

미세 테스트 스틱(치과용 도구) :

크기: $2 \times 2 \times 20\text{ mm}$, $Ra <0.1\text{ }\mu\text{m}$.

공정: YG8N 공식, 1350°C 에서 소결, 펄소초 레이저 가공.

성능: 경도 2000 HV, 굽힘 강도 2.2 GPa.

적용분야: 마이크로 절삭 공구의 테스트, 절삭 수명은 3 시간입니다.

대형 시험봉(채굴도구) :

크기: $8 \times 8 \times 50\text{ mm}$, $Ra <0.4\text{ }\mu\text{m}$.

공정: YG15 공식, 1500°C HIP, CNC 연삭.

특성: 경도 1400 HV, KIC $12\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

용도: 암석 드릴 비트 테스트, 수명 600 시간.

원통형 테스트 바(와이어 드로잉 다이) :

치수: 직경 5mm, 길이 30mm, V 노치 (0.2mm).

공정: YG6 공식, 1400°C 소결, 5 축 CNC + 전기화학 연마.

성능: 경도 1500 HV, 굽힘 강도 2.0 GPa.

응용분야: 와이어 드로잉 다이의 인성 테스트, 수명은 100,000 미터입니다.

5. 결론

나노 테스트 막대는 나노 분말 응집($<0.5\%$), 입자 성장($<0.5\text{ }\mu\text{m}$), 그리고 높은 활성도 문제를 해결해야 합니다. 고에너지 볼 밀링(1820 시간), 저온 소결(1350°C), 그리고 펄소초 레이저 가공($\pm 0.005\text{mm}$)을 통해 2000HV 의 경도와 2.2GPa 의 굽힘 강도를 달성했습니다. 특정 등급 최적화를 통해 YG6(저가, 2.0GPa), YG15(고인성, KIC $12\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), 그리고 YG8N(초미립자, 경도 2000HV)의 성분, 결합제 및 소결 매개변수를 조정하여 성능 편차를 3% 미만으로 보장합니다. 비표준 테스트 막대는 정밀 성형(마이크로), 5 축 CNC(복잡한 모양), 분할 HIP(대형)를 통해 크기 편차 $<0.05\text{mm}$, 성능 편차 $<3\%$ 로 맞춤형 요구 사항을 충족합니다.

공정 최적화(초음파 분산, 온라인 모니터링 등)와 첨단 장비(펄소초 레이저, X 선 CT 등)는 테스트 바의 품질을 크게 향상시키고 성능 일관성을 20% 향상시킵니다. 앞으로 적층 제조(3D 프린팅 블랭크)와 인공지능(공정 최적화)은 나노 및 비표준 테스트 바의 제조 효율을 더욱 향상시킬 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

기준 :

GB/T 3851: 굽힘 강도.
ISO 3327: 굽힘 시험 막대.
ISO 28079: 파괴인성.
GB/T 3849: 코발트 자기 시험.
ISO 4499: 미세구조.
ISO 4505: 다공성.
ASTM B406: 굽힘 강도.

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 :

카바이드 시험봉에 대한 국가 표준

경금속 또는 초경합금 시험봉은 횡강도(TRS) 및 파괴인성(KIC)과 같은 주요 특성을 시험하는 데 사용됩니다. 이들의 준비, 사양 및 시험은 결과의 정확성과 일관성을 보장하기 위해 엄격한 국가 표준(GB/T)을 따라야 합니다. 중국의 국가 표준(GB/T)은 초경합금 시험봉의 준비, 치수, 성능 시험, 미세 구조 분석, 화학 성분 시험을 다루며 일부 표준은 국제 표준(예: ISO 3327 및 ISO 28079)과 일치합니다. 이 기사에서는 초경합금 시험봉과 관련된 중국 국가 표준을 자세히 나열하여 사양, 성능 시험, 준비 및 검증의 모든 측면을 다루고 표준 내용, 적용 범위 및 특정 요구 사항을 모두 중국어로 제공하여 내용이 정확하고 자세하며 흥미롭도록 합니다.

1. 개요

초경 시험봉은 주로 굽힘 강도(1.5~2.5 GPa) 및 파괴 인성(812 MPa • m^{1/2}) 시험에 사용됩니다. 표준 크기는 굽힘 강도 5×5×35 mm, 인성 4×8×32 mm(노치 0.2~0.3 mm)입니다. 중국 국가 표준(GB/T)은 시험봉의 제조 및 시험에 대한 규격을 제공하며, 다음과 같은 내용을 포함합니다.

시험봉 사양 : 치수, 허용오차, 표면 품질.

성능 시험 : 경도, 굽힘 강도, 파괴 인성, 밀도 등

미세구조 및 화학적 조성 : 입자 크기, 기공률, 탄소 함량 등

준비 공정 : 배치화, 혼합, 소결, 가공 등

시멘트 카바이드 시험봉과 관련된 표준 번호 순서대로 나열하고, 그 내용, 적용 범위, 특정 요구 사항 및 시험봉과의 관계를 하나씩 설명합니다.

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

2. 초경 시험봉 관련 국가 규격

다음은 시멘트 카바이드 시험 막대와 직간접적으로 관련된 중국 국가 표준으로, 시험 막대 준비, 시험 및 검증의 모든 측면을 다룹니다.

2.1 GB/T 3851:2015 초경합금의 횡파피강도 시험방법

표준명칭 : 초경합금의 횡파단강도.

적용 범위 : 시멘트 카바이드의 굽힘 강도(TRS)에 대한 시험 방법을 규정하며, 시험 막대와 완제품 샘플에 적용 가능하며 칼, 금형, 광산 도구 등에 널리 사용됩니다.

시험봉 요구 사항 :

크기 : $5.0 \pm 0.1 \text{ mm}$ (폭) $\times 5.0 \pm 0.1 \text{ mm}$ (높이) $\times 35.0 \pm 0.5 \text{ mm}$ (길이).

허용오차 : 너비 및 높이 $\pm 0.1 \text{ mm}$, 길이 $\pm 0.5 \text{ mm}$, 평행도 $< 0.05 \text{ mm}$, 수직도 $< 0.05 \text{ mm}$.

표면 거칠기 : $Ra < 0.4 \mu\text{m}$, 응력을 지지하는 표면은 균열, 기공 또는 모서리 붕괴 없이 연마됩니다(육안으로 볼 수 있는 결함 $< 0.1 \text{ mm}$).

모따기 : $0.20.3 \text{ mm}$, 각도 $45^\circ \pm 5^\circ$, 응력 집중을 피하기 위함입니다.

시험방법 :

3점 굽힘 시험 :

장비: 만능 시험기, 정확도 $\pm 0.1 \text{ kN}$.

피벗 간격: $30 \pm 0.1 \text{ mm}$, 로딩 속도: 0.51 mm/min .

공식: $\sigma = 3FL / (2bh^2)$, F는 파단 하중(N), L은 지지 거리(mm), b와 h는 시험 막대의 너비와 높이(mm)입니다.

단계 :

시험 막대는 광택 처리($Ra < 0.4 \mu\text{m}$), 세척(에탄올) 및 건조(80°C , 30 분)되었습니다.

시험봉을 놓고 지지점을 조정하여 힘이 균일한지 확인합니다.

파괴될 때까지 하중을 가하고 F를 기록하고 σ 를 계산합니다(오차 $< \pm 5\%$).

결과 : 굽힘강도 $1.5 \sim 2.5 \text{ GPa}$, YG6 $\sim 2.0 \text{ GPa}$, YG15 $\sim 2.5 \text{ GPa}$ 등.

시험봉과의 관계 :

휨강도 시험 막대의 치수, 표면 및 시험 조건을 명확하게 지정하는 것은 시험 막대 준비를 위한 핵심 표준입니다.

균일한 응력 분포와 시험 편차 $< 5\%$ 를 보장하기 위해 시험 막대의 형상은 일관성이 있어야 합니다(허용 오차 $\pm 0.1 \text{ mm}$).

참고사항 : ISO 3327:2009와 동일하며 표준 시험 막대 시험에 적용됩니다.

2.2 GB/T 7997-2017 초경합금의 비커스 경도 시험 방법

표준명칭 : 초경합금의 비커스 경도 시험.

적용 범위 : 시험 막대, 완제품 또는 모든 샘플에 적용 가능한 시멘트 카바이드 경도에 대한 시험 방법을 지정하여 시험 막대의 성능 일관성을 검증하는 데 사용됩니다.

시험봉 요구 사항 :

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

샘플 : 연마된 표면, $Ra < 0.2 \mu m$, 산화물 층이나 결함 없음.
크기 : $5 \times 5 mm$ 이상, 두께 $1 mm$ 이상, 시험봉을 직접 적용 가능.

시험방법 :

비커스 경도(HV) :

장비: 비커스 경도계, 정확도 $\pm 0.5\%$.

압입자: 다이아몬드 사각뿔, 꼭짓각 136° .

하중: $1030 kgf$ (보통 HV30), 1015 초간 유지.

단계 :

시험봉의 표면을 연마($Ra < 0.2 \mu m$)하고 세척(에탄올)합니다.

하중을 가하고 압입 대각선을 측정합니다(μm , 정확도 $\pm 0.1 \mu m$).

HV를 계산합니다(오차 $< \pm 50 HV$). 35개 지점의 평균을 구합니다.

결과 : 경도 $1400 \sim 2200 HV$, 예를 들어 YG6 $\sim 1500 HV$, 초미립자 $\sim 2000 HV$.

시험봉과의 관계 :

완제품과의 일관성을 보장하기 위해 시험 막대의 경도($1400 \sim 2200 HV$)를 검증하는 데 사용됩니다.

테스트 막대는 특별한 준비가 필요하지 않으며 연마 후 테스트하여 입자 크기와 코발트 함량을 확인할 수 있습니다.

참고사항 : ISO 65071:2005와 동일하며, 기존 및 나노 테스트 바에 적용됩니다.

2.3 GB/T 3850-2015 초경합금의 밀도 측정 방법

표준명칭 : 초경합금의 밀도 측정방법.

범위 : 시멘트 카바이드의 밀도에 대한 시험 방법을 규정하며, 시험 막대 및 기타 샘플에 적용 가능하고 다공성과 구성 균일성을 평가하는 데 사용됩니다.

시험봉 요구 사항 :

샘플 : 블록 또는 시험봉, 질량 $> 1g$, 표면이 깨끗하고 산화물 층이 없음.

치수 : 테스트 막대($5 \times 5 \times 35 mm$ 또는 $4 \times 8 \times 32 mm$)를 직접 적용할 수 있습니다.

시험방법 :

아르키메데스 방법 :

장비: 정밀 저울(정확도 $\pm 0.001g$), 탈이온수.

공식: $\rho = m1 / (m1 - m2) \times \rho_{water}$, $m1$ 은 건조 중량(g), $m2$ 는 물 속 중량(g)입니다.

단계 :

시험봉을 세척(에탄올)하고 건조($80^\circ C$, 30분)했습니다.

건조중량과 수중중량을 3회 측정하여 평균값을 취하였다.

수온($\rho_{water} \sim 1.0 g/cm^3$, $20^\circ C$)에 따라 보정됨, 오차는 $< \pm 0.01 g/cm^3$ 입니다.

결과 : 밀도 $14.0 \sim 15.0 g/cm^3$, 예: YG6 $\sim 14.9 g/cm^3$, YG15 $\sim 14.0 g/cm^3$.

시험봉과의 관계 :

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

시험 막대의 밀도($14.015.0 \text{ g/cm}^3$)를 검증하는 데 사용되며, 다공성($<0.01\%$)과 비율의 정확도를 반영합니다.

시험봉은 특별한 준비가 필요하지 않으며, 직접 시험하여 소결 품질을 검증할 수 있습니다.

참고사항 : ISO 3369:2006 과 동일하며 표준 및 비표준 테스트 막대에 적용됩니다.

2.4 GB/T 3849-2015 초경합금의 자기적 특성에 대한 시험 방법

표준명칭 : 초경합금의 자기적 특성 측정방법.

적용 범위 : 시멘트 카바이드의 코발트 상의 자화 강도 및 탄소 함량에 대한 간접 시험 방법을 규정하며, 시험 막대 및 완제품에 적용 가능하며, η 상 또는 유리 탄소를 검출하는 데 사용됩니다.

시험봉 요구 사항 :

샘플 : 시험봉 또는 작은 샘플($>5 \times 5 \text{ mm}$), 표면이 깨끗하고 산화가 없어야 합니다.

크기 : 굽힘 또는 인성 시험 막대에 직접 적용 가능합니다.

시험방법 :

코발트 자기 시험 :

장비 : 자력계(정확도 $\pm 0.1 \text{ emu/g}$).

자화 강도(emu/g)를 측정하고 탄소 함량을 간접적으로 추론합니다.

단계 :

시험봉(에탄올)을 깨끗이 닦고 말립니다.

자력계를 설치하고 자화 강도를 측정하고, 3 번 반복하여 평균값을 구합니다.

탄소 함량은 표준 곡선과 비교하여 추정되었습니다(오차 $< \pm 0.05\%$).

결과 : 자화강도 $120, 150 \text{ emu/g}$, YG6 $\sim 150 \text{ emu/g}$, 탈탄소화 $\sim 120 \text{ emu/g}$.

시험봉과의 관계 :

시험 막대의 탄소 함량($6.13 \pm 0.1 \text{ wt } \%$)을 확인하고 η 상(낮은 자화) 또는 자유 탄소(높은 자화)를 감지하는 데 사용됩니다.

시험봉은 특별한 준비가 필요하지 않으며, 성분과 소결 과정을 검증하기 위해 직접 시험할 수 있습니다.

참고사항 : 코발트 기반 초경합금에 적용 가능하며 ISO 3326:2013 과 동일합니다.

2.5 GB/T 18376-2014 초경합금 미세조직 평가 방법

표준명칭 : 초경합금의 미세구조 평가방법.

적용 범위 : 시멘트 카바이드 미세구조의 관찰 및 평가 방법을 규정하며, 시험 막대 및 완제품에 적용 가능하고, 입자 크기, 기공률 및 결함(η 상, 유리 탄소 등)을 평가하는 데 사용됩니다.

시험봉 요구 사항 :

샘플 : 연마($R_a < 0.05 \text{ } \mu\text{m}$), 에칭(Murakami 시약, 510 초).

크기 : 테스트 막대 조각($>5 \times 5 \text{ mm}$) 또는 광택 처리된 전체 막대.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

시험방법 :

광학현미경/SEM :

입자 크기($0.52\ \mu\text{m}$), 기공률($<0.01\%$) 및 상 분포가 관찰되었습니다.

평가 기준: A02B00C00(기공률 $<0.01\%$, ISO 4505).

XRD :

0.1%의 감도로 상 구성(WC, Co, Co₃W₃C 등)을 감지합니다.

단계 :

테스트 바를 닦고 에칭한 후 에탄올로 세척합니다.

현미경 관찰($50\times 1000\times$)을 통해 입자 크기를 측정하였다(오차 $<\pm 0.1\ \mu\text{m}$).

XRD 분석 η 상/유리탄소(비율 $<1\%$).

결과 : 입자 크기 $0.52\ \mu\text{m}$ (일반) 또는 $<0.5\ \mu\text{m}$ (초미립자), η 상 $<1\%$.

시험봉과의 관계 :

완제품과의 일관성을 보장하기 위해 테스트 막대의 미세 구조(입자, 기공, 결합)를 검증하는 데 사용됩니다.

시험 막대를 연마하고 에칭하여 소결 품질과 입자 제어를 평가합니다.

참고사항 : ISO 44991:2008 과 동일하며 나노 및 일반 테스트 바에 적용 가능합니다.

2.6 GB/T 5314-2011 초경합금의 화학 분석 방법

표준명 : 초경합금의 화학분석 방법.

적용 범위 : 초경합금 내 텅스텐, 코발트, 탄소 등의 원소에 대한 분석 방법을 명시합니다. 시험봉 및 원자재의 화학 조성 검증에 활용 가능합니다.

시험봉 요구 사항 :

샘플 : 분말 또는 작은 조각($>0.1\text{g}$), 시험봉은 분쇄되어야 함($<100\ \mu\text{m}$).

크기 : 시험봉을 직접 샘플링하거나 슬라이싱합니다.

시험방법 :

탄소 및 유황 분석 : 연소법, CO₂ 측정, 총탄소 검출(정확도 $\pm 0.01\%$).

ICPMS : 산 용해, W, Co, Cr 등의 검출(정확도 $\pm 0.001\%$).

단계 :

시험봉($<100\ \mu\text{m}$)을 분쇄하여 세척(탈이온수)합니다.

연소 또는 용해, 원소 함량 분석, 3 회 반복.

탄소 함량은 $<\pm 0.05\%$ 의 오차로 검증되었습니다($6.13 \pm 0.1\ \text{wt}\%$).

결과 : 탄소 ~ 6.13 중량%, 코발트 615 중량%, 불순물 $<0.05\%$.

시험봉과의 관계 :

시험 막대의 화학 조성(탄소, 코발트)을 검증하고 탈탄(η 상)이나 탄화(자유탄소)가 없는지 확인합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

시험봉을 압착하여 성분의 정확성과 소결성을 검증해야 합니다.

참고 : 코발트계 및 니켈계 초경합금에 적용 가능합니다. 일부 방법은 ISO 11876 을 참조합니다.

2.7 GB/T 1482-2010 초경합금 분말의 유동성 측정

표준명 : 초경합금 분말의 유동성 측정 방법.

적용 범위 : 시험 막대를 준비하기 전의 혼합 및 분무 건조 공정에 적용할 수 있는 시멘트 카바이드 분말의 유동성에 대한 시험 방법을 규정합니다.

시험봉 요구 사항 :

샘플 : 혼합 후의 분말(D50 50200 μm)은 시험 막대 블랭크의 품질에 간접적으로 영향을 미칩니다.

크기 : 시험봉과는 직접적인 관련이 없으나, 압착의 균일성에 영향을 미칩니다.

시험방법 :

홀 유량계 :

장비: 표준 깔때기(조리개 2.5 mm), 정확도 ± 0.1 초.

50g 의 분말이 흘러나오는 데 걸리는 시간을 측정합니다(s/50g).

단계 :

분무건조된 분말(D50 50200 μm)을 채취하여 건조(80° C, 1 시간)하였다.

깔때기에 붓고, 유출 시간을 기록하고, 3 번 반복하여 평균값을 구합니다.

유동성: <25 초/50g(기준), <20 초/50g(나노파우더).

결과 : YG6 ~25 초/50g, YG8N ~18 초/50g.

시험봉과의 관계 :

혼합분말의 유동성을 확보하고(<25 s/50 g), 블랭크의 균일성을 향상시키고(>95%), 시험봉의 기공률을 감소시킵니다(<0.01%).

시험 막대 압착 및 소결 품질에 간접적으로 영향을 미칩니다.

참고사항 : 나노 및 일반 분말에 적용 가능하며 ASTM B213 을 참조하세요.

2.8 GB/T 5169-2013 초경합금의 기공률 시험 방법

표준명칭 : 초경합금의 기공률 측정방법.

적용 범위 : 소결 품질을 평가하는 데 사용되는 시험 막대 및 완제품에 적용할 수 있는 시멘트 카바이드의 기공률에 대한 시험 방법을 지정합니다.

시험봉 요구 사항 :

샘플 : 연마된(Ra <0.05 μm), 테스트 막대 조각 또는 전체 막대.

크기 : >5×5 mm, 테스트 막대를 직접 적용 가능.

시험방법 :

현미경 관찰 :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

장비: 광학 현미경 또는 SEM(정확도 $\pm 0.1 \mu\text{m}$).
분류: A 형($< 25 \mu\text{m}$), B 형($2550 \mu\text{m}$), C 형(자유탄소).
표준: A02B00C00(기공률 $< 0.01\%$).

단계 :
시험봉을 닦고 깨끗이 닦습니다(에탄올).
현미경 관찰($100\times 500\times$)을 통해 기공의 수와 크기를 측정하였다.
다공성을 평가합니다(오차 $< \pm 0.005\%$).
결과 : 기공률 $< 0.01\%$, 예: HIP 시험 막대 $< 0.005\%$.

시험봉과의 관계 :
소결 및 HIP 공정의 품질을 보장하기 위해 시험 막대 다공성($< 0.01\%$)을 검증합니다.
시험 막대를 연마하여 내부 결함이 강도와 인성에 미치는 영향을 평가합니다.
참고사항 : ISO 4505:1978 과 동일하며 표준 및 비표준 시험 막대에 적용됩니다.

2.9 GB/T 4334-2020 초경합금의 내식성 시험 방법

표준명칭 : 초경합금의 내식성 시험방법.
적용 범위 : 시멘트 카바이드의 내식성에 대한 시험 방법을 규정하며, 시험 막대와 완제품에 적용 가능하고 화학적 안정성을 평가하는 데 사용됩니다.

시험봉 요구 사항 :
샘플 : 광택 처리($R_a < 0.2 \mu\text{m}$), $> 10\times 10 \text{ mm}$, 테스트 막대 섹션에 적합.
크기 : 테스트 막대를 자르거나 광택을 내야 합니다.

시험방법 :
침지 시험 :
매질: 5% HCl (pH 47), 온도 60°C , 시간 168 시간.
질량 손실(mg)을 측정하고 부식 속도(mm/년, 오차 $< \pm 10\%$)를 계산했습니다.

전기화학 테스트 :
장비: 전기화학 워크스테이션, 부식 전위(V) 및 전류 밀도($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) 측정.

단계 :
시험봉을 닦고 깨끗이 세척합니다(탈이온수).
침지 또는 전기화학적 시험을 실시하고, 데이터를 기록하고, 3 회 반복합니다.
부식 속도를 계산합니다($< 0.01 \text{ mm}/\text{년}$).
결과 : YG6 $\sim 0.01 \text{ mm}/\text{년}$, YN10 $< 0.005 \text{ mm}/\text{년}$.

시험봉과의 관계 :
시험 막대의 내식성을 검증하고($< 0.01 \text{ mm}/\text{년}$) 성능에 미치는 η 의 영향을 평가합니다.
시험봉을 연마하여 화학적 구성과 미세구조를 간접적으로 확인해야 합니다.
참고사항 : 코발트 기반 및 니켈 기반 합금에 적용되는 ASTM G31 을 참조하세요.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.10 GB/T 12444-2006 초경합금의 내마모성 시험 방법

표준명칭 : 초경합금의 내마모성 시험방법.

적용 범위 : 시멘트 카바이드의 내마모성에 대한 시험 방법을 규정하며, 시험 막대와 완제품에 적용하여 서비스 수명을 평가하는 데 사용됩니다.

시험봉 요구 사항 :

샘플 : 광택 처리($Ra < 0.2 \mu m$), $> 10 \times 10 \text{ mm}$, 테스트 막대 섹션에 적합.

크기 : 테스트 막대를 자르거나 광택을 내야 합니다.

시험방법 :

마모 시험 :

장비 : 연삭 휠(A1203, 입자 크기 60100 μm), 하중 1020 N.

조건 : 회전 속도 200300 rpm, 시간 3060 분.

질량 손실이 측정되었습니다(mg, 오차 $\pm 5\%$).

핀 디스크 마모 :

장비 : 핀온디스크 마모 시험기, 마찰 디스크(강철 또는 세라믹).

마모량(mm^3)을 측정합니다.

단계 :

시험봉을 닦고 깨끗이 닦습니다(에탄올).

조건을 설정하고, 마모를 테스트한 후 3 번 반복합니다.

마모율을 계산합니다(예: $0.01 \text{ mm}^3 / N \cdot m$).

결과 : YG6 $\sim 0.01 \text{ mm}^3 / N \cdot m$, YN10 $\sim 0.008 \text{ mm}^3 / N \cdot m$.

시험봉과의 관계 :

시험 막대의 내마모성을 검증하고 입자 크기와 경도가 수명에 미치는 영향을 평가합니다.

시험 막대는 미세 구조의 품질을 간접적으로 검증하기 위해 연마되어야 합니다.

참고사항 : 표준 및 비표준 시험 막대에 대해서는 ASTM B611 및 G99 를 참조하세요.

3. 간접적으로 관련된 국가 표준

다음의 국가 표준은 시험 막대에 직접 적용할 수는 없지만, 준비 과정과 품질 관리에 중요한 영향을 미치며, 시험 막대의 성능을 간접적으로 보장합니다.

3.1 GB/T 52432008 초경합금 재종

표준 명칭 : 초경합금의 등급.

적용 범위 : 시멘트 카바이드 등급(예: YG6, YG15, YN10)의 성능, 구성 및 적용을 지정합니다.

시험봉과의 관계 :

YG6(6% Co, 경도 1500 HV), YG15(15% Co, KIC 12 $MPa \cdot m^{1/2}$)와 같은 테스트 막대

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

조리법과 성능 목표를 정의합니다.

시험봉이 브랜드명과 일치하는지, 성분 오차가 0.1% 미만인지 확인하세요.

콘텐츠 :

구성: WC, Co, Ni 함량, 탄소 6.13 ± 0.1 중량 %.

특성: 경도 14002200 HV, 굽힘 강도 1.52.5 GPa.

참고사항 : 테스트 바 준비에 대한 성능 벤치마크를 제공하는 ISO 513을 참조합니다.

3.2 GB/T 34505-2017 시멘트 카바이드 분말 제조를 위한 기술 요구 사항

표준 명칭 : 시멘트 카바이드 분말 제조를 위한 기술 사양.

적용 범위 : 시멘트 카바이드 분말의 입자 크기, 순도 및 준비 요구 사항을 지정하며 테스트 막대 배치 및 혼합에 적합합니다.

시험봉과의 관계 :

분말 품질(WC 입자 크기 $0.12 \mu\text{m}$, 순도 $>99.9\%$)을 보장하고 테스트 막대 균일성($>95\%$)을 개선합니다.

산소 함량($<0.05\%$)을 조절하고 탈탄(η 상)을 방지합니다.

콘텐츠 :

입자 크기: D50 $0.12 \mu\text{m}$ (기준), $0.10.4 \mu\text{m}$ (나노미터).

순도: WC $>99.9\%$, Co $>99.9\%$, 불순물 $<0.01\%$.

유동성: <25 초/50g(GB/T 1482).

참고사항 : 나노 및 기존 테스트 바 배치에 모두 적용 가능합니다.

3.3 GB/T 26048-2010 초경합금 소결을 위한 기술 조건

표준 명칭 : 시멘트 카바이드 소결에 대한 기술 사양.

적용 범위 : 시멘트 카바이드의 소결 공정 매개변수를 지정하고 시험 막대의 소결에 적용 가능합니다.

시험봉과의 관계 :

시험봉의 소결 품질을 보장합니다(기공률 $<0.01\%$, η 상 $<1\%$).

소결 온도(1350°C ~ 1450°C , $\pm 5^{\circ}\text{C}$) 및 분위기($<10^{-3}$ Pa)를 제어합니다.

콘텐츠 :

온도: 1350°C ~ 1450°C (일반), 1320°C ~ 1380°C (나노).

진공도: $<10^{-3}$ Pa, 산소 $<0.01\%$.

HIP: 1350°C ~ 1450°C , 100~150 MPa, 기공률 $<0.01\%$.

참고사항 : 진공소결 및 HIP 공정에 적용 가능.

4. 국가표준과 국제표준의 대응

일부 국가 표준은 국제 표준(ISO, ASTM)과 동등하거나 이를 참조하여 시험대 시험의 글로벌 적용성을 향상시킵니다.

GB/T 38512015 $\approx$ ISO 3327:2009(굽힘 강도).

GB/T 79972017 $\approx$ ISO 65071:2005(비커스 경도).

GB/T 38502015 $\approx$ ISO 3369:2006(밀도).

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

GB/T 38492015 $\approx$ ISO 3326:2013(자기적 특성).
GB/T 183762014 $\approx$ ISO 44991:2008(미세구조).
GB/T 51692013 $\approx$ ISO 4505:1978(다공성).
GB/T 43342020 은 ASTM G31(내식성)을 나타냅니다.
GB/T 124442006 은 ASTM B611/G99(마모성)를 참조합니다.

5. 시험봉 제작과 국가표준의 조합

시험봉의 준비는 상기 국가 표준을 완전히 준수해야 하며, 구체적인 적용 분야는 다음과 같습니다.

재료 :

GB/T 52432008 (등급 구성, 예: YG6: 6% Co), GB/T 53142011 (탄소 $6.13 \pm 0.1\%$) 을 준수합니다 .

분말 품질 관리 (GB/T 345052017 , WC 순도 $>99.9\%$).

혼합 :

유동성 (GB/T 14822010 , <25 초/50g) 및 입자 균일성 $>95\%$ 를 보장합니다.

억제하다 :

냉간 등방압성형 (200~350MPa)의 경우, 빌렛 크기는 수축을 고려합니다 (GB/T 38512015 , 예: $6.2 \times 6.2 \times 43\text{mm}$).

소결 :

진공소결 + HIP (GB/T 260482010 , $1350 \sim 1450^\circ \text{C}$, 기공률 $<0.01\%$).

처리중 :

연삭 및 연마 (GB/T 38512015 , $R_a < 0.4 \mu\text{m}$; ISO 28079 , 노치 $0.20.3 \text{ mm}$).

확인하다 :

크기: $\pm 0.1 \text{ mm}$ (GB/T 38512015).

특성: 경도 (GB/T 79972017 , 14002200 HV), 밀도 (GB/T 38502015 , $14.015.0 \text{ g/cm}^3$).

미세구조: 입자크기 $0.52 \mu\text{m}$, η 상 $<1\%$ (GB/T 183762014).

화학적분 : 탄소 $\pm 0.05\%$ (GB/T 53142011 , GB/T 38492015).

6. 실제 적용 사례

YG6 굽힘 시험 막대 :

표준 : GB/T 38512015(크기 $5 \times 5 \times 35 \text{ mm}$, $R_a < 0.4 \mu\text{m}$), GB/T 79972017(경도 1500 HV), GB/T 38492015(탄소 6.13%).

준비 : WC 94 중량%, Co 6 중량%, 1400°C 에서 소결, 분쇄 $R_a < 0.4 \mu\text{m}$.

결과 : 굽힘 강도 2.0 GPa, 경도 1500 HV, 절단 수명 2 시간.

YG15 인성 테스트 바 :

표준 : ISO 28079(크기 $4 \times 8 \times 32 \text{ mm}$, 노치 0.25 mm), GB/T 38502015(밀도 14.0 g/cm^3), GB/T 183762014(입자 크기 $\sim 1.8 \mu\text{m}$).

준비 : WC 85 중량%, Co 15 중량%, 1450°C HIP, 스파크 노치.

결과 : KIC $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 밀도 14.0 g/cm^3 , 펀칭 수명 120,000 회.

YG8N 나노 테스트 로드 :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

표준 : GB/T 38512015(굽힘 저항성), GB/T 183762014(입자 $<0.5 \mu\text{m}$), GB/T 53142011(탄소 $\pm 0.03\%$).

준비 : WC 0.20, $4 \mu\text{m}$, 1350°C 에서 소결, 펄소초 레이저 노치.

결과 : 경도 2000 HV, 굽힘 강도 2.2 GPa, 항공 공구 수명 4 시간.

7. 결론

시멘트 카바이드 시험봉의 준비 및 시험은 다음 핵심 국가 표준을 준수해야 합니다.

GB/T 38512015 : 굽힘 강도 시험 막대 ($5 \times 5 \times 35 \text{ mm}$, $R_a < 0.4 \mu\text{m}$).

GB/T 79972017 : 경도 (1400~2200 HV).

GB/T 38502015 : 밀도 ($14.015.0 \text{ g/cm}^3$).

GB/T 38492015 : 자기적 특성 (탄소 $\pm 0.05\%$).

GB/T 183762014 : 미세구조 (입자 크기 $0.52 \mu\text{m}$, η 상 $<1\%$).

GB/T 53142011 : 화학 조성 (탄소 $6.13 \pm 0.1\%$).

GB/T 51692013 : 다공성 ($<0.01\%$).

GB/T 43342020 : 내식성 ($<0.01 \text{ mm/년}$).

GB/T 124442006 : 내마모성 ($\sim 0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

GB/T 1482-2010 : 분말 유동성 ($<25 \text{ 초/50g}$).

GB/T 52432008 : 브랜드 성과.

GB/T 34505-2017 : 분말 제조.

GB/T 260482010 : 소결 공정.

이 표준은 시험 막대의 사양(허용 오차 $\pm 0.1\text{mm}$), 성능(경도, 강도, 인성), 준비(성분, 소결, 가공) 및 검증(미세 구조, 화학 조성)을 포괄하여 시험 막대 성능의 일관성(편차 $<5\%$)을 보장합니다. 일부 국가 표준은 ISO 와 동등하며(예: GB/T 3851 $\approx$ ISO 3327), 표준, 나노 및 비표준 시험 막대에 적용됩니다. 앞으로 지능형 모니터링 및 자동화된 처리가 국가 표준 구현의 효율성을 더욱 향상시킬 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

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



GB/T 3851-2015 시멘트 카바이드 굽힘 강도 시험 막대

1 범위

본 표준은 초경합금 굽힘 강도 시험봉의 제조, 크기 요건, 시험 방법 및 관련 기술 요건을 명시합니다. 본 표준은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하는 초경합금 재료 및 제품에 적용됩니다. 굽힘 강도는 재료의 기계적 성질을 평가하는 중요한 지표로서, 품질 관리, 제품 승인 및 연구개발 과정에서의 성능 시험에 적합합니다.

이 표준은 코발트 기반이 아닌 시멘트 카바이드나 상당한 비금속 개재물을 함유하는 재료에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 3848 초경합금의 코발트 함량 측정

GB/T 3850 초경합금의 보자력 측정 방법

GB/T 5313 실온에서 금속 재료에 대한 3 점 및 4 점 굽힘 시험 방법

ISO 3327:2009 초경합금 - 굽힘 강도 측정

ISO 4505:1978 시멘트 카바이드 - 굽힘 강도 시험 막대의 준비

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

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

3.1 굽힘 강도:

3 점 또는 4 점 굽힘 시험에서 초경 시험봉이 견디는 최대 응력. 단위는 MPa(메가파스칼)이며, 이는 재료의 파괴 저항력을 나타냅니다.

분말야금 공정을 통해 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료이다.

3.3 시험

막대 굽힘 강도 시험에 사용되는 표준화된 시편으로, 특정 치수와 표면 품질을 가지고 있습니다.

3.4 스패:

굽힘 시험에서 지지점 사이의 거리(mm)입니다.

4 원칙

굽힘 강도는 초경합금이 굽힘 하중 하에서 파괴에 저항하는 능력으로, 3 점 굽힘 시험 또는 4 점 굽힘 시험을 통해 측정합니다. 시험봉을 지지점에 놓고 집중 하중 또는 균일 분포 하중을 가합니다. 파단 시 최대 하중을 기록하고, 시험봉의 기하학적 치수와 재료 특성을 기반으로 굽힘 강도를 계산합니다. 공식은 다음과 같습니다.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (\text{二点弯曲})$$

$$\sigma_f = \frac{FL}{bh^2} \quad (\text{四点弯曲})$$

其中:

- * σ_f : 抗弯强度 (MPa);
- * F : 断裂载荷 (N);
- * L : 跨距 (mm);
- * b : 试棒宽度 (mm);
- * h : 试棒高度 (mm).

표면 결합, 입자 크기, 기공률은 결과에 상당한 영향을 미치므로 시험봉 준비의 품질을 엄격하게 관리해야 합니다.

5. 시험봉 준비

5.1 재료 요구 사항

시험 막대는 시험할 시멘트 카바이드와 동일한 원자재 배치로부터 준비해야 합니다. 코발트 함량 편차는 <0.1 중량%이고, 입자 크기 변동은 <5%입니다.

5.2 치수 및 공차

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **形状:** 矩形截面试样。
- **标准尺寸:**
 - 长度: 大于跨距 + 2 × 支承点直径 (通常 20-50 mm 余量)。
 - 宽度 (b): (6.0 ± 0.1) mm 或 (10.0 ± 0.1) mm。
 - 高度 (h): (2.0 ± 0.05) mm, (3.0 ± 0.05) mm 或 (5.0 ± 0.1) mm。
- **跨距 (L):** 20 mm、30 mm 或 40 mm, 视试样高度选择 (通常 $L/h = 10 \sim 16$)。
- **表面质量:** 表面光滑, 无裂纹 ($<5 \mu\text{m}$)。划痕或孔隙 (孔隙率 $<0.05\%$)。边缘倒角 0.1-0.2 mm。

5.3 준비 과정

프레스: 150-200 MPa 의 압력을 가하는 등방성 프레스 또는 단축 프레스를 사용하여 밀도 균일성 ($>99\%$)을 보장합니다.

소결: 온도 1350-1500° C, 시간 1-2 시간, 진공 또는 수소 보호 분위기를 사용합니다.

가공: 다이아몬드 연삭 휠이나 전기 스파크 가공을 사용하여 지정된 크기로 가공하고 표면 거칠기는 $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$ 입니다.

검사: 각 시험 막대 배치는 시각적 검사와 치수 측정을 거치며, 시험 막대의 5%는 밀도 및 미세 구조 분석을 위해 무작위로 샘플링됩니다.

5.4 테스트 막대의 수

각 배치에 대한 테스트 막대가 있는데, 그 중 최소 5 개는 테스트용으로 사용하고 나머지는 백업용으로 사용합니다.

6 약기 및 장비

하중 범위 0~50kN, 정확도 $\pm 0.5\%$, 3 점 또는 4 점 굽힘 고정 장치가 장착된 범용 재료 시험기.

6.2

± 0.01 mm 의 정확도를 가진 마이크로미터를 사용하여 시험봉의 치수를 측정합니다.

6.3

200 배~500 배의 배율을 가진 금속현미경을 사용하여 표면 결함을 검사합니다.

6.4

시험 환경 온도는 20~25° C 의 항온 상자에서 조절되며 습도는 $<60\%$ 입니다.

7. 시험 방법

7.1 테스트 조건

주변 온도: 20-25° C, 온도 변동 $<\pm 2^\circ$ C.

상대 습도: $<60\%$, 시험 막대가 습기를 흡수하는 것을 방지합니다.

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

적재 속도 : 0.5-1.0 mm/min (시험봉 크기에 따라 조정).

7.2 테스트로드 설치

시험 막대를 굽힘 고정 장치에 놓고, 지지점을 시험 막대의 길이에 맞추고, 표준에 따라 스패를 설정합니다.

시험봉이 기울어지지 않았고 지지점이 균일하게 접촉되어 있는지 확인하세요.

7.3 테스트 단계

1. 测量试样宽度 (b) 和高度 (h), 取 3 点平均值.
2. 安装试棒, 调整跨距 (L), 记录初始状态.
3. 以指定速度加载, 直至试棒断裂, 记录最大载荷 (F_u).
4. 重复测试 5-10 根试棒, 取平均值作为抗弯强度.
5. 检查新裂面, 记录新裂模式 (脆性或韧性).

7.4 데이터 처리

굽힘 강도 계산 计算抗弯强度 (σ_f), 保留 1 位小数.

단일 시험봉의 결과가 평균값과 10% 이상 차이가 나는 경우, 해당 시험봉을 폐기하고 다시 계산해야 합니다.

표준 편차는 $\pm 5\%$ 이내로 보고됩니다.

8 결과 표현

휨 강도는 소수점 첫째 자리까지 MPa 로 측정합니다(예: 2200.5 MPa).

시험 보고서에는 다음이 포함되어야 합니다.

- a) 표준 번호: GB/T 3851-2015; b) 시험 막대 설명: 브랜드, 배치, 크기; c) 시험 조건: 온도, 습도, 스패; d) 기기 모델 및 교정 상태; e) 결과: 굽힘 강도의 평균값 및 표준 편차; f) 비정상 설명: 결과가 10% 이상 차이가 나는 경우 그 이유를 설명하십시오. g) 시험 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일; h) 시험자: 서명.

9 정밀도와 편향

9.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자와 동일한 장비로 측정한 굽힘 강도의 편차는 5% 미만입니다.

재현성: 다양한 실험실에서 측정한 굽힘 강도의 편차는 <10%입니다.

9.2 편향

계측 오차: $\pm 0.5\%$ 부하 오차 영향 <1%.

시험 막대 결함: 표면 균열이나 기공으로 인해 강도가 5~15%까지 과소평가됩니다.

불균일한 하중: 편심 하중은 결과에 2~5%의 오차를 줄 수 있습니다.

10 가지 영향 요인

10.1 입자 크기:

미세 입자(0.2-0.5 μm)는 2200-2500 MPa 의 굽힘 강도를 갖고, 조립 입자(>5 μm)는

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

1800~2000 MPa 의 굽힘 강도를 갖습니다.

10.2 코발트 함량

코발트 함량은 6~15%입니다. 함량이 증가함에 따라 굽힘 강도는 약간(5~10%) 감소하지만, 인성은 증가합니다.

10.3 다공성

다공성이 0.1% 이상이면 강도가 10~20% 감소하고 밀도는 99.5% 이상으로 제어해야 합니다.

10.4 표면 품질

굽힘이나 미세균열은 국부적인 응력 집중과 5~10%의 강도 감소로 이어집니다.

10.5 시험 조건

고온(200° C 이상)에서는 강도가 5~15% 감소합니다. 습도는 2% 미만으로 영향을 미칩니다.

11 테스트 결과의 적용

11.1 성능 분류

굽힘 강도 >2200 MPa: 고정도 도구에 적합합니다.

굽힘 강도 1800~2200 MPa: 중간 및 높은 인성 금형에 적합합니다.

11.2 공정 최적화

강도가 낮으면 입자가 거칠거나 기공률이 높습니다. 소결 조건(1350~1450° C)을 조정하십시오.

11.3 품질관리

굽힘강도가 YG6 목표인 2300 ± 100 MPa 등 설계요건을 충족하는지 검증합니다.

11.4 예제

절단 시 YG8 2100 MPa 의 굽힘 강도는 3 시간 이상의 공구 수명을 보장합니다.

12 개의 노트

12.1 기기 교정

시험 전에 시험 장비를 $\pm 0.5\%$ 의 오차 범위로 교정합니다.

12.2 시험 막대 품질

시험 막대에 결함이 없고 치수 편차가 ± 0.1 mm 인지 확인하세요.

12.3

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

시험실 온도는 20~25° C 로 조절하고, 습도는 60% 미만으로 유지합니다.

12.4 안전 보호

시험봉 파손으로 인한 튀김을 방지하기 위해 작동 중에는 보호 안경을 착용하십시오.

13 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 굽힘 강도 값

표 A.1 일반적인 초경합금 등급의 굽힘 강도

상표	코발트 함량(중량%)	입자 크기(μm)	굽힘강도(MPa)
YG6	6	1-2	2200-2400
YG8	8	2-3	2000-2200
YG10	10	2-4	1800-2000

부록 B 오류 분석

B.1 계측 오차

±0.5% 하중 오차는 강도에 영향을 미치지 않습니다.

B.2 시험 막대 결함

기공률이 0.1%이면 강도가 10% 감소합니다.

B.3 환경적 영향 200° C 의 고온은

강도를 5-15% 감소시킵니다.

부록 C 개선 제안

C.1 응력 균일성을 개선하고 표면 결함의 영향을 줄이기 위해 4 점 굽힘 가공을 사용합니다.

C.2 고정밀 CNC 가공을 사용하여 시험봉 크기 편차가 ±0.05mm 미만이 되도록 합니다.

C.3 내부 미세균열을 감지하기 위해 초음파 검사를 도입합니다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 YG8 초경합금의 굽힘강도 시험 데이터

샘플 번호	폭(mm)	높이(mm)	스팬(mm)	파단하중(N)	굽힘강도(MPa)	평균값(MPa)
YG8-001	6.02	2.01	20	4500	2110	2090
YG8-002	6.01	2.00	20	4400	2070	2090
YG8-003	6.00	2.02	20	4600	2140	2090

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 .

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

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



GB/T 7997-2017 초경합금 경도 시험 방법

1 범위

본 표준은 초경합금 재료 및 제품의 경도 시험 방법을 규정합니다. 이 방법은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합재상으로 하는 초경합금(YG6, YG8 등)에 적용 가능하며, 비커스 경도(HV) 또는 로크웰 경도(HRA) 법으로 경도를 측정합니다. 이 방법은 생산 공정의 품질 관리, 제품 합격 판정 및 연구개발 성능 시험에 활용될 수 있습니다.

이 표준은 코발트가 아닌 초경합금이나 비금속 재료에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 230.1 금속재료의 로크웰경도 시험 제1부: 시험방법

GB/T 231.1 금속재료의 브리넬경도 시험 제1부: 시험방법

GB/T 3848 초경합금의 코발트 함량 측정

GB/T 3850 초경합금의 보자력 측정 방법

ISO 3738-1:1982 초경합금의 비커스 경도 시험 방법

ISO 6507-1:2005 금속 재료에 대한 비커스 경도 시험 1부: 시험 방법

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

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

3.1 경도

시멘트 카바이드가 압입이나 굽힘에 저항하는 능력으로, 일반적으로 비커스 경도(HV) 또는 록웰 경도(HRA)로 표현됩니다.

분말야금 공정을 통해 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료이다.

3.3 비커스 경도(HV)는

일정한 하중을 가한 상태에서 정사면체 다이아몬드 압입자를 시편 표면에 눌러 압입한 자국의 대각선 길이를 측정하여 계산한 경도 값입니다.

3.4 록웰 경도(HRA)는

특정 하중을 가한 상태에서 다이아몬드 콘 압입자를 시편 표면에 눌러 침투 깊이를 측정하여 계산한 경도 값입니다.

4 원칙

시멘트 카바이드 경도 시험은 특정 하중을 가하고, 압입자국의 작용으로 재료 표면에 생긴 압입의 크기나 깊이를 측정하여 경도 값을 계산합니다.

비커스 경도(HV)

정사면체 다이아몬드 압입자(꼭짓각 136°)를 사용하여 하중을 가하여 정사각형 압입면을 만들고 대각선 길이를 측정합니다. 계산식은 다음과 같습니다.

$$HV = \frac{1.8544F}{d^2}$$

F : 시험하중(N)

d: 압입부의 평균 대각선 길이(mm).

록웰 경도(HRA)

다이아몬드 콘 압입자(꼭짓각 120°, 상단 반지름 0.2 mm)를 사용하여 초기 하중(98.07 N)과 총 하중(588.4 N)을 가하고 압입 깊이 차이를 측정했습니다. 계산식은 다음과 같습니다.

$$HRA = 100 - \frac{h}{0.002}$$

여기서: h: 초기 하중과 총 하중 사이의 침투 깊이 차이(mm).

5. 기기 및 장비

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

5.1 비커스 경도계

하중 범위: 49.03N(5kgf), 98.07N(10kgf), 294.2N(30kgf).

정확도: 하중 오차 $\pm 0.5\%$, 현미경 측정 오차 $\pm 0.001\text{mm}$.

5.2 로크웰 경도계

GB/T 230.1, A 척도, 하중 588.4N(60kgf)에 부합합니다.

정확도: ± 0.5 HRA.

5.3 테스트 블록

기기 교정을 위한 표준 경도 시험 블록, 편차 $< \pm 1$ HRA 또는 ± 10 HV.

5.4 다이아몬드 연삭 휠

시료 표면 연마에 사용, 표면 거칠기 $Ra \leq 0.2 \mu\text{m}$.

5.5 현미경

배율 100 배~500 배, 압흔 크기를 측정하는 데 사용됩니다.

5.6 항온 상자

시험 환경 온도는 $20 \sim 25^\circ \text{C}$ 로 조절되었고, 습도는 $< 60\%$ 였습니다.

6. 샘플

6.1 샘플 요구 사항

모양: 평평한 시편, 두께 $\geq 2 \text{mm}$, 표면적 $\geq 10 \text{mm} \times 10 \text{mm}$.

표면 상태: $Ra \leq 0.2 \mu\text{m}$ 로 연마, 균열($< 5 \mu\text{m}$), 기공(기공률 $< 0.05\%$) 또는 산화물 층 없음.

균질성: 구성 편차 < 0.1 중량 %, 입자 크기 변동 $< 5\%$.

수량: 배치당 최소 3 개.

6.2 샘플 준비

응력($< 100 \text{MPa}$)이 발생하지 않도록 카바이드 블랭크나 완제품에서 시편을 절단합니다. 다이아몬드 연삭 휠로 표면을 연마하여 평탄도가 0.01mm 미만이 되도록 합니다.

샘플을 에탄올로 세척하고, 건조한 후 데시케이터에 넣었습니다.

7. 시험 방법

7.1 테스트 조건

주변 온도: $20 \sim 25^\circ \text{C}$, 온도 변동 $< \pm 2^\circ \text{C}$.

상대 습도: $< 60\%$, 샘플이 수분을 흡수하는 것을 방지합니다.

기기 교정: 표준 테스트 블록을 사용하여 교정, 편차 $< \pm 1$ HRA 또는 ± 10 HV.

7.2 비커스 경도 시험

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2.1 하중 선택

정상하중 : 294.2N(30kgf).

시료가 얇은 경우(<3 mm)에는 98.07 N(10 kgf)을 사용할 수 있습니다.

7.2.2 테스트 단계

시편을 경도 시험기 테이블에 올려놓고 표면이 수평인지 확인하세요.

원하는 하중을 선택하여 적용하고 10~15 초간 유지합니다.

홈의 두 대각선 길이를 측정하고 평균값을 구합니다(정확도 $\pm 0.001\text{mm}$).

각 시편에 대해 3 개 지점을 시험해야 하며, 인접한 압입의 중심 간 거리는 대각선 길이의 5 배 이상이어야 합니다.

HV 값을 계산하고 정수를 유지합니다.

7.3 록웰 경도 시험

7.3.1 하중 선택

총 하중: 588.4N(60kgf).

초기하중: 98.07N(10kgf).

7.3.2 테스트 단계

시편을 경도 시험기 테이블에 올려놓고 표면이 수평인지 확인하세요.

초기 하중을 가한 후, 포인터가 안정된 후 전체 하중을 가하고 5~10 초간 유지합니다.

전체 하중을 제거하고 HRA 값을 읽습니다.

각 시편에 대해 3 개 지점을 시험하였고, 인접한 압입면의 중심 간 거리는 $\geq 2\text{mm}$ 였습니다.

평균 HRA 값을 계산하고 소수점 첫째 자리까지 유지합니다.

7.4 데이터 처리

3 개의 시험 지점을 최종 경도 값으로 삼습니다.

단일 지점 편차가 >5%(예: HRA 편차 >0.5 또는 HV 편차 >50)인 경우 해당 편차를 제거하고 다시 테스트합니다.

8 결과 표현

비커스 경도는 HV 로 표현되며, 정수로 표현됩니다(예: HV 1500).

록웰 경도는 소수점 첫째 자리까지 HRA 로 표현됩니다(예: HRA 91.5).

시험 보고서에는 다음이 포함되어야 합니다.

- a) 표준 번호: GB/T 7997-2017; b) 샘플 설명: 브랜드, 배치, 크기; c) 시험 방법: 비커스 또는 록웰 경도; d) 시험 조건: 온도, 습도, 하중; e) 기기 모델 및 교정 상태; f) 결과: 경도 평균값, 표준 편차; g) 시험 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일; h) 시험자: 서명.

9 정밀도와 편향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

9.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자와 동일한 장비로 측정한 경도 편차는 <2%입니다(예: HRA <0.2, HV <30).

재현성: 여러 실험실 간의 경도 편차는 <5%입니다.

9.2 편향

계측 오차: $\pm 0.5\%$ 부하 오차 영향 <1%.

샘플 표면: 거칠기 $Ra > 0.2 \mu m$ 로 인해 경도가 2-3% 낮게 평가됩니다.

작동 오류: 압입자가 수직이 아니거나 하중 시간이 부족하면 결과가 1~2% 정도 달라질 수 있습니다.

10 가지 영향 요인

10.1 입자 크기

미세한 입자($0.2-0.5 \mu m$)는 경도가 더 높고(HRA 91-93), 거친 입자($>5 \mu m$)는 경도가 더 낮습니다(HRA 88-90).

10.2 코발트 함량

코발트 함량이 증가하면(6-15%) 결합제 상이 부드러워져 경도가 감소합니다(HRA는 1-2 단위 감소).

10.3 다공성

다공성이 0.1% 이상이면 경도가 3~5% 감소하고 밀도는 99.5% 이상으로 제어해야 합니다.

10.4 표면 품질

긁힘이나 미세균열로 인해 국부적으로 경도가 2~3% 변동될 수 있습니다.

10.5 시험 조건

고온($200^{\circ}C$ 이상)은 경도를 1~3% 감소시킵니다. 습도는 경도에 1% 미만의 영향을 미칩니다.

11 테스트 결과의 적용

11.1 성능 분류

HRA >91: 고경도 도구(PCB 드릴 비트 등, 수명 >4 시간)에 적합합니다.

HRA 88-91: 고강도 금형(광산 드릴 비트 등, 수명 200 시간 이상)에 적합합니다.

11.2 공정 최적화

경도가 낮으면 입자가 거칠거나 코발트 함량이 너무 높음을 나타냅니다. 소결 조건($1350\sim 1450^{\circ}C$)을 조정하거나 입자 억제제(예: VC 0.2~0.5 중량%)를 첨가하십시오.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.3 품질 관리 경도가

YG6 목표 HRA 91 ± 0.5 와 같은 설계 요구 사항을 충족하는지 확인합니다.

11.4 예제

항공기용 강철을 절단할 때 YG8 공구 HRA 90.5 는 내마모성과 3.5 시간의 수명을 보장합니다.

12 개의 노트

12.1 기기 교정

시험 전에 경도 시험기를 ± 1 HRA 또는 ± 10 HV 미만의 편차로 교정합니다.

12.2 시편 품질

시편 표면이 $Ra \leq 0.2 \mu m$ 의 거칠기로 연마되었는지 확인하십시오.

12.3

시험실 온도는 $20 \sim 25^{\circ} C$ 로 조절하고, 습도는 60% 미만으로 유지합니다.

12.4 안전 보호

작동 중 압력 헤드가 튀는 것을 피하고 보호 안경을 착용하세요.

13 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 경도 값

표 A.1 일반적인 초경합금 등급의 경도

상표	코발트 함량(중량%)	입자 크기(μm)	비커스 경도(HV)	록웰 경도(HRA)
YG6	6	1-2	1500-1600	90.5-91.5
YG8	8	2-3	1400-1500	89.0-90.0
YG10	10	2-4	1300-1400	88.0-89.0

부록 B 오류 분석

B.1 계측 오차

$\pm 0.5\%$ 하중 오차는 경도에 $< 1\%$ 영향을 미칩니다.

시편의 표면 거칠기 $Ra 0.4 \mu m$ 로 인해 경도가 2% 낮게 평가됩니다.

B.3 환경적 영향

$200^{\circ} C$ 의 고온은 경도를 1-3% 감소시킵니다.

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 C 개선 제안

- C.1 작은 면적의 시험에 적합한 마이크로 비커스 경도계를 도입한다.
C.2 나노 압입 기술을 사용하여 경도 시험의 정확도를 향상시킨다(오차 <0.5%). C.3 온라인 경도 시험 시스템을 도입하여 생산 효율을 향상시킨다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 YG8 초경합금 경도 시험 데이터

샘플 번호	하중(N)	압입 대각선(mm)	비커스 경도(HV)	록웰 경도(HRA)	평균 HRA
YG8-001	294.2	0.135	1450	89.8	89.7
YG8-002	294.2	0.138	1420	89.5	89.7
YG8-003	294.2	0.136	1440	89.7	89.7



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

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



GB/T 3850-2015 시멘트 카바이드 밀도 측정 방법

1 범위

본 표준은 초경합금의 밀도 측정 방법을 규정합니다. 이 방법은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합재상으로 하는 초경합금 재료 및 제품(예: YG6, YG8 및 기타 제품)에 적용할 수 있습니다. 밀도(단위: g/cm^3)는 액치환법 또는 가스치환법으로 측정합니다. 이 방법은 생산 공정의 품질 관리, 제품 합격 판정 및 연구개발 성능 시험에 활용할 수 있습니다.

이 표준은 상당한 기공이나 비금속 함유물을 포함하는 재료에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 3848 초경합금의 코발트 함량 측정

GB/T 3851-2015 시멘트 카바이드 굽힘 강도 시험 막대

GB/T 1423 금속 재료의 밀도 측정 방법

ISO 3369:2006 초경합금 밀도 측정 방법

분석 실험실용 물에 대한 ISO 3696 사양

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

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

3.1 밀도:

단위 부피당 시멘트 카바이드의 질량으로, g/cm^3 로 표현되며 재료의 밀도와 구성 균일성을 반영합니다.

분말야금 공정을 통해 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료이다.

3.3 액체 치환법:

이 방법은 아르키메데스의 원리를 이용하여 샘플을 액체(보통 물이나 에탄올)로 치환하여 부피를 결정합니다.

3.4 가스 치환법:

불활성 가스(헬륨 등)를 치환하여 시료 부피를 측정하는 방법입니다.

4 원칙

초경합금 밀도 측정은 질량과 부피의 관계에 기반합니다. 액체 치환법은 아르키메데스의 원리를 이용하여 공기 중 시료의 질량과 액체 중 부유 질량을 측정하여 부피와 밀도를 계산합니다.

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_0$$

其中:

- ρ : 试样密度 (g/cm^3);
- m_1 : 试样在空气中的质量 (g);
- m_2 : 试样在液体中的悬浮质量 (g);
- ρ_0 : 液体密度 (g/cm^3).

가스 치환법은 시료 내외부의 불활성 가스의 부피 차이를 이용하여 시료 부피를 계산하고, 그 질량을 바탕으로 밀도를 구하는 방법입니다. 다공성과 표면 흡착은 결과에 영향을 미치므로, 시험 조건을 엄격하게 관리해야 합니다.

5. 기기 및 장비

5.1 분석용 천칭

정확도 $\pm 0.0001\text{g}$, 샘플 질량 측정에 사용됩니다.

액체 교체에 적합한 서스펜션 장치가 장착되어 있습니다.

5.2 밀도계

액체 치환 밀도계, 정확도 $\pm 0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$.

가스 치환 밀도계(헬륨 밀도계 등), 정확도 $\pm 0.001 \text{ g}/\text{cm}^3$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 항온수조

온도 조절 범위는 20~25° C 이고 정확도는 $\pm 0.1^{\circ}$ C 입니다.

5.4 초음파 세척기

샘플 표면을 청소하고 기름 얼룩과 거품을 제거하는 데 사용됩니다.

5.5 비커 또는 메스실린더

ISO 4788 에 따라 용량은 50mL 또는 100mL 입니다.

5.6 건조 오븐

온도 105° C, 샘플 건조에 사용됨.

6 시약

6.1 탈이온수

ISO 3696 1 차 수질 표준을 준수하며, 밀도는 0.9982 g/cm³ (20° C)입니다.

6.2 에탄올

분석 등급, 농도 $\geq 99.5\%$, 밀도 0.7893 g/cm³ (20° C).

6.3 불활성 가스

고순도 헬륨(99.999%)은 가스 대체 방법에 사용됩니다.

7 개의 표본

7.1 샘플 요구 사항

모양: 정육면체, 원통형 또는 불규칙한 블록, 변의 길이 또는 직경 $\geq 5\text{mm}$, 질량 $\geq 5\text{g}$.
표면 상태: 표면이 매끄럽고 균열($<5\text{ }\mu\text{m}$), 기공(기공률 $<0.05\%$) 또는 오일 얼룩이 없으며 필요한 경우 광택 처리됨.

균질성: 구성 편차 $<0.1\%$ 중량 %, 입자 크기 변동 $<5\%$.

수량: 배치당 최소 3 개.

7.2 샘플 준비

응력($<100\text{ MPa}$)이 발생하지 않도록 카바이드 블랭크나 완제품에서 시편을 절단합니다.
다이아몬드 연삭 휠이나 연마기를 사용하여 표면을 가공하고, 거칠기 $R_a \leq 0.4\text{ }\mu\text{m}$ 를 유지합니다.

샘플은 에탄올에서 5 분간 초음파 세척하고, 건조(105° C, 30 분)한 후 실온으로 냉각했습니다.

8 테스트 방법

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

8.1 체액 보충 방법

8.1.1 테스트 조건

액체 온도: $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 액체 밀도를 기록합니다(물 0.9982 g/cm^3 , 에탄올 0.7893 g/cm^3).
주변 습도: <60%.

8.1.2 테스트 단계

공기 중에서 샘플의 질량을 $\pm 0.0001\text{g}$ 의 정확도로 측정합니다.
샘플을 얇은 철사에 매달고 탈이온수나 에탄올에 담근 후, 매달린 질량을 측정합니다.
샘플에 거품이 붙어 있지 않은지 확인하고, 필요한 경우 초음파로 제거하세요.
측정을 3번 반복하고 평균값을 구합니다.
밀도를 계산하세요: $\rho = \frac{m_1}{V} \times \frac{m_2}{m_1}$

8.2 가스 치환법

8.2.1 테스트 조건

온도: $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 압력은 안정적입니다.
기기 교정: 표준 샘플을 사용하여 교정합니다.

8.2.2 테스트 단계

밀도계의 샘플 챔버에 샘플을 넣고 밀봉합니다.
고순도 헬륨을 주입하고 시료량을 측정한다(정확도 $\pm 0.01\text{ cm}^3$).
 $\pm 0.0001\text{g}$ 의 정확도로 샘플 질량 (ml)을 측정합니다.

밀도를 계산하세요: $\rho = \frac{m_1}{V}$

여기서 V는 가스 변위로 측정된 부피(cm^3)입니다.
측정을 3번 반복하고 평균값을 구합니다.

8.3 데이터 처리

최종 결과로 3개의 샘플이 채워되었습니다.
단일 지점 편차가 >0.5%인 경우(예: 14.90g/cm^3 에서 15.00g/cm^3 로 변경) 해당 편차를 제거하고 다시 계산합니다.
표준 편차는 $\pm 0.1\%$ 이내로 보고됩니다.

9 결과 표현

소수점 2자리까지 g/cm^3 로 표현됩니다(예: 14.95 g/cm^3).

시험 보고서에는 다음이 포함되어야 합니다.

- a) 표준 번호: GB/T 3850-2015; b) 샘플 설명: 브랜드, 배치, 크기; c) 시험 방법: 액체 치환법 또는 기체 치환법; d) 시험 조건: 온도, 습도, 액체/기체 유형; e) 기기 모델 및 교정 상태; f) 결과: 밀도 평균값, 표준 편차; g) 시험 날짜: 예: 2025년 5월 21일; h) 시험자: 서명.

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

10 정밀도와 편향

10.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자와 동일한 장비로 측정한 밀도 편차는 <0.2%입니다.

재현성: 여러 실험실 간 밀도 편차는 <0.5%입니다.

10.2 편향

기기 오차: $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ (액체법), $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ (기체법).

샘플 표면: 기포 부착이나 오일 얼룩으로 인해 밀도가 0.1~0.3% 정도 과소평가됩니다.

액체 온도: $\pm 1^\circ \text{C}$ 온도 편차는 밀도에 <0.02% 영향을 미칩니다.

11 가지 영향 요인

11.1 다공성

다공성이 0.1% 이상이면 밀도가 $0.2\text{--}0.5 \text{ g/cm}^3$ 감소하고 밀도는 99.5% 이상으로 제어해야 합니다.

11.2 코발트 함량

코발트 함량이 증가하면(6~15%) 밀도가 증가합니다(약 0.1 g/cm^3 / 5% Co). 그러나 이는 탄소 균형의 영향을 받습니다.

11.3 입자 크기

미세 입자($0.2\text{--}0.5 \mu\text{m}$)는 밀도가 약간 더 높고(< 0.1 g/cm^3), 조립 입자(> $5 \mu\text{m}$)는 기공의 영향으로 인해 밀도가 낮습니다.

11.4 표면 상태

연마되지 않은 표면이나 미세 균열은 $0.05\text{--}0.1 \text{ g/cm}^3$ 의 밀도 변동을 초래합니다.

11.5 시험 조건

고온(> 50°C) 또는 습도(>70%)로 인해 액체 밀도가 <0.1%까지 변경될 수 있습니다.

12 테스트 결과의 적용

12.1 품질 관리

밀도가 설계 요구 사항을 충족하는지 확인합니다. 예를 들어 YG6의 목표는 $14.90 \pm 0.10 \text{ g/cm}^3$ 입니다.

12.2 공정 최적화

밀도가 낮으면 소결이 불충분하거나 기공률이 높음을 나타냅니다. 온도($1350\text{--}1450^\circ \text{C}$) 또는 압력을 조정하십시오.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12.3 성능 예측

밀도 $> 14.8 \text{ g/cm}^3$ 는 높은 경도(HRA > 90)를 나타내는 반면, 밀도 $< 14.5 \text{ g/cm}^3$ 는 인성이 낮음을 나타냅니다.

12.4 예시

심해 드릴 비트 생산에서 YG8 밀도 14.70 g/cm^3 은 경도 HRA 90 과 수명 300 시간 이상을 보장합니다.

13 개의 노트

13.1 기기 교정

시험 전에 밀도계를 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 의 편차로 교정합니다.

13.2 샘플 품질

: 샘플에 기포가 없고 표면이 광택이 나는지 확인하세요.

13.3 시험실 온도는

20°C ~ 25°C 로 조절하고, 습도는 60% 미만으로 유지합니다.

13.4 안전 보호

작동 중 액체가 튀는 것을 피하고 보호 안경을 착용하세요.

14 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 밀도 값

표 A.1 일반적인 초경합금 등급의 밀도

상표	코발트 함량(중량%)	입자 크기(μm)	밀도(g/cm^3)
YG6	6	1-2	14.85-14.95
YG8	8	2-3	14.65-14.75
YG10	10	2-4	14 시 40 분~14 시 50 분

부록 B 오류 분석

B.1 기기 오차:

$\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ (액체법), $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ (기체법).

B.2 샘플 결함

다공성이 0.1%이면 밀도가 0.2 g/cm^3 떨어집니다.

B.3 환경 영향

온도 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 밀도 편차 $< 0.02\%$ 가 발생합니다.

부록 C 개선 제안

C.1 오차가 $\pm 0.0005 \text{ g/cm}^3$ 미만인 고정밀 가스 밀도계를 사용합니다. C.2

진공 건조를 사용하여 표면 기포를 제거하고 측정 일관성을 향상시킵니다. C.3 내부

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

기공을 감지하기 위해 X 선 단층촬영 (CT) 을 도입합니다.

부록 D 테스트 데이터 예제
표 D.1 YG8 초경 밀도 시험 데이터

샘플 번호	대기질 (g)	부유 질량 (g)	밀도 (g/cm ³)	평균값 (g/cm ³)
YG8-001	5.123	4.578	14.72	14.70
YG8-002	5.126	4.582	14.69	14.70
YG8-003	5.125	4.580	14.70	14.70



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

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



GB/T 18376-2014 초경합금 미세구조 시험 방법

1 범위

본 표준은 초경합금 미세조직의 제조, 관찰 및 평가 방법을 규정합니다. 이 방법은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합재상으로 하는 초경합금 재료 및 제품(예: YG6, YG8 및 기타 재종)에 적용할 수 있습니다. 결정립 크기, 상 조성, 기공률 및 결합을 포함한 미세조직 특성은 광학 현미경 또는 주사전자현미경(SEM)을 통해 분석합니다. 이 방법은 생산 공정의 품질 관리, 제품 합격 판정 및 연구개발 성능 평가에 활용될 수 있습니다.

이 표준은 코발트가 아닌 초경합금이나 비금속 재료에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 3848 초경합금의 코발트 함량 측정

GB/T 3850-2015 시멘트 카바이드 밀도 측정 방법

GB/T 13298-2015 금속 미세구조 검사 방법

GB/T 4338 금속 미세구조 부식 방법

ISO 4499-2:2008 시멘트 카바이드의 미세구조에 대한 시험 방법 2부: 정량적 상 분석
분석 실험실용 물에 대한 ISO 3696 사양

3 용어 및 정의

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

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

3.1 미세구조

시멘트 초경합금의 미세한 구조적 특성으로, 입자 크기, 상 분포, 기공 및 결함 등이 포함됩니다.

분말야금 공정을 통해 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료이다.

3.3 입자 크기 경질상

(WC) 입자의 평균 직경(일반적으로 μm 단위)입니다.

3.4 기공률:

시멘트 카바이드 내의 기공의 부피 분율로, 재료의 밀도를 반영하며 단위는 %입니다.

3.5 η 상(Eta 상)

은 탄소 함량이 부족하여 형성되는 취성상입니다. 화학식은 $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ 이며, 이는 성능에 영향을 미칠 수 있습니다.

3.6 자유 탄소:

과도한 탄소 함량으로 인해 침전된 탄소를 미세 구조의 균일성에 영향을 미칩니다.

4 원칙

초경합금 미세조직 검사는 시료 준비, 부식 검사, 그리고 내부 구조적 특성을 분석하기 위한 현미경 관찰을 통해 이루어집니다. 시료 준비 과정에서는 시료를 절단, 연삭, 연마한 후, 무라카미 시약과 같은 에칭액을 사용하여 미세조직을 분석하고, 광학 현미경(배율 100~1000 배)이나 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰합니다. 결정립 크기는 단면법으로 측정하고, 기공률과 상 조성은 이미지 분석을 통해 정량적으로 평가합니다. 미세조직 특성은 소결 공정, 탄소 수치, 결함과 밀접한 관련이 있으며, 재료의 특성을 반영할 수 있습니다.

5. 기기 및 장비

5.1 광학 현미경

배율 100 배~1000 배, 이미지 분석 시스템 탑재, 정확도 $\pm 0.1 \mu\text{m}$.

5.2 주사전자현미경(SEM)

분해능은 $\leq 0.1 \mu\text{m}$ 이고, 에너지 분산 분광기(EDS)를 사용하여 위상 분석을 실시합니다.

5.3 절단기

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

열 손상을 방지하기 위해 다이아몬드 커팅 휠과 냉각수 윤활 장치가 장착되어 있습니다.

5.4 연삭 및 연마기

SiC 사포(#200-#1200)와 다이아몬드 서스펜션(입자 크기 1-3 μm)을 장착하여 표면 거칠기 $Ra \leq 0.05 \mu\text{m}$ 를 구현하였습니다.

5.5 초음파 세척기

샘플 세척 및 잔여 분쇄 물질 제거에 사용됩니다.

5.6 항온 상자

건조 온도를 $\pm 2^\circ\text{C}$ 의 정확도로 105°C 까지 제어합니다.

6 시약

6.1 탈이온수

ISO 3696 1 등급 수질 기준을 준수합니다.

6.2 무라카미 시약

공식: $10\text{g K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 10\text{g KOH} + 100\text{mL H}_2\text{O}$, 부식 시간은 샘플 반응에 따라 5~30 초입니다.

6.3 에탄올

분석 등급, 농도 $\geq 99.5\%$, 세척에 사용됨.

7 개의 표본

7.1 샘플 요구 사항

모양: 직사각형 또는 원통형, 크기 $\geq 10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 5\text{mm}$, 질량 $\geq 5\text{g}$.

표면 상태: 균열($<5 \mu\text{m}$), 기공(기공률 $<0.05\%$) 또는 산화물 층 없음.

균질성: 구성 편차 <0.1 중량 %, 입자 크기 변동 $<5\%$.

수량: 배치당 샘플 3 개 이상, 대표성 높음.

7.2 샘플 준비

절단: 절단은 소결 방향에 수직인 다이아몬드 절단 휠을 사용하여 수행되며, 냉각수로 윤활되고 속도는 $<500 \text{ rpm}$ 입니다.

연삭: #200, #400, #800, #1200 SiC 사포를 순서대로 사용하여 20~30N의 압력을 가하고, 시간은 레벨당 2~3 분입니다.

연마: 1~3 μm 다이아몬드 현탁액과 폴란벨 천을 사용하여 5~10 분간 연마합니다. 표면 $Ra \leq 0.05 \mu\text{m}$.

세척 및 건조: 에탄올을 사용하여 초음파 세척을 5 분간 실시하고, 105°C 에서 30 분간 건조시킨 후 실온으로 냉각합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8 미세구조 디스플레이

8.1 부식

무라카미 시약을 사용하여 시료 표면을 5~30 초간 부식시킨다(WC는 갈색, Co는 흰색, η 상은 회색). 반응을 관찰하고, 필요하면 시간을 조절한다.
부식 후에는 탈이온수로 헹구고, 에탄올로 수분을 제거한 후 즉시 건조합니다.

8.2 검사

과도한 부식(입자 경계가 흐릿함)이나 과소 부식(미세 구조가 부족함) 없이 부식이 균일한지 확인합니다.

9 미세구조 검사

9.1 관찰 방법

광학현미경: 배율 500 배~1000 배, 입자 크기, 상 분포, 기공 및 결함을 관찰합니다.
SEM: 배율 1000 배~5000 배, EDS와 결합하여 상 구성을 분석합니다.

9.2 입자 크기 측정

단면법(ISO 4499-2)에 따라 10 개의 시야에서 100 개의 WC 입자를 무작위로 측정하고, 직경을 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 의 정확도로 평균화했습니다.
평균 입자 크기와 분포 범위를 보고합니다.

9.3 다공성 평가

GB/T 13298-2015 표준에 따라 기공의 수와 면적을 계산하여 분류합니다.

A형: 작은 기공($<10 \mu\text{m}$)

B형: 거대공극($10\text{--}25 \mu\text{m}$)

유형 C: 응집체($>25 \mu\text{m}$).

다공성 = 기공 면적/총 면적 $\times 100\%$, 소수점 둘째 자리까지 기록하세요.

9.4 상 조성 분석

WC, Co, η 상, 유리 탄소를 식별하고, 각 상의 면적 백분율을 편차 $<1\%$ 로 정량적으로 분석합니다.

9.5 결함 검사

균열과 이물질(Fe, Ni 등)을 감지하고 위치, 크기, 분포를 기록합니다.

10. 결과 표현

입자 크기는 소수점 첫째 자리까지 μm 단위로 표현됩니다(예: $0.8 \mu\text{m}$).

다공성은 %로 표현되며, 소수점 이하 두 자리까지 표현됩니다(예: 0.05%).

상 구성은 소수점 첫째 자리까지 면적 백분율로 표현됩니다(예: WC 90.5%).

시험 보고서에는 다음 사항이 포함되어야 합니다.

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

a) 표준 번호: GB/T 18376-2014; b) 샘플 설명: 브랜드, 배치, 크기; c) 준비 조건: 절단, 분쇄, 연마; d) 관찰 조건: 확대, 부식제; e) 결과: 입자 크기, 다공성, 상구성, 결함; f) 시험 날짜: 예: 2025년 5월 21일; g) 시험자: 서명.

11 정밀도와 편향

11.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자와 동일한 장비로 측정한 입자 크기 편차는 5% 미만이고, 기공률 편차는 0.02% 미만입니다.

재현성: 여러 실험실에서 측정한 입자 크기 편차는 <10%이고, 다공성 편차는 <0.05%입니다.

11.2 편향

기기 오차: 현미경 측정 오차 $\pm 0.1 \mu\text{m}$, SEM 오차 $< 0.01 \mu\text{m}$.

준비 오류: 연마 스크래치나 과도한 에칭으로 인해 입자 크기가 5~10%까지 과대평가될 수 있습니다.

샘플 불균일성: 구성 편차 >0.1 wt %로 인해 다공성 변동이 0.1-0.2% 발생합니다.

12 가지 영향 요인

12.1 소결 공정

온도(1350-1500°C)는 입자 성장에 영향을 미치고, 1450°C 이상에서는 거친 입자(2 μm 이상)가 생성됩니다.

열간 등방성 압축(HIP, 150 MPa)으로 기공률이 감소했습니다(<0.01%).

12.2 탄소 균형

탄소가 부족하면 η 상(회색, 5-10%)이 형성되고, 탄소가 과도하면 유리 탄소(검정색, <2%)가 침전됩니다.

12.3 입자 크기

미세한 입자(0.2-0.5 μm)는 기공률이 낮습니다(<0.05%). 반면, 조립질 입자(>5 μm)는 기공률이 높습니다(>0.1%).

12.4 결함

내포물(예: Fe 0.1%)은 국소적 기공과 <0.05mm에 영향을 미치는 균열을 초래합니다.

13 테스트 결과의 적용

13.1 품질 관리

입자 크기는 0.5-1.0 μm 이고 기공률은 <0.05%로 YG6 기준을 충족합니다.

13.2 프로세스 최적화

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

다공성 > 0.1%는 소결이 불충분함을 나타내므로 온도(1400° C) 또는 압력을 조정하세요.

13.3 성능 예측

입자 미세화(<0.5 μm)는 경도(HRA >91)를 증가시키는 반면, η 상의 증가는 인성을 감소시킵니다.

13.4 예제

YG8 공구, 입자 크기 1.0 μm, 다공성 0.03%, 3 시간 이상의 절단 수명을 보장합니다.

14 개의 노트

14.1 계측기 교정

현미경은 시험 전에 <±0.1 μm의 오차로 교정되었습니다.

14.2 샘플 품질

시편 표면에 긁힌 자국이 없고 부식이 균일한지 확인하세요.

14.3 환경 관리

시험실 온도는 20~25° C, 습도는 60% 미만이었습니다.

14.4 보안 보호

부식성 액체가 튀는 것을 방지하기 위해 작동 중에는 보호 안경을 착용하세요.

15 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 미세 구조 매개변수

표 A.1 일반적인 초경합금 등급의 미세 구조적 특성

상표	코발트 함량(중량%)	입자 크기(μm)	다공성(%)	주요상 구성(%)
YG6	6	0.6-0.8	0.02-0.05	WC 90, Co 10
YG8	8	0.8-1.0	0.03-0.06	WC 88, Co 12
YG10	10	1.0-1.2	0.04-0.07	WC 86, Co 14

부록 B 오류 분석

B.1 계기 오류

현미경 측정 오차는 ±0.1 μm로, 입자 크기에는 <1% 영향을 미칩니다.

B.2 제조 결함

과도한 부식으로 인해 기공률이 0.05~0.1%까지 과대평가됩니다.

B.3 환경 영향

습도가 70% 이상이면 표면 산화가 일어나 위상 인식에 영향을 미칩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

부록 C 개선 제안

C.1 자동 이미지 분석 시스템을 사용하여 입자 크기 측정 정확도 ($<0.05 \mu\text{m}$)를 향상시킨다.

C.2 SEM-EDS를 사용하여 정량 오차 $<0.5\%$ 로 미량의 η 상을 검출한다. C.3 X선 회절(XRD)을 도입하여 상 구성의 일관성을 검증한다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 YG8 초경합금 미세구조 시험 데이터

샘플 번호	입자 크기 (μm)	다공성 (%)	화장실 (%)	공 (%)	η 상 (%)
YG8-001	0.9	0.04	88.2	11.6	0.2
YG8-002	0.8	0.03	88.5	11.4	0.1
YG8-003	0.9	0.05	88.0	11.8	0.2



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

GB/T 5314-2011 분말 야금용 분말

샘플링 방법 - 화학 성분

1 범위

이 절에서는 분말 야금용 분말의 샘플링 후 화학 조성을 결정하는 방법을 명시합니다. 이 방법은 금속 분말(예: 철 분말, 구리 분말, 텅스텐 분말, 코발트 분말 등) 및 분말 야금용 합금 분말에 적용 가능하며, 화학 분석을 통해 주요 원소(예: Fe, Cu, W, Co 등)와 불순물 원소(예: C, O, S, P 등)의 함량을 포함한 화학 조성을 결정하는 것을 목표로 합니다. 이 방법은 연구개발 과정에서 품질 관리, 생산 승인 및 부품 검증에 활용할 수 있습니다.

본 표준은 입자 크기가 $10\mu\text{m}$ 미만인 비금속 분말이나 초미립 나노 분말에는 적용되지 않습니다(GB/T 33822-2017 참조).

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 223.1 철, 강 및 합금의 화학 분석 방법 - 철 함량 측정을 위한 적정 방법

GB/T 223.3 철, 강 및 합금의 화학 분석 방법 - 인 함량 측정 - 디안트론 인산몰리브데이트 중량 측정법

GB/T 223.4 철, 강 및 합금의 화학 분석 방법 - 망간 함량 측정 - 전위차 적정 또는 시각적 적정 방법

GB/T 223.5 강철 및 합금의 화학 분석 방법 - 실리콘 함량 측정 - 실리콘-몰리브덴 블루 광도 측정 방법

GB/T 223.9 철, 강 및 합금의 화학 분석 방법 - 유황 함량 측정 - 요오드 적정법

GB/T 223.23 철, 강 및 합금의 화학 분석 방법 - 코발트 함량 측정 - 광도 측정법

GB/T 223.58 철, 강 및 합금의 화학 분석 방법 - 텅스텐 함량 측정 - 환원 중량법

GB/T 4336 탄소강 및 저합금강에 대한 스파크방전 원자 방출 분광 분석 방법

GB/T 5314-2011 분말 야금용 분말 샘플링 방법

ISO 4490 금속 분말의 샘플링 및 화학 분석을 위한 일반 원칙

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

야금 분말의 주요 원소와 불순물 원소를 포함한 다양한 원소의 질량 백분율(wt%)입니다.

3.2 샘플링

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

분말 배치에서 대표 샘플을 추출하는 프로세스는 GB/T 5314-2011 에 따라 수행됩니다.

3.3 불순물 원소:

탄소(C), 산소(O), 황(S), 인(P) 등의 미량 원소로 분말의 특성에 악영향을 미칩니다.

3.4 분말야금용 분말

분무, 환원 또는 화학적 방법을 통해 제조되고 압착 및 소결 공정에 사용되는 금속 또는 합금 분말입니다.

4 원칙

화학 성분 측정은 시료 채취 후 분말을 용해하거나 직접 분석하여 각 원소의 함량을 측정하는 화학 분석(적정, 중량법 등) 또는 기기 분석(분광법 등)을 통해 이루어집니다. 주요 원소(Fe, Cu, W, Co 등)는 표준 분석법으로 정량하고, 불순물 원소(C, O 등)는 특수 기기를 사용하여 측정합니다. 시료 채취의 품질과 균일성은 결과의 정확도에 직접적인 영향을 미치므로 GB/T 5314-2011 의 시료 채취 요건을 엄격히 준수해야 합니다.

5. 기기 및 장비

5.1 분석용 천칭

정확도 $\pm 0.0001\text{g}$, 샘플 무게 측정에 사용됩니다.

5.2 유도 결합 플라즈마 광 방출 분광기(ICP-OES)

측정 범위: ppm 수준 ~ wt % 수준, 정확도 $\pm 0.1\%$.

5.3 탄소 및 유황 분석기

정확도 $\pm 0.001\text{ wt \%}$ 로 C 와 S 함량을 결정합니다.

5.4 산소 및 질소 분석기

정확도 $\pm 0.0005\text{ wt \%}$ 로 O 및 N 함량을 결정합니다.

5.5 적정 장치

전위차 적정기 또는 자동 적정기를 장착하였으며 정확도는 $\pm 0.01\text{ mL}$ 입니다.

5.6 고온로

온도 범위는 $1000\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 이며, 샘플 용융이나 연소에 사용됩니다.

5.7 초음파 세척기

샘플 세척 및 표면 오염 제거에 사용됩니다.

6 시약

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

6.1 질산(HNO_3)

분석 등급, 농도 65%~68%.

6.2 염산(HCl)

분석 등급, 농도 36%~38%.

6.3 황산(H_2SO_4)

분석 등급, 농도 95%~98%.

6.4 표준 용액

Fe, Cu, W, Co 표준용액은 농도 0.01 mol/L 로 GB/T 601 에 부합합니다.

6.5 탈이온수

ISO 3696 1 등급 수질 기준을 준수합니다.

6.6 플럭스

Na_2CO_3 또는 Fe 분말과 같이 시료를 녹이는 데 사용됩니다.

7 샘플링

7.1 샘플링 방법

GB/T 5314-2011 에 따르면, 층화 샘플링이나 기계적 샘플링을 사용하여 분말 배치에서 대표 샘플을 추출합니다.

샘플링 지점: 최소 5 개 지점, 혼합 및 포장.

7.2 표본 크기

각 배치에서 총 샘플 50~100g 을 채취하고, 분석용으로 0.5~2g 을 채취합니다.

7.3 샘플 보관

산화나 습기 흡수를 방지하기 위해 밀폐 용기에 보관하세요.

8 테스트 방법

8.1 샘플 준비

0.5~2g 의 분말을 달아(정확도 $\pm 0.0001\text{g}$) 도가니에 넣습니다.

적당량의 플럭스(예: Na_2CO_3 5g)를 첨가하고 1000~1200°C 고온로에서 30 분간 용융시킨 후 냉각 후 묽은산($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1:1$)에 용해시킨다.

탈이온수를 사용하여 부피를 100mL 로 만들었습니다.

8.2 주요 원소의 결정

철(Fe): GB/T 223.1 적정법에 따라 정확도 $\pm 0.01 \text{ wt } \%$.

구리(Cu): GB/T 223.7 요오드 적정법에 따르면 정확도는 ± 0.01 중량%입니다.

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

텅스텐(W): GB/T 223.58 감량 중량법에 따라 정확도는 ± 0.05 중량%입니다.

코발트(Co): GB/T 223.23 광도 측정법에 따르면 정확도는 ± 0.02 중량%입니다.

8.3 불순물 원소의 결정

탄소(C): 탄소황 분석기, 고주파 연소법을 사용, 정확도는 ± 0.001 중량%입니다.

유황(S): 탄소 유황 분석기와 동일, 정확도는 ± 0.0005 중량%입니다.

산소(O₂): 산소 및 질소 분석기 사용, 용융-적외선 흡수법, 정확도 ± 0.0005 중량%.

인(P): GB/T 223.3 디안트론 인산몰리브데이트 중량법에 따라 정확도는 ± 0.001 중량%입니다.

8.4 기기 분석(선택 사항)

ICP-OES를 사용하여 검량선법을 통해 여러 원소를 동시에 측정하였으며 정확도는 주 원소의 경우 $\pm 0.1\%$, 불순물의 경우 $\pm 10\text{ppm}$ 이었습니다.

시료용액을 직접 주입하고, 측정과장은 표준에 맞게 선택합니다.

8.5 공시험

동일한 방법으로 샘플을 추가하지 않고 공시험을 실시하고 공시험 값을 뺍니다.

8.6 데이터 처리

최종 결과는 세 번 측정한 값의 평균으로 구해졌습니다.

단일 지점 편차가 $>5\%$ 인 경우(예: Fe 98%가 103%로 변경되는 경우) 해당 편차를 제거하고 다시 계산합니다.

결과는 소수점 둘째 자리까지 wt%로 표현됩니다.

9 결과 표현

화학적 조성은 소수점 이하 2 자리까지 질량 백분율(wt%)로 표현됩니다(예: Fe 98.50%, C 0.02%).

시험 보고서에는 다음 사항이 포함되어야 합니다.

- a) 표준 번호: GB/T 5314-2011; b) 샘플 설명: 분말 유형, 배치, 입자 크기; c) 샘플링 방법: GB/T 5314-2011 에 따름; d) 시험 조건: 온도, 습도; e) 기기 모델 및 교정 상태; f) 결과: 각 원소의 함량 및 편차; g) 시험 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일; h) 시험자: 서명.

10 정밀도와 편향

10.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자와 동일한 장비로 측정한 구성 편차는 $<0.5\%$ (주요 원소) 및 $<0.01\%$ (불순물)입니다.

재현성: 여러 실험실에서 측정한 구성 편차는 $<1\%$ (주요 원소) 및 $<0.02\%$ (불순물)입니다.

10.2 편향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기기 오차: ICP-OES 오차 $\pm 0.1\%$, 탄소-황 기기 오차 $\pm 0.001\%$.
표본 오차: 불균일성으로 인해 0.5-1%의 편차가 발생합니다.
샘플 오염: 표면 산화로 인해 산소 함량이 0.01~0.05% 과대평가됩니다.

11 가지 영향 요인

11.1 입자 크기 분포

입자 크기가 45 μm 미만이면 쉽게 산화되고 산소 함량이 0.02-0.05% 증가합니다.

11.2 보관 조건

습도가 높으면 (>70%) 표면 수분 흡수가 발생하여 C와 O 측정에 0.01~0.03% 영향을 미칩니다.

11.3 용융 과정

온도가 너무 높으면 (>1200° C) 원소가 휘발됩니다(예: Co 손실 0.1%).

11.4 불순물의 출처

낮은 원자재 순도(예: Fe 불순물 S >0.02%)는 결과에 영향을 미칩니다.

12 테스트 결과의 적용

12.1 품질 관리

Fe 분말 Fe $\geq 98\%$, C $\leq 0.02\%$ 와 같이 조성이 사양을 충족하는지 확인하세요.

12.2 프로세스 최적화

산소 함량이 0.1% 이상이면 환원이 불충분하므로 온도(800~1000° C)를 조절하세요.

12.3 성능 예측

S 함량 <0.01%, P 함량 <0.02%는 안정적인 소결 성능을 보장합니다.

12.4 예제

텅스텐 분말 W $\geq 99.9\%$, O <0.05%는 밀도가 19.2 g/cm³인 고밀도 합금에 사용됩니다.

13 개의 노트

13.1 계측기 교정

분석 장비는 시험 전에 교정되었으며, 편차는 $\pm 0.1\%$ 미만이었습니다.

13.2 샘플 품질

표본이 오염되지 않고 건조한 상태로 보관되었는지 확인하세요.

13.3 환경 관리

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

시험실 온도는 20~25° C, 습도는 60% 미만이었습니다.

13.4 보안 보호

작업 중에는 산이 튀는 것을 방지하기 위해 보호 안경을 착용하세요.

14 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 화학 성분 범위

표 A.1 일반 분말 야금 분말의 화학적 조성

파우더 타입	주성분 (중량%)	불순물의 상한 (중량%)
아이언 펜	철 ≥ 98.0	C ≤ 0.02 , O ≤ 0.1 , S ≤ 0.01
구리 가루	구리 ≥ 99.0	O ≤ 0.1 , Fe ≤ 0.1
텅스텐 분말	W ≥ 99.9	C ≤ 0.01 , O ≤ 0.05
코발트 분말	코발트 ≥ 99.5	철 ≤ 0.1 , 산소 ≤ 0.1

부록 B 오류 분석

B.1 계기 오류

ICP-OES 오차 $\pm 0.1\%$, 주요 원소에 미치는 영향 $< 0.1\%$.

B.2 표본 오차

불균일성으로 인해 Fe 에 0.5-1%의 편차가 발생합니다.

B.3 환경 영향

습도가 70% 이상이면 O 함량이 0.02% 과대평가됩니다.

부록 C 개선 제안

C.1 산소 함량 측정의 편차를 줄이기 위해 진공 용융법을 사용한다.

C.2 고정밀 ICP-MS 를 사용하여 미량 불순물 (< 1 ppm) 을 검출한다. C.3 균일성을 향상시키기 위해 자동 샘플링 시스템을 도입한다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 철분말 화학성분 시험자료

샘플 번호	철 (중량%)	C (중량%)	O (중량%)	S (중량%)	평균 Fe (중량%)
철-001	98.52	0.015	0.082	0.008	98.50
철-002	98.48	0.014	0.080	0.007	98.50
철-003	98.50	0.016	0.085	0.009	98.50

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

GB/T 5169-2013 초경합금의 기공률 시험 방법

1 범위

본 표준은 초경합금의 기공률 시험 방법을 규정합니다. 이 방법은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하는 초경합금 재료 및 제품(예: YG6, YG8 등)에 적용할 수 있습니다. 기공률(단위: %)은 금속조직학적 방법 또는 이미지 분석법을 통해 측정하며, A형(작은 기공), B형(큰 기공), C형(집적 기공)으로 구분됩니다. 이 방법은 생산 공정의 품질 관리, 제품 합격 판정 및 연구개발 성능 평가에 활용될 수 있습니다.

이 표준은 상당한 비금속 개재물을 함유하는 시멘트 카바이드나 코발트 기반이 아닌 카바이드에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 18376-2014 초경합금 미세조직 시험 방법

GB/T 3850-2015 시멘트 카바이드 밀도 측정 방법

GB/T 13298-2015 금속 미세구조 검사 방법

GB/T 4338 금속 미세구조 부식 방법

ASTM B276 시멘트 카바이드의 겉보기 기공률 측정

ISO 4505 초경합금 미세구조 평가 방법

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

3.1 기공률

초경합금의 기공 부피 분율은 재료의 밀도를 반영합니다. 단위는 %이며, A형(직경 $<10\ \mu\text{m}$), B형(직경 $10\text{--}25\ \mu\text{m}$), C형(직경 $>25\ \mu\text{m}$)으로 나눌 수 있습니다.

분말야금 공정을 통해 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료이다.

3.3 금속학적 방법:

시료 준비, 부식 및 현미경 관찰을 통해 기공률을 정량적으로 결정하는 방법입니다.

3.4 이미지 분석 방법:

이 방법은 이미지 처리 기술을 사용하여 현미경이나 주사 전자 현미경(SEM) 이미지에서 기공 데이터를 추출합니다.

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 원칙

초경합금의 기공률 시험은 시편 준비 후 광학 현미경이나 주사전자현미경(SEM)을 통해 시편의 단면 미세구조를 관찰하고 기공(A, B, C형)을 식별 및 분류하는 것을 기반으로 합니다. 금속학적 방법은 기공의 수와 면적을 수동 또는 자동으로 계산하여 기공률을 계산합니다. 이미지 분석 방법은 소프트웨어를 사용하여 이미지 데이터를 처리하고 기공 분포와 비율을 자동으로 측정합니다. 기공률은 소결 공정, 탄소 수치, 미세구조 균일성과 밀접한 관련이 있으며 재료 특성에 영향을 미칩니다.

5. 기기 및 장비

5.1 광학 현미경

배율 100 배~1000 배, 이미지 분석 시스템 탑재, 정확도 $\pm 0.1 \mu\text{m}$.

5.2 주사전자현미경(SEM)

분해능은 $\leq 0.1 \mu\text{m}$ 이며, 기공 특성 분석을 위한 에너지 분산 분광기(EDS)가 장착되어 있습니다.

5.3 절단기

열 손상을 방지하기 위해 다이아몬드 커팅 휠과 냉각수 순환 장치가 장착되어 있습니다.

5.4 연삭 및 연마기

SiC 사포(#200-#1200)와 다이아몬드 서스펜션(입자 크기 1-3 μm)을 장착하여 표면 거칠기 $R_a \leq 0.05 \mu\text{m}$ 를 구현하였습니다.

5.5 초음파 세척기

샘플 세척 및 잔여 분쇄 물질 제거에 사용됩니다.

5.6 항온 상자

건조 온도를 $\pm 2^\circ \text{C}$ 의 정확도로 105°C 까지 제어합니다.

6 시약

6.1 탈이온수

ISO 3696 1 등급 수질 기준을 준수합니다.

6.2 무라카미 시약

공식: $10\text{g K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 10\text{g KOH} + 100\text{mL H}_2\text{O}$, 부식 시간은 샘플 반응에 따라 5~30 초입니다.

6.3 에탄올

분석 등급, 농도 $\geq 99.5\%$, 세척에 사용됨.

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

7 개의 표본

7.1 샘플 요구 사항

모양: 직사각형 또는 원통형, 크기 $\geq 10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 5\text{mm}$, 질량 $\geq 5\text{g}$.

표면 상태: 균열($<5\ \mu\text{m}$)이나 산화층 없음, 기공률 $<0.5\%$.

균질성: 구성 편차 $<0.1\%$ 중량 %, 입자 크기 변동 $<5\%$.

수량: 배치당 샘플 3 개 이상, 대표성 높음.

7.2 샘플 준비

절단: 절단은 소결 방향에 수직인 다이아몬드 절단 휠을 사용하여 수행되며, 냉각수로 윤활되고 속도는 $<500\ \text{rpm}$ 입니다.

연삭: #200, #400, #800, #1200 SiC 사포를 순서대로 사용하여 $20\sim 30\text{N}$ 의 압력을 가하고, 시간은 레벨당 2~3 분입니다.

연마: $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 다이아몬드 현탁액과 폴란넬 천을 사용하여 5~10 분간 연마합니다. 표면 $R_a \leq 0.05\ \mu\text{m}$.

세척 및 건조: 에탄올을 사용하여 초음파 세척을 5 분간 실시하고, 105°C 에서 30 분간 건조시킨 후 실온으로 냉각합니다.

8 미세구조 디스플레이

8.1 부식

무라카미 시약을 사용하여 시료 표면을 5~30 초간 부식시킨다(WC 는 갈색, Co 는 흰색, 기공은 검은색). 반응을 관찰하고, 필요한 경우 시간을 조절한다.

부식 후에는 탈이온수로 행구고, 에탄올로 수분을 제거한 후 즉시 건조하세요.

8.2 검사

과도한 부식(결정립계가 흐릿함)이나 과소 부식(기공이 드러나지 않음) 없이 균일한 부식을 보장합니다.

9 다공성 시험

9.1 금속학

관찰: 배율이 500 배~1000 배인 광학현미경을 사용하여 무작위로 10 개의 시야를 관찰합니다.

측정: A, B, C 형 기공의 개수를 수동으로 세어 기공 면적을 측정합니다(정확도 $\pm 0.1\ \mu\text{m}^2$).

계산식: 다공성 = 총 기공 면적/총 필드 면적 $\times 100\%$, 소수점 이하 2 자리까지 유지.

9.2 이미지 분석

관찰: SEM 또는 고해상도 광학 현미경을 사용하여 배율 1000 배~5000 배로 10 장의 사진을 찍습니다.

분석: 이미지 처리 소프트웨어(ImageJ 등)를 사용하여 자동으로 기공을 식별하고 A,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

B, C 유형으로 분류하고 면적 백분율을 계산합니다.

검증: 측정을 3 회 반복하여 평균값을 구합니다. 편차는 0.02% 미만입니다.

9.3 기공 분류

A 형: 직경 $<10\ \mu\text{m}$, 작은 기공.

B 형: 직경 $10\sim 25\ \mu\text{m}$, 큰 기공.

유형 C: 직경 $>25\ \mu\text{m}$, 응집물.

10. 결과 표현

다공성은 %로 표현되며, 소수점 이하 두 자리까지 표현됩니다(예: 0.05%).

시험 보고서에는 다음이 포함되어야 합니다.

a) 표준 번호: GB/T 5169-2013; b) 샘플 설명: 브랜드, 배치, 크기; c) 준비 조건: 절단, 연삭, 연마; d) 시험 방법: 금속학적 방법 또는 이미지 분석 방법; e) 결과: 총 기공률 및 A, B, C 유형 분포; f) 시험 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일; g) 시험자: 서명.

11 정밀도와 편향

11.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자와 동일한 장비로 측정한 다공성 편차는 $<0.02\%$ 입니다.

재현성: 실험실 간 다공성 편차는 $<0.05\%$ 입니다.

11.2 편향

기기 오차: 현미경 측정 오차 $\pm 0.1\ \mu\text{m}$, 충격 $<0.01\%$.

준비 오류: 연마 스크래치나 과도한 에칭으로 인해 기공률이 $0.02\sim 0.05\%$ 까지 과대평가될 수 있습니다.

시편 불균일성: 구성 편차 $>0.1\ \text{wt}\%$ 로 인해 기공률 변동이 0.1% 발생합니다.

12 가지 영향 요인

12.1 소결 공정

온도 ($1350\sim 1500^\circ\text{C}$)는 기공률에 영향을 미치고, 1450°C 이상에서는 B 형 및 C 형 기공이 증가합니다(0.1% 이상).

열간 등방성 압축(HIP, 150 MPa)으로 전체 기공률이 감소했습니다($<0.01\%$).

12.2 탄소 균형

탄소가 부족하면 η 상이 형성되어 다공성이 $0.05\sim 0.1\%$ 증가하고, 탄소가 너무 많으면 유리 탄소가 침전되어 영향이 0.02% 미만입니다.

12.3 입자 크기

미세한 입자($0.2\sim 0.5\ \mu\text{m}$)는 기공률이 낮습니다($<0.03\%$). 반면, 조립질 입자($>5\ \mu\text{m}$)는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기공률이 높습니다(>0.15%).

12.4 결함

내포물(예: Fe 0.1%)로 인해 국부적으로 기공률이 0.05~0.1% 증가합니다.

13 테스트 결과의 적용

13.1 품질 관리

다공성 <0.05%는 YG6 기준을 충족하며 경도 HRA >90 을 보장합니다.

13.2 프로세스 최적화

다공성 > 0.1%는 소결이 불충분함을 나타내므로 온도(1400° C) 또는 압력을 조정하세요.

13.3 성능 예측

다공성 <0.03%는 높은 굽힘 강도(>2000 MPa)에 해당하고, >0.1%는 인성을 감소시킵니다.

13.4 예제

YG8 공구, 다공성 0.04%, 절삭 수명 >3 시간.

14 개의 노트

14.1 계측기 교정

현미경은 시험 전에 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 의 오차로 교정되었습니다.

14.2 샘플 품질

시험 표면에 긁힌 자국이 없고 부식이 균일한지 확인하세요.

14.3 환경 관리

시험실 온도는 20~25° C, 습도는 60% 미만이었습니다.

14.4 보안 보호

부식성 액체가 튀는 것을 방지하기 위해 작동 중에는 보호 안경을 착용하세요.

15 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 다공성 범위

표 A.1 일반적인 초경합금 등급의 기공률

상표	코발트 함량(중량%)	입자 크기(μm)	다공성(%)
YG6	6	0.6-0.8	0.02-0.05

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

상표	코발트 함량(중량%)	입자 크기(μm)	다공성(%)
YG8	8	0.8-1.0	0.03-0.06
YG10	10	1.0-1.2	0.04-0.07

부록 B 오류 분석

B.1 계기 오류

현미경 측정 오차는 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 로, 다공성에 $<0.01\%$ 영향을 미칩니다.

B.2 제조 결함

과도한 부식으로 인해 기공률이 0.02~0.05%까지 과대평가됩니다.

B.3 환경 영향

습도가 70% 이상이면 표면 산화가 발생하여 측정 결과에 0.01% 영향을 미칩니다.

부록 C 개선 제안

C.1 X선 단층촬영(CT)을 사용하여 내부 기공률을 0.01% 미만의 정확도로 측정합니다.

C.2 자동 이미지 분석 시스템을 사용하여 기공률 측정의 일관성을 개선합니다. C.3 진공 소결 공정을 도입하여 초기 기공률을 줄입니다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 YG8 초경합금의 기공률 시험 데이터

샘플 번호	A 형(%)	B 형(%)	C 형(%)	총 다공성(%)	평균값(%)
YG8-001	0.02	0.01	0.00	0.03	0.04
YG8-002	0.03	0.01	0.01	0.05	0.04
YG8-003	0.02	0.02	0.00	0.04	0.04

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

GB/T 12444-2006 금속 및 합금의 내마모성 시험 방법

1 범위

본 표준은 금속 및 합금의 내마모성 시험 방법을 규정합니다. 이 방법은 금속 및 합금 재료(강철, 알루미늄 합금, 구리 합금 등)와 그 표면 코팅에 적용할 수 있습니다. 실험실에서 제어되는 조건에서 마모 시험을 통해 저응력 마모(스크래치 마모), 고응력 마모(충격 마모), 슬라이딩 마모를 포함한 재료의 내마모성을 평가합니다. 이 방법은 재료 선정, 품질 관리, 생산 승인 및 연구개발 과정에서 내마모성 평가에 활용할 수 있습니다.

이 표준은 비금속 재료나 극한 환경(예: 1000° C 이상의 고온 또는 고도로 부식성 있는 환경)에서의 마모에는 적용할 수 없습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 6394 금속 시험편 치수 및 준비 방법

GB/T 10610 금속 재료의 표면 거칠기 측정

GB/T 13298-2015 금속 미세구조 검사 방법

ASTM G65 건조모래/고무 휠 마모 시험 표준 시험 방법

ASTM D4060 Taber 연마기를 사용한 유기 코팅의 내마모성에 대한 표준 시험 방법

ISO 8251 알루미늄 및 그 합금의 양극산화 피막의 내마모성 측정

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

3.1 내마모성

특정 마모 조건에서 금속이나 합금이 표면 재료 손실에 저항하는 능력으로, 일반적으로 질량 손실, 부피 손실 또는 마모 깊이로 특징지어집니다.

3.2 저응력 마모:

약간의 굽힘이나 미끄러짐으로 인해 발생하는 마모로, 하중과 충격이 적은 마모 환경에서 흔히 발생합니다.

3.3 고응력 마모:

높은 하중이나 충격으로 인해 발생하는 마모로, 종종 재료 표면의 소성 변형이나 파손을 동반합니다.

3.4 슬라이딩 마모

두 표면이 서로 미끄러질 때 발생하는 마찰로 인한 재료 손실입니다.

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

3.5 마모율

단위 시간당 또는 단위 슬라이딩 거리당 재료 손실량으로, g/m 또는 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ 로 표현됩니다.

4 원칙

금속 및 합금의 내마모성은 통제된 실험실 조건에서 마모 시험을 통해 평가됩니다. 시험 방법으로는 건식 모래/고무 휠 시험(저응력 마모), 테이머 마모 시험(슬라이딩 마모), 충격 마모 시험 등이 있으며, 이는 다양한 마모 메커니즘을 시뮬레이션합니다. 내마모성은 시험 전후 시편의 질량 손실, 부피 손실 또는 마모 깊이를 측정하여 평가합니다. 시험 조건(하중, 속도, 연마재 종류 등)은 결과에 직접적인 영향을 미치므로 엄격하게 관리해야 합니다.

5. 기기 및 장비

5.1 분석용 천칭

정확도: $\pm 0.0001\text{g}$, 샘플 질량을 측정하는 데 사용됩니다.

5.2 건사/고무 휠 시험기

ASTM G65 요구 사항 충족, 고무 바퀴 경도 60-70 Shore A, 모래 흐름 속도 300-400g/분.

5.3 테이머 마모 시험기

CS-17 또는 H-18 연삭 휠, 500-1000g 하중으로 ASTM D4060 요구 사항을 충족합니다.

5.4 충격마모 시험기

높은 응력 마모를 시뮬레이션하고, 충격 빈도는 분당 50~100 회, 하중은 10~50N 입니다.

5.5 현미경

배율 50~500 배, 마모 형태를 관찰하는 데 사용됩니다.

5.6 표면 거칠기 측정기

GB/T 10610 을 준수하며 측정 범위 R_a 0.01-10 μm 입니다.

6 시약 및 재료

6.1 표준 연마재

건조 모래: ASTM G65 에 따라 천연 석영 모래, 입자 크기 50-70 메시.
테이머 휠: CS-17(중간 경도) 또는 H-18(높은 경도).

6.2 에탄올

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

분석 등급, 농도 $\geq 99.5\%$, 세척에 사용됨.

6.3 탈이온수

ISO 3696 1 등급 수질 기준을 준수합니다.

7 개의 표본

7.1 샘플 요구 사항

모양: 직사각형 또는 원형, 치수 $76\text{mm} \times 25\text{mm} \times 6\text{mm}$ (건조 모래/고무 바퀴 테스트) 또는 100mm 직경 $\times 3\text{mm}$ 두께(테이버 테스트).

표면 상태: 표면이 매끄럽고 균열이 없으며 거칠기 $Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$ 입니다.

수량: 각 조건당 최소 3 개의 표본.

균질성: 구성 편차 <0.1 중량 %.

7.2 샘플 준비

시편은 GB/T 6394 에 따라 절단되었으며, 표면은 #600-#1200 SiC 사포로 연마되었습니다.

샘플은 에탄올로 5 분간 초음파 세척한 후 건조 후 무게를 측정했습니다($\pm 0.0001\text{g}$).

8 테스트 방법

8.1 건조모래/고무바퀴 시험(저응력 마모)

8.1.1 테스트 조건

하중: 130N.

모래 흐름 속도: 300-400g/분.

테스트 시간: 6000rpm(약 30 분).

환경: 온도 $23 \pm 2^\circ \text{C}$, 습도 $50 \pm 5\%$.

8.1.2 테스트 단계

시험기 고정장치에 샘플을 고정하고 고무 바퀴가 샘플에 닿도록 조정합니다.

모래 흐름을 시작하고 고무 바퀴를 돌린 후 테스트 시작 시의 질량(W_1)을 기록합니다.

시험 후 시료를 꺼내어 세척하고 건조한 후 무게를 측정한다(W_2).

질량 손실을 계산하세요: $\Delta W = W_1 - W_2$

측정은 3 회 반복하였으며, 편차 $<5\%$ 로 평균값을 구하였다.

8.2 테이버 마모 시험(슬라이딩 마모)

8.2.1 테스트 조건

연삭 휠: CS-17(중간 마모).

하중: 1000g.

회전 속도: 60 rpm.

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

시험주기: 10000 회전.

환경: 온도 $23 \pm 2^\circ \text{C}$, 습도 $50 \pm 5\%$.

8.2.2 테스트 단계

테이버 시험기의 턴테이블에 샘플을 고정하고 연삭 휠을 설치합니다.

시험 시작 시 질량(W_1)을 기록합니다.

시험기를 가동하고 10,000 회전 시킨 후 분쇄 잔여물을 정기적으로 청소합니다.

시험 후 시료를 깨끗이 세척하고 무게를 측정한다(W_2).

질량 손실을 계산하세요:
$$\text{磨耗指数} = \frac{\Delta W}{\text{磨转数}} \times 1000$$

측정은 3 회 반복하였으며, 편차 <5%로 평균값을 구하였다.

8.3 충격마모 시험(고응력 마모)

8.3.1 테스트 조건

하중: 20N.

충격 빈도: 60 회/분.

시험 시간: 30 분.

환경: 온도 $23 \pm 2^\circ \text{C}$, 습도 $50 \pm 5\%$.

8.3.2 테스트 단계

충격 시험기의 고정 장치에 샘플을 고정하고 충격 헤드의 위치를 조정합니다.

시험 시작 시 질량(W_1)을 기록합니다.

시험 장비를 가동하고 30 분 동안 작동시킨 후 충격 횟수를 기록합니다.

시험 후 시료를 깨끗이 세척하고 무게를 측정한다(W_2).

질량 손실을 계산하세요: $\Delta W = W_1 - W_2$

측정은 3 회 반복하였으며, 편차 <5%로 평균값을 구하였다.

9 결과 표현

질량 손실은 소수점 넷째 자리까지 그램 단위로 표현됩니다(예: 0.0123g).

마모 지수는 소수점 첫째 자리까지 mg/1000 회전으로 표현됩니다(예: 1.2 mg/1000 회전).

시험 보고서에는 다음이 포함되어야 합니다.

- a) 표준 번호: GB/T 12444-2006; b) 샘플 설명: 재료 브랜드, 크기, 표면 상태; c) 시험 방법: 건식 모래/고무 휠, 테이버 마모 또는 충격 마모; d) 시험 조건: 하중, 속도, 연마 유형; e) 결과: 질량 손실 또는 마모 지수; f) 시험 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일; g) 시험자: 서명.

10 정밀도와 편향

10.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자와 동일한 장비로 측정한 질량 손실 편차는 5% 미만입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

재현성: 여러 실험실에서 측정한 질량 손실의 편차는 <10%입니다.

10.2 편향

기기 오차: 균형 오차 $\pm 0.0001\text{g}$, 영향 <1%.

연마 편차: 입자의 불균일성으로 인해 질량 손실이 2-5% 변동합니다.

환경적 영향: 습도가 60% 이상이면 표면 산화가 일어나 2% 미만에 영향을 미칩니다.

11 가지 영향 요인

11.1 재료 정도

높은 정도(HRC >60 등)는 내마모성이 우수하고 질량 손실을 10~20% 줄여줍니다.

11.2 표면 거칠기

$R_a > 1.0 \mu\text{m}$ 에서는 마모와 질량 손실이 5-10% 증가합니다.

11.3 연마 특성

모래 입자 크기를 늘리면(70 메시 이상) 마모가 증가하고 질량 손실도 10~15% 증가합니다.

11.4 테스트 조건

하중(130N에서 150N)을 증가시키면 질량 손실이 5-8% 증가합니다.

12 테스트 결과의 적용

12.1 재료 선택

질량 손실 <0.01g 높은 내마모성 요구 사항을 충족하며 광산 장비에 적합합니다.

12.2 프로세스 최적화

질량 손실이 0.05g 이상일 경우 열처리가 불충분함을 나타내며, 담금질 온도를 조정해야 합니다(900° C).

12.3 성능 예측

마모 지수가 1.5mg/1000 회전 미만이면 사용 수명이 10년 이상입니다.

12.4 예제

45# 강철, 건조모래 시험 질량 감소 0.008g, 굴삭기 버킷에 사용, 수명>5000 시간.

13 개의 노트

13.1 계측기 교정

시험 기계는 시험 전에 교정되었으며, 하중 편차는 < $\pm 1\%$ 였습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13.2 샘플 품질

시험 표면이 깨끗하고 거칠기가 균일한지 확인하세요.

13.3 환경 관리

시험실 온도는 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도는 $50 \pm 5\%$ 였습니다.

13.4 보안 보호

작업 중에는 모래가 튀는 것을 방지하기 위해 보호 안경을 착용하세요.

14 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 내마모성 데이터

표 A.1 일반 금속 및 합금의 질량 손실

재료	테스트 방법	질량 손실 (g)	마모 지수 (mg/1000 회전)
45# 강철	건조 모래/고무바퀴	0.008	—
304 스테인리스 스틸	테이퍼 웨어	0.012	1.2
알루미늄 합금 6061	충격 마모	0.015	—

부록 B 오류 분석

B.1 계기 오류

균형 오차는 $\pm 0.0001\text{g}$ 이고 영향은 $<1\%$ 입니다.

B.2 연마 편차

모래 입자의 불균일성으로 인해 질량 손실이 2~5%까지 변동합니다.

B.3 환경 영향

습도가 60% 이상이면 표면 산화가 일어나 2% 미만에 영향을 미칩니다.

부록 C 개선 제안

C.1 레이저 현미경을 사용하여 마모 깊이를 정확하게 측정합니다 ($<0.01\ \mu\text{m}$).

C.2 표준화된 연마재를 사용하여 편차를 줄입니다. C.3 실시간 모니터링 시스템을 도입하여 시험의 일관성을 향상시킵니다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 45# 강철 건조 모래/고무 휠 테스트 데이터

샘플 번호	시험 전 질량 (g)	시험 후 질량 (g)	질량 손실 (g)	평균값 (g)
45#-001	50.1234	50.1156	0.0078	0.0080
45#-002	50.1250	50.1169	0.0081	0.0080
45#-003	50.1242	50.1160	0.0082	0.0080

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

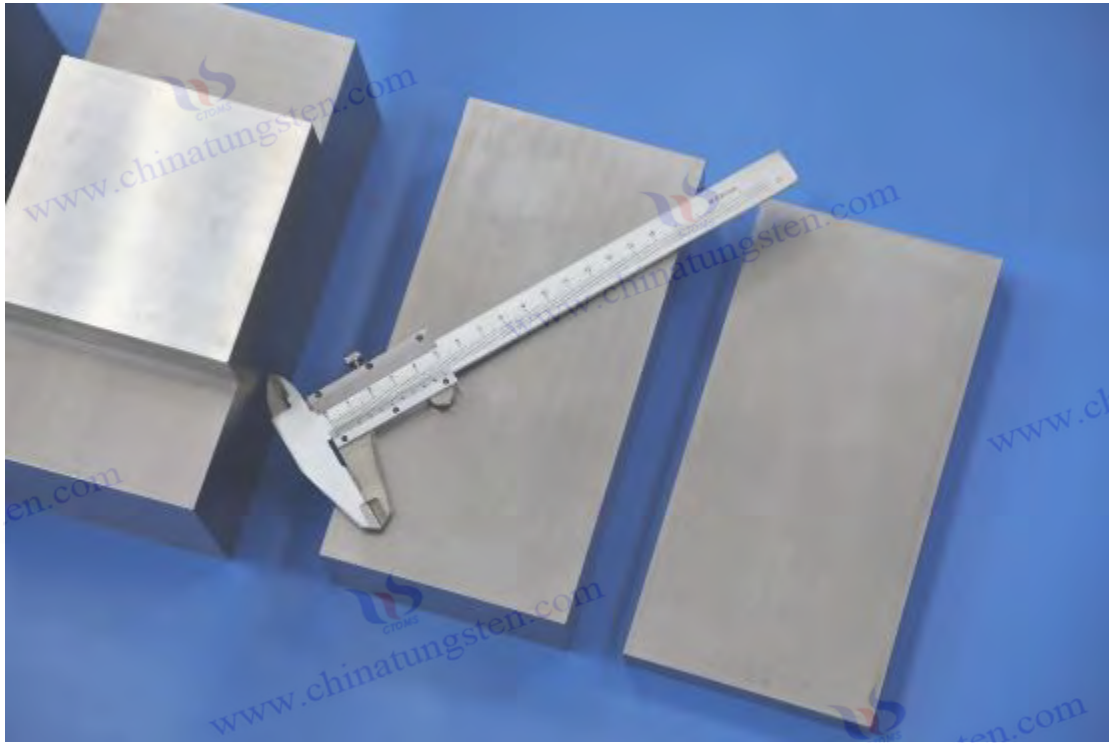
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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



GB/T 1482-2010 금속 분말의 유동성 측정

홀 유량계 방식

1 범위

본 표준은 홀 유량계법을 이용하여 금속 분말의 유동성을 측정하는 방법을 규정합니다. 이 방법은 직경 2.5mm의 표준 깔때기를 자유롭게 통과할 수 있는 금속 분말에 적용 가능합니다. 분말 50g이 표준 깔때기를 통과하는 데 걸리는 시간(단위: 초)을 측정하여 분말의 유동성을 평가합니다. 이 방법은 분말 야금, 적층 제조(예: 3D 프린팅, SLM, EBM 공정) 및 관련 분야의 연구개발에서 품질 관리, 생산 승인 및 유동성 평가에 사용될 수 있습니다.

본 표준은 유동성이 없는 분말(입자 크기가 $<10\mu\text{m}$ 인 초미분말이나 접착력이 강한 분말 등)에는 적용할 수 없습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 5314-2011 분말 야금용 분말 샘플링 방법

GB/T 1479.1-2010 금속 분말의 겉보기 밀도 측정 1부: 깔때기법

GB/T 31057.3-2008 과립 재료의 물리적 특성 제3부: 유동성 지수

ISO 4490:2008 교정된 깔때기(홀 레오미터)를 사용한 금속 분말의 흐름 특성 결정

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

ASTM B213-17 홀 유량계 깔때기를 사용하여 금속 분말의 유량을 측정하는 표준 방법

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

3.1 유동성

특정 조건 하에서 금속 분말이 자유롭게 흐를 수 있는 능력으로, 50g의 분말이 표준 깔때기(기공 크기 2.5mm)를 통과하는 데 필요한 시간(초)으로 표시하며, 단위는 s/50g입니다.

3.2 홀 유량계:

금속 분말의 유동성을 측정하는 데 사용되는 기기입니다. 표준 깔때기, 수용 용기, 그리고 시간 측정 장치로 구성됩니다.

3.3 금속 분말

분무, 환원 또는 화학적 방법을 통해 제조된 금속 또는 합금 입자로, 분말 야금이나 첨가 제조에 사용됩니다.

3.4 자유 흐름:

분말은 외부 힘(중력만) 없이도 표준 깔때기를 통해 계속 흐를 수 있습니다.

4 원칙

홀 유량계법은 금속 분말 50g이 직경 2.5mm의 표준 깔때기를 통과하는 데 걸리는 시간을 측정하여 금속 분말의 유동성을 평가합니다. 유동성은 입자 크기, 형상, 표면 상태, 접착력, 마찰력 등 분말의 물리적 특성에 영향을 받습니다. 유동 시간이 짧을수록 유동성이 우수합니다. 결과의 반복성과 정확성을 보장하기 위해 제어된 환경 조건에서 시험을 수행해야 합니다.

5. 기기 및 장비

5.1 홀 유량계

깔때기: 비자성, 내식성 금속(스테인리스 스틸 등)으로 만들어졌으며, 내벽은 광택이 나고 거칠기 $Ra \leq 0.4 \mu m$ 입니다.

깔때기 기하학적 매개변수: 상단 직경 60mm, 하단 조리개 $2.5 \pm 0.02mm$, 원뿔 각도 $60^\circ \pm 0.5^\circ$.

높이: 바닥 구멍에서 꼭대기까지 $100 \pm 2mm$.

5.2 컨테이너 수령

유출되는 분말을 받는 데 사용되는 용량 $\geq 100mL$, 직경 $\geq 39mm$.

5.3 분석용 천칭

측정 범위 $\geq 100g$, 정확도 $\pm 0.01g$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4 스톱워치

정확도 ± 0.2 초, 타이밍에 사용됨.

5.5 초음파 세척기

칼때기와 용기를 세척하는 데 사용합니다.

5.6 건조 오븐

분말 건조를 위한 온도 조절 범위는 $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 입니다.

6 시약

6.1 에탄올

분석 등급, 농도 $\geq 99.5\%$, 세척에 사용됨.

6.2 탈이온수

ISO 3696 1 등급 수질 기준을 준수합니다.

7 개의 표본

7.1 샘플 요구 사항

샘플 용량: 최소 200g, 2.5mm 기공 칼때기를 통해 자유롭게 흐를 수 있어야 합니다.

입자 크기: 일반적으로 10-150 μm 이며, 분말 유형에 따라 다릅니다.

균일성: 입자 크기 분포 편차 $< 5\%$, 응집이나 층화를 방지합니다.

수량: 각 배치는 샘플링 후 3 개 부분으로 나누어야 하며, 각 부분은 $\geq 50\text{g}$ 이어야 합니다.

7.2 샘플 준비

대표성을 보장하기 위해 GB/T 5314-2011 에 따라 분말 배치에서 샘플을 채취했습니다.

샘플을 건조 오븐($105 \pm 2^{\circ}\text{C}$)에 넣고 30 분간 건조한 후 실온으로 식힙니다.

분말 표면에 오일이 묻어 있을 경우 에탄올 초음파 세척을 5 분간 실시하고 건조 후 사용하세요.

8 테스트 방법

8.1 테스트 조건

주변 온도: $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

상대 습도: $50 \pm 5\%$, 분말이 습기를 흡수하지 않도록 하세요.

테스트 장소: 공기 흐름 방해가 없고, 계측기는 수평면에 놓입니다.

8.2 계측기 교정

칼때기 구멍($2.5 \pm 0.02\text{mm}$)을 확인하여 막힘이나 변형이 없는지 확인하세요.

이 기기는 표준 분말(유속이 알려진 순수 구형 분말, 예를 들어 유출 시간 30 ± 1 초/50g)을 사용하여 편차 $< \pm 2\%$ 로 교정되었습니다.

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

8.3 테스트 절차

50±0.01g의 샘플을 달아 질량(m)을 기록합니다.

칼때기 바닥에 있는 구멍을 손가락이나 방수판으로 잠시 닫고, 칼때기에 샘플을 부어 분말이 고르게 분포되도록 합니다.

스톱워치를 작동시키고 동시에 방해판을 제거하여 분말이 자유롭게 흐르도록 합니다. 분말이 완전히 흘러나올 때(칼때기에 잔여물이 없을 때), 타이밍을 멈추고 유출 시간(t, 단위: 초)을 기록합니다.

각 샘플은 3번 측정되었으며, 편차가 <±2초인 평균값을 취했습니다.

분말이 흘러나올 수 없거나 중간에 막힌 경우, "흐를 수 없음"으로 기록하세요.

8.4 데이터 처리

유동성은 유출 시간(초/50g)으로 소수점 첫째 자리까지 표현됩니다(예: 32.5 초/50g). 세 가지 측정값의 편차가 2초 이상일 경우, 이상치를 제거하고 테스트를 반복했습니다.

9 결과 표현

유동성은 유출 시간(s/50g)으로 소수점 첫째 자리까지 표현됩니다.

시험 보고서에는 다음 사항이 포함되어야 합니다.

a) 표준 번호: GB/T 1482-2010; b) 샘플 설명: 분말 유형, 배치, 입자 크기 분포; c) 시험 조건: 온도, 습도; d) 기기 상태: 칼때기 조리개, 교정; e) 결과: 평균 유출 시간 및 편차; f) 시험 날짜: 예: 2025년 5월 21일; g) 시험자: 서명.

10 정밀도와 편향

10.1 정밀도

반복성: 동일한 작업자와 동일한 장비로 측정한 유출 시간 편차는 <±2초입니다.

재현성: 다양한 실험실에서 측정한 유출 시간의 편차는 <±3초입니다.

10.2 편향

기기 오류: 칼때기 조리개 편차 ±0.02mm, 충격 시간 <±1초.

분말 상태: 수분 흡수 또는 응집으로 인해 유출 시간이 2~5초 더 길어집니다.

작동 오류: 불균일한 주입이나 타이밍 편차로 인해 <±1초가 발생합니다.

11 가지 영향 요인

11.1 입자 크기 분포

입자 크기가 45 μm 미만이면 접착력이 증가하고 유출 시간이 5~10초 길어집니다.

입자 크기가 150 μm 이상이면 유동성이 좋아지고 유출 시간이 3~5초 단축됩니다.

11.2 입자 모양

구형 분말(AEM 증착으로 생산한 분말, 흐름 시간이 <35 초/50g)은 불규칙한

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

모양(5~10 초 더 길다)보다 흐름이 더 좋습니다.

11.3 표면 상태

거친 표면이나 위성 볼(작은 입자가 부착된 것)을 사용하면 유출 시간이 3~8 초 더 길어집니다.

11.4 환경 조건

습도가 60% 이상이면 분말이 습기를 흡수하고 유출 시간이 2~5 초 길어집니다.

11.5 분말 특성

접착력이나 마찰력이 강하면(미세한 분말이나 산화된 표면 등) 흐름이 나빠지고 흐르지 않을 수 있습니다.

12 테스트 결과의 적용

12.1 품질 관리

유출 시간 <35 초/50g 는 3D 프린팅 SLM 공정 요구 사항을 충족합니다.

12.2 프로세스 최적화

유출 시간이 40 초/50g 를 초과하는 경우 입자 모양이 좋지 않고 분무 과정을 최적화해야 함을 나타냅니다.

12.3 성능 예측

유출 시간 <30 초/50g 는 균일한 분말 분산 성능이 우수하고 인쇄 결함율이 <1%에 해당합니다.

12.4 예제

티타늄 합금 분말(Ti-6Al-4V), 유출 시간 32.5 초/50g, 항공 부품 인쇄에 사용, 표면 거칠기 $Ra < 5 \mu m$.

13 개의 노트

13.1 계측기 교정

칼때기 조리개와 스톱워치는 시험 전에 보정되었으며, 편차는 $\pm 1\%$ 미만이었습니다.

13.2 샘플 품질

표본이 건조하고 응집물이 없는지 확인하세요.

13.3 환경 관리

시험실 온도는 $23 \pm 2^\circ C$, 습도는 $50 \pm 5\%$ 였습니다.

13.4 보안 보호

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

작업 중에는 분말이 튀는 것을 피하고 보호 마스크를 착용하세요.

14 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 유동성 데이터

표 A.1 일반 금속 분말의 흐름 시간

파우더 타입	입자 크기(μm)	입자 모양	유동 시간(초/50g)
티타늄 합금 분말	15-45	구의	30.0-35.0
스테인리스 스틸 파우더	20-63	구의	28.0-33.0
구리 가루	45-100	불규칙한	35.0-40.0

부록 B 오류 분석

B.1 계기 오류

$\pm 0.02\text{mm}$ 의 깔때기 조리개 편차는 유출 시간에 $< \pm 1$ 초의 영향을 미칩니다.

B.2 분말 상태

습기를 흡수하면 유출 시간이 2~5 초 더 길어집니다.

B.3 환경 영향

습도가 60% 이상이면 유출 시간이 2~3 초 늘어납니다.

부록 C 개선 제안

C.1 자동 타이밍 시스템을 사용하여 수동 타이밍 오류를 줄입니다.

C.2 레이저 입도 분석기를 사용하여 입도 분포를 정확하게 제어합니다. C.3 진동 장치를 사용하여 고점착성 분말의 유동성을 향상시킵니다.

부록 D 테스트 데이터 예제

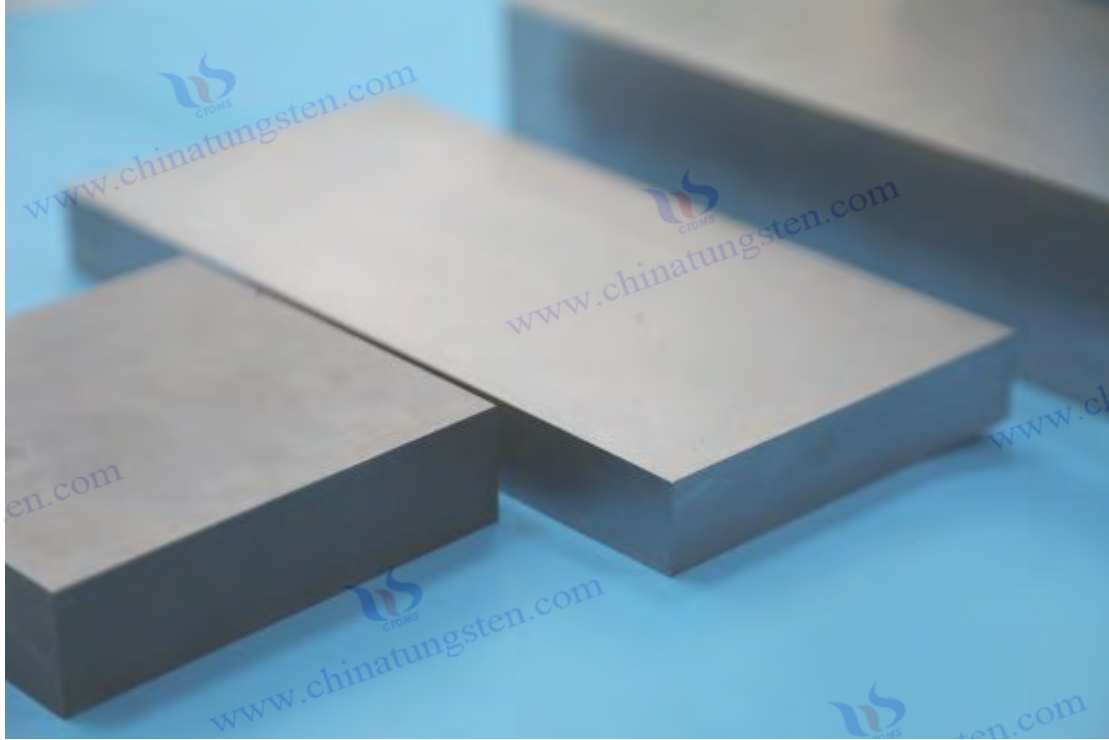
표 D.1 스테인리스강 분말 유동성 시험 데이터

샘플 번호	질량(g)	흐름 시간(들)	평균 유출 시간(초/50g)
SS-001	50.02	32.8	32.5
SS-002	50.01	32.4	32.5
SS-003	50.00	32.3	32.5

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



GB/T 5243-2008 시멘트 카바이드 등급의 특성 표시 방법

1 범위

본 표준은 초경합금 재종 성능 표시 방법을 규정합니다. 이 방법은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 바인더상으로 사용하는 초경합금(YG, YT, YW 시리즈 재종 포함)에 적용됩니다. 화학 조성, 물리적 특성, 기계적 특성을 포함한 성능 매개변수는 통일된 표시 방법을 통해 명확하게 정의됩니다. 본 표준은 연구개발 과정에서 재료 선정, 품질 관리, 생산 승인 및 재종 성능 관리에 활용될 수 있습니다.

이 표준은 코발트계가 아닌 초경합금이나 WC 계가 아닌 초경합금에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 18376-2014 초경합금 미세구조 시험 방법

GB/T 3850-2015 시멘트 카바이드 밀도 측정 방법

GB/T 5169-2013 초경합금의 기공률 시험 방법

GB/T 5242-2006 초경합금 등급 분류 및 적용 가이드

ISO 4499-1 시멘트 카바이드의 물리적 특성 측정 방법 1 부: 밀도

ISO 4499-2 시멘트 카바이드의 기계적 특성 측정 방법 2 부: 경도

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

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

텅스텐 카바이드(WC)

를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료이다.

3.2 등급

초경합금의 식별 코드는 화학적 조성, 물리적 특성, 기계적 특성을 반영하며, 다양한 용도에 맞는 재료를 구별하는 데 사용됩니다.

3.3 화학적 구성

WC, Co 및 첨가 원소(예: TiC, TaC)를 포함한 시멘트 카바이드의 각 원소의 질량 백분율(wt %)입니다.

3.4 물리적 특성:

시멘트 카바이드의 밀도, 기공률, 입자 크기 및 기타 특성.

3.5 기계적 성질:

시멘트 카바이드의 경도, 굽힘 강도, 인성 및 기타 성질.

4. 브랜드 성과 표시 방법

4.1 브랜드 명명 규칙

시멘트 카바이드 등급은 다음 규칙에 따라 문자와 숫자의 조합으로 표시됩니다.

첫 번째 문자: 응용 프로그램 범주를 나타냅니다.

YG: 일반용 초경합금(WC-Co 합금).

내마모성이 높은 티타늄 카바이드(TiC)를 함유한 시멘트 카바이드입니다.

우수한 종합적 성능을 지닌 탄탈륨 탄화물(TaC) 또는 니오븀 탄화물(NbC)을 함유한 시멘트 탄화물입니다.

숫자: 코발트(Co) 함량(wt%)을 나타냅니다. 예를 들어 YG6는 코발트 함량이 6%라는 것을 의미합니다.

접미사(선택): 특별한 성능이나 용도를 나타냅니다.

K: 절단용(YG6K 등)

M: 충격 저항성(YG8M 등)

F: 미세 입자(YG6F 등)

4.2 성능 매개변수 표시

브랜드 성과에는 다음 매개변수가 포함되어야 하며, 이는 고정된 형식으로 표시됩니다.

화학적 성분: WC 함량, Co 함량, 첨가원소함량(중량%).

물리적 특성: 밀도(g/cm^3), 기공률(%), 입자 크기(μm).

기계적 성질: 경도(HRA), 굽힘 강도(MPa), 파괴 인성($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$).

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

4.3 주석 형식

성적의 성과는 표 형태로 표시됩니다. 예:

브랜드: YG6

화학적 성분 : WC 94%, Co 6%

물리적 특성: 밀도 14.9 g/cm³, 기공률 <0.05%, 입자 크기 0.8-1.0 μm

기계적 성질: 경도 91.5 HRA, 굽힘 강도 2200 MPa, 파괴 인성 10.5 MPa • m^{1/2}

5 가지 시험 방법

5.1 화학 성분 결정

GB/T 5314-2011 에 따라 샘플링을 실시한 후, 화학 분석을 통해 WC, Co 및 첨가 원소의 함량을 ±0.1 wt %의 정확도로 결정했습니다.

5.2 물리적 특성 결정

밀도: GB/T 3850-2015 에 따르면 정확도는 ±0.01 g/cm³ 입니다.

다공성: GB/T 5169-2013, 금속학적 방법 또는 이미지 분석 방법에 따라 정확도는 ±0.01%입니다.

입자 크기: GB/T 18376-2014 에 따라 금속현미경으로 측정, 정확도 ±0.1 μm.

5.3 기계적 성질 결정

경도: ISO 4499-2 에 따르면 비커스 경도(HV) 또는 로크웰 경도(HRA), 정확도는 ±0.5 HRA 입니다.

굽힘 강도: ISO 3327 에 따라 3 점 굽힘 방법, 정확도 ±50MPa.

파괴인성: 단일 모서리 노치 빔 방법(SENB)에 따르면 정확도는 ±0.5 MPa • m^{1/2} /² 입니다.

6 결과 표현

성적의 성과는 표에 나열되어 있으며, 매개변수 값은 지정된 소수 자릿수까지 유지됩니다.

화학적 구성: 소수점 첫째 자리까지 기록하세요(예: 94.0%).

밀도: 소수점 이하 2 자리까지 입력하세요(예: 14.90 g/cm³).

다공성: 소수점 이하 두 자리까지 입력하세요(예: 0.05%).

입자 크기: 소수점 첫째 자리까지 입력하세요(예: 1.0 μm).

경도: 소수점 첫째 자리까지 기록합니다(예: 91.5 HRA).

굽힘 강도: 정수를 유지합니다(예: 2200 MPa).

파괴인성: 소수점 첫째 자리까지 입력하세요(예: 10.5 MPa • m^{1/2} /²).

시험 보고서에는 다음이 포함되어야 합니다.

a) 표준 번호: GB/T 5243-2008; b) 브랜드: 예: YG6; c) 샘플 설명: 배치, 크기; d)

시험 방법: 화학적 구성, 물리적 특성, 기계적 특성; e) 결과: 성능 매개변수 표; f)

시험 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일; g) 시험자: 서명.

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

7 정밀도와 편향

7.1 정밀도

화학적 구성: 반복성 편차 $< \pm 0.1$ 중량 %.

물리적 특성: 밀도 편차 $< \pm 0.01$ g/cm³, 다공성 편차 $< \pm 0.02\%$.

기계적 성질: 경도 편차 $< \pm 0.5$ HRA, 굽힘 강도 편차 $< \pm 50$ MPa.

7.2 편향

기기 오차: 저울 오차 ± 0.0001 g, 현미경 오차 ± 0.1 μ m.

시편 불균일성: 구성 편차 > 0.1 wt %는 굽힘 강도 변동에 ± 100 MPa 의 영향을 미칩니다.

환경적 영향: 습도가 70% 이상이면 다공성이 0.01~0.03% 과대평가됩니다.

8 가지 영향 요인

8.1 구성 변동

코발트 함량이 $\pm 0.5\%$ 일 경우 경도는 ± 1 HRA 변화하고 굽힘 강도는 ± 200 MPa 변화합니다.

8.2 입자 크기

입자 크기 < 0.5 μ m 는 경도 (> 92 HRA)를 증가시키고 인성 (< 9 MPa $\cdot$ m^{1/2})을 감소시킵니다. 입자 크기 > 2 μ m 는 경도 (< 90 HRA)를 감소시키고 인성 (> 12 MPa $\cdot$ m^{1/2})을 증가시킵니다.

8.3 소결 공정

온도가 1450° C 이상이 되면 기공률이 0.1% 이상 증가하고 굽힘 강도가 100~300MPa 감소합니다.

8.4 요소 추가

TiC $> 5\%$ 는 경도를 증가시키고 (+1 HRA) 인성을 감소시킵니다 (-1 MPa $\cdot$ m^{1/2}).

9 등급 성과 적용

9.1 재료 선택

YG6(경도 91.5 HRA, 굽힘 강도 2200 MPa)는 절삭 공구에 적합합니다.

9.2 프로세스 최적화

굽힘 강도 < 2000 MPa 는 소결 온도가 충분하지 않음을 나타내며 1400~1450° C 로 조정해야 합니다.

9.3 성능 예측

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

경도 >91 HRA, 인성 >10 MPa·m^{1/2}는 절삭 수명 >5 시간에 해당합니다.

9.4 예제

YG8(굽힘 강도 2400 MPa, 인성 11.0 MPa·m^{1/2}), 충격 드릴 비트에 사용, 수명 >3000 회 충격.

10. 노트

10.1 계측기 교정

저울과 현미경은 시험 전에 보정되었으며, 편차는 ±1% 미만이었습니다.

10.2 샘플 품질

시편에 균열이 없고 구성이 균일한지 확인하세요.

10.3 환경 관리

시험실 온도는 20~25° C, 습도는 60% 미만이었습니다.

10.4 보안 보호

작업 중에는 분말이 튀는 것을 방지하기 위해 보호 안경을 착용하세요.

11 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 초경합금 등급의 특성

표 A.1 일반적인 등급 속성

상 표	WC (중량 %)	Co (중량 %)	밀도 (g/cm ³)	다공성 (%)	입자 크기 (μ m)	경도 (HR A)	굽힘강도 (MP a)	파괴인성 (MPa · m ^{1/2})
YG6	94.0	6.0	14.90	0.04	0.8-1.0	91.5	2200	10.5
YG8	92.0	8.0	14.70	0.05	1.0-1.2	90.5	2400	11.0
YT1 5	79.0	6.0	12.50	0.03	0.6-0.8	92.0	1800	9.0

부록 B 오류 분석

B.1 계기 오류

균형 오차 ±0.0001g는 밀도 <0.01g/cm³에 영향을 미칩니다.

B.2 표본 편차

불균일한 구성으로 인해 굽힘 강도가 ±100 MPa 변동합니다.

B.3 환경 영향

습도가 70% 이상이면 다공성이 0.01~0.03% 과대평가됩니다.

부록 C 개선 제안

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

C.1 X 선 형광 분석(XRF)을 사용하여 ± 0.05 중량% 미만의 정확도로 조성을 분석합니다.

C.2 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하여 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 미만의 정확도로 입자 크기를 측정합니다. C.3 측정 일관성을 개선하기 위해 자동화된 테스트 시스템을 도입합니다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 YG6 등급 성능 시험 데이터

매개변수	측정 1	측정 2	측정 3	평균값
밀도(g/cm^3)	14.91	14.89	14.90	14.90
경도(HRA)	91.4	91.6	91.5	91.5
굽힘강도(MPa)	2180	2220	2200	2200

GB/T 34505-2017

적층 제조 금속 분말

제조 방법 사양

1 범위

본 표준은 원료 선정, 제조 공정, 품질 관리 및 성능 요건을 포함하여 적층 제조용 금속 분말의 제조 방법 사양을 명시합니다. 본 표준은 선택적 레이저 용융 SLM, 전자빔 용융 EBM 등 적층 제조에 사용되는 금속 분말(예: 티타늄 합금, 알루미늄 합금, 스테인리스강 등)에 적용되어 분말의 입자 크기 분포, 형태, 유동성 및 화학적 조성이 적층 제조 공정 요건을 충족하는지 확인합니다. 본 표준은 분말 제조 공정, 생산 승인 및 성능 검증 지침으로 사용될 수 있습니다.

본 표준은 비금속 분말이나 적층 제조에 사용되지 않는 금속 분말에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 1482-2010 금속 분말의 유동성 측정 - 홀 레오미터법

GB/T 5314-2011 분말 야금용 분말 샘플링 방법

GB/T 13305 강철 및 철합금에 대한 화학 분석 방법

GB/T 19077.1-2008 레이저 회절법에 의한 입자 크기 분포 측정 제1부: 일반

ISO 13320-1:2009 레이저 회절을 이용한 입자 크기 분석

ASTM B214-16 금속 분말의 체적 밀도 측정

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

3.1 적층 제조(AM)는

SLM, EBM 등을 포함하여 재료를 층층이 쌓아 올려서 개체를 제조하는 기술입니다.

3.2 금속 분말

특정 공정을 통해 제조되어 적층 제조의 원료로 사용되는 금속 또는 합금 입자입니다.

3.3 제조 방법: 금속 원료를 적층 제조의 요구 사항을 충족하는 분말로 가공하는 과정

으로, 분무법, 기계적 분쇄법 등이 포함됩니다.

3.4 입자 크기 분포 분말

입자 크기의 통계적 분포로, 일반적으로 D10, D50 또는 D90 으로 표현됩니다.

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

3.5 구형도:

분말 입자가 구형에 가까운 정도로, 분말 퍼짐의 균일성과 유동성에 영향을 미칩니다.

4 준비 방법

4.1 원자재 선정

재료 유형: 불순물 함량이 ≤ 0.1 중량 %인 고순도 금속 또는 합금(예: Ti-6Al-4V, 316L 스테인리스 스틸)을 사용합니다.

초기 형태: 금속 막대, 와이어 또는 스펀지 금속(예: 티타늄 스펀지).

순도 요구 사항: 산소 함량 ≤ 0.2 중량 %, 질소 함량 ≤ 0.05 중량 %.

4.2 준비 과정

4.2.1 가스 분무

원리: 용융 금속을 고압 가스(질소나 아르곤 등)를 통해 미세한 물방울로 분사한 후 냉각하여 구형 분말로 만듭니다.

프로세스 매개변수:

용융 온도: $1500-1800^{\circ}\text{C}$ (재료에 따라 다름).

가스 압력: 2-5 MPa.

냉각 속도: $10^3 - 10^5 \text{ K/s}$.

적용 가능한 재료: 티타늄 합금, 니켈 기반 합금.

출력 특성: 입자 크기 10-150 μm , 구형도 >0.9.

4.2.2 플라즈마 회전 전극 공정(PREP)

원리: 회전 전극이 녹은 후 원심력에 의해 물방울을 형성하고 냉각되어 분말이 됩니다.

프로세스 매개변수:

전극 회전 속도: 10000-20000 rpm.

전력: 50-100kW.

냉각 매체: 아르곤 또는 헬륨.

적용 가능한 재료: 고용점 금속(텅스텐, 몰리브덴 등)

출력 특성: 입자 크기 20-200 μm , 구형도 >0.95, 산소 함량 <0.1 중량 %.

4.2.3 기계적 합금화

원리: 금속 분말을 고에너지 볼 밀링으로 혼합하고 정제합니다.

프로세스 매개변수:

볼 밀링 시간: 10~50 시간.

볼과 재료의 비율: 10:1~20:1.

회전 속도: 300-500 rpm.

적용 가능한 재료: 알루미늄 기반 복합 재료.

출력 특성: 입자 크기 1-50 μm , 불규칙한 형태.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2.4 용해-침전법

원리: 금속을 용해한 후, 통제된 조건 하에서 분말로 침전시킵니다.

프로세스 매개변수:

용해 온도: 150–200° C.

압력: 0.5–1.0 MPa.

고체-액체 비율 : 0.05–0.1 g/ml.

적용 소재: 폴리프로필렌 코팅 금속 분말.

출력 특성: 입자 크기 20–50 μm, 구형도 조절 가능.

4.3 후처리

체질: 진동 스크린이나 공기 흐름 분류를 사용하여 입자 크기 범위(예: 15–45 μm)를 제어합니다.

건조: 105±2° C 에서 1 시간 동안 건조하여 수분을 제거합니다.

표면 처리: 산화를 줄이기 위해 불활성 가스(예: Ar)로 보호합니다.

5. 품질 관리

5.1 화학적 조성

GB/T 13305 에 따라 결정됨, 산소 함량 ≤0.2 중량%, 질소 함량 ≤0.05 중량%, 총 불순물 함량 ≤0.3 중량%.

5.2 입자 크기 분포

GB/T 19077.1–2008 에 따라 결정됨, D10 ≥10 μm, D50 = 20–50 μm, D90 ≤100 μm.

5.3 형태와 구형도

주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과 구형도는 ≥0.9 인 것으로 나타났다.

5.4 유동성

GB/T 1482–2010 에 따라 측정한 결과, 유출 시간은 ≤35 초/50g 입니다.

5.5 부피 밀도

ASTM B214–16 에 따라 측정한 결과, cm³ (재료에 따라 다름).

6. 결과 표현

제조된 분말의 특성은 표 형태로 나열되어 있습니다.

화학적 구성 : 각 원소의 함량(중량%).

입자 크기 분포: D10, D50, D90(μm).

형태학: 구형도 및 SEM 이미지 설명.

유동성: 흐름 시간(s/50g).

체적 밀도: g/cm³.

시험 보고서에는 다음이 포함되어야 합니다.

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

a) 표준 번호: GB/T 34505-2017; b) 분말 유형: 재료 브랜드, 배치; c) 제조 방법: 공정 매개변수; d) 시험 결과: 성능 매개변수 표; e) 시험 날짜: 예: 2025 년 5 월 21 일; f) 시험자: 서명.

7 정밀도와 편향

7.1 정밀도

입자 크기 분포: 반복성 편차 $< \pm 5 \mu\text{m}$.

유동성: 반복성 편차 $< \pm 2$ 초.

화학적 구성: 반복성 편차 $< \pm 0.1$ 중량 %.

7.2 편향

기기 오류: 입자 크기 분석기 편차는 $\pm 2 \mu\text{m}$ 이며, 이는 입자 크기에 $< \pm 5\%$ 영향을 미칩니다.

공정 편차: $\pm 0.5 \text{ MPa}$ 의 가스 압력 변동으로 인해 입자 크기 분포가 $\pm 10 \mu\text{m}$ 변경됩니다.

환경적 영향: 습도가 60% 이상이면 유동성이 2~5 초 감소합니다.

8 가지 영향 요인

8.1 원료 순도

산소 함량이 0.2 중량% 이상이면 분말 표면 산화가 증가하고 유동성이 5~10 초 동안 감소합니다.

8.2 공정 매개변수

냉각 속도 $< 10^3 \text{ K/s}$ 에서는 구형도가 < 0.8 인 불규칙한 입자가 생성되었습니다.

전극 속도가 $< 10000 \text{ rpm}$ 이면 입자 크기가 더 커집니다 ($> 200 \mu\text{m}$).

8.3 후처리

고르지 않은 체질로 인해 입자 크기 분포 편차가 10% 이상 발생합니다.

건조가 충분하지 않으면 겔보기 밀도가 $0.1\text{--}0.2 \text{ g/cm}^3$ 감소합니다.

9 준비 결과의 적용

9.1 적층 제조 공정

입자 크기 $15\text{--}45 \mu\text{m}$, 유동성 $< 35 \text{ s/50 g}$, SLM 인쇄에 적합합니다.

9.2 성능 최적화

구형도 > 0.9 , 산소 함량 $< 0.1 \text{ wt } \%$ 인쇄된 부품의 인장 강도를 향상시킵니다 ($> 800 \text{ MPa}$).

9.3 예제

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

Ti-6Al-4V 분말(D50 = 35 μm , 유동성 32 s/50 g)은 표면 거칠기 Ra <10 μm 를 갖는 항공 터빈 블레이드에 사용됩니다.

10. 노트

10.1 계측기 교정

입자 크기 분석기와 홀 유량계는 시험 전에 교정되었으며, 편차는 $\pm 1\%$ 미만이었습니다.

10.2 프로세스 제어

오염을 방지하려면 가스 순도가 99.99% 이상인지 확인하세요.

10.3 환경 관리

시험실 온도는 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도는 $50 \pm 5\%$ 였습니다.

10.4 보안 보호

작업 중에는 금속 가루가 튀는 것을 방지하기 위해 보호 안경을 착용하세요.

11 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 금속 분말 준비 매개변수

표 A.1 다양한 제조 방법의 공정 매개변수

방법	재료	온도 ($^\circ\text{C}$)	압력 (MPa)	입자 크기 (μm)	구형	산소 함량 (중량%)
가스 분무	티티-6 알루미늄-4V	1700	3.0	20~50 개	>0.9	<0.15
PREP 방법	텅스텐 합금	1800	4.0	30-100	>0.95	<0.10
기계적 합금화	알루미늄 기반 복합 재료	실온	-	1-50	<0.7	<0.20

부록 B 오류 분석

B.1 계기 오류

입자 크기 분석기의 편차는 $\pm 2 \mu\text{m}$ 이며, 이는 입자 크기에 $< \pm 5\%$ 영향을 미칩니다.

B.2 프로세스 편차

$\pm 0.5 \text{ MPa}$ 의 가스 압력 변동으로 인해 입자 크기 분포가 $\pm 10 \mu\text{m}$ 만큼 달라집니다.

B.3 환경 영향

습도가 60% 이상이면 2~5 초 동안 유동성이 감소합니다.

부록 C 개선 제안

C.1 레이저 입자 크기 분석을 사용하여 정확도를 $\pm 1 \mu\text{m}$ 로 향상시켰습니다.

C.2 진공 환경을 사용하여 산소 함량을 <0.05 중량%로 줄였습니다. C.3 온라인 모니터링 시스템을 도입하여 공정 매개변수를 최적화했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

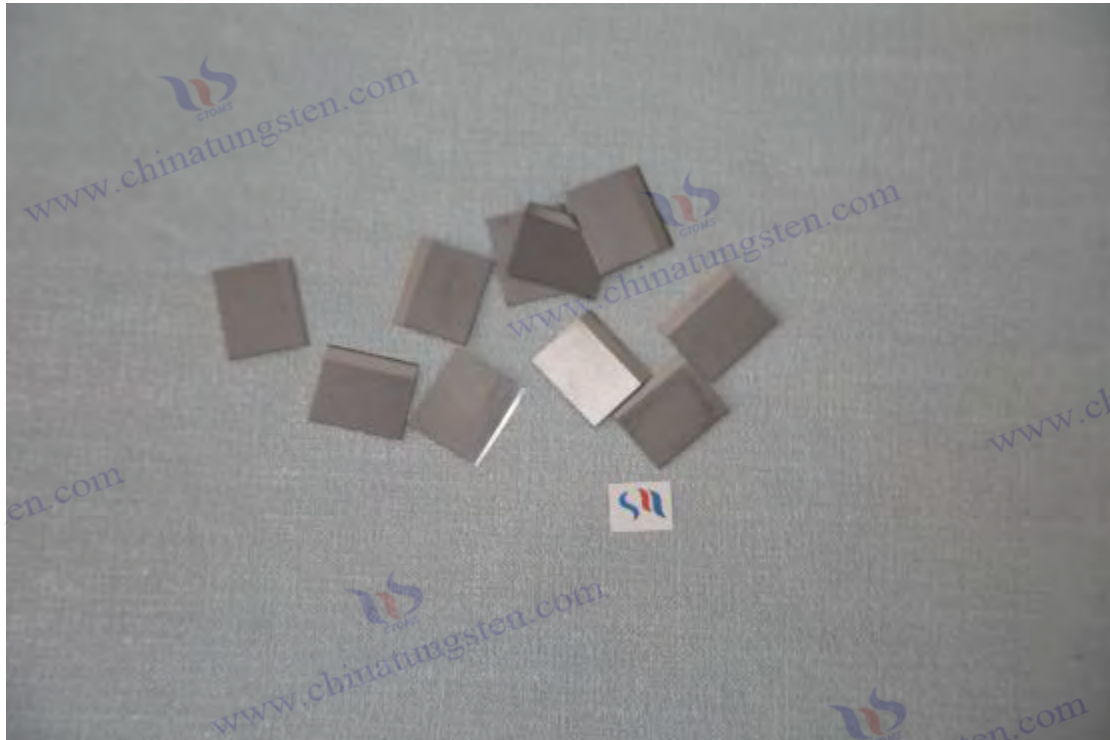
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 Ti-6Al-4V 분말 제조 시험 데이터

매개변수	측정 1	측정 2	측정 3	평균값
D50 (μm)	34.5	35.0	34.8	34.8
유동성 (s/50g)	32.2	32.0	32.3	32.2
산소 함량 (중량%)	0.12	0.13	0.11	0.12



GB/T 26048-2010 시멘트 카바이드 소결 공정에 대한 사양

1 범위

본 표준은 원료 준비, 소결 공정 매개변수, 장비 요건, 품질 관리 및 성능 시험 방법을 포함한 초경합금 소결 공정에 대한 사양을 명시합니다. 본 표준은 텅스텐 카바이드(WC)를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합체로 사용하는 초경합금(예: YG, YT, YW 시리즈 재종)의 소결 공정에 적용 가능하며, 주로 절삭 공구, 금형 및 내마모성 부품 생산에 사용됩니다. 본 표준은 소결 공정 지침, 생산 승인 및 성능 검증에 활용될 수 있습니다.

이 표준은 코발트계가 아닌 초경합금이나 WC 계가 아닌 초경합금의 소결에는 적용되지 않습니다.

2 규범적 참조

다음 문서는 이 표준을 적용하는 데 필수적입니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 날짜가 표시된 버전만 이 표준에 적용됩니다. 날짜가 표시된 참조 문서의 경우, 최신 버전(모든 개정 내용 포함)이 이 표준에 적용됩니다.

GB/T 18376-2014 초경합금 미세조직 시험 방법

GB/T 3850-2015 시멘트 카바이드 밀도 측정 방법

GB/T 5169-2013 초경합금의 기공률 시험 방법

GB/T 5243-2008 시멘트 카바이드 등급의 특성 표시 방법

ISO 3327 시멘트 카바이드의 굽힘 강도 측정 방법

ISO 4499-2 시멘트 카바이드의 기계적 특성 측정 방법 2 부: 경도

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

3 용어 및 정의

다음은 이 표준에 적용되는 용어와 정의입니다.

텅스텐 카바이드(WC)

를 경질상으로, 코발트(Co)를 결합상으로 하여 만든 복합재료이다.

3.2 소결은

일반적으로 주요 구성 요소의 녹는점보다 낮은 온도에서 가열하여 분말 입자를 고밀도의 고체로 결합하는 과정입니다.

3.3 액상 소결

소결 과정에서 결합상(코발트 등)이 녹아 액상을 형성하는데, 이는 입자 재배열과 밀도 증가를 촉진합니다.

3.4 고체 소결:

소결 과정에서 액상은 형성되지 않으며, 입자 결합은 고체 확산을 통해서만 달성됩니다.

3.5 미세구조

소결 후 시멘트 카바이드의 조직적 특성에는 입자 크기, 기공률 및 상 분포가 포함됩니다.

4 소결 공정

4.1 원료 준비

분말 선택: 고순도 WC 및 Co 분말을 사용하세요. WC 순도 $\geq 99.8\%$, Co 순도 $\geq 99.9\%$, 불순물 함량 ≤ 0.1 중량 %.

입자 크기: WC 입자 크기 $0.5\sim 2.0\ \mu\text{m}$, Co 분말 입자 크기 $1\sim 3\ \mu\text{m}$.

혼합: 혼합에는 건식 또는 습식 볼 밀링을 사용하며, 볼:재료 비율이 $5:1\sim 10:1$ 이 되도록 $24\sim 48$ 시간 동안 혼합하여 균일성(편차 $< \pm 0.5$ 중량%)을 보장합니다.

압착: 혼합된 재료를 $100\sim 300\text{MPa}$ 의 압력과 이론 밀도의 $50\sim 60\%$ 가 되는 그린 바디로 압착합니다.

4.2 소결 공정

4.2.1 단일 단계 소결(진공 소결)

장비: 진공소결로, 최대 온도 1550°C , 진공도 $\leq 10^{-2}\text{ Pa}$.

프로세스 매개변수:

가열 속도: $5\sim 10^\circ\text{C}/\text{분}$ 으로 600°C 까지 가열(첨가제 제거), 1 시간 유지.

온도를 $1400\sim 1450^\circ\text{C}$ (액상소결온도)까지 계속 올리고 이 온도를 1~2 시간 유지합니다.

냉각 속도: $5\sim 10^\circ\text{C}/\text{분}$ 으로 1000°C 까지 냉각한 후 자연적으로 실온까지 냉각합니다.

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

분위기: 진공 또는 저압 아르곤(<0.1 MPa).

적용 가능 등급: YG6, YG8, 절삭 공구에 적합합니다.

4.2.2 2 단계 소결(고상+액상 소결)

장비: 수소 분위기 소결로, 진공 소결로.

프로세스 매개변수:

고체상 소결: 수소 분위기에서 1 시간 동안 1300~1350° C(코발트의 녹는점 아래)를 유지하여 입자의 초기 결합을 촉진합니다.

액상 소결: 온도를 1450~1480° C 로 올리고 진공 또는 아르곤 분위기에서 30~60 분 동안 이 온도를 유지하여 완전한 밀도화를 달성합니다.

냉각: 5~10° C/분으로 1000° C 까지 냉각한 후 자연 냉각합니다.

적용 가능 등급: YT15, YW1, 미세 입자가 필요한 소재에 적합합니다.

4.2.3 열간 등방압 소결(HIP 소결)

장비: 열간 등압 압착로, 최대 압력 100 MPa, 최대 온도 1500° C.

프로세스 매개변수:

소결 온도: 1400-1450° C.

압력: 50-100 MPa.

보온 시간: 1-2 시간.

냉각: 용광로에서 실온까지 식힙니다.

적용 가능 등급: 고성능 등급(예: YG6F)은 낮은 다공성이 요구되는 부품에 사용됩니다.

4.3 소결 후 처리

냉각: 열 응력으로 인한 균열을 방지하기 위해 냉각 속도를 제어합니다.

표면 세척: 표면 산화층이나 잔여물을 제거하고 에탄올로 세척합니다.

사이즈 조정: 수축률(15%-20%)을 기준으로 사이즈 조정이 진행됩니다.

5. 품질 관리

5.1 화학적 조성

GB/T 5243-2008 에 따라 결정된 WC 및 Co 함량 편차는 <±0.5 중량%이고 불순물 함량은 ≤0.1 중량%입니다.

5.2 미세구조

입자 크기: GB/T 18376-2014 에 따라 측정, WC 입자 크기 0.8-1.5 μm.

다공성: GB/T 5169-2013 에 따라 측정, 다공성 ≤ 0.05%.

상 분포: 코발트 상은 뚜렷한 분리 없이 균일하게 분포됩니다.

5.3 물리적 특성

밀도: GB/T 3850-2015 에 따라 결정, 상대 밀도 ≥99%.

수축률: 선형 수축률 15%-20%, 편차 <±1%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4 기계적 성질

경도: ISO 4499-2 에 따라 측정, HRA ≥ 90 .
굽힘 강도: ISO 3327 에 따라 측정, ≥ 2000 MPa.

6 결과 표현

소결 후의 특성은 표 형태로 나열되어 있습니다.
화학성분 : WC, Co 함량(중량%).
미세구조: 입자크기(μm), 기공율(%).
물리적 특성: 밀도(g/cm^3), 수축률(%).
기계적 성질: 경도(HRA), 굽힘 강도(MPa).
시험 보고서에는 다음 사항이 포함되어야 합니다.
a) 표준 번호: GB/T 26048-2010; b) 브랜드: 예: YG6; c) 소결 공정: 단일 단계, 2 단계 또는 HIP; d) 공정 매개변수: 온도, 시간, 분위기; e) 시험 결과: 성능 매개변수 표; f) 시험 날짜: 예: 2025년 5월 21일; g) 시험자: 서명.

7 정밀도와 편향

7.1 정밀도

입자 크기: 반복성 편차 $< \pm 0.1 \mu\text{m}$.
다공성: 반복성 편차 $< \pm 0.02\%$.
경도: 반복성 편차 $< \pm 0.5$ HRA.
굽힘 강도: 반복성 편차 $< \pm 50$ MPa.

7.2 편향

기기 오차: 현미경 오차 $\pm 0.1 \mu\text{m}$, 입자 크기에 영향 $< \pm 5\%$.
공정 편차: $\pm 10^\circ\text{C}$ 의 온도 변동은 $\pm 0.03\%$ 의 다공성 변화를 유발합니다.
환경적 영향: 대기 중 산소 함량이 0.01% 이상이면 다공성이 0.01~0.02% 증가합니다.

8 가지 영향 요인

8.1 온도

1400°C 미만의 온도에서는 밀도가 부족하고 기공률이 0.1% 이상이며, 1480°C 이상의 온도에서는 비정상적인 입자 성장($2 \mu\text{m}$ 이상)이 발생합니다.

8.2 보유 시간

유지 시간이 30 분 미만이면 치밀화가 불완전하여 상대 밀도가 98% 미만입니다. 유지 시간이 2 시간을 초과하면 결정립이 성장하고 경도가 0.5~1 HRA 감소합니다.

8.3 분위기

산소 함량이 0.01% 이상이면 표면 산화가 일어나고 기공률이 0.02~0.05% 증가합니다.

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

8.4 분말 특성

입자 크기가 $0.5\mu\text{m}$ 미만이면 경도는 증가하지만(>92 HRA) 굽힘 강도는 감소합니다(<1800 MPa).

9 소결 결과의 적용

9.1 절삭 공구

YG6(경도 91.5 HRA, 굽힘 강도 2200 MPa), 선삭 공구에 사용, 수명 > 5 시간.

9.2 프로세스 최적화

다공성 > 0.05%는 소결 온도가 충분하지 않음을 나타내며 1450°C 로 조정해야 합니다.

9.3 성능 예측

상대 밀도 > 99%, 경도 > 91 HRA, 내마모성이 20% 증가함.

9.4 예제

YG8(2 단계 소결, 입자 크기 $1.0\mu\text{m}$, 굽힘 강도 2400MPa), 스탬핑 다이에 사용, 수명 10,000 회 이상.

10. 노트

10.1 계측기 교정

소결로 온도와 진공도는 시험 전에 보정되었으며, 편차는 $\pm 1\%$ 미만이었습니다.

10.2 프로세스 제어

대기 순도가 99.99% 이상인지 확인하고 산화를 방지하세요.

10.3 환경 관리

소결실 온도는 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 이고 습도는 <60%였습니다.

10.4 보안 보호

작업 중에는 분말이 튀는 것을 방지하기 위해 보호 안경을 착용하세요.

11 부록 (정보 부록)

부록 A 일반적인 소결 공정 매개변수

표 A.1 다양한 등급의 소결 매개변수

상표	소결 방법	온도($^{\circ}\text{C}$)	보유 시간(분)	대기	상대 밀도(%)	입자 크기(μm)
YG6	진공소결	1450	60	진공	99.5	0.8-1.0

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

상표	소결 방법	온도 (° C)	보유 시간 (분)	대기	상대 밀도 (%)	입자 크기 (μ m)
YG8	2 단계 소결	1350+1480	60+30	수소 + 진공	99.3	1.0-1.2
YT15	HIP 소결	1450	90	아르곤 + 압력	99.8	0.6-0.8

부록 B 오류 분석

B.1 계기 오류

±10° C의 온도 편차는 다공성에 <±0.03% 영향을 미칩니다.

B.2 프로세스 편차

±5 분의 유지 시간 편차는 ±0.5%의 상대 밀도 변화를 초래합니다.

B.3 환경 영향

대기 중 산소 함량이 0.01% 이상이면 다공성이 0.01~0.02% 증가합니다.

부록 C 개선 제안

C.1 온라인 온도 모니터링을 사용하여 편차를 ±5° C 미만으로 제어합니다.

C.2 고순도 불활성 가스를 사용하여 산소 함량을 0.005% 미만으로 줄입니다. C.3

급속 냉각 기술을 도입하여 입자 성장을 줄입니다.

부록 D 테스트 데이터 예제

표 D.1 YG6 소결 시험 데이터

매개변수	측정 1	측정 2	측정 3	평균값
상대 밀도 (%)	99.4	99.5	99.6	99.5
입자 크기 (μ m)	0.9	0.8	1.0	0.9
경도 (HRA)	91.4	91.6	91.5	91.5

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