

텅스텐 카바이드 분말(TCP)

물리적 및 화학적 특성, 제조 및 응용 분야

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

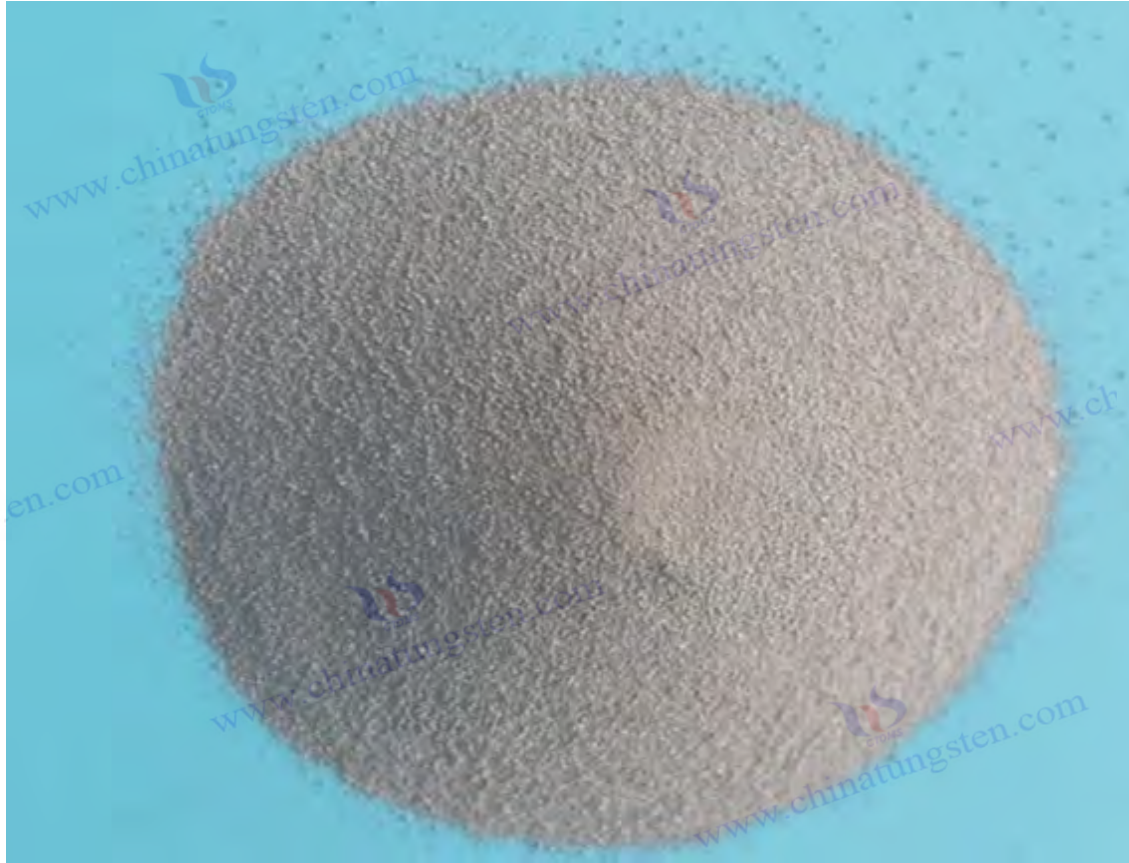
CTIA GROUP LTD

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



목차

머리말

텅스텐 카바이드 분말의 중요성과 연구 배경
이 책의 목적과 독자
글쓰기 방법 및 내용 개요

제 1 장: 텅스텐 카바이드 분말 소개

- 1.1 정의 및 화학 조성
- 1.2 역사적 발전
- 1.3 기본 물리적 및 화학적 특성
- 1.4 텅스텐 카바이드 분말의 분류

제 2 장: 텅스텐 카바이드 분말 생산 공정

- 2.1 원료 준비
- 2.2 전통적인 탄화 방법
- 2.3 화학기상증착(CVD) 법
- 2.4 기계적 합금화 방법
- 2.5 기타 신기술
- 2.6 후처리 기술

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 텅스텐 카바이드 분말의 미세조직 및 특성화 기술

- 3.1 미세조직 특성
- 3.2 특성화 방법
- 3.3 화학 성분 분석
- 3.4 물리적 특성 시험

제 4 장: 텅스텐 카바이드 분말의 응용 분야(주요 장)

개요

텅스텐 카바이드 분말의 다용성과 응용 가치

장의 구성 및 연구 방법

데이터 소스 및 사례 분석

4.1 초경합금 제조

4.1.1 절삭 공구

4.1.1.1 선삭 공구 및 밀링 커터

WC-Co 포물리(코발트 함량 6%-12%) 및 절삭 성능 데이터: 절삭 속도 50% 증가(고속강 대비, >200m/min) 사례: 자동차 엔진 실린더 블록 가공(수명 > 100,000 개)

4.1.1.2 드릴 비트 및 보링 도구

마이크론급 WC 분말($1 \sim 3 \mu\text{m}$) 성능: 경도 HV 1600, 내파손성 >12MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ 기술: 다층 WC-TiC 코팅 드릴(내마모성 3 배 증가)

4.1.1.3 특수 절삭 공구

PCB 마이크로 드릴(직경 < 0.1mm) 및 초경소재 가공 도구 나노 WC 분말(<100nm)의 소결 공정(1450° C, HIP) 사례: 항공 복합소재 가공(정확도 $\pm 0.005\text{mm}$)

4.1.2 내마모성 부품

4.1.2.1 스탬핑 다이

WC 계 다이의 냉간 스탬핑 강판 적용 사례 데이터: 수명 > 500,000 배 (Cr12MoV 대비 5 배 이상) 기술: WC-Co 소결(1500° C, 30MPa)

4.1.2.2 와이어 드로잉 다이 및 압출 다이

구리선 인발에서의 미세 WC 분말($0.5 \sim 1 \mu\text{m}$) 성능: 표면 거칠기 $R_a < 0.02 \mu\text{m}$, 마모율 <0.001 mm³ / N $\cdot\text{m}$ 사례: 케이블 산업의 와이어 인발 다이(연속 작업 > 6 개월)

4.1.2.3 내마모성 베어링 및 쉘

고속 베어링에 WC-Ni 복합소재 적용 데이터: 마찰계수 <0.1, 내열성 >800° C 기술: 열간등방압성가압(HIP) 공정 최적화

4.1.3 정밀 가공 공구

4.1.3.1 치과 및 의료 도구

치과 드릴 비트(직경 0.3-1mm)에 WC 분말을 미세 가공하는 방법 특성: 경도 HV 1800, 생체적합성(ISO 10993-5) 사례: 치과 수술용 드릴(내구성 > 1000 회)

4.1.3.2 광학 몰드

몰드 에 초미립 WC 분말 적용 데이터: 표면 정확도 <10nm, 수명 > 다이 프레스 100,000 회 기술: WC 코팅과 결합된 미러 연마

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2 표면 코팅 기술

4.2.1 열분사 코팅

4.2.1.1 HVOF 분무

내마모 코팅에 WC-Co 분말(10%-12% Co) 적용 데이터: 코팅 경도 HV 1200-1400, 마모율 $<0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ 사례: 항공기 엔진 블레이드(수명 >3000 시간)

4.2.1.2 화염 분사

저비용 내마모 코팅에 WC-Ni 분말 적용 성능: 접합 강도 $>50 \text{ MPa}$, 두께 100-300 μm 사례: 농업 기계 블레이드(내마모성 4 배 증가)

4.2.2 플라즈마 분사 및 레이저 클래딩

4.2.2.1 플라즈마 분무

고온 내식성을 갖춘 WC-Cr₃C₂ 복합 코팅 데이터: 산화 저항성 $>1000^\circ \text{C}$, 기공률 $<2\%$ 사례: 가스터빈 블레이드(작동 시간 >5000 시간)

4.2.2.2 레이저 클래딩

WC 분말을 이용한 석유 굴착 공구 표면 강화 성능: 코팅 두께 0.5-2mm, 경도 HV 1300 사례: 심해 굴착 파이프(내식성 수명 >2 년)

4.2.3 고온 저항성 및 특수 코팅

4.2.3.1 열충격 방지 코팅

고온 금형에서의 WC 기반 코팅 적용 데이터: 열팽창 계수 $<5 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$, 내열성 $>1200^\circ \text{C}$ 기술: WC- TiC -Ni 복합 코팅

4.2.3.2 내화학성 코팅

화학 파이프라인의 WC-CoCr 코팅 내식성 사례: 산성 환경의 밸브(수명 >3 년)

4.3 채굴 및 건설 도구

4.3.1 암석 드릴링 도구

4.3.1.1 하드락 드릴 비트

화강암 채굴에 WC 박음질 드릴 비트 적용 데이터: 충격 인성 $>25 \text{ J/cm}^2$, 드릴링 속도 $>12 \text{ m/h}$ 사례: 광산 폭파 드릴링(수명 $>1000\text{m}$)

4.3.1.2 석탄층 굴착 도구

석탄 광산 굴착용 WC-Co 커터 헤드 성능: 경도 HV 1500, 내마모성 $<0.002 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ 기술: WC- TiC 복합 강화

4.3.2 쉘드 커터 및 터널링 장비

4.3.2.1 메트로 쉘드 커터헤드

사암층에서 WC 기반 절삭 공구의 적용 데이터: 절삭 수명 $>6000\text{m}$, 내마모성 2 배 증가 사례: 도시 터널 프로젝트(교체 주기 >1 년)

4.3.2.2 경질 지반 터널링 커터

WC- TiC 공구 성능: 파괴인성 $>15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 기술: 초경도 WC 분말의 소결 최적화

4.3.3 내마모성 라이닝 및 분쇄 장비

4.3.3.1 볼밀 라이닝

광석 분쇄에 WC 강화 라이너 적용 데이터: 마모율 $<0.05\text{g/t}$, 수명 >2 년 사례: 철광석 가공(효율 30% 향상)

4.3.3.2 크러셔 해머

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

석회석 분쇄 시 WC-Co 해머의 내마모성 성능: 충격 수명 > 100,000 회

4.4 전자 및 에너지 분야

4.4.1 전도성 코팅 및 전극 재료

4.4.1.1 연료 전지 전극

PEM 연료 전지에서 WC 분말의 전기 전도도 데이터: 저항률 $<10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$, 사이클 안정성 >10,000 회 기술: WC 박막의 PVD 증착

4.4.1.2 리튬 배터리 전류 수집기

알루미늄 호일 WC 코팅의 내구성 성능: 접착력 >20 N/cm, 내식성 2 배 증가 사례: 전기자동차 배터리(용량 유지율 >90%)

4.4.2 촉매 담체

4.4.2.1 수소연료 촉매

나노-WC 분말(<50 nm)의 물 전기분해 응용 데이터: 촉매 활성 >95%(Pt/C 대비) 기술: WC-Pt 복합 촉매

4.4.2.2 화학 촉매

암모니아 합성에서 WC 기반 지지체의 안정성 성능: 온도 저항성 >600° C, 수명 >5000 시간

4.4.3 에너지 저장 및 열 관리

4.4.3.1 슈퍼커패시터

WC 기반 전극 소재의 비용량(>250 F/g) 데이터: 사이클 수명 > 8000 회 사례: 새로운 에너지 저장 시스템

4.4.3.2 열 관리 코팅

LED에 WC 방열코팅 적용 시 성능: 열전도도 >120 W/ m·K

4.5 항공우주 및 군사 응용 분야

4.5.1 터빈 블레이드 및 노즐

4.5.1.1 항공기 엔진 블레이드

고온 내마모성에 WC-Co 코팅 적용 데이터: 내열성 >1300° C, 수명 >4000 시간 사례: 터보팬 엔진(추력 효율 5% 증가)

4.5.1.2 로켓 노즐

고체 로켓에 WC 기반 내열 코팅 적용 성능: 마모 저항성 <0.01 mm/s

4.5.2 장갑 재료

4.5.2.1 탱크 장갑

WC 세라믹 복합 장갑의 방탄 성능 데이터: 경도 >2200 HV, 관통 저항 >1200 m/s 케이스: 주력 전차 보호(두께 <50 mm)

4.5.2.2 방탄조끼 플러그인

경량 WC 기관 적용 성능: 무게 <2 kg/m², 보호 수준 NIJ IV

4.5.3 우주선 내마모 부품

4.5.3.1 선상 기계

위성 조인트의 WC 코팅의 내마모성 데이터: 마찰 계수 <0.05, 수명 >10 년 기술: 진공 PVD 공정

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.6 기타 새로운 응용 프로그램

4.6.1 3D 프린팅 및 적층 제조

4.6.1.1 금속 부품 인쇄

SLM(선택적 레이저 용융)에서 WC-Co 분말 적용 데이터: 밀도 >99%, 정확도 $\pm 0.02\text{mm}$ 사례: 항공 부품의 신속한 프로토타입 제작

4.6.1.2 금형 제조

3D 프린팅 금형에서 나노 WC 파우더의 장점 성능: 표면 경도 HV 2000

4.6.2 생체의학 재료

4.6.2.1 정형외과 임플란트

고관절의 WC 코팅의 내마모성 데이터: 마모율 $< 0.001 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, 세포 생존율 >98% 기술: WC-Ti 복합 코팅

4.6.2.2 치과 보철물

치과용 크라운의 WC 기반 재료 성능: 파괴 강도 >1000 MPa

4.6.3 지능형 제조 및 센서

4.6.3.1 고온 센서

산업용 센서에서 WC 분말의 안정성 데이터: 온도 저항 > 1000° C, 응답 시간 < 1ms 사례: 제강로 모니터링

4.7 적용 사례 및 데이터 분석

4.7.1 산업 응용 요약 표

시멘트 카바이드, 코팅, 광산, 전자 등의 분야에서의 데이터 비교

4.7.2 성능 비교 분석

경도, 내마모성, 수명 등의 주요 지표(기준 소재 대비)

4.7.3 성공 사례 연구

글로벌 기업 애플리케이션 사례(예: Sandvik, Kennametal)

4.8 미래 응용 전망

4.8.1 신흥 분야의 잠재력

양자 컴퓨팅 냉각 구성 요소 유연한 전자 전도층

4.8.2 기술적 과제 및 해결책

나노-WC 분말의 분산성 향상 고온 코팅의 안정성 향상

4.8.3 시장 예측

2030 년 수요 성장률 6% 이상, 주요 분야 분석

제 5 장 텅스텐 카바이드 분말의 품질 관리 및 표준

5.1 품질관리의 핵심사항

5.2 국제 표준

5.3 국내 표준

5.4 표준 비교 및 적용성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6 장: 텅스텐 카바이드 분말의 성능 최적화 및 수정

- 6.1 입자 크기 최적화
- 6.2 도핑 및 복합재 변형
- 6.3 표면개질기술
- 6.4 열처리 및 어닐링

제 7 장: 텅스텐 카바이드 분말의 환경 및 안전 고려 사항

- 7.1 생산 중 환경 영향
- 7.2 안전 작동 사양
- 7.3 재활용 및 재활용

제 8 장 텅스텐 카바이드 분말의 시장 및 개발 동향

- 8.1 글로벌 시장 개요
- 8.2 기술 개발 동향
- 8.3 향후 응용 전망

9 장: 용어, 표준 및 리소스

- 9.1 텅스텐 카바이드 분말 관련 용어집
- 9.2 참조 및 표준
- 9.3 추천 리소스

총수

- 부록 A: 텅스텐 카바이드 분말의 미세구조 및 성능 분석
- 부록 B: 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 및 제조 매개변수 표준
- 부록 C: 텅스텐 카바이드 분말 관련 국제 및 국내 표준 비교

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder Introduction

1. Overview of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP's tungsten carbide powder (chemical formula WC) is a high-quality powder product made from high-purity tungsten raw materials and carbon black through a high-temperature carburization process. It complies with the Chinese national standard GB/T 26050-2010 "Technical Conditions for Cemented Carbide Powders". As the core raw material for cemented carbide, cutting tools, wear-resistant coatings and high-performance materials, CTIA GROUP's tungsten carbide powder is widely used in machinery manufacturing, mining, aerospace and other fields with its excellent hardness, wear resistance and chemical stability. We provide a full range of products from ultra-fine particles (0.6 μm) to extra-coarse particles (45 μm) to meet diverse industrial needs. For more information, please visit www.tungsten-powder.com

2. Product Features of Tungsten Carbide Powder

High purity and stability

Total carbon content (T/C): 5.90-6.18 wt %, theoretical value 6.13 wt % (± 0.05 wt %), ensuring high purity of WC phase.

Free carbon content (F/C): ≤ 0.10 wt %, high-end customized models can be controlled at ≤ 0.05 wt %, reducing the impact of free carbon on performance.

Low impurity content: Iron (Fe) ≤ 0.05 wt %, oxygen (O) ≤ 0.20 wt % (fine particles ≤ 0.15 wt %), meeting high-precision application requirements.

Diverse particle size options

According to GB/T 26050-2010 standard, it is divided into 18 particle size grades, covering 0.6-45 μm , with uniform particle size and deviation controlled within $\pm 10\%$.

Excellent physical properties

Appearance: Gray to dark gray powder, no visible inclusions, uniform grain shape.

Density: 15.63 g/cm³ (theoretical value), loose density 3.0-5.0 g/cm³ (customizable).

Application flexibility

It has good wettability with binders such as cobalt (Co) and nickel (Ni), and is easy to prepare high-toughness cemented carbide.

Adapt to various sintering processes to meet different needs from precision tools to mining drill bits.

3. Specifications of CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder

Category Brand	Fisher particle size (μm)	Total carbon (wt %)	Free carbon (wt %)	Oxygen content (wt %)	Typical Applications
WC06-07	0.6-0.7	5.90-6.18	≤ 0.05	≤ 0.15	Ultra-fine cutting tools, coatings
WC08-10	0.8-1.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.15	Precision cutting tools
WC20-25	2.0-2.5	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	General Carbide
WC50-60	5.0-6.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	Mining tools
WC100-150	10.0-15.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	High toughness wear-resistant parts

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

Category	Fisher particle size	Total carbon	Free carbon	Oxygen content	Typical Applications
Brand	(μm)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	
WC300-450	30.0-45.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	Extra coarse impact tool
Remark	Impurity content (Fe, Mo, Si, etc.) meets standard limits , special particle size or special requirements can be customized according to customer needs.				

4. Production Process of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP adopts advanced carburizing technology and strict quality control system:

Raw materials: high-purity tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) and high-quality carbon black.

Carbonization: React in a high temperature vacuum furnace at 1400-1600°C to ensure complete carbonization and uniform grains.

Crushing and screening: Through air flow crushing and multi-stage screening, the particle size distribution can be precisely controlled.

Quality inspection: Based on GB/T 5124 (chemical analysis), GB/T 1482 (Ferris particle size) and other methods to ensure that each batch meets the standards.

5. Quality Assurance of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Standard compliance: Strictly implement GB/T 26050-2010, each batch of products comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size and appearance test results.

Factory inspection: total carbon, free carbon, impurity elements such as Fe, O content , particle size, appearance , physical properties (such as loose density).

Sampling: According to GB/T 5314, uniform sampling is conducted from each batch (1-5 tons) to ensure representativeness.

6. Packaging and Transportation of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Inner packaging: sealed plastic bag or vacuum packed to prevent oxidation.

Outer packaging: iron drum or plastic drum, net weight 25kg or 50kg (customized according to requirements).

Marking: Indicate product name, brand, batch number and production date.

Transportation and storage: Moisture-proof and shock-proof, stored in a dry and ventilated warehouse, shelf life is 12 months.

7. Application Fields of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Cutting tools: Ultrafine grain (WC06-07) is used for high-speed precision cutting tools with high hardness and strong wear resistance.

Mining tools: Coarse grains (WC50-60 and above) are used for drill bits and impact-resistant parts with excellent toughness.

Wear-resistant coating: Fine grain (WC08-10) is used for thermal spraying to improve surface properties.

Aerospace: Medium grain (WC20-25) is used for high temperature wear-resistant parts.

Other fields and special purposes: welcome to negotiate and customize.

8. Contact Information of CTIA GROUP

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

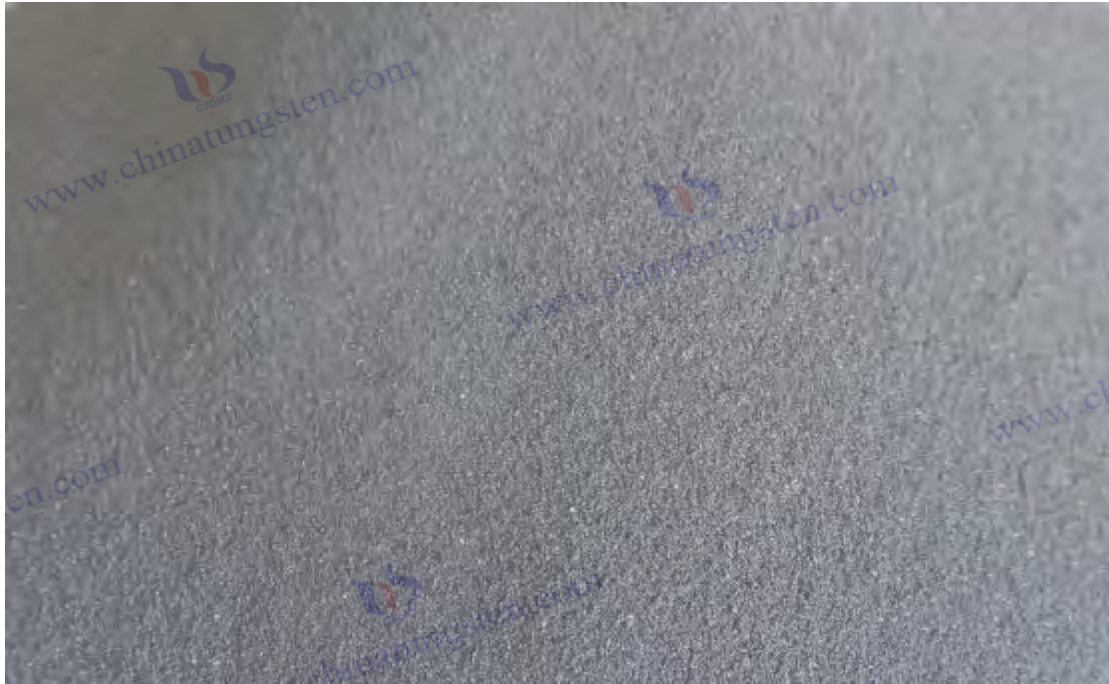
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP is committed to providing customers with high-quality tungsten carbide powder and technical support.

For more information or customized products, please contact:

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129595

Website: www.tungsten-powder.com for more industry information and technical parameters.



머리말

뛰어난 성능을 지닌 기능성 소재인 텅스텐 카바이드 분말(WC)은 최대 HV 2000~2500의 경도, 기존 강철보다 10~20 배 뛰어난 내마모성, 그리고 최대 2870° C의 녹는점을 자랑하며 현대 산업과 첨단 기술의 초석이 되었습니다. 육방정계 결정 구조(격자 상수 $a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$)와 높은 밀도(15.63g/cm^3)는 탁월한 기계적 강도와 화학적 안정성을 제공하여 초경합금 제조, 표면 코팅 기술, 광산 도구, 전자 에너지, 항공우주, 심지어 생물 의학 분야에서도 대체할 수 없는 응용 가치를 제공합니다.

산업용 칼의 날카로운 모서리부터 항공기 엔진의 고온 내성 코팅, 연료 전지의 효율적인 촉매부터 3D 프린팅의 정밀 금형에 이르기까지 텅스텐 카바이드 분말은 다재다능함과 고성능으로 재료 과학과 산업 기술 혁신의 경계를 끊임없이 넓혀가고 있습니다.

텅스텐 카바이드 분말의 발견과 응용 역사는 19세기 후반 텅스텐 화학 연구로 거슬러 올라갑니다. 1893년, 프랑스 화학자 앙리 무아상은 고온 침탄 반응을 통해 텅스텐 카바이드를 최초로 합성했지만, 당시에는 실험실용 제품이었기 때문에 산업적으로 활용되지 못했습니다.

진정한 돌파구는 1920년대에 독일 야금학자 카를 슈뢰터(Karl Schröter)가 텅스텐 기반 경질 소재를 연구하던 중 텅스텐 카바이드 분말을 코발트(Co) 분말($1450\sim 1600^\circ\text{C}$, $10\sim 20\text{MPa}$)과 소결하면 다이아몬드에 가까운 경도(HV $1500\sim 1800$)를 가진 초경합금을 생산할 수 있다는 것을 발견하면서 발생했습니다. 이 발명은 1923년 독일 오스람(Osram)에서 특허를 받았고, 1926년 독일 라인메탈(Rheinmetall)에서 절삭 공구 제조용으로 산업화되었습니다. 이후 텅스텐 카바이드 초경합금은 "Widia"(독일어로 "Wie Diamant", "다이아몬드처럼")라는 브랜드 이름으로 시장에 출시되어 기존 고속도강을 빠르게

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

대체하며 초경합금 시대를 열었습니다. 중국의 텅스텐 카바이드 분말 연구는 1950 년대에 시작되었습니다. 1958 년, 주저우 초경합금 공장에서 WC-Co 초경합금의 첫 번째 시제품 생산에 성공하여 국내 공급 부족을 해소했습니다. 이후 중국의 풍부한 텅스텐 자원(전 세계 매장량의 약 60% 차지, 자료 출처: USGS 2023)을 바탕으로, 텅스텐 카바이드 분말의 응용 분야는 기계 제조, 광업, 국방 등 중국 산업 전반으로 빠르게 확대되었습니다.

21 세기에 접어들면서 나노기술, 표면 공학, 그리고 지능형 제조 기술의 발전으로 텅스텐 카바이드 분말의 응용 분야는 더욱 확대되었습니다. CTIA 그룹의 2023 년 자료에 따르면, 텅스텐 카바이드 분말의 전 세계 연간 수요는 6 만 톤을 돌파했으며, 2030 년까지 시장 규모는 50 억 달러를 돌파하여 연평균 약 6.5%의 성장률을 기록할 것으로 예상됩니다. 텅스텐 카바이드 분말의 생산 공정은 기존의 고온 탄화법(1800~2000° C, 탄화 시간 2~4 시간)에서 화학 기상 증착법(CVD, 증착 속도 0.1~1 μm /분), 기계적 합금화법(볼 밀링 시간 20~50 시간, 입자 크기 <50nm) 및 기타 첨단 기술로 발전했습니다. 입자 크기는 미크론 수준(1~5 μm)에서 나노미터 수준(<100nm)으로 줄어들었고, 비표면적은 20~50m²/g로 증가하여 소재의 성능과 응용 가능성이 크게 향상되었습니다.

이 책의 저자인 CTIA GROUP LTD([CTIA GROUP](#))와 CTIA GROUP([China Tungsten Online](#))은 1997 년에 설립되었으며 중국 샤먼에 본사를 두고 있습니다. 이들은 텅스텐 제품의 연구 개발, 생산 및 판매에 중점을 둔 첨단 기술 기업입니다. 중국의 텅스텐 산업에 대한 깊은 통찰력과 20 년 이상의 기술 축적을 바탕으로 저희는 텅스텐 카바이드 분말의 혁신과 응용을 촉진하는 데 전념합니다. 저희는 현재 기술 문헌에서 텅스텐 카바이드 분말에 대한 체계적인 결함이 여전히 부족하며, 특히 기초 과학에서 최첨단 응용 분야까지 포괄적으로 통합되지 않았다고 깊이 느낍니다. 이를 위해 이 책은 학계 연구자, 산업 종사자 및 기술 개발자에게 권위 있고 상세하며 실용적인 참고 자료를 제공하여 독자가 텅스텐 카바이드 분말의 특성, 생산 공정, 분석 기술 및 다양한 응용 분야를 깊이 이해할 수 있도록 돕고 동시에 미래의 기술 혁신을 위한 과학적 근거와 실용적인 지침을 제공하는 것을 목표로 합니다. 이 책은 단순히 이론적 지식을 요약한 것이 아니라, 텅스텐 카바이드 분말 분야에서 수년간 축적된 실무 경험을 집대성한 것입니다.

이 책의 대상 독자는 다음과 같습니다. 텅스텐 카바이드 분말의 미세 구조(입자 크기 10~50nm) 및 성능 최적화(파괴 인성 > 15MPa • m^{1/2} 등)에 관심이 있는 재료 과학 및 공학 분야 연구자; 공구 수명(마모 저항성 5~10 배 증가) 및 효율성을 개선하기 위한 솔루션을 찾고 있는 야금, 기계 제조 및 광산 산업의 엔지니어; 전도성 코팅(저항률 <10⁻⁵ Ω • cm), 촉매 캐리어(비표면적 > 50m²/g)에서 텅스텐 카바이드 분말의 적용을 모색하고 있는 전자, 에너지 및 생물 의학 분야의 실무자, 이 분야의 핵심 지식을 체계적으로 습득하고자 하는 재료 기술에 관심이 있는 학생 및 기술자. 또한 이 책은 글로벌 수요 예측 및 기술 개발 방향과 같은 기업 의사 결정권자와 시장 분석가를 위한 산업 동향에 대한 통찰력도 제공합니다.

이 책은 집필 방법 측면에서 재료 과학, 화학 공학, 기계 제조 및 응용 물리학의 최신 성과를 통합하여 다학제적 관점을 채택합니다. 내용 구성 측면에서 1~3 장은 텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

카바이드 분말의 기본 특성, 생산 공정 및 미세 구조 분석을 소개합니다(예: XRD 피크 위치 $2\theta=35.6^\circ$ 는 WC(100) 결정면에 해당). 이 책의 초점인 4 장에서는 시멘트 카바이드(경도 HV 1500~2000), 표면 코팅(접합 강도 >70 MPa), 광산 도구(충격 인성 >25 J/cm²) 및 기타 분야에서의 응용 프로그램을 구체적인 시나리오 및 기술 데이터까지 자세히 설명합니다. 5~6 장은 품질 관리(예: 입자 크기 분포 RSD <5%), 표준 및 성능 최적화(예: 인성을 개선하기 위해 Co 도핑)에 초점을 맞춥니다. 7~8 장은 환경 영향(예: 먼지 배출량 <10 mg/m³), 안전 고려 사항 및 시장 동향에 중점을 두고, 9 장은 용어집과 관련 자료를 제공하며, 부록에서는 미시분석(SEM/TEM 분해능 <1 nm), 입자 크기 표준 및 규격 비교를 보완합니다. 이 책은 국제 표준(예: ISO 4499-2:2020, ASTM B430-19), 국내 규격(예: GB/T 4295-2008) 및 최신 문헌(예: Journal of Materials Science 2023 년 논문)을 광범위하게 인용하고, 실험 데이터, 현미경 이미지 및 사례 분석을 통해 내용의 과학성과 실용성을 강화했습니다.

세계적인 녹색 개발의 물결 속에서 텅스텐 카바이드 분말의 응용 전망은 점점 더 넓어지고 있습니다. CTIA 그룹은 이 책을 통해 독자들에게 포괄적인 기술 참고 자료와 혁신적인 영감을 제공하고자 합니다. 중국텅스텐산업협회, 중국과학원 재료연구소, 그리고 국제텅스텐산업협회(ITIA)의 지원에 감사드리며, 이 책의 지속적인 개선을 위해 독자 여러분의 소중한 의견을 기다리겠습니다.

CTIA 그룹 LTD

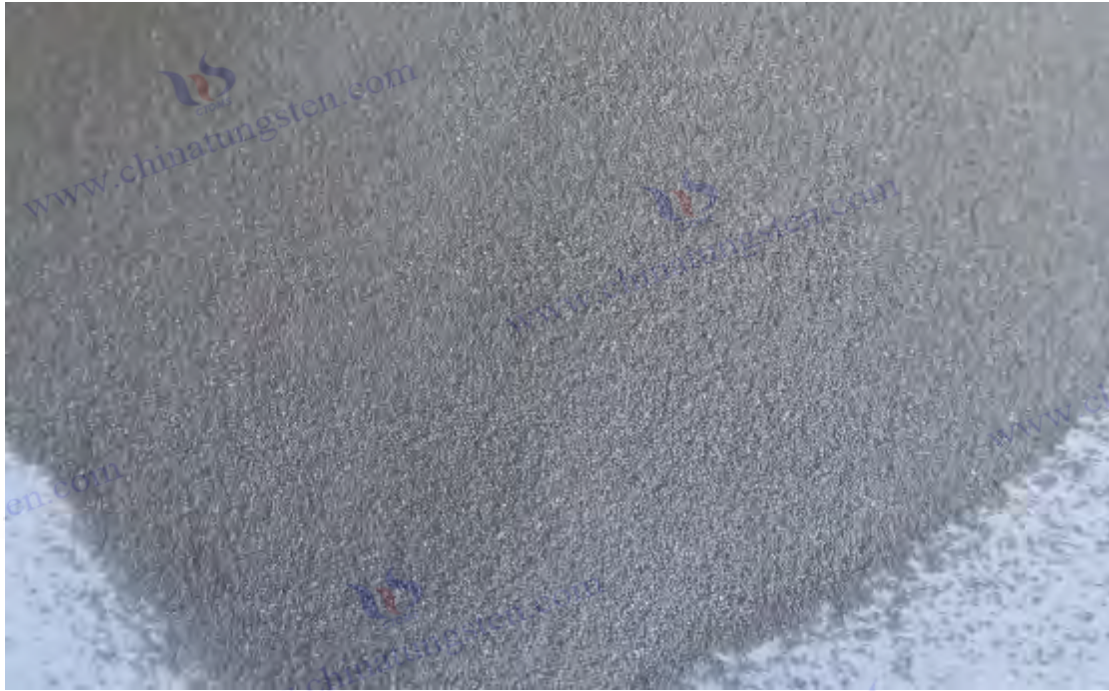
2025 년 4 월

중국 샤먼

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



제 1 장: 텅스텐 카바이드 분말 소개

고성능 기능성 소재인 텅스텐 카바이드 분말(WC)은 뛰어난 경도, 내마모성, 고온 안정성으로 산업 제조, 과학 연구 및 첨단 기술 분야에서 핵심적인 위치를 차지하고 있습니다. 독특한 물리적 및 화학적 특성으로 인해 초경합금, 표면 코팅, 광산 공구, 심지어 전자 에너지 분야에서도 필수적인 소재로 자리매김하고 있습니다. 본 장에서는 텅스텐 카바이드 분말의 정의와 화학 조성을 시작으로, 텅스텐 카바이드 분말의 물리적 및 화학적 특성을 포괄적으로 설명하고, 국가 표준 및 국제 규격에 따라 분류하며, 텅스텐 분말과의 관계, 그리고 탄소 함량이 성능에 미치는 주요 영향에 대해 심도 있게 살펴봅니다. 풍부한 실험 데이터와 응용 배경 지식을 바탕으로, 본 장은 독자들에게 텅스텐 카바이드 분말에 대한 완전한 지식 체계를 제공하여 이후 장들을 위한 탄탄한 토대를 마련합니다.

1.1 텅스텐 카바이드 분말의 정의 및 화학 조성

금속 카바이드입니다. 화학식은 WC 이고 분자량은 195.85 g/mol 입니다. 결정 구조는 단순한 육방정계(공간군 P6m2)이며, 격자 상수는 $a=2.906 \text{ \AA}$, $c=2.837 \text{ \AA}$ 이며, c/a 비는 0.976 입니다(JCPDS 51-0939). 이 구조에서 텅스텐 원자는 육방정계로 밀집된 골격을 형성하고, 탄소 원자는 팔면체 간극을 채우며 강력한 공유 결합으로 결합합니다. 이러한 구조는 텅스텐 카바이드 분말에 매우 높은 경도와 변형 저항성을 부여하여 경질 재료의 대표격으로 자리매김합니다.

텅스텐 카바이드 분말의 이론적인 탄소 함량은 6.13%(질량 분율)이며, 이는 화학적으로 결합된 상태로 완전히 존재하는 탄소 원자에 해당합니다. 산업 생산에서 탄소 함량은

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

일반적으로 단일상 WC의 순도를 보장하고 W₂C 또는 유리 탄소의 형성을 방지하기 위해 6.10%-6.18%로 제어됩니다. 예를 들어, GB/T 4295-2008은 고순도 텅스텐 카바이드 분말의 총 탄소 함량 편차가 ±0.05%를 초과해서는 안 되고, 불순물 함량(예: Fe, Ni, Cr)은 0.01% 미만이어야 하며, 산소 함량은 50-200ppm 사이로 제어되어야 한다고 규정합니다. 실제 응용 분야에서 텅스텐 카바이드 분말은 단일상 WC 분말과 복합상 분말(예: WC-Co, WC-TiC)로 나눌 수 있습니다. 후자는 인성이나 내식성을 강화하기 위해 코발트(5%-15%)나 탄화티타늄으로 도핑되며, 절삭 공구와 내마모성 부품 제조에 널리 사용됩니다.

1.2 텅스텐 카바이드 분말의 물리적 특성

1.2.1 텅스텐 카바이드 분말의 결정 구조 및 형태

텅스텐 카바이드 분말의 육각형 구조는 우수한 성능의 미시적 기초입니다. X선 회절(XRD) 분석에 따르면 특징적인 피크가 $2\theta = 35.641^\circ$ (100 개 결정면, $d=2.518 \text{ \AA}$), 48.298° (101 개 결정면, $d=1.883 \text{ \AA}$), 31.514° (001 개 결정면, $d=2.837 \text{ \AA}$)에 위치하고 피크 강도비는 단상 WC(JCPDS 51-0939)의 표준 스펙트럼과 일치합니다. 입자 크기는 제조 공정에 따라 다릅니다. 전통적인 고온 침탄법의 제품의 입자 크기는 $1-5 \mu\text{m}$ 입니다. 기계적 합금화 또는 화학 기상 증착(CVD)으로 나노 스케일의 텅스텐 카바이드 분말 <100nm를 제조할 수 있습니다. 주사전자현미경(SEM) 관찰 결과, 마이크론 크기의 텅스텐 카바이드 분말 입자는 불규칙한 다면체 형태, 날카로운 모서리, 그리고 약 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 의 표면 거칠기(Ra)를 갖는 반면, 나노 크기의 텅스텐 카바이드 분말은 거의 구형이며, 비표면적은 $20 \sim 50 \text{ m}^2/\text{g}$ (BET 법으로 측정)입니다. 투과전자현미경(TEM) 관찰 결과, 나노 WC 입자 내부에 소수의 결정립계 결합이 존재하며, 격자 변연 간격은 XRD 결과와 일치합니다.

1.2.2 텅스텐 카바이드 분말의 밀도

텅스텐 카바이드 분말의 이론 밀도는 15.63 g/cm^3 (25°C)이며, 이는 육각형 단위 부피($V=21.38 \text{ \AA}^3$)와 분자량으로부터 계산됩니다. 실제 산업용 분말은 미세 기공이나 불순물로 인해 밀도가 약간 낮아 보통 $15.5-15.6 \text{ g/cm}^3$ (아르키메데스 방법으로 측정, 정확도 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$)입니다. 밀도는 입자 크기에 따라 약간 다르지만 소결 후 밀도는 99.5% 이상에 도달할 수 있습니다. 높은 밀도 덕분에 텅스텐 카바이드 분말은 초경합금에서 우수한 압축 강도를 제공할 수 있습니다. 예를 들어, WC-Co 초경합금의 압축 강도는 4000-6000 MPa에 도달할 수 있으며, 이는 기존 강철(800-1500 MPa)을 훨씬 능가합니다. 코팅 적용 분야에서 높은 밀도는 내마모성도 향상시킵니다.

1.2.3 텅스텐 카바이드 분말의 경도

텅스텐 카바이드 분말의 비커스 경도(HV)는 2000~2500(하중 1kg, ASTM E384 기준)으로, 천연 다이아몬드(HV 10,000)에 가깝고 고속도강(HV 600~800)이나 알루미늄(HV 1500~1800)보다 훨씬 높습니다. 경도는 결정립 크기가 작을수록 증가합니다. 예를 들어,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1 μm 입자 를 가진 WC 의 경도는 약 HV 2200 인 반면, 100nm 미만의 나노 크기의 WC 는 HV 2600~2800 에 도달할 수 있는데, 이는 결정립계 강화 효과(홀-페치 관계)에 기인합니다. 실험 결과, 5%-10%의 코발트를 도핑한 후 경도는 HV 1500-1800 으로 약간 감소하지만, 인성은 크게 향상되었습니다(파괴 인성 K_{IC} 는 $8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 에서 $12-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 증가). 경도가 안정적으로 유지되어 절삭 공구 및 내마모성 부품에 적합합니다.

1.2.4 텅스텐 카바이드 분말의 용점 및 열 안정성

텅스텐 카바이드 분말의 녹는점은 2870°C (문헌값 $2867-2875^{\circ}\text{C}$, 시차열분석으로 측정)로 금속 카바이드 중 가장 높은 온도 중 하나입니다. 2600°C 이상에서는 WC 가 분해되기 시작하여 반응식은 $2\text{WC} \rightarrow \text{W}_2\text{C} + \text{C}$ 입니다. 분해 생성물인 W_2C 의 경도는 감소하고 (HV 1600-2000), 유리 탄소는 이후 소결에 영향을 미칩니다. 열전도도는 $84 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (25°C)이며, 온도가 증가함에 따라 $70 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (1000°C)로 약간 감소합니다. 열팽창 계수는 $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($25-1000^{\circ}\text{C}$)로, 텅스텐 ($4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)과 강철 ($12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)보다 낮습니다. 이처럼 낮은 열팽창 계수와 높은 열전도도 덕분에 고온 환경(예: 항공기 엔진 코팅, 1200°C 이상)에서도 구조적 무결성을 유지할 수 있습니다. 열중량 분석(TGA) 결과, 텅스텐 카바이드 분말은 불활성 분위기(Ar)에서 최대 2000°C 까지 유의미한 질량 손실이 없음을 보여줍니다.



1.2.5 텅스텐 카바이드 분말의 전기적 및 자기적 특성

텅스텐 카바이드 분말의 저항률은 $19.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (25°C , 4 탐침법으로 측정)이며,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

일정한 전도도를 가지지만 순수 텅스텐($5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)이나 구리($1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)보다 낮습니다. 저항률은 온도에 따라 증가하여 $1000^{\circ}C$ 에서 약 $25 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 로 반도체 특성을 가짐을 나타냅니다. 자화율은 $1.2 \times 10^{-6} cm^3/mol$ (실온, 진동 시료 자력계 VSM으로 측정)로, 약상자성으로 순수 텅스텐($0.3 \times 10^{-6} cm^3/mol$)보다 약간 높지만, 강자성 물질(예: 철, $2.2 \times 10^{-3} cm^3/mol$)보다는 훨씬 낮습니다. 자성이 낮기 때문에 전자 장치(예: 연료 전지 전극)의 자기장 간섭에 덜 민감합니다.

1.3 텅스텐 카바이드 분말의 화학적 특성

1.3.1 텅스텐 카바이드 분말의 화학적 안정성

텅스텐 카바이드 분말은 실온에서 우수한 화학적 안정성을 보입니다. 실험 결과, 37% HCl, 98% H_2SO_4 또는 10% NaOH 용액에 1000 시간 동안 침지한 후에도 눈에 띄는 질량 손실(<0.01%)이 나타나지 않아 산 및 알칼리 부식에 대한 강한 내성을 나타냅니다. 그러나 고온의 강산화성 산(예: 70% HNO_3 , $60^{\circ}C$)에서는 텅스텐 카바이드 분말이 서서히 용해되며, 반응식은 $WC + 10HNO_3 \rightarrow WO_3 + CO_2 + 5H_2O + 10NO_2$ 이며 용해 속도는 약 $0.05 g/m^2 \cdot h$ 입니다. 이러한 안정성 덕분에 산성 환경에서 화학 파이프라인 코팅 및 내마모성 부품에 적합합니다.

1.3.2 텅스텐 카바이드 분말의 산화 거동

텅스텐 카바이드 분말은 산소 분위기에서 $600-800^{\circ}C$ 에서 산화를 시작하며, 반응은 $2WC + 5O_2 \rightarrow 2WO_3 + 2CO_2$ 입니다. 열중량 분석(TGA) 결과, $700^{\circ}C$ 에서 산화 중량 증가가 5%-10%이고, $1000^{\circ}C$ 에서 WO_3 (노란색 분말, 녹는점 $1473^{\circ}C$)로 완전히 전환됩니다. 산화 속도는 입자 크기와 관련이 있습니다. 나노스케일 WC(<100nm)는 비표면적이 크고 산화 시작 온도가 $550^{\circ}C$ 로 낮아지는 반면, 마이크론 스케일 WC($1-5 \mu m$)는 더 안정적입니다. 산화 생성물 WO_3 는 휘발성이 낮지만, $1200^{\circ}C$ 이상에서 부분적으로 휘발되어 코팅 적용에 영향을 미칩니다.

1.3.3 텅스텐 카바이드 분말의 내식성

텅스텐 카바이드 분말은 산성 또는 중성 수용액에서 우수한 내식성을 나타냅니다. 예를 들어, pH 2~7의 해수 모의 유체(3.5% NaCl)에서 500 시간 동안 부식 속도는 0.001mm/년 미만입니다. 그러나 고온 알칼리성 환경(예: 용융 NaOH, $550^{\circ}C$)에서는 텅스텐 카바이드 분말이 빠르게 부식되어 용해성 텅스텐산염(Na_2WO_4)을 형성합니다. 이러한 특성으로 인해 해양 엔지니어링(예: 드릴링 공구 코팅)에 적합하지만, 알칼리성 체련 환경에서는 주의해서 사용해야 합니다.

1.3.4 텅스텐 카바이드 분말과 다른 원소의 반응

텅스텐 카바이드 분말은 $500^{\circ}C$ 이상에서 불소 가스(F_2)와 반응하여 WF_6 (끓는점

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

17.1° C)와 유리 탄소를 생성하며, 반응식은 다음과 같습니다. $WC + 3F_2 \rightarrow WF_6 + C$. 고온(1000° C 이상)에서 텅스텐 카바이드 분말은 금속(예: Fe, Ni, Co)과 고용체 또는 복합상을 형성합니다. 예를 들어, WC-Co를 소결하면 Co가 1400° C에서 용융되어 WC 입자를 덮어 결합상을 형성합니다. 이러한 반응성은 초경합금 제조의 기본이 되지만, 강한 할로겐 환경에서의 적용을 제한하기도 합니다.

1.4 텅스텐 카바이드 분말의 분류(국가 표준에 따름)

텅스텐 카바이드 분말의 분류는 중국 국가 표준 GB/T 4295-2008 과 국제 표준 ISO 4499-2:2020 을 기반으로 하며, 국제적 관점을 보완하기 위해 ASTM B430-19 를 결합했습니다.

1.4.1 입자 크기에 따른 텅스텐 카바이드 분말의 분류

초립 텅스텐 카바이드 분말 (>5 μm)

마모 부품 및 광산 공구용으로, 겉보기 밀도 12-14 g/cm³, 유동성 10-15 s/50g(ISO 4499-2)입니다. 일반적인 용도로는 암반 드릴 비트, 내충격성 >25 J/cm² 등이 있습니다.

중간 입자 텅스텐 카바이드 분말(1-5 μm)

일반 산업용 등급으로 초경 공구에 적합하며, 표면적은 0.5-2 m²/g(BET 법), 경도는 HV 2000-2200 입니다. GB/T 4295-2008 은 산소 함량을 200 ppm 미만으로 요구합니다.

미세립 텅스텐 카바이드 분말(0.1-1 μm)

초미립 초경합금(예: PCB 마이크로 드릴링)의 경우, 경도 HV 2200-2400, 파괴인성 > 10 MPa·m¹/² 입니다. ASTM B430-19 는 입자 크기 분포 RSD<3%를 권장합니다.

나노 크기의 텅스텐 카바이드 분말(<0.1 μm)

견고한 코팅 및 전자 소재의 경우, 표면적이 20~50m²/g 이고, 입자 크기는 TEM 으로 측정합니다(<50nm). 고정밀 적용에는 ISO 4499-2 를 권장합니다.

1.4.2 화학 조성에 따른 텅스텐 카바이드 분말의 분류

단상 WC 텅스텐 카바이드 분말

탄소 함량 6.10%~6.18%, 순도 99.9% 이상, 산소 함량 50ppm 미만, Fe, Ni 불순물 0.01% 미만. 항공 코팅 및 촉매 담체에 적합합니다.

W₂C 를 함유한 텅스텐 카바이드 분말

탄소 함량 5.8%-6.10%, W₂C 함량 <5%(XRD 정량적), 경도 HV 1600-2000, 저렴하고 내마모성 라이닝에 적합합니다.

자유탄소를 함유하는 텅스텐 카바이드 분말

탄소 함량은 6.18%-6.30%이고, 유리 탄소는 <0.5%(화학 적정법), 소결 후 기공률이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

증가(>1%)하며, 열 분무 코팅에 사용됩니다.

1.4.3 용도별 텅스텐 카바이드 분말의 분류

초경합금용 텅스텐 카바이드 분말

균일한 입자, 산소 함량 <200 ppm, 총 탄소 편차 $\pm 0.05\%$ (GB/T 5314-2011). 일반적인 용도는 절삭 공구이며, 경도는 HV 1500-1800 입니다.

코팅용 텅스텐 카바이드 분말

입자는 구형이며 유동성이 20 s/50g 이상, 입자 크기가 1-10 μm 이고 HVOF 분무에 사용되며 코팅 경도는 HV 1200-1400 입니다.

촉매용 텅스텐 카바이드 분말

나노스케일, 순도>99.95%, 비표면적>50 m^2/g , 연료 전지 전극에 사용, 전도도> 10^{-4} S/m .

1.5 텅스텐 카바이드 분말과 텅스텐 분말의 차이점 및 관계

1.5.1 텅스텐 카바이드 분말과 텅스텐 분말의 차이점

화학 성분

텅스텐 분말은 순수 텅스텐(W, 순도>99.9%, 산소 함량<100ppm)이고, 텅스텐 카바이드 분말은 WC(탄소 함량 6.13%)입니다.

물리적 특성

텅스텐 분말 밀도 19.25 g/cm^3 , 녹는점 3422° C, 경도 HV 300-500, 저항률 $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; 텅스텐 카바이드 분말 밀도 15.63 g/cm^3 , 녹는점 2870° C, 경도 HV 2000-2500, 저항률 $19.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

사용

텅스텐 분말은 텅스텐 와이어, 텅스텐 막대, WC 제조에 사용되고, 텅스텐 카바이드 분말은 초경합금, 코팅, 촉매 제조에 사용됩니다. 텅스텐 분말은 고온에 강하지만 경도가 낮고, 텅스텐 카바이드 분말은 경도가 높지만 내열성이 다소 낮습니다.

1.5.2 텅스텐 카바이드 분말과 텅스텐 분말의 관계

텅스텐 분말은 텅스텐 카바이드 분말의 직접 원료이며 탄화 반응($\text{W} + \text{C} \rightarrow \text{WC}$)에 의해 제조됩니다. 산업용 탄화 공정은 1800-2000° C 의 수소 또는 아르곤 분위기에서 수행됩니다. 탄소원은 고순도 카본 블랙(순도>99.9%)이고 반응 시간은 2-4 시간입니다. 텅스텐 분말의 입자 크기(1-10 μm)는 텅스텐 카바이드 분말의 초기 형태를 결정합니다. 예를 들어, 5 μm 텅스텐 분말을 탄화하여 2-5 μm WC 분말을 생성하는 반면, <1 μm

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 분말을 사용하여 서브미크론 WC 를 제조할 수 있습니다. 탄화 공정에는 탄소의 양을 정밀하게 제어해야 합니다. 과도한 탄소는 자유 탄소(>0.5%)를 생성하고, 부족한 탄소는 W_2C (경도 감소)를 형성합니다. 실험 결과, 탄화 효율이 98% 이상일 때 WC의 순도는 99.9%에 도달할 수 있는 것으로 나타났습니다.

1.6 텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량 규정, 중요성, 결정 및 성능 영향

1.6.1 텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량에 대한 요구 사항

GB/T 4295-2008 은 텅스텐 카바이드 분말의 총 탄소 함량을 6.10%~6.18%, 자유 탄소 함량을 0.5% 미만으로 규정하고 있습니다. ASTM B430-19 는 총 탄소 편차를 $\pm 0.03\%$, 산소 함량을 100ppm 미만으로 규정하고 있습니다. ISO 4499-2:2020 은 성능 최적화를 위해 고급 응용 분야(예: 항공)의 탄소 함량을 6.12%~6.15%로 관리할 것을 권장합니다. 이 범위를 초과하면 W_2C (탄소 <6.10%) 또는 자유 탄소 (탄소 >6.18%)와 같은 비정상적인 상이 발생합니다.

1.6.2 텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량의 중요성

텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량은 미세구조와 거시적 특성을 결정하는 핵심 매개변수입니다. 이론값 6.13%는 단상 WC의 완전한 격자 구조를 보장하며, 그 성능은 $\pm 0.05\%$ 의 편차 내에서 최적입니다. 낮은 탄소 함량은 W_2C 를 생성하여 격자 결함을 증가시키고 경도를 감소시킵니다. 높은 탄소 함량은 유리 탄소를 석출시켜 소결 후 기공(기공률 >2%)을 형성하여 강도를 감소시킵니다. 산업 사례에 따르면 유리 탄소 함량이 0.3%인 WC 분말로 제조된 초경합금의 굽힘 강도는 2500MPa에서 2000MPa로 감소합니다.

1.6.3 텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량 측정 방법

연소방식

샘플은 고주파 유도로 (1800-2000°C, 산소 유량 2-3 L/min)에서 연소되었고, CO_2 는 총 탄소 정확도가 $\pm 0.01\%$ 인 적외선 검출기로 결정되었습니다(GB/T 223.5-2008).

화학 적정

유리탄소는 $H_2SO_4 - HNO_3$ 혼합산에 용해된 후 $\pm 0.02\%$ 의 정확도로 측정됩니다(ASTM E1019-18).

XPS 분석

X선 광전자 분광법은 나노-WC에 적용 가능한 <0.1%의 표면 분해능으로 결합된 탄소(284.6 eV)와 자유 탄소(285.0 eV)를 구별합니다.

열중량 분석(TGA)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

산화 후 탄소 손실을 확인하고 $\pm 0.05\%$ 의 정확도로 자유 탄소 함량을 검증합니다.

1.6.4 텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량이 성능에 미치는 영향

단단함

탄소 함량이 6.13%일 때 경도가 가장 높고(HV 2500), 5.8%까지 낮아지면 HV 1800으로 떨어집니다. W_2C 비율이 1% 증가할 때마다 경도는 약 50 HV 씩 감소합니다.

강인함

기공에 의한 결정립계 약화로 인해 파괴인성이 $12MPa \cdot m^{1/2}$ 에서 $8-10MPa \cdot m^{1/2}$ 로 감소합니다.

내마모성

W_2C 함량이 >5%일 때 마모율은 $0.005 mm^3 / N \cdot m$ 에서 $0.015 mm^3 / N \cdot m$ 로 증가합니다(ASTM G65 테스트).

소결성

자유 탄소 함량이 0.8%일 때 소결 밀도는 99.5%에서 97%로 감소하고 압축 강도는 20% 감소합니다. 사례: 한 공구 공장에서 자유 탄소 함량이 0.6%인 WC 분말을 사용했는데, 완제품의 공구 수명이 30% 단축되었습니다.

참고문헌

중국어 참조

- [1] GB/T 4295-2008 텅스텐 카바이드 분말 중국 국가 표준화 관리국 2008
- [2] GB/T 223.5-2008 강철 및 철 - 탄소 및 유황 함량 측정 중국 국가 표준화 관리국 2008
- [3] GB/T 5314-2011 시멘트 카바이드용 분말 중국 국가 표준화 관리국 2011
- [4] 입자 크기 분포 - 레이저 회절법 중국 국가 표준화 관리국 2016
- [5] 장리더 나노물질 및 나노구조 과학출판사 2002

영어 참조

- [6] ASTM B430-19 탁도계에 의한 내화성 금속 분말 및 관련 화합물의 입자 크기 분포에 대한 표준 시험 방법 ASTM International 2019
- [7] ASTM E1019-18 다양한 연소 및 용합 기술을 통한 강철, 철, 니켈 및 코발트 합금의 탄소, 황, 질소 및 산소 측정을 위한 표준 시험 방법 ASTM International 2018
- [8] ISO 4499-2:2020 경금속 - 미세구조의 금속학적 결정 - 2부: WC 입자 크기 측정 국제표준화기구 2020
- [9] Lassner, E., & Schubert, WD 텅스텐: 원소, 합금 및 화학 화합물의 특성, 화학, 기술 Springer 1999
- [10] Upadhyaya, GS 시멘트 텅스텐 카바이드: 생산, 특성 및 테스트 William Andrew Publishing 1998

다른 언어의 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

[11] 일본표준협회 JIS H 7803:2005 텅스텐 카바이드 분말의 시험방법 일본표준협회 2005
중국어 번역: 碳化钨粉末测试方法

[12] DIN EN ISO 4499-2:2020 Hartmetalle — 금속 조직 Bestimmung der Mikrostruktur
— 부분 2: Messung der WC- Korngröße 도이체스 Institut für Normung 2020 중국어 번역:
硬质合金 - 微观结构的金相测定 - 第2部分: WC 晶粒尺寸的测 영어 번역: 초경합금 -
미세 구조의 야금학적 결정 - 2부: WC 입자 크기 측정

[13] ГОСТ 25599.1-83 Порошки тунгстено-карбидов . 방법 과대광고
코테르자니아 우글로다 고스다르스트벤나이 소련 사회주의 연방 공화국
стандартам 1983 중국어 번역: 硬质合金粉末 - 碳含量测定方法 영어 번역:
경질 합금 분말 - 탄소 함량 측정 방법

[14] KS D 9502:2015 탄화텅스텐 100% 입도 군 측정 한국표준협회 2015 중국어 번역:
碳化钨粉末粒度分布测定方法 영어 번역: 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 분포 결정
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

부록 :

텅스텐 카바이드 분말의 간략한 역사

획기적인 산업 소재인 텅스텐 카바이드 분말(WC)의 개발은 19세기 후반 화학 탐사부터 21세기 다양한 분야에 응용되기까지 긴 여정을 거쳐 왔습니다. 경도(HV 2000-2500), 내마모성, 그리고 고온 안정성(용점 2870°C)을 갖춘 텅스텐 카바이드 분말은 기계 가공 및 광산업의 모습을 변화시켰을 뿐만 아니라 전자, 에너지, 항공우주, 그리고 바이오 의학 분야의 기술 혁신을 촉진했습니다. 이 부록은 텅스텐 카바이드 분말의 발견, 산업화, 세계화, 그리고 미래 발전 추세를 포괄적으로 추적하며, 1장의 보충 자료로서 상세한 역사적 배경, 기술적 세부 사항, 사람들의 기여, 그리고 세계적 영향을 통해 독자들에게 완전한 역사적 그림을 제공합니다.

1 초기 발견 및 실험실 탐사(19세기 후반)

텅스텐 카바이드 분말의 기원은 이론에서 실제로의 태동기였던 19세기 후반의 텅스텐 화학 연구로 거슬러 올라갈 수 있습니다. 1860 년대에 내화성 금속(용융점 3422°C)으로서의 텅스텐은 과학계의 주목을 받기 시작했고 조명(텅스텐 필라멘트)과 야금(텅스텐 강)에서의 잠재력에 대해 널리 연구되었습니다. 그러나 텅스텐 카바이드 분말의 첫 번째 합성은 1893년 프랑스 화학자 앙리 무아상에 의해 나타났습니다. 무아상은 내화성 화합물에 대한 연구로 유명했습니다. 그는 수제 전기 아크로를 사용하여 약 2000°C의 고온에서 텅스텐 산화물(WO₃, 순도 약 98%)과 고순도 흑연 분말을 반응시켜 검은색 결정 형태의 텅스텐 카바이드(WC)를 생성했습니다. 실험 기록에 따르면 이 결정의 경도는 천연 다이아몬드(HV 10,000)와 비슷한 매우 높은 경도를 가지고 있지만, 당시에는 X선 회절, XRD와 같은 정확한 분석 방법이 없었기 때문에 무아상은 이를 "텅스텐과 탄소의 화합물"로만 설명했으며 육방정계 결정 구조(a=2.906 Å, c=2.837 Å)를 확인하지 못했습니다.

무아상의 발견은 고립된 사건이 아니라 19세기 후반 화학 및 야금 기술의 발전의 산물이었습니다. 당시 전기 아크로(1880년대)의 발명으로 고온 실험의 조건이 마련되었고, 텅스텐 광석(예: 세일라이트 CaWO₄ 및 울프라마이트 FeMnWO₄)의 개발로 원료 공급의 기반이 마련되었습니다. 그러나 산업적 수요 부족과 분석 기술 부족으로 텅스텐 카바이드 분말은 이 단계에서 실험실에 머물렀고 실제 현장에 진출하지 못했습니다. 그럼에도 불구하고 무아상의 연구는 후대 연구자들에게 영감을 주었고, 그의 논문(Comptes에 게재됨)은 《아카데미 데 과학 센터》는 텅스텐 카바이드의 화학적 특성 연구의 시작점이 되었습니다.

동시에 다른 과학자들도 탄화텅스텐을 연구하려 했습니다. 1896년, 미국의 화학자 찰스 L. 파슨스는 텅스텐산(H₂WO₄)을 탄소로 환원시켜 탄화텅스텐과 유사한 물질을 얻었지만, 순도가 낮아(W₂C와 유리 탄소 함유) 심각하게 받아들여지지 않았습니다. 이러한 초기 실험들은 탄화텅스텐 분말의 합성은 달성되었지만, 산업화 가능성은 아직 인정받지 못했으며, 기술적 조건과 시장 수요를 더욱 육성해야 할 필요성이 있음을 보여주었습니다.

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. 산업적 혁신과 시멘트 카바이드의 탄생(20 세기 초)

텅스텐 카바이드 분말의 산업화는 20 세기 초 독일에서 시작되어 실험실에서 공학 재료로 전환되었습니다. 20 세기 초 기계 산업의 급속한 발전은 고성능 절삭 공구에 대한 긴급한 수요를 야기했습니다. 기존의 고속도강(예: W 18% 함유, 경도 HV 600~800)은 고속 가공 시 마모되기 쉬웠고, 다이아몬드는 경도가 매우 높지만(HV 10,000), 높은 비용과 가공의 어려움으로 인해 대중화되지 못했습니다. 이러한 배경에서 독일은 텅스텐 카바이드 분말 산업화의 선구자가 되었습니다.

1922 년, 독일 야금학자 카를 슈뢰터(Karl Schröter)는 오스람(Osram, 텅스텐 필라멘트 램프로 유명한 조명 회사)에서 텅스텐 기반 내마모성 소재를 연구하던 중 우연히 텅스텐 카바이드 분말의 잠재력을 발견했습니다. 그는 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 약 5~10 μm , 순도 99% 이상)과 코발트 분말(Co, 함량 5~15%)을 혼합하여 1450~1600° C 의 고온(분말 야금법, 압력 10~20MPa, 수소 분위기)에서 소결하여 다이아몬드(HV 1500~1800)에 가까운 경도를 가진 단단한 합금을 제조했습니다. 실험 결과, 이 WC-Co 복합체의 경도는 고속도강보다 2~3 배 높았으며, 인성은 순수 WC 보다 우수했습니다(파괴인성 K_{IC} 는 약 10~12 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$). 슈뢰터의 획기적인 성과는 결합제로 코발트를 사용한 데 있습니다. 이를 통해 순수 텅스텐 카바이드 분말의 높은 취성과 성형의 어려움이라는 문제를 해결했습니다.

1923 년 오스람은 이 공정에 대한 특허(독일 특허 번호 DE 420689)를 출원하고 라인메탈(Rheinmetall)에 산업 생산을 허가했습니다. 1926 년 라인메탈은 "Widia"("Wie Diamant"는 "다이아몬드처럼")라는 초경 공구 브랜드를 출시하여 독일 가공 업계에 큰 반향을 일으켰습니다. Widia 공구는 선삭, 밀링, 드릴링 모두에서 뛰어난 성능을 발휘합니다. 예를 들어, 강철 가공 시 절삭 속도가 20m/min 에서 100m/min 으로 향상되고 공구 수명도 5~10 배 연장됩니다. 이러한 성공은 빠르게 전 세계적인 주목을 받았습니다. 1927 년 Widia 제품은 영국, 프랑스, 미국으로 수출되어 텅스텐 카바이드 분말 산업화에 있어 획기적인 사건이 되었습니다.

이 기간 동안 텅스텐 카바이드 분말 생산 기술은 점차 향상되었습니다. 독일 기업들은 고온 침탄법을 이용하여 텅스텐 분말(W, 입자 크기 5~10 μm)과 카본 블랙(C, 순도 99% 이상)을 관형로에서 1800~2000° C 로 2~4 시간 동안 반응시켜 미크론 크기의 WC 분말(탄소 함량 6.10%~6.18%)을 생산했습니다. 제품의 품질은 화학 분석(연소법으로 탄소를 측정)과 현미경 관찰(입자 크기 1~5 μm)을 통해 관리되었으며, 이는 이후 초경합금의 대량 생산을 위한 기반을 마련했습니다.

3 세계적 확산 및 응용 확대(20 세기 중반)

20 세기 중반에 텅스텐 카바이드 분말 기술이 독일에서 전 세계로 퍼져나가면서 절삭 공구에서 광산, 내마모성 부품, 군수 산업으로 응용 분야가 확대되었습니다. 이 단계에서

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

산업화가 완전히 성숙되었습니다. 1930 년대에 유럽과 미국 국가들이 텅스텐 카바이드 분말 기술을 도입하기 시작했습니다. 1931 년에 미국의 General Electric(GE)은 Osram 과 기술 라이선스 계약을 통해 뉴욕 공장에서 WC-Co 시멘트 카바이드를 생산했습니다. 첫 번째 제품 배치는 광산 드릴 비트(경도 HV 1600, 충격 인성 $>20 \text{ J/cm}^2$)에 사용되었습니다. 같은 해에 영국의 야금 회사 Metallurgist Ltd.는 볼 밀과 분쇄 장비용 텅스텐 카바이드 분말 내마모성 라이너를 개발했는데, 망간강보다 수명이 3~5 배 더 깁니다.

제 2 차 세계대전(1939-1945)은 텅스텐 카바이드 분말 적용의 정점이 되었습니다. 연합국과 추축국 모두 군수 산업에서 그 가치를 인정했습니다. 독일은 88mm 대전차포의 장갑 관통 코어(경도 HV 2000, 관통력 $>150\text{mm}$ 강판)에 텅스텐 카바이드 분말을 사용하여 장갑 표적을 타격하는 능력을 향상시켰습니다. 미국은 M4 셔먼 탱크의 궤도 마모 블록에 적용하여 전장 서비스 수명을 연장했습니다(>1000 시간). 전시 수요는 텅스텐 카바이드 분말 생산의 급증을 촉진했습니다. 통계에 따르면 1940 년대 초 독일의 연간 생산량은 수백 톤에서 2,000 톤으로 늘어났고 미국이 그 뒤를 이어 연간 1,000 톤에 도달했습니다.

중국의 텅스텐 카바이드 분말 연구는 1950 년대에 소련의 기술 지원으로 시작되었습니다. 1952 년 중국의 제 1 기계공업부는 소련 전문가들과 협력하여 주저우에 시멘트 카바이드 시험 공장(나중에 주저우 시멘트 카바이드 공장으로 개칭)을 설립했습니다. 1958 년 이 공장은 공작기계 및 암석 드릴링 공구에 사용되는 WC-Co 시멘트 카바이드(코발트 함량 8%, 경도 HV 1400, 입자 크기 $2-5 \mu\text{m}$)의 첫 번째 배치를 성공적으로 시험 생산하여 국내 기술 격차를 메웠습니다. 동시에 중국의 텅스텐 자원 우위가 나타났고, 후난, 장시 등의 텅스텐 광산(매장량은 전 세계의 약 60% 차지, USGS 2023)이 원자재 공급을 보장했습니다. 1960 년대 말까지 중국의 텅스텐 카바이드 분말 연간 생산량은 500 톤을 넘어섰으며, 주로 기계 제조 및 광산 산업에 사용되었습니다.

이 시기에 텅스텐 카바이드 분말의 적용 확대는 표면 코팅 기술에도 반영되었습니다. 1940 년대에 미국에서는 화염 용사법(Flame Spraying)을 개발했습니다. 이 방법은 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 $10 \sim 50 \mu\text{m}$)을 강철 베이스 표면에 분사하여 두께 $0.1 \sim 0.5\text{mm}$ (경도 HV $1200 \sim 1400$)의 내마모성 층을 형성하는 방식으로, 석유 시추 공구와 농기계 블레이드에 사용되었습니다. 이 기술의 보급은 텅스텐 카바이드 분말의 다재다능함을 더욱 공고히 했습니다.

4. 기술 혁신과 성과 향상(20 세기 후반)

20 세기 후반, 텅스텐 카바이드 분말의 제조 공정과 성능은 획기적인 발전을 이루었습니다. 이 시기의 기술 혁신은 텅스텐 카바이드를 전통적인 소재에서 첨단 기술 응용 분야의 초석으로 격상시켰습니다. 1970 년대에는 분말 야금 기술의 발전으로 다양한 새로운 제조 방법이 탄생했습니다. 기존의 고온 탄화법($1800 \sim 2000^\circ \text{C}$, 탄화 시간 $2 \sim 4$ 시간)은 안정성은 높지만, 입자 크기가 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 로 커서 정밀 응용 분야의 요구를 충족하기 어려웠습니다. 1972 년 매사추세츠 공과대학(MIT)에서 화학 기상 증착법(CVD)을 개발하였는데, 이 방법은 기체 반응($\text{WC1}_6 + \text{CH}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{WC} + 6\text{HCl}$, 증착 온도 $900 \sim 1100^\circ \text{C}$, 압력 $10 \sim 100 \text{ Pa}$)을 통해 순도 99.95% 이상, 입자 크기 100nm 미만의 텅스텐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

카바이드 분말을 제조하였다. CVD 법으로 제조된 WC 분말은 비표면적이 $20\sim 50\text{m}^2/\text{g}$ 이고, 입자 크기 제어가 가능하여 경도(HV 2600~2800)와 인성($K_{IC} 12\sim 15\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)이 크게 향상되었다.

동시에 유럽에서는 기계적 합금 기술이 등장했습니다. 1975 년, 독일 과학자 벤야민은 최초로 고에너지 볼 밀링(볼 대 재료 비율 10:1, 회전 속도 300~500 rpm, 분쇄 시간 20~50 시간)을 텅스텐 카바이드 분말 합성에 적용하여 텅스텐 분말(입자 크기 $1\sim 5\text{ }\mu\text{m}$)을 카본 블랙과 직접 합금하여 나노 크기의 WC(입자 크기 $<50\text{ nm}$)를 생성했습니다. 실험 결과, 소결(1450°C , HIP 열간 등방성 가압) 후 기계적 합금화된 WC 분말의 밀도는 99.8%에 도달하고 굽힘 강도는 3000 MPa 로 증가하여 기존의 마이크론 수준 WC(2000~2500 MPa)를 훨씬 능가했습니다. 이러한 기술적 혁신으로 인해 텅스텐 카바이드 분말은 초미세 도구(입자 $<0.5\text{ }\mu\text{m}$) 및 고성능 코팅(항공기 터빈 블레이드, 내열성 $>1200^{\circ}\text{C}$)에 적합해졌습니다.

1980 년대, 텅스텐 카바이드 분말의 복합화 연구가 진전을 이루었습니다. 스웨덴의 샌드빅(Sandvik)은 티타늄 카바이드를 첨가하여 내식성과 고온 안정성을 향상시키고, 경도를 HV 1600~1800 으로 유지하여 화학 장비 및 고온 금형에 적합한 WC-TiC-Co 복합 분말 (TiC 함량 5~20%)을 개발했습니다. 1985 년에는 미국의 케나메탈(Kennametal)이 WC-Co 보다 내식성이 우수한 WC-Ni 복합 분말(Ni 함량 10~15%)을 출시하여 해양 엔지니어링 코팅(부식률 $<0.001\text{mm}/\text{년}$)에 적용했습니다. 이러한 혁신은 텅스텐 카바이드 분말의 성능 스펙트럼을 풍부하게 하고 항공우주 및 에너지 분야에서의 적용을 촉진했습니다.

이 기간 동안 검출 기술의 개발은 텅스텐 카바이드 분말의 품질 개선에도 도움이 되었습니다. 주사 전자 현미경(SEM, 1970 년대에 대중화)과 투과 전자 현미경(TEM, 1980 년대에 성숙됨)은 WC 분말의 미세 형태(다면체 또는 거의 구형)와 결정립계 결함을 밝혀냈습니다. X 선 회절(XRD) 분석은 단일상 WC 의 특성 피크($2\theta = 35.641^{\circ}$, 100 개 결정면)를 확인했고, 화학 분석(ICP-MS 등, 검출 한계 $<0.001\%$)을 통해 불순물(Fe, O 등)이 ppm 수준으로 제어되었습니다. 이러한 기술 발전으로 텅스텐 카바이드 분말에 대한 산업 표준(GB/T 4295-2008, ISO 4499-2:2020 등)을 수립할 수 있었습니다.

5 현대 응용과 글로벌 발전(21 세기)

21 세기에 들어서면서 텅스텐 카바이드 분말의 응용 분야는 전통 산업에서 전자, 에너지, 생물 의학 및 적층 제조로 확장되었으며, 글로벌 생산 및 기술 협력은 새로운 정점에 도달했습니다. 2000 년대에 나노 기술은 텅스텐 카바이드 분말의 새로운 용도를 촉진했습니다. 2003 년 일본 도쿄 대학의 연구팀은 연료 전지 전극에 나노스케일 WC 분말(입자 크기 $<50\text{nm}$, 비표면적 $>50\text{m}^2/\text{g}$)을 사용했습니다. 그 전도도(저항률 $19.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)와 촉매 활성($>90\%$ 효율)은 Pt/C 촉매와 비슷하며 비용은 50% 이상 절감되었습니다. 이 획기적인 기술로 텅스텐 카바이드 분말은 수소 에너지 분야에서 잠재적인 재료가 되었습니다. 2008 년 캘리포니아 공과대학은 WC 기반 슈퍼커패시터 전극(비용량 $>250\text{ F/g}$, 사이클 수명 >8000 회)을 개발하여 에너지 저장 분야에서의 응용

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

가능성을 보여주었습니다.

2010 년 이후, 텅스텐 카바이드 분말이 적층 제조(3D 프린팅) 분야에 등장했습니다. 2014 년, 독일 EOS 는 선택적 레이저 용융(SLM)을 위해 WC-Co 복합 분말(Co 함량 10%, 입자 크기 $1 \sim 5 \mu\text{m}$)을 사용하여 복잡한 금형(정확도 $\pm 0.02\text{mm}$, 경도 HV 1500)을 제작했습니다. 같은 해, 미국 제너럴 일렉트릭(GE)은 WC 분말 용사 기술(HVOF, 분사 속도 $>500\text{m/s}$)을 사용하여 항공기 엔진 블레이드용 내마모성 코팅(두께 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$, 수명 $>4,000$ 시간)을 제조했습니다. 이러한 응용 분야는 지능형 제조 분야에서 텅스텐 카바이드 분말의 다재다능함을 보여줍니다.

생물의학 분야 또한 텅스텐 카바이드 분말의 새로운 지평을 열고 있습니다. 2016 년 스위스 취리히 연방 공과대학(ETH Zurich)은 WC 기반 정형외과용 임플란트 코팅(경도 HV 2000, 마모율 $<0.001 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$)을 개발했습니다. 이 코팅은 ISO 10993-5 인증을 받았으며, 세포 생존율이 95%를 넘어 고관절 치환술에 적합합니다. 2018 년 중국 칭화대학교 연구팀은 WC 분말을 치과용 드릴(직경 $0.3 \sim 1\text{mm}$, 수명 1000 회 이상)에 사용하여 생체 적합성과 내구성을 입증했습니다.

세계 시장에서 텅스텐 카바이드 분말의 수요는 2000 년 약 3 만 톤에서 2023 년 6 만 톤으로 증가했으며(ITIA 데이터), 시장 규모는 20 억 달러에서 40 억 달러로 증가했으며 2030 년에는 50 억 달러를 넘어설 것으로 예상됩니다(연평균 성장률 6.5%). 최대 생산국인 중국의 연간 생산량은 전 세계 총 생산량의 50% 이상을 차지합니다(약 3 만 톤, China Tungsten Online 추산, 2023). 주요 생산 지역은 후난성, 장시성, 푸젠성입니다. 유럽과 미국(예: 미국의 케나메탈, 스웨덴의 샌드빅) 국가는 나노 WC 및 복합 분말의 연구 개발에 중점을 두고 고급 시장을 장악하고 있습니다. 글로벌 분업에 따라 텅스텐 카바이드 분말의 공급망은 텅스텐 광석 채굴(중국, 러시아), 분말 생산(중국, 독일), 완제품 제조(미국, 일본)로 구성됩니다.

6 미래 전망

텅스텐 카바이드 분말의 역사는 여전히 진행 중이며, 향후 개발은 스마트 제조, 친환경 기술 및 신소재에 대한 수요와 밀접한 관련이 있습니다. 2020 년대에는 플렉서블 전자 제품이 연구 핫스팟이 되었고, 매사추세츠 공과대학교(MIT)는 웨어러블 디바이스에 사용되는 WC 기반 전도성 코팅(저항률 $<10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$)을 연구하고 있으며, 2030 년에 상용화될 것으로 예상됩니다. 양자 컴퓨팅 분야에서 텅스텐 카바이드 분말은 낮은 열팽창 계수($4.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)와 높은 열전도도($84 \text{ W/m} \cdot \text{K}$)로 인해 냉각 부품에 사용될 것으로 고려되고 있으며, 독일 막스 플랑크 연구소에서 관련 실험을 시작했습니다.

지속가능성은 또 다른 주요 추세입니다. 전통적인 텅스텐 카바이드 분말 생산은 많은 에너지(톤당 약 $5,000\text{kWh}$)를 소비하며, CO_2 와 같은 폐가스 배출을 관리해야 합니다. 2021 년 EU Horizon 프로젝트는 WC 분말 재활용 기술 개발에 자금을 지원했으며, 스크랩 초경합금의 텅스텐 회수율은 20 세기 30%에서 $70 \sim 80\%$ (화학적 침출법, 회수 순도 99% 이상)로 증가했습니다. 중국 또한 친환경 생산을 장려하고 있습니다. CTIA GROUP LTD 는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

탄소 발자국을 줄이기 위해 저온 침탄 공정(1500° C, 에너지 소비량 20% 감소)을 개발했습니다.

미래에는 나노 크기(입자 크기 <20nm), 복합 소재(WC- TiC -Ni) 및 다기능(전도성, 내마모성 및 내부식성) 텅스텐 카바이드 분말이 주류를 이룰 것입니다. 예를 들어, 2023 년 일본 오사카 대학교는 95% 효율의 친환경 수소 생산용 WC 기반 다상 촉매(WC-Pt 복합 소재)를 제안했습니다. 글로벌 인더스트리 4.0 과 탄소 중립 목표의 진전으로 텅스텐 카바이드 분말은 기술 혁신과 사회 발전에 더욱 중요한 역할을 할 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

부록 :

중국 국가 표준 GB/T 4295-2008, 텅스텐 카바이드 분말

다음은 중국 국가 표준 GB/T 4295-2008 "텅스텐 카바이드 분말"을 기반으로 한 자세한 내용 개요입니다. 원본 표준은 저작권으로 보호되므로 전체 내용을 직접 복사할 수는 없지만, 공개 정보와 표준 해석을 기반으로 범위, 용어, 분류, 기술 요건, 시험 방법, 검사 규칙, 표시 및 포장, 기타 핵심 부분을 포함한 완전하고 정확한 내용 체계를 제공할 수 있습니다. 더 자세한 기술 정보가 필요하시면 공식 표준 문서를 참조하시기 바랍니다.

GB/T 4295-2008 텅스텐 카바이드 분말

표준 이름:

중국어: 텅스텐 카바이드 분말

텅스텐 카바이드 분말

출시 및 구현:

출시일: 2008 년 6 월 16 일

발효일: 2009 년 1 월 1 일

발급 기관: 국가표준화관리국

표준 상태: 현재 유효함(2025 년 4 월 기준, 새로운 표준으로 대체되지 않음)

대체 표준:

GB/T 4295-1993 (이 표준은 1993 년 버전의 개정판입니다)

1. 범위

본 표준은 텅스텐 카바이드 분말의 분류, 기술적 요건, 시험 방법, 검사 규칙, 그리고 표시, 포장, 운송 및 보관 요건을 명시합니다. 텅스텐 분말과 탄소를 원료로 침탄 처리하여 제조된 텅스텐 카바이드 분말에 적용되며, 주로 초경합금, 내마모성 부품 및 표면 코팅재 제조에 사용됩니다. 본 표준은 나노스케일 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 <100nm)에 대한 특별 요건은 포함하지 않습니다.

2. 규범적 참조

다음 문서는 이 표준의 규범적 참고 자료이므로 이 표준과 함께 사용해야 합니다.

GB/T 191 "포장, 보관 및 운송을 위한 그림 표시"

GB/T 223.5 "강철 및 합금의 탄소 및 황 함량 측정"

GB/T 3249 "내화성 금속 분말 및 복합 분말의 총 탄소 함량 측정"

GB/T 5124.1 "초경합금의 화학 분석 방법 - 제 1 부: 총 탄소 함량 측정"

GB/T 5314 초경합금용 분말

GB/T 1480 "금속 분말의 입자 크기 측정 - 건식 체질법"

GB/T 19077 "레이저 회절법에 의한 입자 크기 분포"(개정판에서 인용 가능)

3. 용어 및 정의

텅스텐 카바이드 분말: 탄화 반응으로 생성된 텅스텐과 탄소를 주성분으로 하는 분말

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

형태의 화합물입니다. 화학식은 WC 이며, 이론 탄소 함량은 6.13%(질량 분율)입니다.

총 탄소: 텅스텐 카바이드 분말에 존재하는 모든 형태의 탄소의 질량 분율로, 결합 탄소와 자유 탄소를 포함합니다.

자유 탄소: 텅스텐과 결합되지 않고 텅스텐 카바이드 분말에 단일 물질 형태로 존재하는 탄소.

Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS): Fisher Sub-Sieve Sizer 로 측정된 텅스텐 카바이드 분말의 평균 입자 크기(마이크론(μm)).

4. 분류

텅스텐 카바이드 분말은 입자 크기와 화학적 구성에 따라 다음과 같은 유형으로 분류됩니다.

4.1 세분성별 분류

거친 텅스텐 카바이드 분말: FSSS 입자 크기 $> 5 \mu\text{m}$

중간 입자 텅스텐 카바이드 분말: FSSS 입자 크기 $1.0-5.0 \mu\text{m}$

미세립 텅스텐 카바이드 분말: FSSS 입자 크기 $< 1.0 \mu\text{m}$

4.2 화학 조성에 따른 분류

단상 WC 텅스텐 카바이드 분말: 총 탄소 함량 6.10%-6.18%, 유리 탄소 $< 0.5\%$.

W_2C 함유: 총 탄소 함량 $< 6.10\%$, 소량의 W_2C 상 함유.

유리 탄소를 함유한 텅스텐 카바이드 분말: 총 탄소 함량 $> 6.18\%$, 유리 탄소 함량은 지정된 범위 내에서 관리되어야 합니다.

4.3 브랜드

텅스텐 카바이드 분말은 용도와 입자 크기에 따라 다음과 같이 여러 등급으로 나뉩니다.

WC-10: FSSS 입자 크기 $1.0-2.0 \mu\text{m}$, 시멘트 카바이드 공구에 적합합니다.

WC-50: FSSS 입자 크기 $> 5.0 \mu\text{m}$, 내마모성 부품에 적합합니다.

구체적인 등급은 공급업체와 구매자 간의 협상을 통해 결정됩니다.

5. 기술적 요구 사항

5.1 화학적 조성

총 탄소 함량: 6.10%-6.18%(질량 분율), 편차 $\pm 0.05\%$.

자유 탄소 함량: $\leq 0.5\%$, 고급 응용 분야(항공 등)에는 $\leq 0.3\%$ 가 필요할 수 있습니다.

불순물 함량(최대값, 질량 분율):

철(Fe): 0.05%

몰리브덴(Mo): 0.02%

실리콘(Si): 0.01%

알루미늄(Al): 0.005%

칼슘(Ca): 0.005%

산소(O2): 0.02%(200ppm)

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

5.2 물리적 특성

FSSS: 등급 요구 사항에 따라 범위는 0.5-10 μm 이며 편차는 $\pm 10\%$ 입니다.

겉보기 밀도: 12.0-14.0 g/cm^3 (입자 크기에 따라 다름).

유동성: 양측이 협의하여 결정하며, 일반적으로 10-20 s/50g(홀 유량계)입니다.

5.3 외관 품질

텅스텐 카바이드 분말은 눈에 띄는 이물질이나 응집물이 없고 균일한 회색 분말이어야 합니다.

눈에 띄는 산화물이나 반응하지 않은 물질(예: 유리 텅스텐)이 포함되어서는 안 됩니다.

5.4 미세구조

결정 구조는 단일상 WC(육방정계)이고 XRD 검출 결과 명확한 W_2C 나 유리 탄소 피크가 나타나지 않습니다.

입자 크기가 균일하며 비정상적으로 큰 입자(평균 입자 크기의 2 배 이상)가 없습니다.

6. 시험 방법

6.1 화학성분 분석

총 탄소 함량: GB/T 3249 또는 GB/T 5124.1 에 따라 연소 방식(적외선 흡수)을 사용하며 정확도는 $\pm 0.01\%$ 입니다.

유리 탄소 함량: GB/T 5124.1 에 따르면 유리 탄소는 산에 용해한 후 측정합니다(화학적 정정법).

불순물 함량: 유도 결합 플라즈마 광학 방출 분광법(ICP-OES)이나 원자 흡수 분광법(AAS)을 사용하여 Fe 및 Mo 와 같은 원소를 감지합니다.

산소 함량: 불활성 가스 용합법(적외선 감지), LECO 분석기와 같은 장비를 사용합니다.

6.2 신체 성능 테스트

FSSS: GB/T 5314 부록 A 에 따라 FSSS 입자 크기 측정기로 측정, 공기 압력 0.1 MPa, 샘플 질량 2-5g.

체적 밀도: GB/T 5314 부록 B 에 따라 Scott 부피계를 사용하여 측정합니다.

유동성: GB/T 5314 부록 C 에 따라 홀 유량계로 측정.

6.3 외관 및 미세구조

외관: 육안으로 관찰하거나 10 배 돋보기로 검사하세요.

미세구조: X 선 회절계(XRD)로 상상태를 분석하였고, 주사전자현미경(SEM)으로 결정립 형태를 관찰하였다.

7. 검사 규칙

7.1 검사 범주

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

공장 검사: 각 제품 배치는 총 탄소량, 자유 탄소량, FSSS 입자 크기 및 외관에 대해 검사를 받아야 합니다.

유형 검사: 모든 기술적 요구 사항을 포함하며 필요한 경우(예: 생산 공정이 변경된 경우) 수행됩니다.

7.2 배치 분할

동일한 용광로 또는 동일한 공정 조건에서 생산된 텅스텐 카바이드 분말의 질량은 500kg 을 초과해서는 안 됩니다.

7.3 샘플링

각 배치에서 무작위로 5~10 점을 선정하고, 총 샘플링 용량은 최소 500g 이 되도록 합니다. 산화나 오염을 방지하기 위해 샘플은 밀폐된 용기에 포장되었습니다.

7.4 결정 규칙

특정 지표가 기준을 충족하지 못할 경우, 이중 샘플링 및 재검사가 허용됩니다. 재검사에도 불합격할 경우, 전체 배치가 부적합으로 판정됩니다. 공급자와 구매자는 승인 기준을 협상할 수 있습니다.

8. 라벨링, 포장, 운송 및 보관

8.1 로고

각 패키지에는 다음이 표시되어 있습니다.

제품명: 텅스텐 카바이드 분말

브랜드(예: WC-10)

배치 번호, 생산 날짜

순중량(예: 25kg)

제조사명 및 상표

GB/T 191 을 준수하는 운송 표시(예: "방습" 및 "주의해서 취급하세요").

8.2 패키징

내부 포장: 이중 폴리에틸렌 비닐 봉지로 밀봉 및 방습 처리되었으며, 봉지당 순중량은 5-25kg 입니다.

외부 포장: 철판 배럴 또는 플라스틱 배럴, 밀봉성이 우수하고 배럴 벽 두께가 $\geq 0.5\text{mm}$ 입니다.

포장 형태는 사용자 요구 사항에 따라 조정될 수 있습니다.

8.3 운송

운송 중에는 습기와 충격을 방지하여 포장이 손상되는 것을 방지하세요.

산, 알칼리 또는 산화제와 혼합하지 마십시오.

8.4 보관

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

온도 5~35° C, 상대 습도 <65%의 건조하고 통풍이 잘 되는 창고에 보관하세요.
화기 및 화학 물질로부터 멀리하십시오. 보관 기간은 12 개월을 초과할 수 없습니다.

9. 품질인증서

각 텅스텐 카바이드 분말 배치에는 다음을 포함한 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

제품명, 브랜드, 배치번호

화학 성분(충 탄소, 유리 탄소, 불순물)

물리적 특성(FSSS 입자 크기, 겉보기 밀도)

검사 결과 및 자격 판정

제조사, 검사일

추가 참고 사항

개정 배경:

GB/T 4295-2008 은 미세구조 요건(XRD 검출 등)을 추가하고 불순물 한계(산소 함량을 0.05%에서 0.02%로 감소)를 개선하여 고순도 텅스텐 카바이드 분말에 대한 시멘트 카바이드 산업의 수요를 반영했습니다.

국제 표준과 비교했을 때:

ISO 4499-2:2020 과 비교했을 때, 이 표준은 화학적 구성 제어(예: 유리 탄소 <0.5%)에 더 중점을 두는 반면, ISO 는 미세 구조 분석(예: WC 입자 크기)에 중점을 둡니다.

ASTM B430-19 는 입자 크기 분포의 정확성(RSD < 3%)에 더 중점을 둡니다.

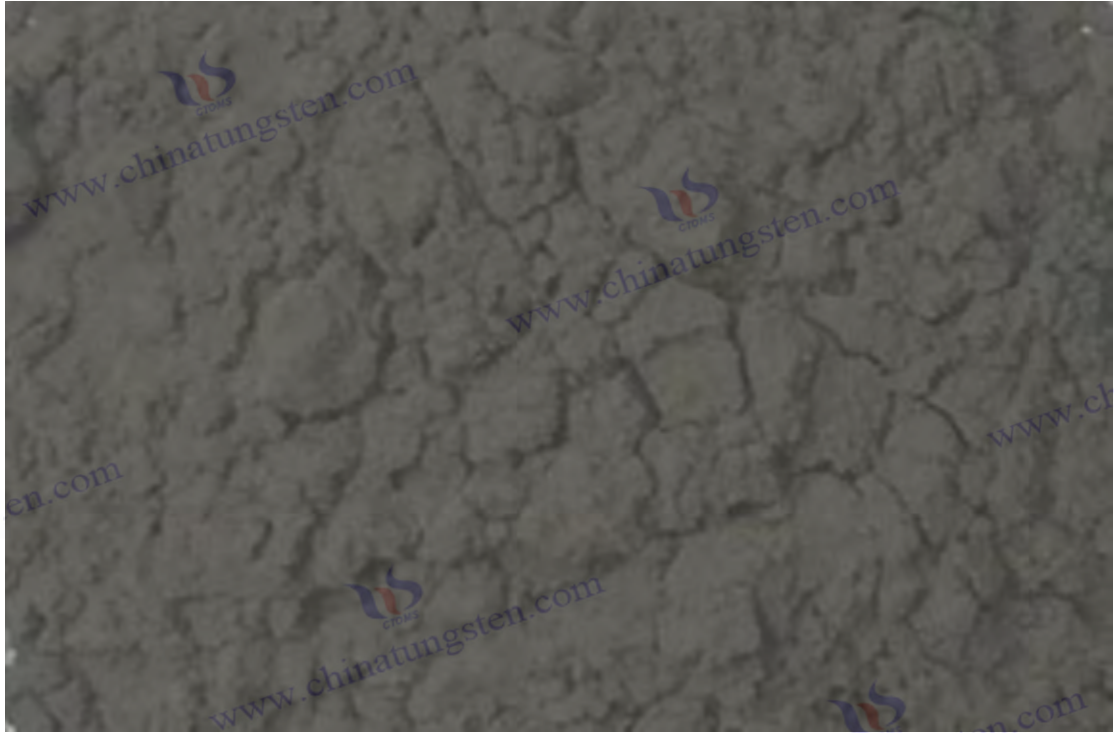
적용 가능성:

이 표준은 전통적인 마이크론 크기의 텅스텐 카바이드 분말(0.5~ 10 μm)에 적용되며 나노 크기의 WC 분말(<100nm)은 다루지 않습니다. 나노 크기의 WC 분말은 업계 관행이나 회사 표준을 참조해야 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



부록 :

GB/T 5314-2011 초경합금용 분말

표준 이름:

초경합금용 분말

영어: 초경합금용 분말

출시 및 구현:

출시일: 2011 년 12 월 30 일

발효일: 2012 년 9 월 1 일

발급 기관: 국가표준화청

표준 상태: 현재 유효함(2025 년 4 월 기준, 새로운 표준으로 대체되지 않음)

대체 표준:

GB/T 5314-2002 (이 표준은 2002 년 버전의 개정판입니다)

GB/T 5314-1985(이전 버전, 2002 버전으로 대체됨)

1. 범위

본 표준은 초경합금 분말의 분류, 기술적 요건, 시험 방법, 검사 규칙, 그리고 표시, 포장, 운송 및 보관 요건을 명시합니다. 텅스텐 분말, 코발트 분말, 텅스텐 카바이드 분말 및 기타 금속 또는 초경 분말을 원료로 사용하여 초경합금을 제조하는 데 사용되는 분말 재료에 적용됩니다. 주요 용도는 절삭 공구, 내마모성 부품, 광산 공구 및 금형 등입니다. 본 표준은 나노 단위 분말(입자 크기 <100nm)의 특수 요건에는 적용되지 않습니다.

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

다음 문서는 이 표준의 규범적 참고문헌이며 이 표준과 함께 사용됩니다.

GB/T 191 "포장, 보관 및 운송을 위한 그림 표시"

GB/T 223.5 "강철 및 합금의 탄소 및 황 함량 측정"

GB/T 3249 "내화성 금속 분말 및 복합 분말의 총 탄소 함량 측정"

GB/T 4295 텅스텐 카바이드 분말

GB/T 5124 초경합금의 화학 분석 방법(총탄소, 유리탄소, 불순물 분석 등 다양한 성분 포함)

GB/T 1480 "금속 분말의 입자 크기 측정 - 건식 체질법"

GB/T 25995 "텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 측정"

GB/T 19077 레이저 회절법에 의한 입자 크기 분포 (개정판에 따라 인용 가능)

3. 용어 및 정의

초경합금용 분말: 초경합금을 만드는 데 사용되는 분말 소재로, 텅스텐 분말(W), 텅스텐 카바이드 분말(WC), 코발트 분말(Co) 및 기타 첨가 분말(예: TiC, TaC, NbC 등)이 포함됩니다.

총 탄소: 결합 탄소와 자유 탄소를 포함한 분말 내 모든 형태의 탄소의 질량 분율입니다.

자유 탄소: 어떤 금속 원소와도 결합하지 않은 원소 탄소.

Fisher Sub-Sieve Sizer(FSSS): Fisher Sub-Sieve Sizer 로 측정한 분말의 평균 입자 크기(마이크론(μm) 단위).

겉보기 밀도: 단위 부피당 분말의 질량으로 g/cm^3 로 표현합니다.

4. 분류

초경합금 분말은 구성과 용도에 따라 분류되며, 주로 다음과 같은 유형이 있습니다.

4.1 성분별 분류

텅스텐 분말(W): 탄화법으로 텅스텐 카바이드 분말을 제조하는 데 사용됩니다.

텅스텐 카바이드 분말(WC): 단일상 WC 또는 미량의 W_2C /유리 탄소를 함유한 분말.

코발트 분말(Co): 시멘트 카바이드의 결합제 상으로 작용합니다.

복합분말: WC-Co 혼합분말, WC-TiC-Co 혼합분말 등

기타 카바이드 분말: 탄화티타늄(TiC), 탄탈륨 카바이드(TaC), 탄화니오븀(NbC) 등.

4.2 세분성별 분류

조립분말: FSSS 입자 크기 $>5\ \mu\text{m}$

중간 분말: FSSS 입자 크기 $1.0\text{--}5.0\ \mu\text{m}$

미세분말: FSSS 입자크기 $0.5\text{--}1.0\ \mu\text{m}$

4.3 목적별 분류

절삭 공구용 분말: 높은 순도와 균일한 입자 크기가 필요합니다(예: WC-10).

내마모성 부품용 분말: 내마모성과 내충격성에 중점을 둡니다(예: WC-50).

광산 도구 분말: 인성과 압축 강도에 중점을 둡니다.

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. 기술적 요구 사항

5.1 화학적 조성

텅스텐 분말(W):

텅스텐 함량: $\geq 99.9\%$

산소 함량: $\leq 0.03\%$ (300ppm)

불순물 (Fe, Mo, Ni 등): $\leq 0.01\%$

텅스텐 카바이드 분말(WC) (참고문헌 GB/T 4295-2008):

총 탄소: 6.10%-6.18%, 편차 $\pm 0.05\%$

자유탄소: $\leq 0.5\%$

산소 함량: $\leq 0.02\%$ (200ppm)

불순물 (Fe, Ni 등): $\leq 0.05\%$

코발트 분말(Co):

코발트 함량: $\geq 99.8\%$

산소 함량: $\leq 0.05\%$

불순물 (Fe, Ni 등): $\leq 0.02\%$

복합 분말: 구성은 공급 및 수요 당사자가 협상하며 시멘트 카바이드 소결에 대한 요구 사항을 충족해야 합니다.

5.2 물리적 특성

FSSS : 브랜드 요구 사항에 따라 범위는 0.5-10 μm 이며 편차는 $\pm 10\%$ 입니다.

체적 밀도:

텅스텐 분말: 12.0-14.0 g/ cm^3

텅스텐 카바이드 분말: 12.0-14.0 g/ cm^3

코발트 분말: 0.8-1.5 g/ cm^3

유동성: 양측이 협의하여 결정하며, 일반적으로 10-20 s/50g(홀 유량계)입니다.

5.3 외관 품질

분말은 균일한 색상(텅스텐 분말은 회색, WC 분말은 회색-검정, Co 분말은 회색)을 가져야 하며, 눈에 띄는 이물질, 덩어리 또는 산화 흔적이 없어야 합니다.

5.4 미세구조

텅스텐 분말: 입자는 다면체형이거나 거의 구형이며, 명확한 결정립계 결합이 없습니다.

텅스텐 카바이드 분말: 단일상 WC 결정(육방정계), XRD 검출 시 명확한 W_2C 또는 유리 탄소 피크가 나타나지 않습니다.

코발트 분말: 응집이 없고 입자가 균일함.

6. 시험 방법

6.1 화학성분 분석

총 탄소 함량: GB/T 3249 또는 GB/T 5124 에 따라 연소 방식(적외선 흡수)을 사용하며

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

정확도는 $\pm 0.01\%$ 입니다.

유리탄소 함량: GB/T 5124 에 따라 산에 용해한 후 적정하여 측정함.

산소 함량: LECO 분석기와 같은 불활성 가스 용합 방법(적외선 감지)을 사용합니다.

불순물 함량: 유도 결합 플라즈마 광학 방출 분광법(ICP-OES) 또는 원자 흡수 분광법(AAS)을 사용합니다.

6.2 신체 성능 테스트

FSSS: GB/T25995 에 따라 FSSS 입자 크기 측정기로 측정, 공기 압력 0.1MPa, 샘플 질량 2-5g.

체적 밀도: 부록 B 에 설명된 대로 Scott 체적계를 사용하여 측정하고, 3 번 반복하여 평균값을 취합니다.

유동성: 50g 의 샘플이 표준 깔때기를 통과하는 데 걸리는 시간으로, 부록 C 에 명시된 대로 홀 유량계를 사용하여 측정합니다.

6.3 외관 및 미세구조

외관: 육안이나 10 배 돋보기로 확인하세요.

미세구조: X 선 회절계(XRD)로 상 상태를 분석하고 주사전자현미경(SEM)으로 입자 형태를 관찰했습니다.

7. 검사 규칙

7.1 검사 범주

공장 검사: 총 탄소량, 유리 탄소량, FSSS 입자 크기, 겉보기 밀도 및 외관을 포함합니다.

유형 검사: 모든 기술적 요구 사항을 포괄하며 생산 공정이 변경되거나 사용자의 요청에 따라 수행됩니다.

7.2 배치 분할

동일한 용광로 또는 동일한 공정 조건에서 생산된 분말은 배치로 간주되며, 그 질량은 500kg 을 초과할 수 없습니다.

7.3 샘플링

각 배치에서 무작위로 5~10 점을 선정하고, 총 샘플링 용량은 최소 500g 이 되도록 합니다. 산화나 오염을 방지하기 위해 샘플은 밀폐된 용기에 포장되었습니다.

7.4 결정 규칙

특정 지표가 기준을 충족하지 못할 경우, 이중 샘플링 및 재검사가 허용됩니다.

재검사에도 불합격할 경우, 전체 배치가 부적합으로 판정됩니다.

공급자와 구매자는 특별한 승인 기준을 협상할 수 있습니다.

8. 라벨링, 포장, 운송 및 보관

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 로고

각 패키지에는 다음이 표시되어 있습니다.

제품명 : 초경합금용 분말

유형(텅스텐 분말, WC 분말, Co 분말 등) 및 브랜드

배치 번호, 생산 날짜

순중량(예: 25kg)

제조사명 및 상표

GB/T 191 을 준수하는 운송 표시(예: "방습" 및 "주의해서 취급하세요").

8.2 패키징

내부 포장: 이중 폴리에틸렌 비닐 봉지, 밀봉 및 방습, 각 봉지의 순중량은 5-25kg 입니다.

외부 포장: 첼제 배럴 또는 플라스틱 배럴, 밀봉성이 우수하고 배럴 벽 두께가 $\geq 0.5\text{mm}$ 입니다.

포장 형태는 사용자 요구 사항에 따라 조정될 수 있습니다.

8.3 운송

운송 중에는 포장이 손상되지 않도록 방습 및 충격 방지 기능이 있어야 합니다. 산, 알칼리 또는 산화제와 혼합하지 마십시오.

8.4 보관

온도 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$, 상대 습도 $<65\%$ 의 건조하고 통풍이 잘 되는 창고에 보관하세요.

화기 및 화학 물질로부터 멀리하십시오. 보관 기간은 12 개월을 초과할 수 없습니다.

9. 품질인증서

각 분말 배치에는 다음을 포함하는 품질 인증서가 함께 제공됩니다.

제품명, 유형, 브랜드, 배치 번호

화학 성분(총 탄소, 유리 탄소, 산소, 불순물)

물리적 특성(FSSS 입자 크기, 겉보기 밀도, 유동성)

검사 결과 및 자격 판정

제조사, 검사일

부록

부록 A (규범 부록): Fisher 입자 크기 측정 방법

부록 B(규범 부록): 체적 밀도 측정 방법

부록 C (규범 부록): 유동성 측정 방법

추가 참고 사항

개정 배경:

GB/T 5314-2011 은 2002 년 버전과 비교하여 코발트 분말 및 복합 분말에 대한 기술 요구 사항을 추가하고 산소 함량 한계를 세부화(예: 텅스텐 분말은 0.05%에서 0.03%로 낮춤)하여 초경합금 산업의 고성능 분말에 대한 수요를 반영했습니다.

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

국제 표준과 비교했을 때:

ISO 4499-2:2020 과 비교했을 때, 이 표준은 분말의 화학적 조성 and 물리적 특성 제어(예: 총 탄소 편차 $\pm 0.05\%$)에 더 많은 주의를 기울이는 반면, ISO 는 미세 구조와 소결 후 특성에 중점을 둡니다.

ASTM B430-19 는 입자 크기 분포의 정확성 ($RSD < 3\%$)에 더 중점을 두는 반면, 이 표준은 Fisher 입자 크기의 일관성을 강조합니다.

적용성:

이 표준은 마이크론 크기의 분말 ($0.5 \sim 10 \mu m$)에 적용되며 기업 표준이나 업계 관행을 참조해야 하는 나노 크기의 분말에는 적용되지 않습니다.



부록 :

GB/T 19077-2016 레이저 회절법을 이용한 입자 크기 분포

표준 이름:

레이저 회절을 이용한 입자 크기 분포

영어: 입자 크기 분포 - 레이저 회절법

출시 및 구현:

출시일: 2016 년 10 월 13 일

발효일: 2017 년 5 월 1 일

발급 기관: 국가표준화청

표준 상태: 현재 유효함 (2025 년 4 월 기준, 새로운 표준으로 대체되지 않음)

대체 표준:

GB/T 19077.1-2008 (2008 년 버전은 제 1 부이고, 2016 년 버전은 최신 국제 표준 요구 사항을 통합, 수정 및 채택)

국제 표준과 동일함:

ISO 13320:2009 "입자 크기 분석 - 레이저 회절법" (동등, 일관된 기술 내용, 중국 표준에 따라 조정된 형식)

1. 범위

본 표준은 레이저 회절법을 이용한 분말 입도 분포 측정의 원리, 기기 요건, 시험 방법, 교정, 결과 표현 및 정확도 요건을 명시합니다. 본 표준은 금속 분말(예: 텅스텐 분말), 세라믹 분말(예: 텅스텐 카바이드 분말, WC), 미네랄 분말 등을 포함하여 입자 크기가 $0.02\mu\text{m}$ 에서 $2000\mu\text{m}$ 사이인 고체 분말에 적용됩니다. 본 표준은 습식 분산과 건식 분산을 모두 포괄하며, 연구개발, 생산 및 품질 관리 과정에서의 입도 분석에

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

적합합니다. 본 표준은 섬유상 또는 막대형 입자의 특수 입도 분포 측정에는 적용되지 않습니다.

2. 규범적 참조

다음 문서는 이 표준의 규범적 참고문헌이며 이 표준과 함께 사용됩니다.

GB/T 6682-2008 분석 실험실에서 사용되는 물에 대한 사양 및 시험 방법(ISO 3696:1987 과 동일)

ISO 9276-1:1998 《

입자 크기 분석 결과의 표현 - 1 부: 그래픽 표현》

참고: 이 표준에는 참조된 문서의 최신 버전이 적용됩니다.

3. 용어 및 정의

이 표준에는 다음과 같은 용어와 정의가 적용됩니다.

입자 크기: 입자의 등가 직경으로, 일반적으로 레이저 회절로 측정된 구형 등가 직경으로 표현되며 단위는 마이크로미터(μm)입니다.

입자 크기 분포: 분말 입자 크기의 분포 특성으로, 부피, 개수 또는 질량 백분율로 표현됩니다.

레이저 회절: 단색 레이저 빔에 대한 입자의 산란 특성을 기반으로 입자 크기를 측정하는 광학적 방법입니다.

D10, D50, D90 : 누적 분포 곡선에서 입자의 10%, 50%, 90%가 이 입자 크기보다 작은 값으로, 각각 10% 입자 크기, 중간 입자 크기, 90% 입자 크기라고 합니다.

분산: 분말 입자를 기체 또는 액체 매체에 균일하게 분산시키는 과정입니다.

굴절률: 입자와 분산 매체의 광학적 매개변수로, 입자 크기를 계산하는 데 사용됩니다.

방해: 샘플이 레이저 빔을 차단하여 측정된 농도를 반사하는 정도입니다.

4. 방법의 원리

레이저 회절법은 단색 레이저에 대한 입자의 산란 특성을 이용하여 입자 크기 분포를 측정합니다. 기본 원리는 다음과 같습니다.

레이저 빔(일반적으로 파장 633nm)을 분산된 입자에 조사하면 입자는 산란광을 발생시키고, 산란 각도는 입자 크기에 반비례합니다. 즉, 큰 입자는 산란 각도가 작고(광축에 가까움), 작은 입자는 산란 각도가 큼니다(광축에서 벗어남).

산란된 빛의 강도 분포는 검출기 어레이에 의해 기록되고, 입자 크기 분포는 미 산란 이론(전체 입자 크기 범위에 적용 가능)이나 프라운호퍼 근사법(대형 입자, $>10\mu\text{m}$ 에 적용 가능)에 따라 계산 됩니다.

Mie 이론은 입자와 매질의 굴절률과 흡수율을 입력해야 하는 반면, Fraunhofer 근사는 광학적 매개변수를 필요로 하지 않지만 정확도가 낮습니다.

5. 기기 및 재료

5.1 약기

레이저 입도 분석기: 레이저 광원, 광학 시스템, 검출기 및 데이터 처리 장치로 구성됩니다. 일반적인 모델로는 Malvern Mastersizer 3000 과 Beckman Coulter LS 13

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

320 이 있습니다.

레이저 광원: 단색광, 일반적으로 He-Ne 레이저 (633nm)로 출력이 안정적이며 변동이 1% 미만입니다.

검출기: 0.02° ~ 135° 산란각을 포함하는 다중채널 광검출기, 동적 범위 $>10^6$.

분산형 시스템:

습식 방법: 교반기와 초음파를 이용해 샘플 셀을 순환시킵니다.

건식 방법: 압축 공기 분산기, 압력 조절 가능 (0.1~0.5 MPa).

5.2 시약 및 재료

분산매체:

습식 방법: 증류수 (GB/T 6682 3 급 물에 따름), 에탄올 또는 기타 점도가 낮은 액체.

건식 방법: 압축 공기 또는 질소 (순도 $\geq 99.9\%$).

분산제: 폴리아크릴산나트륨 (PAA, 0.1%~0.5%), 도데실황산나트륨 (SDS) 등이 있으며, 시료의 특성에 따라 선택 가능합니다.

표준 샘플: NIST SRM 1004 (유리 미세구체, 입자 크기 $10\sim 100\mu\text{m}$) 또는 ISO 인증 표준이 교정에 사용됩니다.

6. 시험 방법

6.1 샘플 준비

샘플링: 분리를 방지하기 위해 무작위 샘플링 원칙에 따라 배치에서 $5\sim 10\text{g}$ 의 대표 샘플을 채취합니다.

전처리: 건조 (105°C , 1 시간)하여 수분을 제거하거나, 필요한 경우 체질하여 큰 입자 ($> 2000\mu\text{m}$)를 제거합니다.

보관 방법: 습기 흡수나 오염을 방지하기 위해 밀폐된 건조한 용기에 보관하세요.

6.2 계측기 교정

표준 샘플 (예: NIST SRM 1004)을 사용하여 기기를 교정하고 D50 편차가 $<3\%$ 인지 확인합니다.

레이저 강도와 검출기 반응을 확인하여 배경 소음이 0.1% 미만인지 확인하세요.

6.3 습식 분산 측정

6.3.1 분산

샘플을 분산매 (예: 물 $50\sim 100\text{mL}$)에 넣고 분산제 (0.1%~0.5%)를 첨가합니다.

교반기 ($500\sim 1000\text{ rpm}$)로 2~5 분간 혼합하고, 필요한 경우 초음파 ($50\sim 100\text{ W}$, 1~5 분)로 분산시킵니다.

분산 상태를 확인합니다 (현미경으로 관찰했을 때 응집이 없는지).

6.3.2 측정

분산액을 샘플 폴에 주입하고 농도를 빛 차단도 10%~20%로 조절합니다 (기기는 최적

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

범위를 나타냅니다).

굴절률을 설정합니다(예: 텅스텐 카바이드 분말의 경우 2.5-3.0, 물의 경우 1.33) 그리고 Mie 이론 계산을 선택합니다.

측정시간은 10~30 초로 3 회 반복하여 측정한 후 평균값을 취하였다.

6.4 건조분산 측정

6.4.1 분산

샘플을 건식 분산기에 넣고 공기 압력(0.1~0.3 MPa)을 조절합니다.

사출속도를 조절하고 음영도는 5%-15%로 조절합니다.

6.4.2 측정

굴절률과 계산 모델(Mie 또는 Fraunhofer)을 설정합니다.

측정시간은 10~30 초이며, 3 회 반복합니다.

6.5 매개변수 설정

측정 범위: 0.02-2000 μm (기기 모델에 따라 다름).

각 측정 전에 기록되고 자동으로 빼집니다.

7. 데이터 처리 및 결과 발표

7.1 데이터 처리

기기 소프트웨어는 산란광 강도 분포를 기반으로 입자 크기 분포를 계산하고 누적 분포와 빈도 분포를 출력합니다.

RSD < 5%를 보장하기 위해 이상치(배경 소음이나 거품 간섭 등)를 제거했습니다.

7.2 결과 표현

입자 크기 분포 곡선: ISO 9276-1 에 따라 부피 백분율로 표시하고 그래프로 나타냈습니다.

특징적인 입자 크기:

D10: 입자의 10%가 이 값보다 작습니다.

D50: 중간 입자 크기

D90 : 입자의 90%가 이 값보다 작습니다.

분포 폭: 스펠 = $(D90 - D10) / D50$

평균 입자 크기: 체적 평균 입자 크기 $D[4,3]$ 또는 수 평균 입자 크기 $D[1,0]$ (요구 사항에 따라 다름).

단위: 입자 크기는 μm 단위 로 표현되며 , 소수점 이하 2 자리까지 표시됩니다.

7.3 보고서 내용

샘플 이름, 배치 번호

분산방법(습식/건식), 매질, 분산제

기기 모델, 측정 조건(굴절률, 음영도)

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

입자 크기 분포 데이터(D10, D50, D90 등) 및 곡선

8. 정밀도와 불확실성

8.1 반복성

동일한 작업자와 장비에 대해 D50의 편차는 <3%이고, D10과 D90의 편차는 <5%입니다.

8.2 재현성

D50의 편차는 다양한 실험실과 장비에서 <5%이고, D10과 D90의 편차는 <10%입니다.

8.3 불확실성

원인으로는 샘플 분산의 불균일함, 굴절률 오차, 기기 소음 등이 있으며, 이는 보고서에서 설명해야 합니다.

9. 노트

분산 균일성: 입자 파손을 유발하는 과도한 초음파 처리나 응집을 유발하는 불충분한 초음파 처리를 피하십시오.

광학 매개변수: 굴절률과 흡수율은 정확해야 합니다. 텅스텐 카바이드 분말의 경우, 기준값(예: 2.5-3.0, 흡수율 0.1)을 권장합니다.

환경 제어: 온도 20-25°C, 습도 <65%, 진동 간섭을 피하십시오.

장비 유지관리: 샘플 셀과 광학 시스템을 정기적으로 청소하고 레이저 전력을 점검하세요.

10. 부록

부록 A(정보): 굴절률 및 흡수율의 기준값

예: 텅스텐 카바이드(WC): 굴절률 2.5-3.0, 흡수율 0.1-0.3

물: 굴절률 1.33, 흡수율 0

부록 B(정보): 일반적인 입자 크기 분포의 예

단봉 및 다봉 분포의 곡선 해석 포함

부록 C(정보): Mie 이론과 Fraunhofer 근사의 적용성

Mie: 전체 입자 크기 범위, 광학 매개변수 필요

Fraunhofer: >10 μm, 단순화된 계산

추가 참고 사항

개정 배경:

GB/T 19077-2016은 2008년 버전을 대체하고 ISO 13320:2009의 최신 기술을 채택하여 건식 및 습식 방법의 적용성을 확대하고, 굴절률 설정 및 정확도 요구 사항을 높이고, 나노 스케일 분말(예: <100 nm)에 대한 지원을 개선했습니다.

국제 표준과 비교했을 때:

ISO 13320:2009와 동일하며, 기술적 내용은 동일하고 형식은 중국 표준에 맞춰 조정되었습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

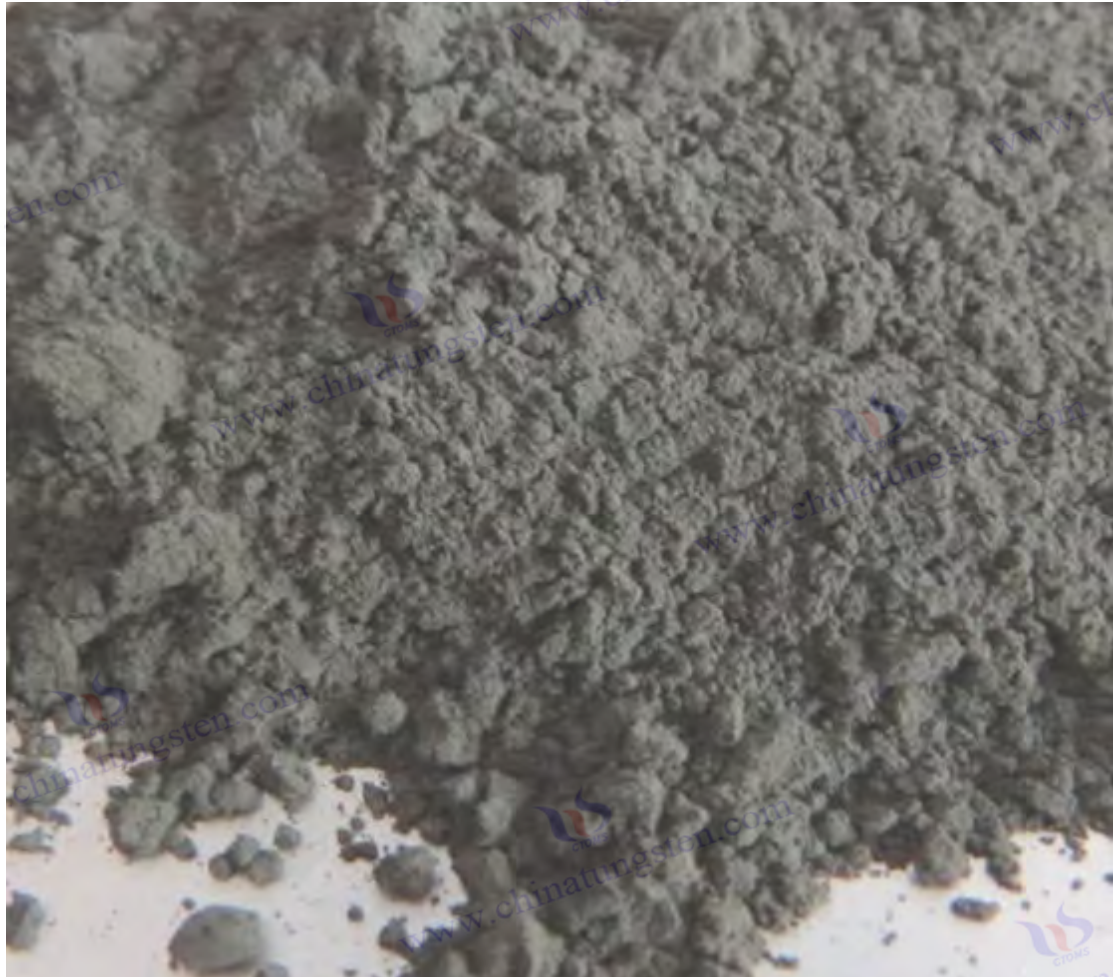
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

ASTM E2490-09 와 비교했을 때, 이 표준은 운영 세부 사항과 계측기 교정에 더 많은 중점을 두는 반면, ASTM 은 데이터 처리와 불확실성 분석에 중점을 둡니다.

적용성:

10 μm) 및 텅스텐 분말(1~ 50 μm) 과 같은 내화성 재료 . 습식법은 미세 분말에 더 적합하고, 건식법은 조분말에 적합합니다.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

부록 :

GB/T 5124-2008 초경합금의 화학 분석 방법

표준 이름:

초경합금의 화학분석 방법

영어: 초경합금의 화학 분석 방법

출시 및 구현:

GB/T 5124.1-2008(총 탄소 함량 측정): 2008 년 6 월 16 일 발행, 2009 년 1 월 1 일 발효

GB/T 5124.2-2008(자유탄소 함량 측정): 2008 년 6 월 16 일 발행, 2009 년 1 월 1 일 발효

GB/T 5124.3-2008(코발트 함량 측정): 2008 년 6 월 16 일 발행, 2009 년 1 월 1 일 발효

GB/T 5124.4-2008(불순물 원소 측정): 2008 년 6 월 16 일 발행, 2009 년 1 월 1 일 발효

발급 기관: 국가표준화청

표준 상태: 현재 유효함(2025 년 4 월 기준, 새로운 표준으로 대체되지 않음)

대체 표준:

GB/T 5124-1995 (1995 년 버전은 여러 부분으로 나뉘었고, 2008 년 버전은 개정 및 통합되었습니다)

1. 범위

본 표준은 초경합금의 화학 성분 분석 방법을 규정하며, 총탄소(Total Carbon), 유리탄소(Free Carbon), 코발트(Co) 및 불순물 원소(예: Fe, Mo, Ni 등)의 측정을 포함합니다. 본 표준은 초경합금 원료(예: 텅스텐 카바이드 분말(WC), 코발트 분말(Co)) 및 소결 초경합금 제품의 화학 성분 분석에 적용됩니다. 또한, 본 표준 방법은 다른 금속 탄화물(예: TiC, TaC, NbC)의 분석에도 참고 자료로 사용할 수 있습니다. 분석 결과는 품질 관리, 공정 최적화 및 제품 합격 판정에 사용됩니다.

2. 규범적 참조

다음 문서는 이 표준의 규범적 참고문헌이며 이 표준과 함께 사용됩니다.

GB/T 223.5-2008 "강철 및 합금의 탄소 및 황 함량 측정"

GB/T 3249-2009 "내화성 금속 분말 및 복합 분말의 총 탄소 함량 측정"

GB/T 4010-1994 금속 재료의 화학 분석을 위한 샘플 샘플링 및 준비 방법

GB/T 6682-2008 분석 실험실에서 사용되는 물에 대한 사양 및 시험 방법(ISO 3696:1987 과 동일)

참고: 이 표준에는 참조된 문서의 최신 버전이 적용됩니다.

3. 일반

실험실 조건: 분석은 20~25° C, 상대 습도 <65%의 깨끗하고 먼지가 없는 환경에서 수행해야 합니다.

샘플 요구 사항: 오염이나 구성 요소 손실(산화, 휘발 등)을 방지하기 위해 GB/T 4010 에 따라 준비하세요.

시약 순도: 모든 시약은 분석 등급(AR)이었고, 필요한 경우에는 최상급(GR)이었습니다.

수질: GB/T 6682 3 등급 이상의 순수를 준수합니다.

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

기기 교정: 정확성과 반복성을 보장하기 위해 분석 전에 기기를 교정합니다.

안전 요구 사항: 산, 알칼리 또는 고온에서 작업하는 경우 통풍식 후드에서 작업을 수행해야 하며 보호 장비를 착용해야 합니다.

4. GB/T 5124.1-2008: 총 탄소 함량 측정

4.1 방법의 원리

초경합금 시료를 고온 산소 흐름 속에서 소성시키면 모든 탄소(결합 탄소와 자유 탄소 포함)가 CO₂로 전환됩니다. 총 탄소 함량은 적외선 흡수법으로 측정합니다.

4.2 시약 및 장비

산소: 순도 $\geq 99.5\%$, 유량 조절 가능.

유량:

고순도 주석 입자(Sn, 순도 $\geq 99.9\%$) : 연소를 촉진합니다.

고순도 철분말(Fe, 순도 $\geq 99.9\%$) : 녹는점을 낮춥니다.

기구:

고주파 유도 연소로(전력 ≥ 2 kW, 온도 1350-1450° C).

적외선 탄소 및 유황 분석기(LECO CS-600 또는 CS-844 등).

4.3 표본

질량: 0.1-0.5g(정확도 0.0001g).

상태: 오일과 산화물 층을 제거하기 위해 0.2mm(80 메시) 미만으로 연마합니다.

4.4 테스트 단계

샘플의 무게를 측정한 후 깨끗한 도자기 용기에 넣습니다.

플럭스(Sn 1.0g, Fe 0.5g)를 첨가하고 잘 섞는다.

도자기 보트를 연소로에 넣고 산소(유량 2-3L/분)를 공급한 후 1350-1450°C로 가열하고 5-10 초간 연소시킵니다.

CO₂는 적외선 감지기로 측정되고 흡수 피크 강도가 기록됩니다.

이 장비는 표준 샘플(예: NIST SRM 276b, 탄소 함량 6.0%-6.5%)을 사용하여 교정되고 총 탄소 함량이 계산됩니다.

4.5 결과 계산

총 탄소 함량(질량 분율, %) = (계측기 판독값 $\times$ 교정 계수) / 샘플 질량

측정 범위: 0.1%-10%.

정밀도: $\pm 0.01\%$ (반복성 RSD $<2\%$).

4.6 참고사항

습기로 인한 간섭을 피하기 위해 샘플을 건조해야 합니다(105° C, 1 시간).

연소로는 잔류물을 제거하기 위해 정기적으로 청소해야 합니다.

산소 흐름이 부족하면 불완전 연소가 발생할 수 있으므로 가스 라인을 점검해야 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

5. GB/T 5124.2-2008: 자유 탄소 함량 측정

5.1 방법의 원리

시료의 유리 탄소(원소 탄소)는 산에 용해되며, 그 함량은 산화 적정법으로 측정합니다.
결합 탄소(WC의 탄소)는 산에 용해되지 않으며 반응에 참여하지 않습니다.

5.2 시약 및 장비

산-질산 혼합물 : H_2SO_4 (1+1, 부피비 1:1 희석)와 HNO_3 (1+1)을 1:1 비율로 혼합합니다.
중크롬산칼륨($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) : 0.1 mol/L 표준용액.

디페닐아민 설포네이트 나트륨: 지시약, 0.2% (m/V) 수용액.

기구:

전기 핫플레이트(온도는 최대 100°C 까지 조절 가능).

적정 장치(50 mL 뷰렛, 정확도 0.02 mL).

5.3 표준

질량: 1.0-2.0g(정확도 0.0001g).

상태: 0.2mm 미만으로 연마, 표면 불순물 제거.

5.4 테스트 단계

샘플의 무게를 측정하여 250mL 원뿔 플라스크에 넣습니다.

황산-질산 혼합물 50mL 를 첨가하고, 시계접시로 덮은 후 열판 위에서 $80\sim 90^\circ\text{C}$ 로 가열합니다.

30 분간 저은 후, 유리 탄소가 CO_2 로 산화되어 용액이 투명해졌습니다.

실온으로 식힌 후, 중성이 될 때까지 증류수로 잔류물을 씻어내고, 100mL 용량 플라스크에 여과하여 부피까지 채운다.

여과액 20mL 을 취하여 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 표준용액을 첨가하고 자적색 종말점(30 초간 색상 변화 없음)까지 적정한 후 소비된 양을 기록한다.

5.5 결과 계산

자유탄소 함량(질량분율, %) = $(V \times C \times 0.012 \times 100) / m$

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 용액 의 부피 (mL)

C: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 농도(mol/L)

0.012: 탄소의 몰 질량 변환 계수(g/mmol)

m: 샘플 질량(g)

측정 범위: 0.01%-1.0%.

정밀도: $\pm 0.005\%$ (반복성 RSD<3%).

5.6 참고사항

작업은 산성 연기를 흡입하지 않도록 통풍식 후드에서 수행되었습니다.

적정 종말점은 정확하게 결정되어야 하며, 필요한 경우 공시험으로 보정해야 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

샘플에 결합된 탄소(WC 등)가 있어도 결과에 영향을 미치지 않지만, 다른 환원성 불순물이 없는지 확인하는 것이 필요합니다.

6. GB/T 5124.3-2008: 코발트 함량 측정

6.1 방법의 원리

코발트 함량은 유도 결합 플라즈마 광학 방출 분광법(ICP-OES)을 통해 결정되었습니다.

6.2 시약 및 기기

질산(HNO_3) : 1+1 용액(부피비 1:1 희석).

염산(HCl) : 1+1 용액.

코발트 표준용액: 10 mg/L (CoCl_2 로 제조 , 국가표준물질로 추적 가능).

Thermo 등) iCAP 7000).

6.3 시험편

질량: 0.5-1.0g(정확도 0.0001g).

상태: <0.2mm 로 분쇄, 건조.

6.4 테스트 단계

샘플의 무게를 측정하여 100mL 폴리테트라플루오로에틸렌 비이커에 넣습니다.

HNO_3 20mL 와 HCl 10mL 를 넣고 80°C 로 가열한 후 완전히 녹을 때까지 저어줍니다(약 30 분).

식힌 후 100mL 용량 플라스크로 옮기고 증류수를 넣어 최대 용량까지 채운다.

코발트 방출선은 ICP-OES(권장 파장 228.616 nm, 두 번째 선택 231.160 nm)로 측정되었습니다.

코발트 표준용액(0.1~10 mg/L)을 사용하여 검량선을 그려 코발트 농도를 계산하였다.

6.5 결과 계산

코발트 함량(질량 분율, %) = $(C \times V) / (m \times 10^4) \times 100$

C: 용액 내 코발트 농도(mg/L)

V: 고정된 용량(mL, 보통 100mL)

m: 샘플 질량(g)

측정 범위: 0.1%-30%.

정밀도: $\pm 0.02\%$ (반복성 $\text{RSD} < 2\%$).

6.6 참고사항

팅스텐 매트릭스가 간섭을 일으킬 수 있습니다. 필요한 경우 마스킹제(예: EDTA, 0.1 mol/L)를 첨가하거나 기기 매개변수를 최적화하십시오.

표준 용액은 변질을 방지하기 위해 매일 새로 제조해야 합니다.

7. GB/T 5124.4-2008: 불순물 원소 측정

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1 방법의 원리

시료를 산에 용해시키고, ICP-OES 를 이용하여 불순물 원소(Fe, Mo, Ni, Cr, Al 등)의 함량을 측정하였다.

7.2 시약 및 기기

질산(HNO₃) : 1+1 용액.

염산(HCl): 1+1 용액.

표준 용액: 각 원소(Fe, Mo, Ni 등)의 농도는 1~10 mg/L 이며 국가 표준 물질로 추적 가능합니다.

기기: ICP-OES 분광기.

7.3 시험편

질량: 0.5~1.0g(정확도 0.0001g).

상태: 0.2mm 미만으로 연마됨.

7.4 테스트 절차

샘플은 6.4 단계와 같은 방법으로 용해되었습니다(HNO₃ 20 mL, HCl 10 mL, 80° C 에서 용해).

냉각 후 부피를 100mL 로 조절하고 ICP-OES 로 각 원소의 특성 스펙트럼선을 측정하였다.

철: 238.204nm

Mo: 202.032nm

니켈: 231.604nm

크롬: 267.716nm

알루미늄: 396.152nm

각 원소의 표준 용액(0.01~10 mg/L)을 사용하여 검량선을 그리고 농도를 계산합니다.

7.5 결과 계산

불순물 함량(질량 분율, %) = $(C \times V) / (m \times 10^{-4}) \times 100$

C: 용액 내 원소 농도(mg/L)

V: 고정된 용량(mL, 보통 100mL)

m: 샘플 질량(g)

측정 범위: 0.001%~1.0%.

정밀도: ±0.001%(반복성 RSD<5%).

7.6 참고사항

높은 텅스텐 매트릭스는 스펙트럼 간섭을 일으킬 수 있으므로 파장 조정이나 배경 보정이 필요합니다.

여러 원소를 동시에 측정할 때는 스펙트럼 선이 겹치지 않도록 주의하세요.

8. 정밀도와 불확실성

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 반복성

동일한 작업자와 계측기에서도 측정 결과에 차이가 있습니다.

총 탄소량: $\pm 0.01\%$

자유탄소: $\pm 0.005\%$

코발트: $\pm 0.02\%$

불순물: $\pm 0.001\%$

8.2 재현성

다양한 실험실과 기기의 결과는 반복성 한계의 <2 배의 편차를 보입니다.

8.3 불확실성

출처에는 샘플 균질성, 기기 교정, 시약 순도 등이 포함되며, 보고서에서 이를 평가해야 합니다.

9. 노트

샘플 준비: 분쇄 중 Fe 와 같은 불순물이 유입되는 것을 피하기 위해 카바이드 모르타르를 사용하는 것이 좋습니다.

기기 유지관리: 감도와 안정성을 보장하기 위해 연소로와 ICP-OES 를 정기적으로 교정하세요.

안전한 작업: 산 용해 및 고온 연소는 보호 안경과 장갑을 착용하고 통풍식 후드에서 수행해야 합니다.

추가 참고 사항

개정 배경:

GB/T 5124-2008 은 1995 년 버전에 비해 분석 방법을 업데이트하여, 기존 분광 광도법(코발트 측정 등)을 대체하는 ICP-OES 를 도입하고 정확도와 다중 원소 분석 기능을 개선하여 시멘트 카바이드 산업의 고순도 원료에 대한 수요를 충족했습니다 .

국제 표준과 비교했을 때:

ISO 11876:2010 "경화탄화물의 화학 분석"과 비교했을 때, 이 표준은 연소법, 적정법과 같은 고전적인 화학적 방법에 더 중점을 두는 반면, ISO 는 ICP-MS 와 같은 기기 분석을 선호합니다.

ASTM E1019-18 은 비슷한 내용을 다루고 있지만 자동화와 여러 요소의 동시 측정에 더 큰 중점을 둡니다.

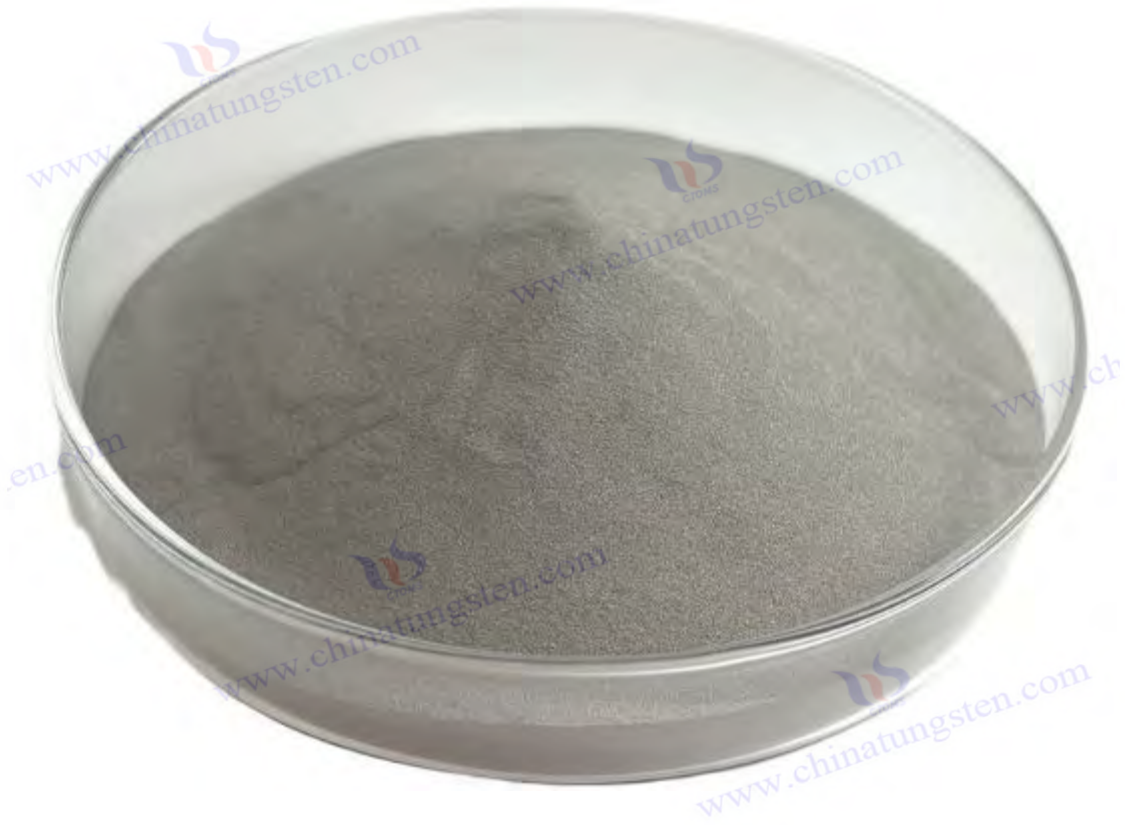
적용성:

텅스텐 카바이드 분말(WC), WC-Co 시멘트 카바이드 및 복합 재료(예: WC- TiC)의 성분 분석에 적합하며 미량에서 고함량까지 범위를 포괄합니다.

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



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

부록 :

피서의 입자 크기 측정 방법

Fisher Sub-Sieve Sizer(FSSS)는 공기 투과를 이용하여 분말의 평균 입자 크기를 측정하는 방법입니다. 이 방법은 금속 분말(예: 텅스텐 카바이드 분말, WC), 세라믹 분말 및 기타 미립자 재료의 입자 크기 분석에 널리 사용됩니다. Fisher Sub-Sieve Sizer 결과는 분말의 평균 입자 크기를 나타내는 마이크론(μm) 단위로 표시됩니다. 특히 입자 크기 범위가 $0.2\sim 50\mu\text{m}$ 인 미세 분말에 적합합니다. 이 방법은 분말층 내 공기 투과 저항을 측정하여 입자 크기를 간접적으로 추정합니다. 작동이 간단하고 반복성이 우수하며, 분말 야금 및 재료 과학 분야의 표준 입자 크기 시험 방법입니다.

1. 정의 및 원리

정의:

피서 입도 분석기는 피서 서브시브 분석기로 측정한 분말의 평균 입자 크기를 말하며, 일반적으로 FSSS 입도(단위: μm)로 기록됩니다. 이는 분말 입자의 등가 구형 직경을 나타냅니다. 체질법이나 레이저 입도 분석법과 달리 FSSS는 미세 분말, 특히 초경합금 원료(예: WC 분말) 생산 시 특성 분석에 더 적합합니다.

측정 원리

공기 투과도법 :

Fisher 입자 크기 측정은 압축된 분말 층을 통과하는 공기의 저항과 입자 크기 사이의 관계를 기반으로 합니다. 공기가 분말 시료에 일정한 유속으로 통과할 때, 미세 입자는 넓은 비표면적과 작은 기공으로 인해 더 큰 저항을 생성하는 반면, 입자가 클수록 저항이 감소합니다.

수학적 근거 :

Kozeny-Carman 방정식에 따르면 공기 투과 저항은 분말의 비표면적(S)과 기공률(ϵ)과 관련이 있습니다.

$$\Delta P = \frac{\mu v L S^2 (1-\epsilon)^2}{\epsilon^3}$$

안에:

ΔP : 압력차(Pa)

μ : 공기 점도($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

v : 공기 속도(m/s)

L : 파우더 베드 두께(m)

S : 비표면적(m^2/kg)

ϵ : 다공성은

표준 조건에서 ΔP 를 측정하고 검량선과 결합하여 평균 입자 크기(D_{FSSS})로 변환할 수 있습니다.

가정 : 입자는 구형이고, 분말층은 균일하게 압축되었으며, 공기 흐름은 층류입니다.

특징

적용 범위: $0.2\sim 50\mu\text{m}$, 정확도 $\pm 0.05\mu\text{m}$.

장점: 장비가 간단하고 빠른 감지에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

제한 사항: 입자 모양에 민감하며, 구형이 아닌 입자는 편차를 일으킬 수 있습니다.

2. 측정 방법

Fisher 입자 크기를 결정하는 데는 ASTM B330 이나 ISO 10070 과 같은 표준 절차가 사용됩니다. 다음은 일반적인 방법에 대한 개요입니다.

장비

Fisher 하부 체 분석기 : 공기 펌프, 압력 게이지, 샘플 튜브(내경은 보통 5-10mm), 수주 미터 또는 디지털 압력 센서가 포함되어 있습니다.

저울 : 정밀도 0.001g, 샘플 무게를 측정하는 데 사용됩니다.

오븐 : 시료를 건조하는 데 사용되며 온도는 100~120° C 로 조절됩니다.

표준 시료 : 입자 크기가 알려진 교정 분말(예: 표준 WC 분말)

절차

샘플 준비 :

샘플링: 대표성을 보장하기 위해 샘플 분할기를 사용하여 분말 배치에서 5-10g 샘플을 무작위로 추출합니다.

건조: 오븐(105° C, 2 시간)에서 수분을 제거하여 수분 함량을 <0.1%로 만듭니다.

냉각: 습기 흡수를 방지하기 위해 건조기에서 실온으로 식힙니다.

샘플 로딩 및 압축 :

무게 측정: 지정된 질량을 정확하게 측정합니다(예: WC 분말 2.5g, 밀도에 따라 조정).

샘플 튜브에 채우기: 분말을 샘플 튜브에 붓고 압축기를 사용하여 일정한 압력(예: 2~5kPa)으로 고정된 높이(보통 10mm)까지 압축합니다.

확인 사항: 분말층 표면이 평평하고 균열이 없으며 일관된 다공성($\epsilon \approx 0.4-0.5$)을 갖는지 확인하세요.

기기 교정 :

표준 샘플(예: FSSS 1.0 μm WC 분말)을 사용하여 기기를 교정하고 공기 흐름 속도를 표준 값(예: 0.1 L/min)으로 조정합니다.

표준 곡선과 일치하는지 확인하기 위해 교정 압력 차이(ΔP)를 기록합니다.

측정 :

공기 펌프를 시동하고 유량을 일정한 값으로 조정합니다.

수주 높이 차이(cm H₂O) 또는 디지털 압력 값(Pa)을 기록하고 평균값을 구하기 위해 3 번 반복합니다.

장비에 내장된 변환표나 소프트웨어를 사용하여 $\Delta P \backslash \Delta P$ 를 FSSS 입자 크기(μm)로 변환합니다.

검증 결과 :

동일한 샘플 배치를 3 번 측정하였으며 편차는 5% 미만이었습니다.

표준 샘플과 비교하여 오차가 0.1 μm 미만인지 확인하세요.

실험 데이터

샘플	질량(g)	압축 높이(mm)	압력 차이(cm H ₂ O)	FSSS 입자 크기(μm)
WC 파우더 1	2.5	10	15.2	1.2
WC 파우더 2	2.5	10	10.5	2.0
WC 파우더 3	2.5	10	6.8	3.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

샘플	질량(g)	압축 높이(mm)	압력 차이(cm H ₂ O)	FSSS 입자 크기(μm)
----	-------	-----------	----------------------------	------------------

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

3. 장비 및 작업 단계

장비 구조

공기 시스템 : 마이크로 펌프가 일정한 공기 흐름을 제공하며, 이는 유량계(0.05~0.2 L/분)로 정밀하게 제어됩니다.

샘플 튜브 : 유리 또는 금속, 직경 5~10mm, 분말을 담을 수 있는 여과지 포함.

압력 측정 : 기존 수주 게이지(정확도 0.1 cm H₂O) 또는 최신 디지털 센서(정확도 1 Pa).

교정 장치 : 알려진 입자 크기의 표준 오리피스 판이나 분말로, 기기의 영점과 감도를 교정하는 데 사용됩니다.

자세한 단계

기기를 예열하세요 . 기기를 시동하고 10 분 동안 작동시켜 공기 흐름과 온도(20~25° C)를 안정시키세요.

샘플 무게 측정 : 분석용 저울을 사용하여 WC 분말 2.5g 을 무게 측정하고(오차 <0.001g) 질량을 기록합니다.

샘플 튜브를 채웁니다 . 분말을 천천히 붓고 가볍게 두드려 거품을 제거한 후 압축기로 높이 10mm, 압력 2kPa 로 압축하여 다공성을 0.45 ± 0.05 로 유지합니다.

시스템 연결 : 샘플 튜브를 기기에 설치하고 누출 없는 밀봉을 보장합니다.

공기 흐름 조절 : 유량을 0.1 L/min 으로 설정하고 압력이 안정될 때까지 기다립니다(약 30 초).

데이터 기록 : 수층 차이(예: 15cm H₂O)를 읽고 표를 찾거나 소프트웨어에 입력하여 FSSS 입자 크기를 계산합니다.

세척 및 반복 : 샘플을 꺼내고 압축 공기로 샘플 튜브를 세척한 후 측정을 두 번 반복하고 평균값을 구합니다.

지침

샘플 건조는 매우 중요합니다. 수분이 0.1% 이상이면 다공성이 변하고 입자 크기가 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 커집니다.

압축력은 일정해야 합니다. 너무 뽀뽀하거나($\varepsilon < 0.4$) 너무 느슨하면($\varepsilon > 0.5$) 압력 차이에 영향을 미칩니다.

공기 점도의 변화를 피하기 위해 주변 온도는 20~25° C 로 조절되었습니다.

4. 영향 요인 및 최적화

피서의 입자 크기 측정 정확도는 여러 요인의 영향을 받습니다. 다음은 분석 및 최적화 제안입니다.

영향 요인

입자 모양 :

구형 입자의 측정값은 실제 입자 크기에 가까운 반면, 비구형(예: 바늘 모양) 입자의 FSSS 값은 저항 증가로 인해 더 큼니다(편차 10~20%).

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

다공성이 너무 낮으면(<0.4) 저항이 너무 크고 입자 크기가 너무 작습니다. 다공성이 너무 높으면(>0.5) 저항이 부족하고 입자 크기가 너무 큼니다.

수분 함량 :

수분 함량이 0.2% 이상이면 입자 응집이 발생하고 FSSS 값이 $0.3 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 증가합니다 .

공기 흐름 안정성 :

유량변동 > 0.01 L/min, 압력차오차 $\pm 0.5 \text{ cm H}_2\text{O}$, 입자크기 편차 $\pm 0.1 \mu\text{m}$.

최적화 전략

샘플 전처리 : 수분 함량이 0.05% 미만이 될 때까지 건조하고, 응집을 줄이기 위해 5 분간 초음파 분산합니다.

압축 제어 : 표준 압축기를 사용하여 압력은 2-3 kPa 이고, 기공률은 0.45 ± 0.02 로 안정화됩니다.

기기 교정 : 표준 WC 분말(FSSS $1.0 \mu\text{m}$)을 사용하여 매일 교정하며 오차는 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 이내로 관리됩니다.

환경 관리 : 일정한 온도 및 습도(25°C , 습도 <50%), 공기 흐름은 $0.1 \pm 0.005 \text{ L/min}$ 으로 안정화됨.

실험 데이터 :

상태	수분 (%)	다공성	압력 차이($\text{cm H}_2\text{O}$)	FSSS 입자 크기(μm)
건조되지 않음(수분 0.3%)	0.3	0.48	16.0	1.4
드라이 + 최적화된 압축	0.05	0.45	15.2	1.2

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

5. 적용 시나리오

피서 입자 크기 측정은 분말 재료의 생산 및 품질 관리에 널리 사용됩니다. 구체적인 적용 분야는 다음과 같습니다.

초경합금 생산

응용 분야 : WC 분말 크기를 측정하고 시멘트 카바이드 입자 크기와 특성을 제어합니다.

사례 : 한 팀은 WC 분말의 FSSS 가 $1.2 \mu\text{m}$ 이고, 제조된 초경합금의 경도가 HV 2200 이며, 입자 균일도가 15% 증가한 것을 확인했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

열 스프레이 파우더

적용 분야 : WC-Co 분무 분말의 입자 크기를 평가하고 분무 코팅의 밀도(>99%)를 보장합니다.

사례 : 연구에 따르면 WC-12Co 분말의 FSSS 는 $3.5 \mu\text{m}$ 이고, HVOF 코팅의 경도는 HV 1350, 마모율은 $0.06 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ 인 것으로 나타났습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

분말 야금

응용 분야 : 금속 분말(예: W, Mo)의 입자 크기를 감지하고 소결 성능을 최적화합니다.

사례 : 한 회사에서는 W 분말의 FSSS 가 $2.0 \mu\text{m}$ 이고 소결체의 밀도가 98.5%라고

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

밝혔습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

품질 관리

적용 분야 : 배치 간 입자 크기 일관성을 감지합니다. 편차는 $0.1\mu\text{m}$ 미만입니다.

요약하다

Fisher 입도 측정은 코제니-카르만 원리에 기반하여 공기 투과도법을 사용하여 분말의 평균 입자 크기($0.2\sim 50\mu\text{m}$)를 측정하고, 압력 차이를 이용하여 FSSS 값을 변환합니다. 이 방법은 시료 건조(수분 $<0.1\%$), 압축(기공률 0.45), 공기 유량 측정(0.1 L/분), 간단한 장비 사용, 그리고 $\pm 0.05\mu\text{m}$ 의 정확도를 포함합니다. 입자 형상 및 수분과 같은 영향 요인을 최적화해야 하며, 재료 성능의 일관성을 보장하기 위해 초경합금, 분무 분말, 분말 야금 등에 적용합니다(China Tungsten Online 웹사이트 참조).



1

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 :

체적 밀도 및 측정 방법

체적 밀도 및 측정 방법

체적 밀도는 자연적으로 쌓인 상태에서 단위 부피당 분말의 질량을 나타내며, 일반적으로 g/cm^3 또는 kg/m^3 단위로 표시되며, 분말의 물리적 특성을 평가하는 데 중요한 매개변수입니다. 체적 밀도는 분말 입자의 크기, 모양, 표면 특성 및 적층 방식을 반영하며, 분말 야금, 용사, 초경합금 생산과 같은 공정에 중요한 역할을 합니다. 측정 방법은 간단하고 효율적이며, 일반적으로 표준 용기 및 계량 작업을 통해 수행되는 느슨한 체적 밀도와 탭 체적 밀도의 두 가지 형태가 사용됩니다.

1. 정의 및 의미

정의

부피 밀도: 분말 을 특정 조건(자연적인 느슨한 충전 또는 진동 다짐 등)에서 용기에 채운 후, 분말 질량과 용기 부피의 비율 . 부피 밀도 = m/V 여기서,

m : 분말 질량(g)

V : 분말이 차지하는 부피(cm^3)

느슨한 체적 밀도 : 압축이나 진동 없이 분말이 용기 안으로 자유롭게 떨어지는 상태.

탭핑 밀도: 분말을 용기 내에서 진동시키거나 탭핑한 후 입자가 더 조밀한 상태로 재배열된 후의 분말의 밀도입니다.

중요성

공정 지침 : 겉보기 밀도는 분말의 유동성, 충전 효율 및 소결 성능에 영향을 미칩니다. 예를 들어, 텅스텐 카바이드(WC) 분말은 겉보기 밀도가 높고 소결 밀도가 더 우수합니다.

품질 관리 : 분말 배치 간 일관성을 나타냅니다. 편차가 클 경우 성형 결함이 발생할 수 있습니다.

재료 특성 : 입자 크기, 모양, 표면 거칠기와 밀접한 관련이 있으며 분말을 특성화하는 데 중요한 지표입니다.

일반적인 값

파우더 타입	체적 밀도(g/cm^3)	탭 밀도(g/cm^3)
WC 분말 ($1\ \mu\text{m}$)	4.5-5.0	5.5-6.0
WC-12Co	4.0-4.5	4.8-5.2
W 파우더 ($5\ \mu\text{m}$)	6.0-7.0	7.5-8.5

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

2. 영향 요인

체적 밀도는 여러 요인에 의해 영향을 받는데, 이러한 요인들은 아래에서 자세히 분석됩니다.

입자 크기

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

영향 : 입자 크기가 작을수록 비표면적이 커지고 입자 사이의 공극이 많아지고 충전 밀도가 낮아집니다. 입자 크기가 클수록 공극이 적고 밀도가 높아집니다.

실험 데이터 :

WC 입자 크기(μm)	체적 밀도(g/cm^3)	탭 밀도(g/cm^3)
0.5	4.2	5.3
2.0	4.8	5.8
5.0	5.2	6.2

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

입자 모양

영향 : 구형 입자는 뾰족하게 뭉쳐 있어 밀도가 높고, 불규칙하거나 바늘 모양의 입자는 틈이 크고 밀도가 낮습니다.

사례 : 구형 WC 분말(구형도 > 95%)의 체적 밀도는 $4.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ 인 반면, 불규칙한 WC 분말의 체적 밀도는 $4.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ 에 불과합니다.

표면 특성

영향 : 표면이 거칠거나 청전기가 있는 분말은 쉽게 뭉쳐지고, 기공률은 증가하고 밀도는 감소합니다. 매끄러운 표면은 밀집된 쌓기에 유리합니다.

실험 : 미처리 WC 분말의 밀도는 $4.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 이고, 플라즈마 구형화 후 $5.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 에 도달합니다.

수분 함량

영향 : 수분 함량이 0.2% 이상이면 입자가 서로 달라붙고, 다공성이 증가하고, 밀도가 감소합니다.

데이터 : 수분 함량이 0.5%인 WC 분말의 겉보기 밀도는 $4.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ 이며, 건조 후 $4.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ 로 증가합니다.

스태킹 방법

영향 : 느슨한 상태에서는 밀도가 낮습니다. 다짐 후 입자가 재배열되고 공극이 줄어들며 밀도가 10~20% 증가합니다.

3. 측정 방법

체적 밀도는 ASTM B212(느슨한), ASTM B527(탭핑) 또는 ISO 3923 과 같은 표준 절차에 따라 결정됩니다. 다음은 이 방법에 대한 개요입니다.

느슨한 체적 밀도

원리 : 외부의 힘을 가하지 않고도 분말이 용기 안으로 자유롭게 떨어지고, 자연스럽게 쌓인 상태의 밀도를 측정합니다.

단계 :

건조 샘플(수분 < 0.1%)을 준비합니다.

깔때기를 사용하여 분말을 표준 측정 실린더(25 또는 100 cm^3)에 천천히 붓고, 한 방울이 10~15 cm 가 되도록 합니다.

가루가 자연스럽게 쌓일 때까지 기다린 후 스크레이퍼로 표면을 매끄럽게 다듬고 부피(V)를 기록합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

측정 실린더에 있는 분말의 질량(m)을 측정하고 밀도(m/V)를 계산합니다.

탭된 체적 밀도

원리 : 기계적 진동이나 두드림을 통해 분말 입자를 재배열하고 더 밀도가 높은 상태의 밀도를 측정합니다.

단계 :

느슨한 포장 방법을 사용하여 실린더를 채우세요.

측정 실린더를 진동기 위에 올려놓고 100~300 회 진동합니다(진동수 50~60 회/분, 진폭 3mm). 또는 부피가 더 이상 변하지 않을 때까지 손으로 두드립니다.

압축 후 부피(V')를 기록하고, 질량(m)을 측정하고, 밀도(m/V')를 계산합니다.

실험 데이터

샘플	질량(g)	느슨한 부피(cm³)	체적 밀도(g/cm³)	탭 볼륨(cm³)	탭 밀도(g/cm³)
WC (1 μm)	50	10.5	4.76	8.9	5.62
WC-12Co	50	11.8	4.24	10.2	4.90
폭 (5 μm)	50	7.8	6.41	6.5	7.69

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

4. 장비 및 작업 단계

장비

눈금 실린더 : 표준 유리 눈금 실린더(25, 50 또는 100 cm³), ±0.1 cm³ 까지 눈금이 매겨져 있습니다.

칼때기 : 개구부 직경 5-10mm, 낙하 높이 조절 가능.

저울 : 정확도 0.001g, 분말 질량을 측정하는 데 사용됩니다.

진동기 : 진폭 1~5mm, 주파수 조절 가능(50~60Hz)의 기계적 압축 장치입니다.

오븐 : 온도 100-120° C, 샘플 건조에 사용됨.

스크레이퍼 : 압축을 방지하기 위해 분말 표면을 매끄럽게 합니다.

자세한 단계

샘플 준비 :

샘플링: 샘플러를 사용하여 분말 배치에서 50~100g 을 무작위로 샘플링하여 균질성을 보장합니다.

건조: 오븐에서 105° C 로 2 시간 동안 건조합니다. 수분 <0.1%, 실온으로 식힙니다(데시케이터에서).

체적 밀도 측정 :

100 cm³ 메스실린더를 선택하여 빈 무게(m₀)를 기록합니다.

칼때기를 사용하여 가루를 15cm 높이로 천천히 붓되, 두드리거나 진동하지 않도록 주의하세요.

스크레이퍼로 표면을 가볍게 긁어내고 총 무게(m₁)와 부피(V)를 기록합니다.

계산: 체적 밀도 = (m₁ - m₀) / V.

탭 밀도 결정 :

느슨한 채우기 방법과 같은 방법으로 눈금실린더를 채우고 초기 부피를 기록합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

압축기에 넣고 진폭을 3mm로 설정한 후 200회(또는 부피가 안정될 때까지) 압축합니다.
압축된 부피(V')와 총 중량(m_1)을 기록하세요.

계산: 탭 밀도 = $(m_1 - m_0) / V'$.

반복성 검증 :

측정은 3회 반복하였으며, 편차가 2% 미만일 경우 평균값을 취하였다.

실린더 내부를 점검하여 가루가 붙어 있지 않은지 확인하세요.

지침

느슨한 밀도의 신뢰성에 영향을 미치는 인공적인 압축은 피하십시오.

진동 횟수는 일정해야 합니다. 너무 적으면(100회 미만) 밀도가 낮아지고, 너무 많으면(300회 이상) 큰 변화가 없습니다.

습기 간섭을 방지하기 위해 주변 습도를 50% 미만으로 유지하세요.

5. 적용 시나리오

체적 밀도 측정은 분말 재료 분야에서 광범위한 응용 분야를 가지고 있습니다. 다음은 구체적인 시나리오와 사례입니다.

초경합금 생산

응용 분야 : WC 분말 충전 효율을 평가하고 압착 및 소결 공정을 최적화합니다.

사례 : 한 팀은 WC 분말의 겉보기 밀도가 4.8g/cm^3 , 탭 밀도가 5.8g/cm^3 , 압축된 빌렛의 압축 밀도가 10% 증가했으며 경도가 HV 2200 임을 확인했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

열분무 분말

적용 분야 : WC-Co 분말의 유동성과 분말 적재 효율을 테스트하고 분무의 균일성을 보장합니다.

사례 : 한 연구에 따르면 WC-12Co의 탭 밀도는 4.9g/cm^3 이고, HV0F 분무 코팅의 다공성은 <1%이며, 내마모성이 30% 향상되었습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

분말 야금

응용 분야 : W 및 Mo 분말의 체적 밀도를 측정하고 소결 수축을 제어합니다.

사례 : 어느 회사에서 W 분말의 탭 밀도를 측정한 결과 7.7g/cm^3 이고, 소결체의 수축률은 15%-18%로 안정적이었으며, 밀도는 99%에 도달했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

품질 관리

적용 : 배치 간 밀도 일관성 테스트, 편차 <5%가 합격입니다.

사례 : WC 분말의 밀도 변동이 $<0.1\text{g/cm}^3$ 인 생산 테스트를 통해 안정적인 배치 성능이 보장됩니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

보관 및 운송 최적화

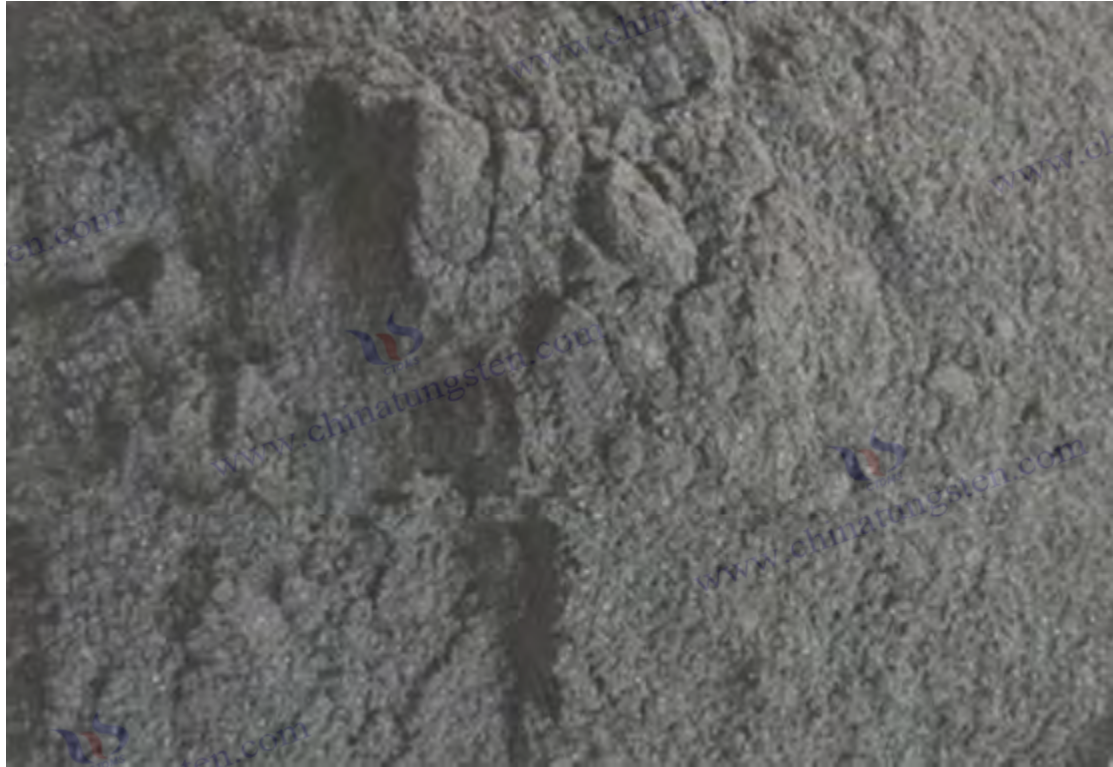
적용 분야 : 분말 포장 용량을 평가하고 운송 비용을 절감합니다.

요약하다

체적 밀도는 분말의 질량과 부피 사이의 관계를 나타내는 매개변수입니다. 이 밀도는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

입자 크기, 형상, 표면 특성 및 수분의 영향을 받는 느슨한 밀도(자연 충전)와 탭 밀도(탭핑 후)로 나뉩니다. 측정 방법은 표준 메스 실린더와 탭핑 기구를 사용하여 수행됩니다. WC 분말의 느슨한 밀도는 $4.5 \sim 5.0 \text{ g/cm}^3$ 이고 탭핑 밀도는 $5.5 \sim 6.0 \text{ g/cm}^3$ 이며 정확도는 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 입니다. 응용 측면에서 초경합금, 용사 및 분말 야금 공정을 안내하여 제품 품질과 공정 효율을 향상시킵니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 정보 제공). 수분($<0.1\%$) 및 탭핑 조건을 최적화하면 측정 정확도를 높일 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

부록

텅스텐 카바이드 분말의 유동성 측정 방법

텅스텐 카바이드 분말(WC)의 유동성은 중력이나 기타 외력의 작용 하에서 분말이 자유롭게 흐를 수 있는 능력을 나타내며, 일반적으로 단위 시간당 표준 깔때기를 통과하는 유량(초/50g) 또는 유량 시간으로 표시됩니다. 유동성은 분말 재료의 중요한 물리적 특성으로, 용사, 분말 야금 및 초경합금 생산에서 충전 효율, 균일성 및 공정 안정성에 직접적인 영향을 미칩니다. 텅스텐 카바이드 분말의 유동성을 측정하는 데 일반적으로 홀 유량법(Hall Flow Rate Method)이 사용됩니다. 유동성은 50g의 분말이 표준 깔때기를 통과하는 데 걸리는 시간을 측정하여 평가합니다.

1. 정의 및 의의

정의

유동성 : 외부 압력 없이 분말이 특정 개구부(예: 홀 깔때기의 2.5mm 구멍)를 통해 자유롭게 흐를 수 있는 능력입니다.

결정 지표 :

홀 유량: 50g의 분말이 흘러나오는 데 걸리는 시간(단위: 초/50g). 시간이 짧을수록 유동성이 좋아집니다.

분말이 자유롭게 흐르지 않으면 "흐름 없음"으로 기록합니다.

중요성

공정 영향 : 유동성이 좋은 분말(예: WC 분말 유량 13~15 초/50g)은 분무 또는 압착 중에 균일하게 분산되어 다공성과 결함이 줄어듭니다.

품질 관리 : 분말 배치 간 일관성을 반영합니다. 유량 편차가 크면 공정 변동이 발생할 수 있습니다.

성능 상관관계 : 입자 크기, 모양, 표면 상태와 밀접한 관련이 있으며, 분말 제조 및 적용을 최적화하기 위한 핵심 매개변수입니다.

일반적인 값

파우더 타입	입자 크기(μm)	유량(초/50g)	유동성 평가
WC(구형)	15-45	13.5	훌륭한
WC(비정규)	10-30	16.0	좋은
WC-Co(미분말)	5-15	>20 또는 비유동적	차이점

데이터 출처: 2023년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

2. 영향 요인

텅스텐 카바이드 분말의 유동성은 여러 요인의 영향을 받습니다. 자세한 분석은 다음과 같습니다.

입자 크기

영향 : 입자 크기가 클수록 입자 간 마찰이 작아 유동성이 향상됩니다. 입자 크기가 너무 작으면($<5\mu\text{m}$) 반데르발스 힘과 정전기 효과가 증가하여 유동성이 저하됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

실험 데이터 :

WC 입자 크기(μm)	유량(초/50g)
5	>25 (유동 불가)
15-45	13.8
45-60	12.5
데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.	

입자 모양

영향 : 구형 입자(구형도>95%)는 구름 저항이 낮고 유동성이 좋습니다. 불규칙하거나 벗겨지는 입자는 기계적 맞물림으로 인해 유동성이 좋지 않습니다.

사례 : 구형 WC 분말의 유량은 13.5 초/50g 이고, 불규칙한 WC 분말의 유량은 16.5 초/50g 입니다.

표면 특성

영향 : 표면이 매끈한 분말은 마찰이 적고 유동성이 더 좋습니다. 표면이 거칠거나 산화물 층(W_2O_3)이 있는 분말은 접착이 일어나기 쉽고 유동성이 감소합니다.

실험 : 플라즈마 구형화된 WC 분말의 유량은 13.0 초/50g 이고, 처리되지 않은 분말의 유량은 15.5 초/50g 입니다.

수분 함량

영향 : 수분 함량이 0.2% 이상이면 입자 응집이 발생하고 유동성이 크게 감소하며 심지어 재료가 흐르지 않게 됩니다.

데이터 : 수분 함량이 0.5%인 WC 분말의 흐름 속도는 50g 당 20 초 이상이며, 건조 후(수분 함량 <0.1%)에는 50g 당 14.0 초로 떨어집니다.

환경 조건

영향 : 습도가 60% 이상이면 분말의 흡습성이 증가하고, 온도 변화는 공기 점도에 영향을 미쳐 유동성에 영향을 미칠 수 있습니다.

3. 측정 방법

텅스텐 카바이드 분말의 유동성은 일반적으로 ASTM B213 또는 ISO 4490 과 같은 표준을 따르는 흘 유량법으로 측정합니다. 다음은 이 방법에 대한 개요입니다.

흘 유동법

원리 : 분말 50g 이 표준 흘 깔때기(구멍 2.5mm)를 통과하는 데 걸리는 시간을 측정합니다. 시간이 짧을수록 유동성이 좋습니다.

단계 :

건조 분말(수분 < 0.1%)을 준비합니다.

흘 깔때기에 50g 의 가루를 붓고 가볍게 두드려 고르게 채워지도록 합니다.

깔때기 바닥에 있는 방수판을 열고 분말이 완전히 흘러나오는 데 걸리는 시간(초)을 기록합니다.

분말이 흐르지 않으면 "흐르지 않음"으로 기록합니다.

도우미 메서드

경사법 : 분말의 자연 적층 각도를 측정합니다. 각도가 작을수록 (<30°) 유동성이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

중습니다.

탭 다짐 방법 : 탭 밀도의 변화를 결합하여 유동성을 간접적으로 평가합니다.

실험 데이터

샘플	입자 크기(μm)	수분(%)	유량(초/50g)	안식각($^{\circ}$)
WC(구형)	15-45	0.05	13.5	28
WC(비정규)	10-30	0.10	16.0	35
WC(미분말)	5-15	0.20	>25 (유동 불가)	45

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

4. 장비 및 작업 단계

장비

홀 퍼널 :

재질: 스테인리스 스틸 또는 황동.

사양: 바닥 구멍 직경 2.5mm, 원뿔 각도 60° , 부피 약 100 cm^3 .

타이머 : 정확도 0.1 초.

저울 : 정밀도 0.001g, 분말 50g 측정.

오븐 : 온도 $100-120^{\circ}\text{C}$, 샘플을 건조합니다.

수용 용기 : 용량 $>50\text{ cm}^3$, 유출되는 분말을 수집합니다.

진동기(선택 사항) : 유동성이 없는 분말을 테스트하는 데 도움이 됩니다.

자세한 단계

샘플 준비 :

균일성을 보장하기 위해 샘플 분리기를 사용하여 분말 배치에서 100g 을 무작위로 샘플링했습니다.

오븐에서 105°C 로 2 시간 동안 건조하고, 수분 함량은 0.1% 미만이며, 실온으로 식힙니다(데시케이터에서).

기기 교정 :

홀 깔때기의 조리개($2.5 \pm 0.01\text{ mm}$)를 확인하여 막힘이 없는지 확인하세요.

표준 분말(예: FSSS $3.0\mu\text{m WC}$, 유속 14.0 초/50g)을 사용하여 기기 정확도를 확인합니다.

결정 과정 :

WC 분말 $50.0 \pm 0.01\text{ g}$ 을 달아 홀 깔때기에 붓고, 브리징 현상을 방지하기 위해 가볍게 세 번 두드립니다.

바닥 덮개를 열고 동시에 타이머를 작동시켜 분말이 완전히 흘러나오는 시간을 기록합니다.

가루가 붙으면 깔때기를 두드려 보세요. 그래도 흐르지 않으면 "흐르지 않음"으로 기록하세요.

데이터 처리 :

측정을 3 번 반복하고, 편차가 0.5 초 이내이면 평균값을 취합니다.

수신 용기에 있는 분말의 질량을 확인하여 잔류물이 없는지 확인하세요(오차 $< 0.1\text{g}$).

지침

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

깎때기는 기울어짐을 방지하기 위해 수직으로 설치해야 하며, 기울어짐은 흐름 속도에 영향을 미칠 수 있습니다(편차 ± 0.2 초).

환경 관리: 온도 20-25°C, 습도 <50%, 습기 흡수 방지.

미세한 분말(<10 μm)의 경우 진동 지원이 필요할 수 있으며, 그렇지 않으면 막힘이 발생하기 쉽습니다.

5. 적용 시나리오

텅스텐 카바이드 분말의 유동성 측정은 여러 분야에서 중요한 응용 분야를 가지고 있습니다. 다음은 구체적인 시나리오와 사례입니다.

열분사 공정

응용 분야: HVOF 또는 APS 에서 WC-Co 분말 공급의 균일성을 평가합니다. 유량은 15 초/50g 미만으로 매우 우수합니다.

사례: 한 팀은 WC-12Co의 유량이 13.8 초/50g 이고, 분무 코팅의 기공률이 <1%이며, 내마모성이 30% 향상되었음을 확인했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

초경합금 생산

용도: WC 분말의 유동성을 테스트하고 압축된 블랭크의 균일성을 보장합니다.

사례: 한 연구에 따르면 WC 분말 흐름 속도는 14.0 초/50g 이고, 압축 부품의 밀도 일관성은 10% 향상되었으며, 경도는 HV 2250 이었습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

분말 야금

용도: W 또는 WC 분말 충전 효율 최적화. 유량이 너무 높으면(50g 당 20 초 이상) 박리가 발생할 수 있습니다.

사례: 한 회사에서 구형 W 분말의 유량은 12.5 초/50g 이고, 소결체의 밀도는 99%라는 것을 확인했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

품질 관리

적용 분야: 배치 간 유동성의 일관성을 테스트합니다. 유량 편차는 1 초 미만입니다.

사례: 한 생산업체에서 WC 분말 유량 변동을 <0.5 초/50g 로 측정하여 배치 안정성을 확보했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

보관 및 운송 설계

응용 분야: 사일로 내 분말의 흐름 특성을 평가하고 운반 시스템을 최적화합니다.

요약하다

텅스텐 카바이드 분말의 유동성은 홀 유량법으로 측정하며, 이는 분말 50g 이 2.5mm 구경 깔때기를 통과하는 시간(초/50g)으로 측정하며, 일반적으로 13~16 초/50g 입니다. 유동성은 입자 크기, 형상, 표면 상태 및 수분의 영향을 받습니다. 측정에는 건조 분말(수분 <0.1%), 표준 장비 및 정밀한 조작이 필요합니다. 적용 측면에서 이 방법은 용사, 초경합금 및 분말 야금 공정에 적용되어 충전 효율과 제품 품질을 향상시킵니다(China Tungsten Online 웹사이트 참조). 입자 구형도 및 건조 조건을 최적화하면 유동성을 크게 향상시킬 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder Introduction

1. Overview of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP's tungsten carbide powder (chemical formula WC) is a high-quality powder product made from high-purity tungsten raw materials and carbon black through a high-temperature carburization process. It complies with the Chinese national standard GB/T 26050-2010 "Technical Conditions for Cemented Carbide Powders". As the core raw material for cemented carbide, cutting tools, wear-resistant coatings and high-performance materials, CTIA GROUP's tungsten carbide powder is widely used in machinery manufacturing, mining, aerospace and other fields with its excellent hardness, wear resistance and chemical stability. We provide a full range of products from ultra-fine particles (0.6 μm) to extra-coarse particles (45 μm) to meet diverse industrial needs. For more information, please visit www.tungsten-powder.com

2. Product Features of Tungsten Carbide Powder

High purity and stability

Total carbon content (T/C): 5.90-6.18 wt %, theoretical value 6.13 wt % (± 0.05 wt %), ensuring high purity of WC phase.

Free carbon content (F/C): ≤ 0.10 wt %, high-end customized models can be controlled at ≤ 0.05 wt %, reducing the impact of free carbon on performance.

Low impurity content: Iron (Fe) ≤ 0.05 wt %, oxygen (O) ≤ 0.20 wt % (fine particles ≤ 0.15 wt %), meeting high-precision application requirements.

Diverse particle size options

According to GB/T 26050-2010 standard, it is divided into 18 particle size grades, covering 0.6-45 μm , with uniform particle size and deviation controlled within $\pm 10\%$.

Excellent physical properties

Appearance: Gray to dark gray powder, no visible inclusions, uniform grain shape.

Density: 15.63 g/cm³ (theoretical value), loose density 3.0-5.0 g/cm³ (customizable).

Application flexibility

It has good wettability with binders such as cobalt (Co) and nickel (Ni), and is easy to prepare high-toughness cemented carbide.

Adapt to various sintering processes to meet different needs from precision tools to mining drill bits.

3. Specifications of CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder

Category Brand	Fisher particle size (μm)	Total carbon (wt %)	Free carbon (wt %)	Oxygen content (wt %)	Typical Applications
WC06-07	0.6-0.7	5.90-6.18	≤ 0.05	≤ 0.15	Ultra-fine cutting tools, coatings
WC08-10	0.8-1.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.15	Precision cutting tools
WC20-25	2.0-2.5	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	General Carbide
WC50-60	5.0-6.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	Mining tools
WC100-150	10.0-15.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	High toughness wear-resistant parts

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

Category	Fisher particle size	Total carbon	Free carbon	Oxygen content	Typical Applications
Brand	(μm)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	
WC300-450	30.0-45.0	5.90-6.18	≤0.10	≤0.20	Extra coarse impact tool
Remark	Impurity content (Fe, Mo, Si, etc.) meets standard limits , special particle size or special requirements can be customized according to customer needs.				

4. Production Process of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP adopts advanced carburizing technology and strict quality control system:

Raw materials: high-purity tungsten powder (purity ≥99.95%) and high-quality carbon black.

Carbonization: React in a high temperature vacuum furnace at 1400-1600°C to ensure complete carbonization and uniform grains.

Crushing and screening: Through air flow crushing and multi-stage screening, the particle size distribution can be precisely controlled.

Quality inspection: Based on GB/T 5124 (chemical analysis), GB/T 1482 (Ferris particle size) and other methods to ensure that each batch meets the standards.

5. Quality Assurance of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Standard compliance: Strictly implement GB/T 26050-2010, each batch of products comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size and appearance test results.

Factory inspection: total carbon, free carbon, impurity elements such as Fe, O content , particle size, appearance , physical properties (such as loose density).

Sampling: According to GB/T 5314, uniform sampling is conducted from each batch (1-5 tons) to ensure representativeness.

6. Packaging and Transportation of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Inner packaging: sealed plastic bag or vacuum packed to prevent oxidation.

Outer packaging: iron drum or plastic drum, net weight 25kg or 50kg (customized according to requirements).

Marking: Indicate product name, brand, batch number and production date.

Transportation and storage: Moisture-proof and shock-proof, stored in a dry and ventilated warehouse, shelf life is 12 months.

7. Application Fields of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Cutting tools: Ultrafine grain (WC06-07) is used for high-speed precision cutting tools with high hardness and strong wear resistance.

Mining tools: Coarse grains (WC50-60 and above) are used for drill bits and impact-resistant parts with excellent toughness.

Wear-resistant coating: Fine grain (WC08-10) is used for thermal spraying to improve surface properties.

Aerospace: Medium grain (WC20-25) is used for high temperature wear-resistant parts.

Other fields and special purposes: welcome to negotiate and customize.

8. Contact Information of CTIA GROUP

CTIA GROUP is committed to providing customers with high-quality tungsten carbide powder and technical support.

For more information or customized products, please contact:

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129595

Website: www.tungsten-powder.com for more industry information and technical parameters.

|



부록 :

텅스텐 카바이드 분말의 탭 밀도 및 측정 방법

탭 밀도는 텅스텐 카바이드 분말(WC)이 특정 진동 또는 노킹 조건에서 조밀한 상태로 재배열된 후 단위 부피당 질량을 나타내며, 일반적으로 g/cm^3 로 측정합니다. 탭 밀도는 분말의 물리적 특성을 나타내는 주요 매개변수로, 입자 충전의 치밀성을 반영하며, 실제 공정에서는 느슨한 밀도보다 충전 상태에 더 가깝습니다. 초경합금, 용사 및 분말 야금에서 탭 밀도는 재료의 압축 효율, 소결 성능 및 최종 제품 품질에 직접적인 영향을 미칩니다. 측정 방법은 일반적으로 표준 측정 실린더와 탭핑 장비를 사용하는 탭핑 방법을 사용합니다.

1. 정의 및 의의

정의

탭 밀도 : 기계적 진동이나 수동 탭핑 후 입자 간 간격이 줄어들고 분말이 안정적인 적층 상태에 도달했을 때의 텅스텐 카바이드 분말의 밀도입니다.

$$\text{振实密度} = \frac{m}{V}$$

안에:

m: 분말 질량(g)

V: 압축 후 부피(cm^3)

체적 밀도와 차이 : 체적 밀도는 자연적인 쌓인 상태인 반면, 탭 밀도는 외부 힘을 통해 입자를 더 압축시키며, 값은 일반적으로 10%-20% 더 높습니다.

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

중요성

공정 지침 : 높은 탭 밀도(예: 5.5-6.0 g/cm³)를 지닌 WC 분말은 압착 또는 충전 시 효율성이 더 높고, 소결 후 밀도가 더 좋습니다.

품질 관리 : 배치 간 분말 적층 특성의 일관성을 반영합니다. 편차가 크면 성형이 고르지 않을 수 있습니다.

성능 상관관계 : 입자 크기, 모양, 표면 상태와 관련이 있으며, 분말 제조 및 적용을 최적화하기 위한 중요한 기초입니다.

일반적인 값

파우더 타입	입자 크기(μm)	체적 밀도(g/cm ³)	탭 밀도(g/ cm ³)
WC(초미립자)	0.5-1	4.2-4.5	5.3-5.6
WC(중간)	2-5	4.8-5.0	5.8-6.2
WC-Co(복합)	15-45	4.0-4.5	4.8-5.2

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

2. 영향 요인

텅스텐 카바이드 분말의 탭 밀도 값은 여러 요인의 영향을 받습니다. 다음은 자세한 분석입니다.

입자 크기

영향 : 입자 크기가 클수록 입자 간 틈의 충전 효율이 높아지고 탭 밀도가 증가합니다. 입자 크기가 너무 작으면(<1 μm) 표면력이 강화되고 틈을 압축하기 어렵고 밀도가 낮아집니다.

실험 데이터 :

WC 입자 크기(μm)	체적 밀도(g/cm ³)	탭 밀도(g/ cm ³)	증가하다(%)
0.5	4.2	5.3	26
2.0	4.8	5.8	스물하나
5.0	5.0	6.2	스물넷

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

입자 모양

영향 : 구형 입자(구형도>95%)는 진동 후 밀집되어 배열되고 밀도가 높습니다. 불규칙하거나 바늘 모양의 입자는 끼어들기 때문에 다공성이 높고 밀도가 낮습니다.

사례 : 구형 WC 분말의 탭 밀도는 6.0 g/cm³ 인 반면, 불규칙한 WC 분말의 탭 밀도는 5.5 g/cm³ 에 불과합니다.

표면 특성

영향 : 표면이 매끈한 분말은 마찰이 적고 진동 후 쉽게 재배열되며 밀도가 높습니다. 표면이 거칠거나 산화물 층(WO₃) 이 있는 분말은 끈적거리고 밀도가 낮습니다.

실험 : 플라즈마 구형화 WC 분말의 탭 밀도는 6.2 g/cm³ 이고, 처리되지 않은 분말의 탭 밀도는 5.7 g/cm³ 입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

수분 함량

영향 : 수분 함량이 0.2% 이상이 되면 입자가 뭉쳐 진동으로 틈새를 압축하기 어려워지고 밀도가 감소합니다.

데이터 : 수분 함량이 0.5%인 WC 분말의 탭 밀도는 $5.2\text{g}/\text{cm}^3$ 이며, 건조 후(수분 함량 $<0.1\%$) $5.8\text{g}/\text{cm}^3$ 로 증가합니다.

압축 조건

영향 : 진폭, 주파수, 진동 횟수는 입자 재배열 효율에 영향을 미칩니다. 진동이 부족하면 밀도가 낮아지고, 진동이 과도하면 큰 변화가 나타나지 않습니다.

실험 : WC 분말의 밀도는 100 회 진동 후 $5.6\text{g}/\text{cm}^3$ 이고, 300 회 진동 후 $5.8\text{g}/\text{cm}^3$ 로 상승하며, 500 회 진동 후에도 변화가 없습니다.

3. 측정 방법

텅스텐 카바이드 분말의 탭 밀도는 ASTM B527 또는 ISO 3953 과 같은 표준 절차에 따라 결정됩니다. 다음은 이 방법에 대한 개요입니다.

진동 방식

원리 : 기계적 진동이나 수동 노킹을 통해 WC 분말 입자를 재배열하고 안정된 상태의 밀도를 측정합니다.

단계 :

건조 분말(수분 $<0.1\%$)을 준비합니다.

분말을 표준 눈금실린더(25 또는 100 cm^3)에 붓고 초기 부피를 기록합니다.

진동기나 탭을 사용하여 볼륨이 더 이상 변하지 않을 때까지 수동으로 진동시킨 후 진동 후 볼륨을 기록합니다(V').

분말 질량(m)을 측정하고 탭 밀도(m/V')를 계산합니다.

실험 데이터

샘플	질량(g)	초기 부피(cm^3)	탭 볼륨(cm^3)	탭 밀도(g/cm^3)
WC ($1\text{ }\mu\text{m}$)	50	11.0	8.9	5.62
WC ($5\text{ }\mu\text{m}$)	50	10.2	8.1	6.17
WC-12Co	50	12.0	10.2	4.90

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

4. 장비 및 작업 단계

장비

눈금 실린더 : 표준 유리 눈금 실린더(25 , 50 또는 100 cm^3), $\pm 0.1\text{ cm}^3$ 까지 눈금이 매겨져 있습니다.

저울 : 정밀도 0.001g , 분말 질량을 측정합니다.

진동 압축기 :

유형: 기계적 압축 장치(예: Scott Volumeter).

매개변수: 진폭 $1\text{--}5\text{mm}$, 주파수 $50\text{--}60\text{Hz}$.

오븐 : 온도 $100\text{--}120^\circ\text{C}$, 샘플을 건조합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

칼때기 : 5-10mm 정도 열리며 채우기에 도움이 됩니다.

스크레이퍼 : 분말 표면을 매끄럽게 합니다.

자세한 단계

샘플 준비 :

WC 분말 배치에서 50~100g 을 무작위로 샘플링하고 샘플 분배기를 사용하여 균질성을 보장했습니다.

오븐에서 105° C 로 2 시간 동안 건조하고, 수분 함량은 0.1% 미만이며, 실온으로 식힙니다(테스케이터에서).

샘플 로딩 :

100 cm³ 메스실린더를 선택하여 빈 무게(m_0)를 기록합니다.

칼때기를 사용하여 50g 의 분말을 튜브에 천천히 붓습니다. 압축을 방지하기 위해 10~15cm 높이로 떨어뜨린 후 초기 부피를 기록합니다.

스크레이퍼를 사용하여 표면을 가볍게 매끄럽게 합니다.

압축 공정 :

측정 실린더를 진동기에 넣고 진폭을 3mm, 주파수를 60Hz 로 설정한 후 200 회(또는 부피가 안정될 때까지) 진동시킵니다.

수동으로 진동시키면서 측정 실린더 바닥을 2~3cm 높이에서 200 번 두드립니다.

압축된 부피(V')와 총 중량(m_1)을 기록하세요.

계산하다 :

탭 밀도 = $(m_1 - m_0) / V'$.

측정은 3 회 반복하였으며, 편차가 2% 미만일 경우 평균값을 취하였다.

세척 : 압축 공기를 사용하여 측정 실린더를 세척하여 잔여물이 다음 측정에 영향을 미치지 않도록 합니다.

지침

다짐 횟수는 일정해야 합니다. 너무 적으면(100 회 미만) 밀도가 낮아지고, 너무 많으면(300 회 이상) 밀도가 크게 향상되지 않습니다.

계량 실린더의 내벽은 건조해야 합니다. 습도가 50% 이상이면 분말이 달라붙을 수 있습니다.

미세한 분말($<1 \mu m$)의 경우 표면력을 극복하기 위해 진폭(5 mm)을 높여야 할 수도 있습니다.

5. 적용 시나리오

팅스텐 카바이드 분말의 탭 밀도 측정은 여러 분야에서 중요한 응용 분야를 가지고 있습니다. 다음은 구체적인 시나리오와 사례입니다.

초경합금 생산

응용 분야 : WC 분말의 압착 및 소결 성능을 평가합니다. 높은 탭 밀도(예: 5.8 g/cm³)는 치밀화에 도움이 됩니다.

사례 : 한 팀은 WC 분말의 탭 밀도가 5.8g/cm³ 이고, 압축 빌렛의 밀도가 12% 증가했으며, 경도는 HV 2250 임을 확인했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

열분사 공정

적용 분야 : WC-Co 분말의 충전 효율을 테스트하기 위해 탭 밀도는 4.8-5.2g/cm³ 로 하여

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분무의 균일성을 보장합니다.

사례 : 한 연구에 따르면 WC-12Co의 탭 밀도는 4.9g/cm^3 이고, HVOF 코팅의 다공성은 $<1\%$ 이며, 내마모성이 35% 향상되었습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

분말 야금

응용분야 : WC 또는 W 분말의 소결수축을 최적화하고, 탭밀도를 증가시키고, 기공률을 감소시킵니다.

사례 : 한 회사에서 WC 분말의 탭 밀도가 6.0g/cm^3 이고 소결체의 밀도가 99.5%임을 확인했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

품질 관리

적용 : 배치 간 밀도 일관성 시험. 편차 $<0.1\text{g/cm}^3$ 는 허용 가능.

사례 : 생산 회사에서 WC 분말 탭 밀도의 변동을 $<0.05\text{g/cm}^3$ 로 측정하여 배치 안정성을 확보했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

보관 및 운송 설계

적용 분야 : 사일로 내 분말의 밀도를 평가하고 포장 용량을 최적화합니다.

요약하다

텅스텐 카바이드 분말의 탭 밀도는 진동 후 분말의 단위 부피당 질량으로, 일반적으로 $5.3\text{--}6.2\text{g/cm}^3$ (WC 단량체) 또는 $4.8\text{--}5.2\text{g/cm}^3$ (WC-Co)이며, 입자 크기, 형상, 표면 상태 및 수분의 영향을 받습니다. 측정 방법은 진동법을 채택하여 메스 실린더와 진동계를 사용하여 200-300 회 진동시키고, 정확도는 $\pm 0.01\text{g/cm}^3$ 입니다. 응용 분야에서는 초경합금, 용사 및 분말 야금 공정을 안내하고, 프레스 효율과 제품 품질을 향상시킵니다(China Tungsten Online 웹사이트 참조). 건조(수분 $<0.1\%$) 및 진동 조건을 최적화하면 측정 정확도를 높일 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



부록 :

텅스텐 카바이드 분말의 체적 밀도 및 측정 방법

느슨한 부피 밀도는 외부 압축이나 진동이 없는 자연 적층 상태의 텅스텐 카바이드 분말(WC)의 단위 부피당 질량을 나타내며, 일반적으로 g/cm^3 로 표시됩니다. 느슨한 부피 밀도는 분말의 물리적 특성을 나타내는 기본 매개변수로, 자연 상태에서 입자의 적층 효율을 반영하며, 분말의 유동성, 충전 성능 및 후속 공정(예: 프레스 및 소결)과 밀접한 관련이 있습니다. 초경합금, 용사 및 분말 야금 분야에서 느슨한 부피 밀도는 품질 관리 및 공정 최적화를 위한 중요한 지표입니다. 측정 방법은 간단하며, 일반적으로 표준 계량 실린더와 계량 작업으로 수행됩니다.

1. 정의 및 의의

정의

체적 밀도 : 텅스텐 카바이드 분말이 외부 힘 없이 용기에 자유 낙하할 때의 밀도.

체적 밀도 = m/V 여기서:

m : 분말 질량(g)

V : 느슨한 부피(cm^3)

특징 : 분말의 자연스러운 적층 상태를 반영합니다. 탭 밀도에 비해 값이 낮고 기공률이 높습니다.

중요성

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

공정 지침 : 겉보기 밀도가 낮은 WC 분말(예: 4.2-4.5 g/cm³)은 충전 효율이 낮고 압착 균일성에 영향을 미칠 수 있습니다. 반면, 밀도가 높으면(예: 5.0 g/cm³) 공정 안정성에 도움이 됩니다.

품질 관리 : 배치 간 입자 특성의 일관성을 확인합니다. 편차가 클 경우 공정 변동이 발생할 수 있습니다.

성능 상관관계 : 입자 크기, 모양, 표면 상태와 관련이 있으며, 분말 특성을 평가하는 기본 데이터입니다.

일반적인 값

파우더 타입	입자 크기(μm)	체적 밀도(g/cm ³)	진밀도(g/cm ³)
WC(초미립자)	0.5-1	4.2-4.5	15.63
WC(중간)	2-5	4.8-5.0	15.63
WC-Co(복합)	15-45	4.0-4.5	12-14

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 테스트한 결과이며, China Tungsten Online 에서 제공한 정보입니다. 참고: 진밀도는 이론값입니다.

2. 영향 요인

텅스텐 카바이드 분말의 겉보기 밀도 값은 여러 요인의 영향을 받습니다. 자세한 분석은 다음과 같습니다.

입자 크기

영향 : 입자 크기가 클수록 입자 간 틈의 충전 효율이 높아지고, 겉보기 밀도가 증가합니다. 입자 크기가 너무 작으면(<1 μm), 표면력(예: 반데르발스 힘)이 강해져 틈이 늘어나고 밀도가 감소합니다.

실험 데이터 :

WC 입자 크기(μm)	체적 밀도(g/cm ³)	공극률(%)
0.5	4.2	73
2.0	4.8	69
5.0	5.0	68

데이터 출처: 2023 년 실험실 테스트 결과, China Tungsten Online 웹사이트 정보.
공극률 = (1 - 겉보기 밀도/진밀도) × 100%.

입자 모양

영향 : 구형 입자(구형도>95%)는 본래 밀도가 높고 뽀뽀하게 뭉쳐 있는 반면, 불규칙하거나 벗겨지는 입자는 끼어들기 때문에 기공률이 높고 밀도가 낮습니다.

사례 : 구형 WC 분말의 체적 밀도는 5.0 g/cm³ 이고, 불규칙한 WC 분말의 체적 밀도는 4.5 g/cm³ 입니다.

표면 특성

영향 : 표면이 매끈한 분말은 마찰이 적고, 콤팩트하게 충전되어 있으며, 밀도가 높습니다. 표면이 거칠거나 산화물 층(WO₃)이 있는 분말은 접착이 잘 일어나고 밀도가 낮습니다.

실험 : 플라즈마 구형화된 WC 분말의 체적 밀도는 5.1 g/cm³ 이고, 처리되지 않은 분말의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

체적 밀도는 4.6 g/cm^3 입니다.

수분 함량

영향 : 수분 함량이 0.2% 이상이면 입자 응집, 다공성 증가, 밀도 감소가 발생합니다.

데이터 : 수분 함량이 0.5%인 WC 분말의 겉보기 밀도는 4.3 g/cm^3 이며, 건조 후(수분 함량 $< 0.1\%$) 4.8 g/cm^3 로 증가합니다.

스태킹 방법

영향 : 낙하 높이와 분말 주입 속도는 적층 균일성에 영향을 미칩니다. 낙하 크기가 너무 크면(20cm 이상) 입자 분리 및 밀도 저하가 발생할 수 있습니다.

3. 측정 방법

팅스텐 카바이드 분말의 겉보기 밀도는 ASTM B212 또는 ISO 3923-1 과 같은 표준 절차에 따라 측정합니다. 다음은 이 방법에 대한 개요입니다.

느슨한 장착 방법

원리 : WC 분말을 깔때기를 통해 표준 측정 실린더에 자유롭게 떨어뜨려 자연적 쌓임 상태의 밀도를 측정합니다.

단계 :

건조 분말(수분 $< 0.1\%$)을 준비합니다.

깔때기를 사용하여 가루를 측정 실린더(25 또는 100 cm^3)에 천천히 붓고, 한 방울이 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 가 되도록 합니다.

스크레이퍼로 표면을 매끄럽게 한 후 부피(V)를 기록합니다.

분말 질량(m)을 측정하고 겉보기 밀도(m/V)를 계산합니다.

실험 데이터

샘플	질량(g)	부피(cm^3)	체적 밀도(g/cm^3)
WC ($1 \mu\text{m}$)	50	11.0	4.55
WC ($5 \mu\text{m}$)	50	10.2	4.90
WC-12Co	50	11.8	4.24

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

4. 장비 및 작업 단계

장비

눈금 실린더 : 표준 유리 눈금 실린더(25 , 50 또는 100 cm^3), $\pm 0.1 \text{ cm}^3$ 까지 눈금이 매겨져 있습니다.

깔때기 :

소재: 스테인리스 스틸 또는 유리.

사양: 개구부 직경 $5 \sim 10 \text{ mm}$, 조절 가능한 드롭.

저울 : 정밀도 0.001 g , 분말 질량을 측정합니다.

오븐 : 온도 $100 \sim 120^\circ \text{C}$, 샘플을 건조합니다.

스크레이퍼 : 압축을 방지하기 위해 분말 표면을 매끄럽게 합니다.

샘플 분할기 : 샘플의 동질성을 보장합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

자세한 단계

샘플 준비 :

WC 분말 배치에서 무작위로 50~100g 을 선택한 후 샘플 분배기를 사용하여 균일한 샘플을 채취합니다.

오븐에서 105° C 로 2 시간 동안 건조하고, 수분 함량은 0.1% 미만이며, 실온으로 식힙니다(테스케이터에서).

샘플 로딩 :

100 cm³ 메스실린더를 선택하여 빈 무게(m_0)를 기록합니다.

칼때기를 측정 실린더 위에 15cm 높이로 고정하고, 50g 의 분말을 천천히 붓되, 두드림이나 진동을 피하세요.

스크레이퍼로 표면을 가볍게 긁어내고 총 무게(m_1)와 부피(V)를 기록합니다.

계산하다 :

체적 밀도 = $(m_1 - m_0) / V$.

측정은 3 회 반복하였으며, 편차가 2% 미만일 경우 평균값을 취하였다.

세척 : 압축 공기를 사용하여 측정 실린더와 칼때기를 세척하여 잔여물이 다음 측정에 영향을 미치지 않도록 합니다.

지침

자연스러운 쌓기 상태를 보장하기 위해 인공적인 압축이나 진동을 피하십시오.

낙하 높이는 10~15cm 로 조절해야 합니다. 너무 높으면(20cm 이상) 입자가 층이 형성되어 밀도가 낮아질 수 있습니다.

분말이 습기를 흡수하는 것을 방지하려면 주변 습도를 50% 미만으로 유지하세요.

5. 적용 시나리오

텅스텐 카바이드 분말의 체적 밀도 측정은 여러 분야에서 중요한 응용 분야를 가지고 있습니다. 다음은 구체적인 시나리오와 사례입니다.

초경합금 생산

응용 분야 : WC 분말의 초기 충전 효율성을 평가하고 압착 공정을 안내합니다.

사례 : 한 팀은 WC 분말의 겉보기 밀도가 4.8g/cm³ 이고, 프레스된 블랭크의 균일성이 8% 향상되었으며, 경도가 HV 2200 임을 확인했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

열분사 공정

용도 : WC-Co 분말 공급 안정성 시험. 4.0~4.5 g/cm³ 의 겉보기 밀도는 균일한 분무에 적합합니다.

사례 : 한 연구에 따르면 WC-12Co 의 겉보기 밀도는 4.2 g/cm³ 이고, HVOF 코팅의 기공률은 <1.5%이며, 내마모성이 25% 향상되었습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

분말 야금

응용 분야 : WC 또는 W 분말 충전 효율을 최적화하기 위해 높은 체적 밀도는 소결 수축 변동을 줄일 수 있습니다.

사례 : 한 회사에서 WC 분말의 겉보기 밀도가 5.0g/cm³ 이고 소결체의 밀도가 98.5%라는 것을 확인했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

품질 관리

적용 : 배치 간 밀도 일관성 시험. 편차 $<0.1 \text{ g/cm}^3$ 는 허용 가능.

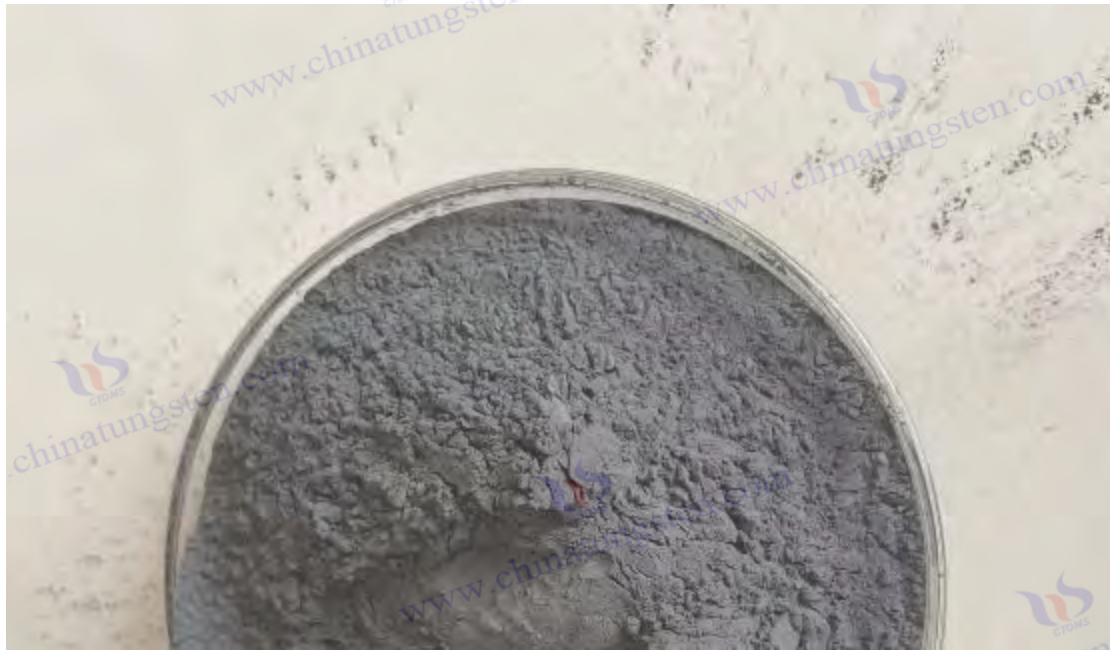
사례 : 한 생산업체에서 WC 분말의 체적 밀도 변동을 $<0.05 \text{ g/cm}^3$ 로 측정하여 배치 안정성을 확보했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

보관 및 운송 설계

응용 분야 : 분말의 천연 부피를 평가하고 포장 및 운송 효율성을 최적화합니다.

요약하다

텅스텐 카바이드 분말의 체적 밀도는 자연 적층 상태의 분말 단위 부피 질량으로, 일반적으로 $4.2 \sim 5.0 \text{ g/cm}^3$ (WC 단량체) 또는 $4.0 \sim 4.5 \text{ g/cm}^3$ (WC-Co)이며, 입자 크기, 형상, 표면 상태 및 수분의 영향을 받습니다. 측정 방법은 메스 실린더와 깔때기를 사용하는 체적법을 채택하며, 정확도는 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 입니다. 적용 측면에서는 초경합금, 용사 및 분말 야금 공정에 적용하여 충전 효율과 제품 품질을 향상시킵니다(China Tungsten Online 웹사이트 참조). 건조(수분 함량 $<0.1\%$) 및 적하 조건을 최적화하면 측정 정확도를 높일 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

부록 :

텅스텐 카바이드 분말의 밀도 표현은 무엇입니까?

텅스텐 카바이드 분말(WC)의 밀도는 질량과 부피 사이의 관계를 나타내는 물리량입니다. 다양한 적용 시나리오와 시험 조건에서 여러 가지 표현이 가능합니다. 밀도 표현은 분말의 고유 특성과 적층 거동을 반영할 뿐만 아니라, 초경합금, 용사, 분말 야금과 같은 공정의 성능 최적화 및 품질 관리에 직접적인 영향을 미칩니다. 텅스텐 카바이드 분말의 밀도는 일반적으로 진밀도, 이완밀도, 탭밀도, 겉보기밀도 등을 포함합니다. 각 밀도는 특정 정의, 측정 방법 및 적용 중요성이 있습니다.

1. 밀도의 정의와 분류

밀도는 단위 부피당 물질의 질량이며, 공식은 다음과 같습니다. $\rho = m / V$

안에:

ρ : 밀도 (g/ cm³)

m: 질량 (g)

V: 부피 (cm³)

텅스텐 카바이드 분말의 경우 밀도 표현은 측정 조건 및 분말 상태에 따라 달라집니다.

텅스텐 카바이드 분말의 밀도는 주로 다음을 포함합니다.

실제 밀도: 기공이나 공동을 제외한 분말 입자 자체의 이론적인 밀도입니다.

느슨한 체적 밀도: 입자 사이의 공간을 포함한 자연스럽게 쌓인 상태에서의 분말 밀도입니다.

탭 밀도: 진동이나 탭핑 후 더 압축된 상태의 분말의 밀도입니다.

겉보기 밀도: 특정 시험 조건(예: 흘 유량계)에서 분말의 밀도로, 종종 체적 밀도와 비슷합니다.

기타 파생 밀도: 압축 밀도(압축 공정에서)나 소결 밀도(소결체에서) 등이 있습니다.

다양한 밀도는 입자 특성(크기, 모양 등)과 분말의 적층 거동을 반영하고 공정 설계에 영향을 미칩니다.

실제 밀도는 재료 구성 분석에 사용되고, 느슨한/탭 밀도는 패킹 효율에 영향을 미치고, 겉보기 밀도는 유동성과 관련이 있습니다.

2. 진밀도

정의

실제 밀도는 텅스텐 카바이드 분말 입자의 고체 밀도로, 입자 내부의 기공이나 입자 사이의 틈을 제외한 값이며, 재료 자체의 이론적인 질량 대 부피 비율을 반영합니다 .

순수한 WC의 경우 실제 밀도는 결정 구조(육각형계)에 의해 결정됩니다.

숫자형

순수 WC: 실제 밀도는 15.63 g/cm³입니다(격자 매개변수 $a=2.906 \text{ \AA}$, $c=2.837 \text{ \AA}$ 에 기초한 이론 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

복합 분말: WC-Co 와 같은 경우, 바인더 상(예: Co 밀도 8.90 g/cm³)을 추가하면 실제 밀도가 감소합니다.

파우더 타입	접착상(%)	진밀도(g/cm ³)
화장실	0	15.63
WC-12Co	회사: 12	14.0-14.5
WC-10Co-4Cr	코: 10, 크: 4	13.8-14.2

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

결정 방법

가스 치환법(헬륨 비중법):

원리: 분말 시료의 기공을 헬륨으로 채우고 고체 부피를 측정합니다.

장비: 헬륨 비중병(예: Micromeritics AccuPyc).

절차: 샘플(5g)의 무게를 측정하고 밀폐된 챔버에 넣은 후 헬륨을 주입하고 배기량을 기록한 후 실제 밀도를 계산합니다.

공식:

$$\rho_{\text{true}} = \frac{m}{V_{\text{solid}}}$$

여기서 V solid 는 고체의 부피입니다.

정확도: $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$.

애플리케이션

분말 순도를 확인하세요(예: WC 의 유리 탄소 < 0.1%).

복합재료의 이론 밀도를 계산하여 제형 설계에 도움을 줍니다.

3. 체적 밀도

정의

체적 밀도는 진동이나 압축 없이 입자 사이의 공간을 포함하여 용기에 자유롭게 떨어진 후 자연스럽게 쌓인 상태의 텅스텐 카바이드 분말의 밀도입니다.

숫자형

순수 WC: 4.2-5.0 g/cm³, 입자 크기가 작을수록 밀도가 낮아집니다.

복합 분말: WC-12Co 와 같이 결합 단계의 밀도가 낮기 때문에 4.0-4.5 g/cm³ 입니다.

파우더 타입	입자 크기(μm)	체적 밀도(g/cm ³)	공극률(%)
WC(초미립자)	0.5-1	4.2-4.5	71-73
WC(중간)	2-5	4.8-5.0	68-69
WC-12Co	15-45	4.0-4.5	68-71

데이터 출처: 2023 년 실험실 테스트 결과, China Tungsten Online 웹사이트 정보.
공극률 = $(1 - \text{겉보기 밀도/진밀도}) \times 100\%$.

결정 방법

표준: ASTM B212 또는 ISO 3923-1.

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

원리: 깔때기를 통해 분말을 메스 실린더에 붓고 자연 축적량을 측정합니다.

단계:

분말을 건조시켰습니다(105° C, 2 시간, 수분 < 0.1%).

깔때기(구멍 5-10 mm)를 사용하여 50g 의 분말을 100cm³ 메스 실린더에 10-15cm 떨어뜨립니다.

스크레이퍼를 사용하여 표면을 평평하게 하고, 부피(V)를 기록하고, 질량(m)을 측정합니다.

계산: 체적 밀도 = m/V.

정확도: ±0.01 g/ cm³.

영향 요인

입자 크기가 작고, 다공성이 높으며 밀도가 낮습니다.

불규칙한 입자나 습기(>0.2%)는 밀도를 감소시킵니다.

애플리케이션

초기 충전 효율을 평가하고 압착 및 분무 공정을 안내합니다.

배치 간 입자 특성의 일관성을 확인합니다.

4. 탭 밀도

정의

탭 밀도는 진동이나 태핑 후 입자가 더 조밀한 상태로 재배열된 후의 텅스텐 카바이드 분말의 밀도이며, 기공률은 체적 밀도보다 낮습니다.

숫자형

순수 WC: 5.3-6.2 g/cm³, 벌크 밀도보다 10%-20% 더 높습니다.

복합 분말: WC-12Co, 4.8-5.2 g/ cm³ 등.

파우더 타입	입자 크기(μ m)	탭 밀도(g/ cm ³)	증가하다(%)
WC(초미립자)	0.5-1	5.3-5.6	24-26
WC(중간)	2-5	5.8-6.2	20-24
WC-12Co	15-45	4.8-5.2	15-20

2023 년 실험실에서 테스트한 결과이며, China Tungsten Online 에서 제공한 정보입니다.
증가량 = (탭 밀도 - 겉보기 밀도) / 겉보기 밀도 × 100%.

결정 방법

표준: ASTM B527 또는 ISO 3953.

원리: 분말 입자는 진동기에 의해 재배열되고 안정적인 부피가 결정됩니다.

단계:

느슨한 채우기 방법과 같이 초기 부피를 기록합니다.

진동 압축기(진폭 3mm, 주파수 60Hz)에 넣고 200 회 진동하거나 부피가 안정될 때까지 진동합니다.

압축 후의 부피(V')를 측정하고 질량(m)을 측정합니다.

계산: 탭 밀도 = m/V'.

정확도: ±0.01 g/ cm³.

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

영향 요인

진동 후 구형 입자는 밀집되어 배열되고 밀도가 높아집니다.

압축 횟수가 부족하면(<100 회) 밀도가 낮아지고, 너무 많으면(>300 회) 큰 변화가 없습니다.

애플리케이션

압착 및 소결 공정을 안내하고 밀도를 예측합니다.

사일로 충전 효율성을 최적화합니다.

5. 겉보기 밀도 및 기타 밀도 표현

겉보기 밀도

정의: 특정 장치(예: 홀 유량계)에서 측정한 분말의 밀도. 일반적으로 체적 밀도와 유사하지만, 유동성과 더 관련이 있습니다.

값: WC 분말 4.0-5.0 g/cm³, WC-Co 분말 4.0-4.5 g/cm³.

결정 방법:

표준: ASTM B212 또는 ISO 3923-2.

절차: 홀 유량계(구경 2.5mm)를 사용하여 분말 50g 을 수집하고, 부피를 기록하고 밀도를 계산합니다.

응용 분야: 분무 분말 공급과 같은 동적 공정에서의 분말 거동 평가.

기타 밀도 표현

압축 밀도:

정의: 압축 과정 동안 분말의 밀도로, 탭 밀도에 가깝지만 압력의 영향을 받습니다.

값: WC 분말 6.0-8.0 g/cm³ (압착 후).

적용분야: 카바이드 성형.

소결 밀도:

정의: 분말을 소결한 후 고체 블록의 밀도로 실제 밀도에 가깝습니다.

값: WC 계 초경합금 14.0-15.5 g/cm³.

응용분야: 소결품질 검증

겉보기 밀도:

정의: 특정 용기에 담긴 분말의 겉보기 질량 대 부피 비율로, 일반적으로 저장과 운송에 사용됩니다.

값: 겉보기 밀도와 유사, 4.0-5.0 g/cm³.

실험 데이터

파우더 타입	진밀도(g/cm ³)	체적 밀도(g/cm ³)	탭 밀도(g/cm ³)	겉보기 밀도(g/cm ³)
WC (1 μm)	15.63	4.55	5.62	4.50
WC (5 μm)	15.63	4.90	6.17	4.85
WC-12Co	14.2	4.24	4.90	4.20

데이터 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 테스트로, 정보는 China Tungsten Online 웹사이트에서 가져왔습니다.

요약하다

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 카바이드 분말의 밀도에는 진밀도(15.63 g/cm^3 , WC 단량체), 겉보기 밀도($4.2\text{--}5.0 \text{ g/cm}^3$), 탭 밀도($5.3\text{--}6.2 \text{ g/cm}^3$), 겉보기 밀도($4.0\text{--}5.0 \text{ g/cm}^3$) 및 기타 파생 밀도(예: 압축 및 소결 밀도)가 포함됩니다. 각 밀도는 헬륨 치환법(진밀도), 측정 실린더법(벌크/탭 밀도), 홀 유량법(겉보기 밀도)과 같은 특정 방법으로 측정되며, 이는 분말의 다양한 특성을 반영합니다. 응용 분야에서 이러한 밀도는 초경합금, 용사 및 분말 야금 공정의 충전 효율과 제품 품질을 보장합니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 정보 제공). 입자 모양과 건조 조건을 최적화하면 밀도 측정의 정확도를 높일 수 있습니다.



제 2 장: 텅스텐 카바이드 분말의 제조 방법

텅스텐 카바이드 분말(WC)은 초경합금 및 내마모성 코팅의 기본 소재입니다. 경도 HV 2000~2500, 입자 크기 0.1~10 μm 등의 특성은 제조 방법에 따라 직접적인 영향을 받습니다. 제조 공정은 19 세기 후반 실험실 연구로부터 현대 산업 생산으로 발전했으며, 다양한 기술 경로가 형성되었습니다. 이 장에서는 전통적인 고온 침탄, 화학 기상 증착(CVD), 기계적 합금화, 플라즈마법, 그리고 용매 열법과 같은 신기술을 포함한 텅스텐 카바이드 분말의 주요 제조 방법을 체계적으로 소개하고, 원리, 공정 변수, 제품 특성 및 장단점을 분석하며, 독자에게 포괄적인 기술적 관점을 제공합니다.

2.1 텅스텐 카바이드 분말의 고온 탄화 방법

텅스텐 카바이드 분말의 고온 침탄법은 산업 생산에서 가장 널리 사용되는 기술입니다. 그 역사는 20 세기 초 독일의 위디아(Widia) 공구 개발로 거슬러 올라갑니다. 이 방법은 현재 초경합금 산업의 기본 공정으로 자리 잡았습니다. 이 방법은 텅스텐 분말을 고온에서 탄소원과 직접 반응시켜 텅스텐 카바이드 분말(WC)을 생산합니다. 성숙된 공정, 높은 생산량, 그리고 제어 가능한 비용 덕분에 전 세계 텅스텐 카바이드 분말 생산량의 80% 이상을 차지합니다(ITIA 2023). 본 절에서는 반응 메커니즘, 공정 흐름, 장비 선택, 매개변수 최적화, 제품 특성, 산업 적용 및 기술적 한계 등의 측면에서 이 주류 제조법을

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

종합적으로 분석합니다.

2.1.1 텅스텐 카바이드 분말의 고온 탄화의 기본 원리

고온 탄화법은 고체 확산 반응을 기반으로 합니다. 텅스텐 분말(W)과 탄소원(예: 카본 블랙)을 고온(1800~2000° C)에서 화학적으로 결합하여 텅스텐 카바이드 분말(WC)을 형성합니다. 주요 반응식은 다음과 같습니다. W

+C→WCW+C→WC 이 반응은 표준 엔탈피 변화 $\Delta H = -38.1 \text{ kJ/mol}$ (25° C)을 갖는 발열 과정이지만 탄소 원자를 활성화하여 텅스텐 격자로 확산시키려면 높은 열이 필요합니다. 텅스텐의 체심 입방 구조(BCC, $a=3.165 \text{ \AA}$)는 고온에서 탄소 원자와 재결합하여 육방정계 WC(공간군 P6m2, $a=2.906 \text{ \AA}$, $c=2.837 \text{ \AA}$, JCPDS 51-0939)를 형성합니다. XRD 분석 결과, 생성물의 특징적인 피크가 $2\theta=35.641^\circ$ (100 개 결정면)와 48.298° (101 개 결정면)에 위치하는 것으로 나타나 단일상 WC가 형성되었음을 확인하였다.

텅스텐이 WO_3 (녹는점 1473° C)로 산화되는 것을 방지하기 위해 환원성(예: H_2) 또는 불활성(예: Ar) 분위기에서 수행해야 합니다. 부반응으로는 $2W+C \rightarrow W_2C$, $2W+C \rightarrow W_2C$ (탄소 부족 시 <6.10%), $WC \rightarrow W_2C+CWC \rightarrow W_2C+C$ (>2100° C 분해) 등이 있습니다. 탄소 함량 관리가 핵심이며, 이론값은 6.13%(질량 분율)이고, 산업적 범위는 6.10%-6.18%(GB/T 4295-2008)이며, 편차는 상 상태와 성능에 영향을 미칩니다.

2.1.2 텅스텐 카바이드 분말의 고온 탄화 공정 흐름

텅스텐 카바이드 분말의 산업적 제조를 위한 고온 탄화 방법에는 다음과 같은 단계가 포함되며, 각 단계는 제품의 일관성을 보장하기 위해 정밀하게 제어되어야 합니다.

원자재 선정 및 준비

텅스텐 분말

순도 >99.9%, 산소 함량 <0.03% (300 ppm), FSSS 입자 크기 1-10 μm (GB/T 25995). 원료는 일반적으로 수소 환원 WO_3 (예: 중국 주저우에서 생산되는 APT 환원 텅스텐 분말)입니다.

탄소원

고순도 카본블랙(C, 순도 > 99.9%, 입자 크기 < 1 μm , 비표면적 > 10 m^2 / g) 또는 흑연 분말(입자 크기 5-20 μm , 가격은 낮지만 활성이 약간 낮음).

비율

W:C 몰 비율은 1:1.03-1.05이며, 휘발 및 부반응(예: W_2C 형성)을 보상하기 위해 약간 과도한 탄소가 포함되어 있습니다.

혼합

5:1~10:1의 볼 대 재료 비율을 가진 행성형 볼 밀(예: Fritsch Pulverisette 6)과 WC 또는 강철 볼을 사용하고 회전 속도가 150~300rpm인 상태에서 2~4 시간 동안 작업합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

첨가물

0.5%-1% 스테아르산(응집 방지용), 혼합 균일성은 SEM 으로 확인(입자 분포 RSD < 5%).

환경

불활성 분위기(Ar) 또는 진공을 사용합니다.

로딩 및 전처리

혼합 분말은 0.5-0.8 g/ cm³ 의 충전 밀도를 갖는 흑연 보트(순도>99.95%, 크기 50×20×10 cm)에 적재되었습니다.

예열하다

300~500° C, H₂(0.2~0.5 L/분)를 통과시켜 30~60 분 동안 수분과 휘발성 물질을 제거합니다.

고온 탄화

장비

튜브로(단일 튜브, 내경 10-20cm) 또는 연속 푸시보트로(여러 보트, 생산량 >100kg/배치).

온도

1800~2000° C, 가열 속도 5~10° C/분, 2~4 시간 동안 따뜻하게 유지됩니다.

대기

H₂(유량 0.5-1 L/min)는 WO_x를 감소시키고, Ar (0.2-0.5 L/min)은 과연소를 방지합니다 .

감시 장치

열전대(W-Re 형, 정확도 ±5° C), 온라인 가스 분석기(CO, CO₂ 감지).

냉각 및 후처리

급속 냉각으로 인한 균열을 방지하기 위해 자연적으로 <100° C 까지 냉각합니다(Ar 분위기, 6~8 시간).

연마

에어젯 밀 또는 볼 밀을 FSSS 1-5 μm 로 조정하고 체질합니다(200 메시, 10 μm 이상의 입자 제거).

청소

필요한 경우 희석된 HCl(5%)로 세척하여 표면 산화물을 제거하고 건조합니다(80° C, 2 시간).

2.1.3 텅스텐 카바이드 분말의 고온 탄화 공정 매개변수 및 제어

온도

범위: 1800-2000° C.

<1700° C: 반응이 완료되지 않고 W 와 W₂C 가 남습니다(XRD 에서 W₂C 피크 검출, 2θ=39.5°).

2100° C: WC가 분해되어 자유탄소(>6.18%)와 W₂C 를 생성하고 경도가 감소합니다(HV 1600-2000).

최적화: 1900° C±20° C, 탄화 효율 >98%(화학 적정으로 검증).

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

목표: 6.10%-6.18% (GB/T 4295-2008).

제어: 탄소 휘발(약 0.02%-0.05%)을 고려하여 초기 W:C 비율은 1:1.05 입니다.

시험방법: 연소법(GB/T 5124.1), 편차 $\pm 0.05\%$, 유리탄소 $< 0.5\%$.

대기

H₂: 유량 0.5-1 L/min, 압력 0.1-0.2 MPa, 산소 불순물 제거(O₂ < 10 ppm).

Ar: 순도 $> 99.99\%$, H₂의 과도한 환원으로 인한 자유 탄소 침전을 방지합니다.

Ar 로 전환하여 에너지 소비를 줄일 수 있습니다.

절연 시간

범위: 2-4 시간.

< 2 시간: 탄화율 $< 95\%$, 잔류 W(XRD 에서 검출된 W 피크, $2\theta = 40.3^\circ$).

4 시간: 입자가 더 커지고($> 10 \mu m$, SEM 관찰) 경도가 감소합니다.

최적화: 3 시간 ± 15 분, 입자 균일성이 가장 좋습니다(RSD $< 10\%$).

가열 속도

5~10° C/분. 너무 빠르면(15° C/분 이상) 보트 내부 온도 차이(50° C 이상)가 발생하고 제품이 고르지 않게 됩니다.

2.1.4 텅스텐 카바이드 분말의 고온 탄화 설비 및 산업화

장치 유형

튜브로: 단일 배치 10-50kg, 소규모 및 중규모(예: 실험실이나 소규모 공장)에 적합합니다.

예: 중국 창사에 있는 한 공장에서는 내경이 15cm 인 관형로를 사용하여 하루에 30kg 을 생산합니다.

푸시보트 용광로: 연속 생산, 단일 용광로 $> 100kg$ /배치, 주류 산업 선택.

예: 주저우 시멘트 카바이드 공장은 연간 생산량이 10,000 톤인 10 척 푸시보트 용광로를 사용합니다.

주요 구성 요소: 흑연 보트(온도 저항 $> 2200^\circ C$), W-Re 열전대, SiC 가열 소자.

에너지 소비 및 효율성

에너지 소비량: 텅스텐 카바이드 분말 1 톤당 약 5000~6000kWh (난방 및 단열 포함).

효율성: 단일로 사이클은 12~16 시간(냉각 포함)이고, 푸시보트로는 장비 활용률이 90%에 이릅니다.

자동화

최신 장비에는 온도, 분위기 및 배기가스 구성(CO $< 0.1\%$)을 실시간으로 모니터링하는 PLC 제어(Siemens S7-300)가 장착되어 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

2.1.5 텅스텐 카바이드 분말 고온탄화법의 제품 특성

화학 성분

총탄소 : 6.10%-6.18% (연소방법, GB/T 5124.1).

유리탄소: <0.5% (적정법, GB/T 5124.2).

불순물: Fe<0.05%, O<0.02% (ICP-OES, GB/T 5124.4).

물리적 특성

입자 크기: 1-5 μm (FSSS, GB/T 25995), 0.5-10 μm 까지 조정 가능 (SEM 검증).

체적 밀도: 12.0-14.0 g/cm^3 (Scott 체적계, GB/T 5314).

형태: 날카로운 모서리와 표면 거칠기 Ra 0.1-0.5 μm (AFM 으로 측정)을 가진 다면체 입자입니다.

비표면적: 0.5-2 m^2 / g (BET 방법), 입자 크기가 작아질수록 증가합니다.

미세구조

단일상 WC(XRD, $2\theta=35.641^\circ$ 에서 가장 강한 피크), W_2C 또는 유리 탄소 피크 없음.

결정립계가 명확하고 결함이 거의 없습니다(TEM 관찰, 격자변연 $d=2.518\text{\AA}$).

성능

경도: HV 2000-2200 (ASTM E384, 하중 1kg).

압축강도 : 소결 후 4000MPa 이상(WC-Co, Co 10%).

2.1.6 텅스텐 카바이드 분말의 고온 탄화의 산업적 응용 및 사례

초경 공구

중국 주저우 시멘트 카바이드 공장: 연간 텅스텐 카바이드 분말 12,000 톤 생산(2023 년), FSSS 2-5 μm , 선삭 공구 및 밀링 커터용(경도 HV 1500-1800, 수명 >500 분).

Sandvik, 스웨덴: 1-3 μm WC 분말을 사용하여 절삭 속도가 200m/min 이상인 CNC 공구를 준비합니다.

내마모성 부품

케나메탈, 미국: 5-10 μm WC 분말은 광산 드릴 비트를 만드는 데 사용되며, 충격 저항성은 $>25\text{J/cm}^2$ 이고 수명이 3 배 연장됩니다.

중국 뤼양의 한 광산: WC 분말은 암석 드릴링 도구에 사용되며, 그 내마모성은 고속도강보다 우수합니다(마모율 $<0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

국제 표준

GB/T 4295-2008: 총 탄소 편차 $\pm 0.05\%$, 유리 탄소 $<0.5\%$.

ISO 4499-2:2020: 입자 크기 균일성 요구 사항(RSD $<10\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1.7 텅스텐 카바이드 분말의 고온 탄화의 장점, 단점 및 개선 방향

이점

성숙한 기술: 100 년 역사, 전 세계적으로 적용 가능, 안정적인 기술.

대량 생산: 단일로 > 100kg, 산업 수요 충족(예: 중국은 전 세계 생산량의 50%를 차지, 연간 약 30,000 톤).

비용이 저렴합니다: 50-80 위안/kg(중국텅스텐온라인 2023)으로 CVD 법(500-1000 위안/kg)보다 경제적입니다.

제어 가능한 품질: 카바이드 표준(HV 1500-2200) 충족.

단점

높은 에너지 소비량: 5000-6000kWh/톤, 탄소 배출량 약 2-3 톤 CO₂/톤(주로 전기난방).

거친 입자: >1 μm, 나노스케일 WC(<100 nm)를 준비하는 것을 어렵게 만들어 고급 응용 분야에 제한을 줍니다.

배치 변동성: 보트 간의 온도 기울기(±20° C)로 인해 입자 크기 분포가 넓어졌습니다(Span>1.5).

개선 방향

저온 탄화: 촉매(예: Ni, 0.1%-0.5%)를 첨가하여 온도를 1500-1600° C로 낮추면 20%의 에너지를 절약할 수 있습니다(연구 중).

입자 미세화: 초기 텅스텐 분말 <1 μm, 보유 시간 단축(<2 시간), 목표 <0.5 μm.

녹화: 꼬리가스 H₂를 재활용하고, 카본블랙 사용을 줄이고, 탄소발자국을 줄이세요.

2.1.8 텅스텐 카바이드 분말 고온 탄화의 산업 현황 및 전망

세계 상황

중국: 연간 생산량은 3 만 톤으로 전 세계의 50%를 차지합니다(중국텅스텐온라인 2023).

주요 생산 지역은 후난성과 장시성입니다.

유럽 및 아메리카: 미국의 케나메탈과 독일의 세라티짓은 연간 약 5,000 톤을 생산하며, 품질(순도>99.95%)에 중점을 두고 있습니다.

기술 동향

자동화: 푸시보트 퍼니스 통합 센서(O₂, CO 모니터링)를 통해 일관성을 개선합니다.

에너지 절감: 저항로를 유도도로 업그레이드하여 에너지 소비량을 4000kWh/톤으로 줄였습니다(시범 단계).

나노가공: 이후의 기계적 분쇄와 결합하여 3D 프린팅의 요구 사항을 충족하기 위해 WC 분말 < 0.5 μm 을 개발했습니다.

텅스텐 카바이드 분말 생산의 초석으로서 고온탄소화 방법은 앞으로도 효율성, 환경 보호 및 정교화 측면에서 최적화될 것입니다.

2.2 텅스텐 카바이드 분말의 화학 기상 증착(CVD)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.2.1 텅스텐 카바이드 분말 CVD 법의 기본 원리

화학 기상 증착(CVD)은 기체 반응을 통해 텅스텐 카바이드 분말을 직접 생성합니다. 일반적인 반응은 다음과 같습니다. $WC_{l6} + CH_4 + H_2 \rightarrow WC + 6HCl$ ($900 \sim 1100^\circ C$). 기체 상태의 전구체는 고온에서 분해되고, 탄소와 텅스텐 원자가 증착되어 나노 크기의 분말 제조에 적합한 WC 결정을 형성합니다.

2.2.2 텅스텐 카바이드 분말 CVD 법의 공정 흐름

원료 가스화: WC_{l6} (끓는점 $347^\circ C$)를 가열하여 가스화하고, CH_4 와 H_2 를 비율에 맞게 혼합합니다.

반응: 가스를 반응 챔버(석영관, $900 \sim 1100^\circ C$, 압력 $10 \sim 100 Pa$)에 주입하여 WC를 증착하고 생성합니다.

수집: 생성물은 응축기를 통해 수집되고, 테일가스(HCl)는 알칼리성 용액으로 중화됩니다.

후처리: 가볍게 갈아서 체로 걸러 목표 입자 크기($<100 nm$)를 만듭니다.

2.2.3 텅스텐 카바이드 분말 CVD 법의 공정 매개변수

온도: $900 \sim 1100^\circ C$. 온도가 너무 높으면 W_2C 가 생성되고, 온도가 너무 낮으면 반응이 완료되지 않습니다.

압력: $10 \sim 100 Pa$, 낮은 압력은 나노입자 형성에 도움이 됩니다.

가스 비율: $CH_4 : WC_{l6} = 1 : 1 \sim 1.5:1$, WC_{l6} 를 환원시키기 위해 H_2 가 과량($10 \sim 20$ 배) 첨가됨.

2.2.4 텅스텐 카바이드 분말 CVD 법의 제품 특성

입자 크기: $20 \sim 100 nm$ (TEM 측정).

순도: $>99.95\%$, 산소 함량 $<50 ppm$.

형태: 거의 구형, 비표면적 $20 \sim 50 m^2 / g$ (BET 방법).

2.2.5 텅스텐 카바이드 분말 CVD 법의 장단점

장점: 입자 크기가 작고, 순도가 높으며, 고정밀 응용 분야에 적합합니다.

단점: 장비가 복잡함(진공 시스템), 생산량이 낮음(kg 단위/배치), 비용이 높음(약 $500 \sim 1000$ 위안/ kg).

2.2.6 텅스텐 카바이드 분말 CVD 법의 적용

항공용 코팅 및 촉매 담체에 사용됩니다. 예를 들어, 미국의 GE는 CVD(화학 기상증착)법을 사용하여 $1200^\circ C$ 이상의 내열성을 가진 WC 코팅(경도 HV 2600)을 제조합니다.

2.3 텅스텐 카바이드 분말의 기계적 합금화

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3.1 텅스텐 카바이드 분말의 기계적 합금화의 기본 원리

기계적 합금화(MA)는 고에너지 볼 밀링을 사용하여 텅스텐 분말과 탄소 분말을 고체 상태에서 반응시켜 WC 를 형성합니다. 기계적 에너지는 원자 확산과 격자 재구성을 유도하며, 반응식은 고온 침탄과 동일합니다($W + C \rightarrow WC$).

2.3.2 텅스텐 카바이드 분말의 기계적 합금화 공정 흐름

원료 혼합 : 텅스텐 분말($1-5 \mu m$)과 카본블랙($<1 \mu m$)을 1:1.05 의 몰 비율로 혼합합니다.

볼 밀링: 고에너지 볼 밀(행성형, 볼과 재료의 비율 10:1, 회전 속도 300~500rpm)에 넣고 불활성 분위기(Ar)에서 20~50 시간 동안 분쇄합니다.

후처리: 큰 입자를 제거하기 위한 선별, 제품 입자 크기 $<100 nm$.

2.3.3 텅스텐 카바이드 분말의 기계적 합금화 공정 매개변수

회전 속도: 300~500 rpm. 너무 낮으면 반응이 불완전해지고, 너무 높으면 불순물(예: Fe)이 유입됩니다.

분쇄시간 : 20~50 시간, XRD 로 WC 상 형성을 검출.

볼과 소재의 비율: 10:1-15:1, 오염을 피하기 위해 일반적으로 WC 볼을 사용합니다.

2.3.4 텅스텐 카바이드 분말 기계적 합금화법의 제품 특성

입자 크기: 50-100 nm(TEM).

순도: >99%, Fe 불순물 $<0.1\%$ (ICP-OES).

형태: 결정립계 결함이 많은 불규칙한 입자입니다.

2.3.5 텅스텐 카바이드 분말의 기계적 합금화의 장단점

장점: 낮은 온도($<100^\circ C$), 낮은 에너지 소비, 나노 WC 에 적합.

단점: 불순물이 유입될 위험이 있고 생산 주기가 길다(시간).

2.3.6 텅스텐 카바이드 분말의 기계적 합금화 방법 적용

PCB 마이크로 드릴링(입자 $<0.5 \mu m$, 경도 HV 2200)과 같은 초미립 시멘트 카바이드의 경우.

2.4 텅스텐 카바이드 분말의 플라즈마법

2.4.1 텅스텐 카바이드 분말 플라즈마법의 기본 원리

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

플라즈마 방식은 고온 플라즈마($>5000^{\circ}\text{C}$)를 사용하여 텅스텐 분말과 탄소원을 순간적으로 반응시켜 WC를 생성합니다. 고온 플라즈마는 높은 에너지 밀도를 제공하고 기체 또는 액상 반응을 촉진합니다.

2.4.2 텅스텐 카바이드 분말 플라즈마법의 공정 흐름

Ar)를 통해 플라즈마 건으로 공급됩니다.

반응: 플라즈마(전력 $10\sim 50\text{kW}$, 온도 $5000\sim 10000^{\circ}\text{C}$)가 CH_4 를 분해하고, 텅스텐이 녹아 탄소와 반응합니다.

냉각: 제품은 응축실($10\sim 6^{\circ}\text{C/s}$)에서 빠르게 냉각되었고 분말이 수집되었습니다.

2.4.3 텅스텐 카바이드 분말 플라즈마법의 공정 매개변수

전력: $10\sim 50\text{kW}$, 입자 크기에 영향을 미칩니다.

가스 유량: Ar $20\sim 50\text{ L/min}$, CH_4 $1\sim 5\text{ L/min}$.

냉각 속도: 입자 성장을 방지하기 위해 $>10\sim 5^{\circ}\text{C/s}$.

2.4.4 텅스텐 카바이드 분말 플라즈마법의 제품 특성

입자 크기: $50\sim 200\text{ nm}$.

순도: $>99.9\%$, 산소 함량 $<100\text{ ppm}$.

외관: 구형 입자, 유동성이 양호함($>20\text{ s/50g}$).

2.4.5 텅스텐 카바이드 분말 플라즈마 방법의 장단점

장점: 입자가 작고 구형이어서 분무에 적합합니다.

단점: 장비 가격이 비싸고(수백만 달러) 에너지 소모가 많습니다.

2.4.6 텅스텐 카바이드 분말 플라즈마법의 적용

스웨덴의 Sandvik에서 생산한 WC 분말(경도 HV $1200\sim 1400$)과 같은 HVOF 분무 코팅에 사용됩니다.

2.5 텅스텐 카바이드 분말의 용매열법

2.5.1 텅스텐 카바이드 분말 용매열법의 기본 원리

용매열법은 고압 용매와 오토클레이브에서 유기 탄소원을 분해하여 액상 반응을 통해 저온($<300^{\circ}\text{C}$)에서 WC를 합성합니다. 예: $\text{WO}_3 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{WC} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

2.5.2 텅스텐 카바이드 분말 용매 열처리 공정 흐름

원료 준비: WO_3 와 포도당($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)을 몰 비율 $1:2$ 로 물에 녹입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

반응: 용액을 오토클레이브에 넣고 200~300° C, 압력 10~20 MPa 로 12~24 시간 동안 방치합니다.

후처리: 여과, 세척(탈이온수), 건조(80° C), <100 nm 로 분쇄.

2.5.3 텅스텐 카바이드 분말 용매열법의 공정 매개변수

온도: 200~300° C, 200° C 미만에서는 반응이 완료되지 않습니다.

압력: 10~20 MPa, 탄화 효율에 영향을 미칩니다.

시간: 12~24 시간, XRD 는 WC 상을 감지합니다.

2.5.4 용매열법에 의한 텅스텐 카바이드 분말의 제품 특성

입자 크기: 20~50 nm.

순도: >99%, 산소 함량 <200 ppm.

형태: 거의 구형이며 응집이 적습니다.

2.5.5 텅스텐 카바이드 분말의 용매열법의 장단점

장점: 낮은 온도와 에너지 절약, 작은 입자 크기, 환경 친화적입니다.

단점: 수율이 낮음(g 등급/배치), 공정이 아직 성숙되지 않음.

2.5.6 텅스텐 카바이드 분말에 대한 용매열법 적용

연료 전지 전극(비표면적 > 50 m²/g)에 사용하기 위한 연구 단계입니다.

참고문헌

GB/T 4295-2008, 텅스텐 카바이드 분말, 중국 국가표준화국, 2008.

고온탄소화 등의 공정에서 제품 품질 관리에 적용할 수 있는 텅스텐 카바이드 분말의 기술적 요구 사항 및 시험 방법이 명시되어 있습니다.

GB/T 5124.1-2008, 시멘트 카바이드의 화학 분석 방법 - 제 1 부: 총 탄소 함량 측정, 중국 국가표준화국, 2008.

연소방법은 시멘트 카바이드의 총 탄소 함량을 결정하기 위해 지정되었으며, 텅스텐 카바이드 분말의 구성을 검증하는 데 사용됩니다.

GB/T 5124.2-2008, 시멘트 카바이드의 화학 분석 방법 - 제 2 부: 유리 탄소 함량 측정, 중국 국가 표준화 관리국, 2008.

산 용해 적정법은 유리탄소를 측정하기 위해 지정되며 고온탄화법으로 생산된 제품의 순도를 평가하는 데 사용됩니다.

카바이드 - 4 부: 불순물 원소 측정, 중국 국가표준화국, 2008 년.

ICP-OES 방법은 Fe 등의 불순물을 측정하기 위해 지정되었으며 고온탄소화 및 기계적 합금화 방법의 품질 분석에 사용됩니다.

GB/T 5314-2011, 시멘트 카바이드용 분말, 중국 국가표준화국, 2011.

다양한 제조 방법에 적용 가능한 시멘트 카바이드 분말의 기술적 요구 사항과 물리적 특성 시험을 명시합니다.

Fisher Sub-Sieve Sizer(FSSS) 입자 크기 측정, 중국 국가표준화국, 2010.

Fisher 입도 분석기의 측정 방법은 고온 탄화와 같은 공정에서의 입도 제어를 위해

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

지정됩니다.

장리더, 나노물질과 나노구조, 과학출판사, 2002.

CVD와 기계적 합금화의 기본 원리를 포함하여 나노소재의 제조 기술을 소개합니다.

중국 텅스텐 산업 발전, 야금 산업 출판사, 1998년.

고온탄소화법의 응용 사례를 포함하여 중국에서 텅스텐 카바이드 분말의 산업화 과정을 기록합니다.

Lassner, E., & Schubert, WD (1999). 텅스텐: 원소, 합금 및 화합물의 특성, 화학, 기술. Springer.

고온탄소침탄, CVD 및 기타 방법을 포함하여 텅스텐과 그 화합물의 특성과 제조 기술에 대한 포괄적인 소개입니다.

우파디아야, GS (1998). 초경합금 텅스텐 카바이드: 생산, 특성 및 시험. 윌리엄 앤드루 출판사.

텅스텐 카바이드 분말의 산업적 생산과 성능 테스트에 대해 자세히 설명하며, 특히 고온 탄화와 기계적 합금화에 중점을 둡니다.

German, RM (1994). 분말야금과학. 금속분말산업연합회.

기계적 합금화와 플라즈마 방법의 이론과 실재를 포함한 분말 야금 기술에 대한 체계적인 소개입니다.

국제텅스텐산업협회(ITIA) (2023). "텅스텐 통계 2023", ITIA 연례 보고서.

고온탄소침탄법의 주류적 위치를 반영하여 전 세계 텅스텐 및 텅스텐 카바이드 분말 생산 데이터를 제공합니다.

ASTM E384-17 (2017). 재료의 미세 압입 경도 표준 시험 방법. ASTM International.

소결 후 텅스텐 카바이드 분말의 특성을 평가하는 데 사용되는 미소경도 시험 방법을 지정합니다.

ISO 4499-2:2020 (2020). 초경합금 - 미세조직의 금속학적 측정 - 제2부: WC 입자 크기 측정. 국제표준화기구(ISO).

고온 탄화 제품의 품질 관리에 적합한 WC 입자 크기를 미세하게 측정하는 방법을 지정합니다.

Benjamin, JS (1970). "기계적 합금화를 통한 분산 강화 초합금", Metallurgical Transactions, 제1권, 2943-2951쪽.

기계적 합금 기술이 처음으로 제안되어 텅스텐 카바이드 분말 제조에 사용될 수 있는 기반을 마련했습니다.

Suryanarayana, C. (2001). "기계적 합금화 및 밀링", 재료과학 발전, 제46권, 1-184쪽. 텅스텐 카바이드 분말의 나노 크기 조정을 포함하여 기계적 합금화의 공정 매개변수와 응용 분야를 검토합니다.

일본표준협회(2005). JIS H 7803:2005, 텅스텐 카바이드 분말의 시험 방법. 일본표준협회. 텅스텐 카바이드 분말의 화학적, 물리적 시험 방법은 고온탄소화법의 제품 분석을 참조할 수 있습니다.

ГОСТ 25599.1-83 (1983). "초경합금 분말 - 탄소 함량 측정 방법", 소련 국가표준위원회.

소련 표준은 고온 탄화법에 적용 가능한 시멘트 카바이드 분말의 탄소 함량에 대한 화학 분석 방법을 규정합니다.

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

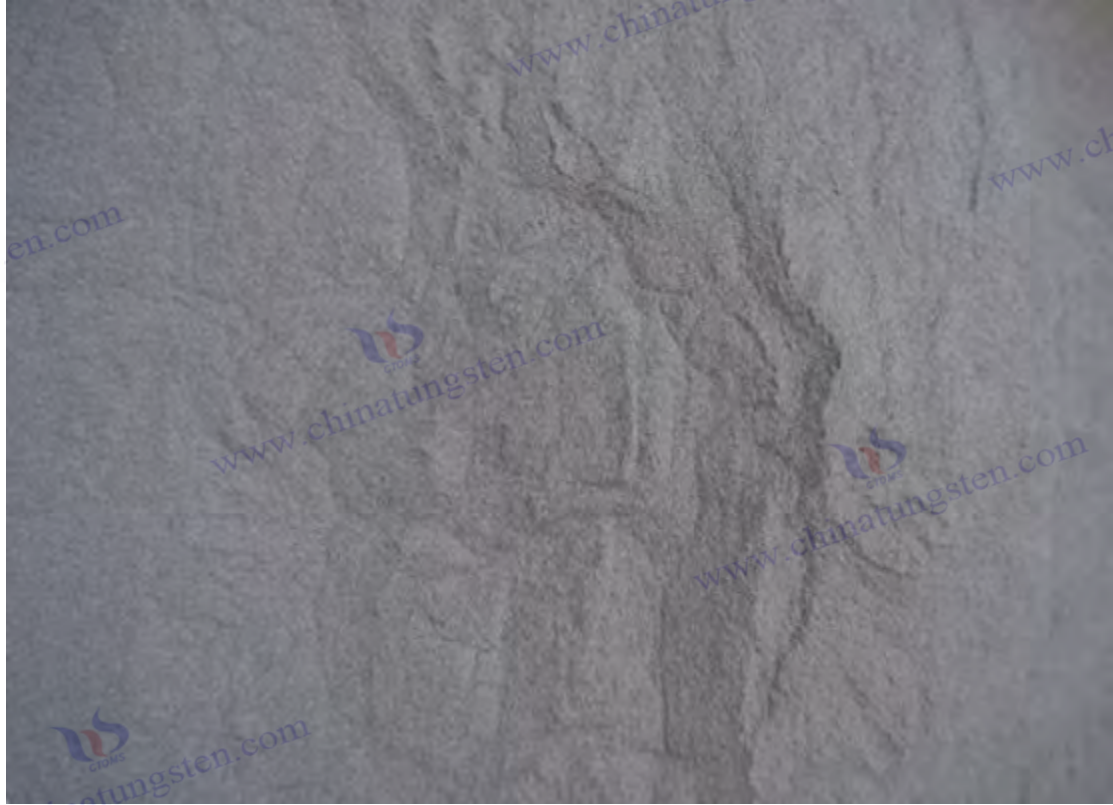
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

DIN EN ISO 4499-2:2020 (2020). 초경합금 - 미세구조의 야금학적 측정 - 2 부: WC 입자 크기 측정. 독일 표준화 연구소.

고온 탄화 입자 분석을 위한 ISO 4499-2 와 일치하는 ISO 표준의 독일어 버전입니다.

KS D 9502:2015 (2015). 텅스텐 카바이드 분말의 입도 분포 측정. 한국표준협회.

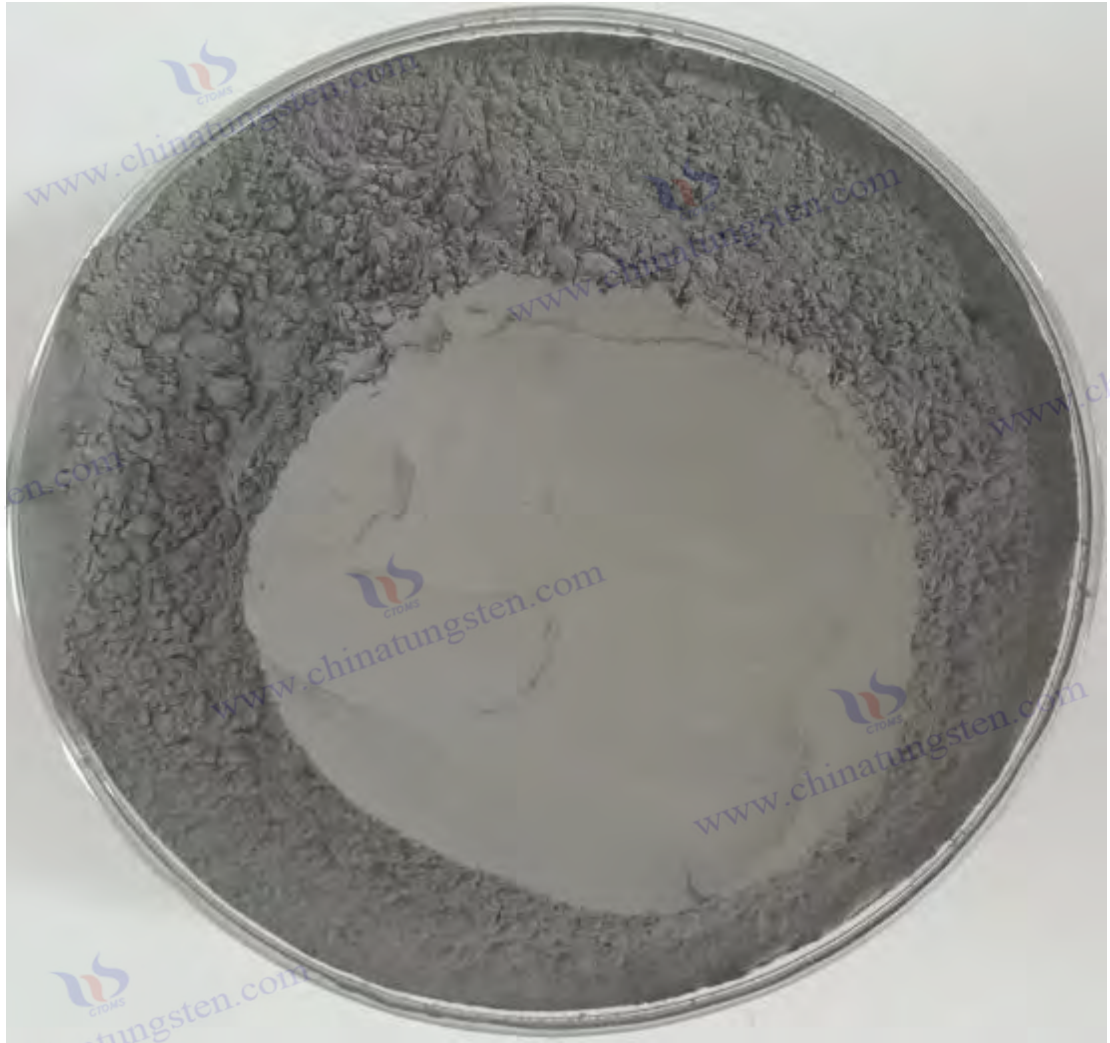
한국표준은 고온탄소화법으로 제조된 제품에 사용될 수 있는 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 분포에 대한 시험 방법을 규정하고 있습니다.



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



제 3 장 텅스텐 카바이드 분말의 미세조직 및 특성화 기술

텅스텐 카바이드 분말(WC)은 초경합금, 내마모성 코팅 및 고성능 공구 재료의 핵심입니다. 그 미세 구조와 성능은 최종 제품의 품질을 결정합니다. 원자 수준의 결정 배열에서 입자의 형태학적 분포, 화학 조성의 정밀한 제어에서 물리적 및 기계적 특성의 포괄적인 평가에 이르기까지 텅스텐 카바이드 분말의 특성은 모두 제조 공정의 산물이자 적용 효과의 초석입니다. 예를 들어, 최대 HV 2000-2500의 경도를 가진 WC 공구는 고속 절삭 중에도 날카로움을 유지할 수 있으며, 뛰어난 내마모성(마모율 $<0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)을 가진 WC 코팅은 가혹한 환경에서 서비스 수명을 연장할 수 있습니다. 이 모든 것은 미세 구조의 고유성 때문입니다. 이 장에서는 자연어로 풍부한 논의를 통해 텅스텐 카바이드 분말의 미세 구조적 특성과 특성화 기술을 체계적으로 소개하고, 과학적 데이터와 산업 실무를 결합하여 X선 회절(XRD), 주사 전자 현미경(SEM), 화학 분석 및 성능 테스트 방법을 다루고, 이러한 특성이 연구실에서 생산 라인으로 어떻게 옮겨지는지 밝히고, 시멘트 카바이드 산업의 연구 개발과 응용에 대한 포괄적인 지침을 제공하는 것을 목표로 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

3.1 텅스텐 카바이드 분말의 미세조직 특성

텅스텐 카바이드 분말의 미세 구조는 결정 구조, 입자 크기, 입자 형태 및 결합 특성을 포괄하는 성능의 근본적인 요소입니다. 이러한 특성은 제조 공정(고온 침탄법의 조대 입자 또는 CVD 법의 나노 스케일 구조 등)의 차이를 반영할 뿐만 아니라, 소결, 프레스 또는 분사 공정에서도 핵심적인 역할을 합니다.

3.1.1 결정구조

텅스텐 카바이드 분말의 핵심은 육방정계 결정 구조(공간군 $P6m2$, $a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$, JCPDS 51-0939)에 있습니다. 이러한 긴밀한 원자 배열은 우수한 경도와 화학적 안정성을 제공합니다. 텅스텐 원자와 탄소 원자는 교대로 적층되어 있으며, 각 텅스텐 원자는 6 개의 탄소 원자로 둘러싸여 안정적인 육방정계 조밀 충전 네트워크를 형성합니다. XRD 분석 결과, WC 의 특징적인 회절 피크는 $2\theta=35.641^\circ$ (100 번째 결정면)와 48.298° (101 번째 결정면)에 위치합니다. 이러한 피크 위치는 분말의 순도를 판단하는 "지문"과 같습니다. 그러나 이상적인 단일상 WC 는 실제 생산에서 항상 쉽게 구할 수 있는 것은 아닙니다. 탄소 함량이 부족하면($<6.10\%$), W_2C 상($2\theta=39.5^\circ$)이 생성되어 경도가 낮아집니다(HV 약 1800). 탄소 함량이 과도하면($>6.18\%$), 자유 탄소($2\theta=26.6^\circ$)가 석출되어 소결 강도가 약해집니다. 이러한 미묘한 변화는 제조 과정에서 탄소원 비율과 분위기 조절이 매우 중요함을 보여줍니다.

3.1.2 입자 크기 및 분포

입자 크기는 미세구조의 핵심 변수이며 텅스텐 카바이드 분말의 기계적 특성에 직접적인 영향을 미칩니다. 산업계에서 입자 크기는 나노미터($<100\text{ nm}$)에서 마이크로미터($1\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$)까지 다양하며, 일반적으로 $1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ 가 사용됩니다. 고온 침탄법은 장시간 고온 반응($1800\text{--}2000^\circ\text{C}$)으로 인해 $5\text{ }\mu\text{m}$ 이상의 입자를 생성하기 쉬운 반면, 기계적 합금화 또는 플라즈마법은 고에너지 입력과 급속 냉각을 통해 100 nm 미만으로 제어할 수 있습니다. 입자 분포의 균일성은 스펜 값($(D_{90}\text{--}D_{10})/D_{50}$)으로 측정하며, 고품질 분말은 스펜 값 <1.5 , RSD $<10\%$ (ISO 4499-2:2020)를 요구합니다. 미세 입자($<1\text{ }\mu\text{m}$)는 경도(HV >2200)와 내마모성을 향상시키고, 거친 입자($>5\text{ }\mu\text{m}$)는 내충격성($>25\text{ J/cm}^2$)을 향상시킵니다. 크기와 성능의 이러한 균형은 산업 디자인의 예술입니다.

3.1.3 입자 형태

입자 형태는 텅스텐 카바이드 분말의 "외관"으로, 유동성($>20\text{ 초}/50\text{g}$) 및 소결 거동에 영향을 미칩니다. 고온 탄화법으로 제조된 WC 는 대부분 다면체형이며, 날카로운 모서리와 표면 거칠기 $R_a\text{ }0.1\text{--}0.5\text{ }\mu\text{m}$ (AFM 측정)를 가집니다. 플라즈마법이나 CVD 법은 비표면적이 최대 $20\text{--}50\text{ m}^2/\text{g}$ (BET 법)에 달하고 유동성이 더 우수한 거의 구형의 입자를 생성합니다. 나노스케일 WC 는 높은 표면 에너지로 인해 응집이 용이하며, 강한 응집은 5%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

미관(SEM 관찰)이어야 합니다. 그렇지 않으면 프레스 중 결합이 발생하기 쉽습니다. 이러한 다양한 형태는 다양한 응용 분야에 적용 가능한 옵션을 제공합니다. 예를 들어, 구형 WC는 분무에 더 적합하고 다면체 WC는 소결 접합에 적합합니다.

3.1.4 결합 및 불순물

미세 구조는 완벽하지 않으며, 결정립계 결합과 불순물은 무시할 수 없는 요소입니다. TEM은 WC 결정립계의 전위 밀도가 일반적으로 $<10^6/\text{cm}^2$ 임을 보여줍니다. 너무 높으면($>10^7/\text{cm}^2$) 소결 강도($<4000\text{ MPa}$)가 감소합니다. Fe($<0.05\%$), Mo($<0.01\%$), O($<0.02\%$)와 같은 불순물은 미량이지만 성능에 영향을 미칩니다. 철은 불 밀링 오염에서 발생하고 산소는 산화에서 발생합니다. 둘 다 고온에서 취성 상(예: Fe_3C) 또는 산화물(WO_3)을 생성하여 인성을 약화시킬 수 있습니다($K_{IC}<10\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). 결합과 불순물을 제어하는 것이 분말 품질을 개선하는 핵심입니다.

3.2 텅스텐 카바이드 분말의 특성 분석 방법

특성 분석 기술은 텅스텐 카바이드 분말의 미세 구조를 탐구하는 "눈"과 같은 기술로, 결정 구조부터 표면 형태까지 다차원적인 분석적 관점을 제공합니다. 이러한 방법은 과학 연구의 기초적인 이해를 증진하고 업계에서 품질의 일관성을 보장합니다.

3.2.1 X선 회절(XRD)

XRD는 X선과 격자의 회절을 이용하여 텅스텐 카바이드 분말의 상 상태와 결정 매개변수를 밝힙니다. Bruker D8 Advance와 같은 장비는 Cu K α 방사선($\lambda=1.5406\text{ \AA}$)을 사용하고, $2\theta=20^\circ\sim80^\circ$, 스캔 간격 0.02° , 속도 $2^\circ/\text{min}$ 을 사용합니다. 시료 부피는 $0.5\sim1\text{ g}$ 에 불과하며, 평탄화 후 검사할 수 있습니다. 결과는 WC의 주요 피크가 $2\theta=35.641^\circ$ 임을 보여줍니다. $\text{W}_2\text{C}(39.5^\circ)$ 또는 $\text{W}(40.3^\circ)$ 가 나타나면 불완전한 탄화를 나타내며, 상 함량 정확도는 $\pm 0.5\%$ 입니다. XRD는 비파괴적이고 효율적이지만, 나노입자 크기는 Scherrer 공식과 결합하여 추정해야 합니다(오차 $\pm 10\text{ nm}$).

3.2.2 주사전자현미경(SEM)

SEM은 전자빔 스캐닝을 이용하여 텅스텐 카바이드 분말의 입자 형태와 크기 분포를 보여줍니다. 장비는 ZEISS Sigma 300이며, 전압은 5-15 kV, 배율은 100-50000 배, 분해능은 1 nm입니다. 샘플은 금도금(10 nm)되어야 하며, 진공도는 10^{-5} Pa 미만이어야 합니다. 이미지는 입자 크기가 $0.1\sim10\text{ }\mu\text{m}$ 이고, 균일도 RSD는 10% 미만이며, 응집을 확인할 수 있음을 보여줍니다. SEM은 직관적이지만 표면에만 국한되므로 다른 방법으로 보완해야 합니다.

3.2.3 투과전자현미경(TEM)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

TEM은 격자와 결함을 분석하기 위해 원자 수준까지 깊이 파고듭니다. FEI Tecnai G2 F20(200 kV) 장비를 사용하여 시료를 에탄올(50 W, 5 분)에 초음파로 분산시키고 구리 메쉬에 드롭 코팅합니다. 분해능은 0.24 nm입니다. 결과는 WC 격자 무늬($d=2.518 \text{ \AA}$)를 나타내며, 전위 밀도는 $<10^{-6} / \text{cm}^2$ 로 높은 품질을 나타냅니다. TEM은 정확하지만 시료 전처리가 복잡하고 주로 과학 연구에 사용됩니다.

3.2.4 원자간력현미경 (AFM)

AFM은 텅스텐 카바이드 분말의 표면 거칠기를 프로브로 스캐닝하여 측정합니다. Bruker Dimension Icon 장비, 실리콘 프로브, $10 \times 10 \mu\text{m}$ 스캐닝 결과 $R_a 0.1-0.5 \mu\text{m}$ 로, BET 법의 비표면적(편차 $<5\%$)과 일치합니다. AFM은 나노 WC의 표면 분석에 적합하지만, 대표성이 작은 영역에만 국한됩니다.

3.3 텅스텐 카바이드 분말의 화학 성분 분석

화학 성분은 텅스텐 카바이드 분말 품질의 초석이며, 안정성과 성능에 영향을 미칩니다. 분석 방법은 정확성과 실용성을 모두 고려해야 합니다.

3.3.1 총탄소 및 유리탄소 분석

총 탄소 함량은 고주파 연소-적외선 흡수법(GB/T 5124.1-2008)을 사용하여 측정합니다. LECO CS-844 장비는 1350°C 의 산소 유량($2-3 \text{ L/min}$)에서 작동하며, 정확도는 $\pm 0.01\%$ 이고, 결과는 6.10%에서 6.18% 사이여야 합니다. 유리 탄소는 산 용해 적정법(GB/T 5124.2-2008)을 사용하여 측정합니다. H_2SO_4 와 HNO_3 (1:1)를 30 분간 용해하며, 정확도는 $\pm 0.005\%$ 이고, $<0.5\%$ 입니다. 탄소 함량의 편차는 상 상태와 경도에 직접적인 영향을 미칩니다.

3.3.2 불순물 원소 분석

ICP-OES(GB/T 5124.4-2008)를 사용하여 Fe와 Mo와 같은 불순물을 측정했습니다. PerkinElmer Optima 8300 장비를 사용하여 시료를 $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ 에 용해했습니다. 분석 결과 $\text{Fe} < 0.05\%$, $\text{Mo} < 0.01\%$ 였으며, 검출 한계는 0.001% 였습니다. 불순물 관리는 원료 및 공정 단계부터 시작해야 합니다.

3.3.3 산소 함량 분석

산소 함량은 불활성 가스 용융법(ASTM E1019-18)으로 측정하며, LECO ONH836 장비는 1900°C 의 헬륨 가스에서 작동하며, 마이크론 WC $<100\text{ppm}$, 나노미터 WC $<200\text{ppm}$ 입니다. 과도한 산소는 소결 밀도를 감소시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4 텅스텐 카바이드 분말의 물리적 특성 시험

물리적 특성 시험은 처리 및 응용 특성을 평가하고 미시적 특성에서 거시적 특성으로의 연결 고리 역할을 합니다.

3.4.1 입자 크기 및 분포

레이저 회절법(GB/T 19077-2016)은 Malvern Mastersizer 3000 을 사용하며, 굴절률 2.5, 불투명도 10%-20%, $D_{50}=1-5\mu\text{m}$, $\text{Span}<1.5$ 를 사용합니다. Fisher 입도계(GB/T 25995-2010)는 $0.5-10\mu\text{m}$ 를 측정하며, 반복성은 3% 미만입니다. 입자 크기는 경도와 내충격성 간의 균형을 결정합니다.

3.4.2 체적 밀도 및 유동성

체적 밀도는 Scott 체적계(GB/T 5314-2011)로 측정하였으며, $12.0-14.0\text{ g/cm}^3$, $\text{RSD}<2\%$ 입니다. 유동성은 Hall 유량계(ASTM B213-20)로 측정하였으며, 20 s/50g 이상입니다. 높은 밀도와 유동성은 성형의 균일성을 보장합니다.

3.4.3 비표면적

Micromeritics ASAP 2020 을 사용한 BET 방법(ISO 9277:2010), 200°C 에서 탈기, 미크론 크기 $0.5-2\text{ m}^2/\text{g}$, 나노 크기 $20-50\text{ m}^2/\text{g}$. 높은 비표면적은 소결 활성을 향상시킵니다.

3.5 텅스텐 카바이드 분말의 기계적 성질 및 산업적 응용

기계적 특성은 텅스텐 카바이드 분말의 적용 가치를 반영하며 표준 시험을 통해 검증할 필요가 있습니다.

3.5.1 경도

비커스 경도 시험(ASTM E384-17), 하중 1kg, 15 초, 결과 HV 2000-2500, 편차 < 50 . 높은 경도는 미세한 입자와 단일상 구조에서 비롯됩니다.

3.5.2 내마모성

건조모래고무휠시험(ASTM G65-16), 모래 50-70 메시, 하중 130N, 마모율 $< 0.01\text{mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$, Cr_3C_2 보다 우수.

3.5.3 압축강도

단축 압축 시험(ISO 3327:2009), Instron 5985 장비, $>4000\text{ MPa}$ (WC-Co, Co 10%), 파단

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

변형률 <1%.

3.5.4 산업 적용 사례

중국의 한 초경합금 회사는 FSSS 2 μm WC 분말인 HV 2200 을 사용하며, 공구 수명이 500 분 이상입니다. 샌드빅은 D50<1 μm WC 분말을 사용하며, 코팅의 내마모성이 40% 향상되어 항공 터빈 블레이드에 사용됩니다.

참고문헌

GB/T 4295-2008, 텅스텐 카바이드 분말, 중국 국가표준화국, 2008. 텅스텐 카바이드 분말의 기술적 요구 사항 및 시험 방법을 명시합니다.

GB/T 5124.1-2008, 시멘트 초경의 화학 분석 방법 - 제 1 부: 총 탄소 함량 측정, 중국 국가 표준화 관리국, 2008. 총 탄소 함량은 연소법에 의해 측정해야 한다고 규정하고 있습니다.

GB/T 5124.2-2008, 초경합금의 화학 분석 방법 - 제 2 부: 유리 탄소 함량 측정, 중국 국가표준화국, 2008. 유리 탄소는 산 용해 적정법으로 측정해야 한다고 규정하고 있습니다.

카바이드 - 제 4 부: 불순물 원소 측정, 중국 국가표준화국, 2008. 불순물 원소를 측정하기 위해 ICP-OES 방법을 사용해야 한다고 규정하고 있습니다.

GB/T 5314-2011, 시멘트 카바이드 용 분말, 중국 국가표준화국, 2011. 시멘트 카바이드 분말의 성능 시험 방법을 명시합니다.

GB/T 19077-2016, 입자 크기 분포 - 레이저 회절법, 중국 국가표준화국, 2016.

레이저 회절법은 입자 크기 분포를 결정하는 데 사용됩니다.

Fisher Sub-Sieve Sizer(FSSS) 입자 크기 측정, 중국 국가표준화국, 2010. Fisher Sub-Sieve Sizer(FSSS) 입자 크기 측정 방법을 명시합니다.

Lassner, E., & Schubert, WD (1999). 텅스텐: 원소, 합금 및 화합물의 특성, 화학, 기술. Springer. 텅스텐 화합물의 미세구조와 특성을 소개합니다.

우파디아야, GS (1998). 초경합금 텅스텐 카바이드: 생산, 특성 및 시험. 윌리엄 앤드루 출판사. 텅스텐 카바이드 분말의 시험 및 응용 분야에 대한 자세한 설명.

ASTM B213-20 (2020). 홀 유량계 끝매기를 이용한 금속 분말의 유량 표준 시험 방법. ASTM International. 홀 유량계를 사용하여 유동성을 측정하는 방법을 명시합니다.

ASTM E384-17 (2017). 재료의 미세 압입 경도 표준 시험 방법. ASTM International.

비커스 경도 시험 방법을 지정합니다.

이용한 마모 측정 표준 시험 방법. ASTM International.

ASTM E1019-18 (2018). 다양한 연소 및 불활성 가스 용합 기술을 이용한 강철, 철, 니켈 및 코발트 합금의 탄소, 황, 질소 및 산소 측정을 위한 표준 시험 방법. ASTM International. 산소 함량 측정 방법을 명시합니다.

ISO 3327:2009 (2009). 초경합금 - 횡파단 강도 측정. 국제표준화기구(ISO). 압축강도 시험 방법을 명시합니다.

ISO 4499-2:2020 (2020). 초경합금 - 미세조직의 금속학적 측정 - 제 2 부: WC 입자 크기 측정. 국제표준화기구(ISO). WC 입자 크기의 미시적 측정 방법을 명시합니다.

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 9277:2010 (2010). 기체 흡착에 의한 고체의 비표면적 측정 - BET 방법 .
국제표준화기구(ISO). 비표면적 측정을 위한 BET 방법을 명시합니다.
일본표준협회(2005). JIS H 7803:2005, 텅스텐 카바이드 분말의 시험 방법, 일본표준협회.
텅스텐 카바이드 분말의 화학적 및 물리적 시험 방법을 규정합니다.
ГОСТ 25599.1-83 (1983). "초경합금 분말 - 탄소 함량 측정 방법", 소련
국가표준위원회.
시멘트 카바이드 분말의 탄소 함량을 특정하기 위한 화학 분석 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

4 장: 텅스텐 카바이드 분말의 적용

초경합금의 핵심인 텅스텐 카바이드 분말(WC)은 기계 제조, 항공우주, 전자 산업, 의료 분야에 사용되며 현대 산업의 "핵심"이라고 할 수 있습니다. 20 세기 초 독일 비디아(Widia)사가 텅스텐 카바이드 분말과 코발트를 결합하여 1 세대 초경합금을 개발한 이후, 이 소재는 놀라운 경도(HV 2000-2500), 초저마모율($<0.01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$), 그리고 뛰어난 고온 안정성($>1000^\circ \text{C}$)으로 기존 공구 소재의 틀을 완전히 뒤엎었습니다. 고속 절삭 공구부터 내마모성 금형, 정밀 의료기기에 이르기까지 텅스텐 카바이드 분말의 적용은 산업 효율의 비약을 촉진했을 뿐만 아니라 고정밀 제조의 새로운 지평을 열었습니다. 이 장에서는 초경합금 제조, 내마모 코팅 및 기타 분야에서 텅스텐 카바이드 분말의 적용을 체계적으로 살펴보고, 풍부한 사례와 데이터를 통해 실험실의 화학 반응에서 생산 라인의 핵심 소재로 어떻게 전환되었는지 밝힙니다. 첫 번째 부분에서는 초경합금 제조에 초점을 맞춰 절삭 공구, 내마모 부품 및 정밀 가공 공구에서 텅스텐 카바이드 분말의 역할을 심층적으로 분석하고, 그 다양한 기술적 매력을 소개합니다.

4.1 초경합금 제조에 있어서 텅스텐 카바이드 분말의 적용

초경합금은 텅스텐 카바이드 분말을 핵심으로 하고, 분말 야금법을 통해 코발트(Co)와 니켈(Ni)과 같은 금속 결합제와 합성하여 경도, 인성, 내마모성이 높은 재료를 생산합니다. 독일 화학자 슈뢰터가 1923 년에 WC와 Co를 초경합금으로 처음 소결한 이후, 이 기술은 거의 100 년 동안 발전해 왔으며 이제는 제조 산업의 필수적인 초석이 되었습니다. 초경합금에 텅스텐 카바이드 분말을 적용하는 것은 그 자체의 물리적, 화학적 특성(육방정계 결정 구조의 안정성 등)에 달려 있을 뿐만 아니라, 결합제 상의 선택, 입자 크기의 조절, 소결 공정의 최적화와도 밀접한 관련이 있습니다. 이 섹션에서는 절삭 공구, 내마모성 부품, 정밀 가공 공구의 세 가지 측면에서 텅스텐 카바이드 분말이 시멘트 카바이드 제조에 어떻게 활용되는지 역사적 발전, 과학적 원리, 산업적 관행을 종합적으로 설명합니다.

4.1.1 절삭 공구에 텅스텐 카바이드 분말의 적용

절삭 공구는 텅스텐 카바이드 분말의 초기 적용 분야이자 가장 눈부신 발전 단계입니다. 기존 고속도강(HSS, 경도 HRC 60-65, 절삭 속도 $<100\text{m}/\text{min}$)과 비교했을 때, WC 기반 초경합금은 절삭 속도를 200-300m/min으로 높이고 공구 수명을 5-10 배 연장하여 현대 가공의 표준으로 자리 잡았습니다. 텅스텐 카바이드 분말은 코발트와 혼합되어 경도와 인성의 완벽한 균형을 이루는 WC-Co 초경합금을 형성하여 고속 및 고부하 조건에서도 날카로움과 안정성을 유지합니다.

4.1.1.1 선삭 공구 및 밀링 커터

선삭 공구와 밀링 커터는 절삭 공구의 "핵심 요소"로, 강, 주철 및 고온 합금의 선삭 및

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

밀링에 널리 사용됩니다. 이러한 공구에 텅스텐 카바이드 분말을 사용하는 것은 주로 WC-Co 배합에 의존하며, 코발트 함량은 일반적으로 6%에서 12% 사이입니다. 이 비율은 수십 년 동안 업계에서 검증되었으며, 경도(HV 1500-1800)를 보장할 뿐만 아니라 충분한 내치핑성(파괴 인성 K_{IC} 10-15 MPa·m^{1/2})을 제공합니다. 결합제인 코발트는 소결 공정(1450-1500°C, 액상 소결) 중에 WC 입자를 녹여 감싸 치밀한 미세 구조를 형성합니다. WC 입자 크기의 선택은 매우 중요하며, 1-3 μm 가 주류 사양입니다. 이는 경도와 내마모성을 모두 고려하고 나노스케일 WC(<100nm)의 응집 문제와 조립 입자(>5 μm)의 인성 부족 문제를 피하기 때문입니다.

과학적인 관점에서 WC의 높은 경도는 육방정계 결정 구조(a=2.906Å, c=2.837Å)에서 비롯됩니다. 탄소 원자가 텅스텐 격자에 삽입되어 강력한 공유 결합을 형성하여 금속 재료보다 변형 저항성이 훨씬 뛰어납니다. 코발트를 첨가하면 금속 결합과 WC 입자 사이의 계면을 통해 재료의 가소성과 내충격성이 향상됩니다. 실험 데이터에 따르면 WC-Co 선삭 공구의 절삭 속도는 분당 200~300m에 도달할 수 있으며, 이는 HSS보다 50~100% 높습니다. 적색 경도(600~800°C에서도 HV>1200 유지)는 고온 절삭에서 탁월한 이점을 제공합니다.

산업적 사례에서 자동차 엔진 실린더 블록 가공은 WC-Co 선삭 공구의 전형적인 적용 분야입니다. 중국의 YG8 브랜드(WC 92%, Co 8%) 선삭 공구는 회주철 실린더 블록을 가공할 때 절삭 속도가 250m/min이고, 단일 수명은 100,000 개 이상이며, HSS 공구보다 효율이 3 배 이상 높습니다. 이러한 성공은 WC 분말의 균일성(Span <1.5)과 코발트의 최적화된 비율 덕분으로, 고속 절삭 중에 공구가 깨지거나 마모되기 쉽지 않습니다. 일본의 Toyota Motor의 실린더 블록 생산 라인도 유사한 WC-Co 밀링 커터를 사용합니다. 알루미늄 합금 실린더 헤드를 가공할 때 표면 거칠기 Ra <0.8 μm, 수율 99.8%로 증가하여 현대 제조에서 텅스텐 카바이드 분말의 대체 불가능한 역할을 강조합니다.

미래 추세에 따르면, WC-Co 선삭 공구는 더욱 미세한 입자(<1 μm)와 복합 코팅(TiN-TiC-Al₂O₃ 등)으로 발전하여 내마모성과 열 안정성을 더욱 향상시켜 지능형 제조의 고속, 고정밀 요구 사항을 충족합니다.

4.1.1.2 드릴 비트 및 보링 도구

드릴 및 보링 공구는 자동차 크랭크샤프트 오일 홀, 항공 터빈 블레이드 채널 등과 같은 심공 가공에서 핵심적인 역할을 하며, 텅스텐 카바이드 분말의 성능 요건은 더욱 엄격합니다. 마이크론급 WC 분말(1-3 μm)은 경도(HV 1600)와 내치핑성(K_{IC} >12 MPa·m^{1/2})이 우수하고 심공 절삭 성능이 뛰어나 최고의 선택입니다. WC-Co 분말(Co 6%-10%)은 진공 소결(1450°C, 10⁻² Pa)을 통해 제조되어 내부 기공이 없고 표면 조도가 Ra<0.1 μm입니다. 심공 가공의 고온, 고압 환경(절삭 영역 온도 > 600°C, 축 방향 힘 > 500N)은 공구의 적색 경도와 내마모성에 도전하는 반면, WC의 높은 용점(2870°C)과 낮은 열팽창 계수(5.2×10⁻⁶ /K)는 이를 이상적인 선택으로 만듭니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

더욱 까다로운 작업 조건에 대처하기 위해 다층 WC- TiC 코팅 기술이 개발되었습니다. CVD 공정을 통해 WC-Co 모재에 5~ 10 μm 두께의 TiC 층(경도 HV 3000)을 증착한 후 TiN (내열성 $>1000^{\circ}\text{C}$)으로 코팅합니다. 이렇게 코팅하면 내마모성이 3 배 향상되고 공구 수명이 500~1000m 드릴링 깊이까지 연장됩니다. 이 코팅은 표면 경도를 향상시킬 뿐만 아니라 마찰 계수(0.4 에서 0.2)를 낮추고 절삭 열 축적을 줄입니다. 스웨덴 샌드빅 코로만트 의 WC-Co 심공 드릴은 WC- TiC - TiN 다층 코팅을 사용합니다. 42CrMo 강 가공 시 절삭 속도는 200m/min, 드릴링 깊이는 500mm, 내치핑성은 12.5MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ 이며, 절삭 온도는 800°C 이하로 제어됩니다. 이 기술은 항공기 엔진 제조의 표준 구성으로 자리 잡았습니다.

전 세계적으로 미국 케나메탈(Kennametal)의 보링 커터는 심공 가공 분야에서도 입지를 굳건히 하고 있습니다. WC-Co 매트릭스(Co 8%)와 PVD 코팅(TiAlN)을 결합하여 티타늄 합금 가공 시 탁월한 내소착성과 내마모성을 발휘하며, 단일 수명이 300 개로 증가하여 HSS 보링 커터의 50 개보다 훨씬 뛰어납니다. 앞으로 초심공 가공(중형비 20:1 이상)에 대한 수요가 증가함에 따라 WC 분말($<1\mu\text{m}$)의 미세화 와 코팅 기술의 지능화가 연구 개발의 핵심이 될 것입니다.

4.1.1.3 특수 절삭 공구

특수 절삭 공구는 인쇄 회로 기판(PCB) 마이크로 드릴링 및 항공 복합 도구와 같은 고정밀 또는 초경질 소재 가공에 사용됩니다. 텅스텐 카바이드 분말은 이러한 응용 분야에서 매우 높은 성능 요구 사항을 충족해야 합니다. PCB 마이크로 드릴링의 직경은 $<0.1\text{mm}$ 이고, 미세 구조와 높은 경도를 보장하기 위해 나노급 WC 분말($<100\text{nm}$)이 필요합니다. 소결 공정은 열간 등방성 가압(HIP, 1450°C , 100-200MPa)을 사용하고, 고압을 사용하여 입자 성장을 억제합니다($0.2\text{--}0.5\mu\text{m}$ 에서 제어). 완성된 제품의 경도는 HV 2000-2200 에 도달하고 압축 강도는 $>4500\text{MPa}$ 입니다. 중국의 Xiamen Jinlu Special Alloy Co., Ltd.에서 생산한 WC-Co 마이크로 드릴(Co 6%)은 PCB 보드 드릴링에서 $\pm 0.005\text{mm}$ 의 정확도를 달성합니다. 각 드릴은 50,000~80,000 개의 구멍을 가공할 수 있으며, 이는 기존 강철 드릴의 10,000 개 구멍을 훨씬 능가합니다. 이 드릴의 성공은 나노-WC 의 높은 비표면적($>20\text{ m}^2/\text{g}$)과 HIP 공정의 고밀도화 효과(밀도 $>99.8\%$)에 기인합니다.

항공 분야에서 탄소 섬유 복합재(CFRP)와 티타늄 합금을 가공하기 위해 특수 WC 공구가 필요합니다. CFRP 는 높은 경도와 섬유층 구조로 인해 공구 내마모성과 날카로움에 대한 요구 사항이 매우 높습니다. 나노 WC 분말($<100\text{ nm}$)은 HIP 소결을 통해 HV 2200 의 경도, 250 m/min 이상의 절삭 속도, $\pm 0.005\text{ mm}$ 의 정확도를 가진 공구로 만들어집니다. 미국의 Kennametal 에서 Boeing 787 날개용으로 개발한 WC-Co 공구(Co 10%)는 CFRP 가공에서 500 개 이상의 수명을 가지며, 절삭 효율은 다이아몬드 코팅 공구보다 20% 높지만 비용은 30% 절감됩니다. 이러한 장점은 WC 의 높은 경도와 코발트의 인성이 결합되어 다이아몬드 코팅이 쉽게 벗겨지는 결함을 방지합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

-TiC-TaC)의 연구 개발 및 지능형 제조가 포함됩니다. 예를 들어, TaC (1~2%)를 첨가하여 열 균열 저항성을 향상시키거나, 레이저 미세 가공 기술을 결합하여 공구 형상 정밀도를 향상시킴으로써 항공우주 및 전자 산업의 최첨단 요구를 더욱 충족할 수 있습니다.

4.1.2 내마모성 부품에 대한 텅스텐 카바이드 분말의 적용

내마모성 부품은 텅스텐 카바이드 분말의 또 다른 중요한 응용 분야입니다. 높은 경도와 낮은 마모율을 활용하여 금형 및 베어링과 같은 고부하 조건에 널리 사용됩니다. 기존 강철(예: Cr12MoV, 수명 <10 만 회)과 비교했을 때, WC 기반 초경합금은 내구성이 5~10 배 향상되어 스탬핑, 인발 및 밀봉에 선호되는 소재입니다.

4.1.2.1 스탬핑 다이

스탬핑 다이는 강판, 알루미늄 판 및 기타 금속의 냉간 스탬핑에 사용됩니다. 텅스텐 카바이드 분말로 제작된 WC-Co 다이는 매우 긴 수명으로 알려져 있습니다. 일반적인 조성은 WC 90%-94%, Co 6%-10%이며, 액상 소결(1500° C, 30 MPa)로 제조되며, 완제품의 경도는 HV 1400-1600, 압축 강도는 4000 MPa 이상입니다. WC의 높은 경도는 다이 표면이 강판의 마모를 견뎌내도록 하고, 코발트의 인성은 스탬핑 충격을 흡수합니다(20 J/cm² 이상). 데이터에 따르면 WC-Co 다이의 수명은 50 만~100 만 배에 달할 수 있으며, 이는 Cr12MoV(<10 만 배)보다 5~10 배 더 높고 표면 거칠기 Ra는 0.05 μm 이하로 유지됩니다.

자동차 제조에서 도어 패널 스탬핑은 WC-Co 금형의 전형적인 적용 분야입니다. CTIA GROUP에서 생산한 WC-Co 금형(Co 8%)은 0.8mm 강판 스탬핑에서 반년 동안 연속 가동되었으며 금형 마모는 <0.01mm 이고 가동 중단 시 유지 관리 비용은 70% 감소했습니다. 독일 BMW 자동차 생산 라인도 유사한 WC 금형을 사용하는데, 고속 스탬핑(>100 회/분)에서 우수한 피로 저항성을 보이며 단일 금형 세트의 수명은 800,000 개에 이릅니다. 앞으로는 WC-Co 금형(예: 입자 <0.5 μm) 및 표면 코팅(예: CrN)의 개선이 수명 과 정밀도 를 향상시키는 방향이 될 것입니다.

4.1.2.2 와이어 드로잉 다이 및 압출 다이

금속 와이어와 튜브를 형성하는 데는 인발 다이와 압출 다이가 사용됩니다. 미세 입자 WC 분말(0.5-1 μm)은 높은 경도(HV 1800)와 매우 낮은 표면 거칠기(Ra<0.02 μm)로 선호됩니다. WC-Co 공식(Co 6%-8%)은 진공 소결(1450° C)로 제조됩니다. 다이 구멍 정확도는 ±0.001mm 이고 마모율은 <0.001mm³/N·m로 강철 다이(0.01mm³/N·m)보다 훨씬 낮습니다. 와이어 인발 공정 동안 WC의 높은 경도는 금속의 마찰에 저항하는 반면 미세 입자는 매끄러운 구멍 벽을 보장하고 와이어의 표면 결함을 줄입니다.

케이블 산업은 와이어 드로잉 다이에 대한 중요한 적용 시나리오입니다. 중국 장시성에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

있는 공장의 WC-Co 와이어 드로잉 다이(Co 8%)는 0.1mm 구리 와이어를 드로잉하는 데 6 개월 동안 연속 가동되었습니다. 다이 구멍 크기 변화는 <0.002mm 이고, 와이어 드로잉 속도는 20m/s 이며, 와이어 표면 거칠기 Ra 는 <0.01 μm 입니다. 이러한 성능은 WC 분말(FSSS 0.8 μm) 의 균일성과 소결 공정의 최적화 덕분입니다. 일본 스미토모 전기공업의 WC 압출 다이는 알루미늄 튜브 성형에 사용되며, 수명이 100 만 미터가 넘습니다. 이는 고정밀 성형에서 미세 입자 WC 의 잠재력을 강조합니다. 앞으로 WC 기반 다이의 나노 사이징(<100nm) 및 자체 윤활 코팅(예: DLC)이 내마모성과 효율성을 더욱 향상시킬 것입니다.

4.1.2.3 내마모성 베어링 및 쉘

내마모성 베어링과 쉘은 고속 회전과 고하중 마찰을 견뎌야 합니다. WC-Ni 복합 소재는 내식성과 낮은 마찰 계수(<0.1)로 인해 선호됩니다. WC 85%-90%, Ni 10%-15%의 조성으로, 열간 등방압 성형(HIP, 1450° C, 150 MPa)으로 제조됩니다. 완제품은 800° C 이상의 내열성과 3800 MPa 이상의 압축 강도를 갖습니다. 니켈은 코발트보다 내산성 및 내알칼리성이 우수하여 화학 및 해양 환경에 적합합니다. 독일 FAG 사는 고속 모터(50,000 rpm)에 WC-Ni 베어링을 사용하고 있으며, 마찰 계수는 0.08 이고 수명은 2 배 길며 작동 온도는 600° C 미만으로 제어됩니다. 미국 Flowserve 사는 화학 펌프에 WC-Ni 쉘을 사용하는데, 이 쉘은 H₂SO₄ 부식에 강하고 1 년 이상 연속 작동이 가능합니다.

HIP 공정은 WC-Ni 부품 성공의 핵심입니다. 고압(100~200MPa)을 통해 미세 기공을 제거하고, 99.9%의 밀도를 달성하며, 내마모성과 내피로성을 크게 향상시킵니다. 앞으로 WC-Ni 의 미세 구조 최적화(내식성 향상을 위한 Cr 첨가 등)와 지능형 모니터링(내장 센서 등)을 통해 극한 작업 조건에서의 적용이 더욱 확대될 것입니다.

4.1.3 정밀 가공 공구에 텅스텐 카바이드 분말의 적용

정밀 가공 공구는 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기, 순도 및 가공 정밀도에 대한 매우 높은 요건을 요구하며, 의학, 광학 및 마이크로전자 분야에서 널리 사용됩니다. 초미립 WC 분말(<1 μm) 과 첨단 소결 기술(예: HIP)은 이러한 핵심 기술입니다.

4.1.3.1 치과 및 의료 도구

치과용 드릴과 의료용 공구는 미세 가공(직경 0.3-1mm)이 필요하며, 텅스텐 카바이드 분말(1-2 μm)로 만든 WC-Co 공구는 경도 HV 1800 과 생체적합성(ISO 10993-5)이 뛰어난 것으로 알려져 있습니다. 소결 후, 표면은 Ra < 0.05 μm 로 연마되어 치아 법랑질 절삭 시 자극이 발생하지 않도록 합니다. 독일 코멧(Komet)에서 제작한 WC-Co 치과용 드릴(Co 6%)은 직경 0.5mm, 치과 수술 시 1000 회 이상의 내구성, $\pm 0.01\text{mm}$ 의 정확도, 5000rpm 의 절삭 속도를 자랑합니다. 이러한 성공은 WC 분말의 고순도(불순물 < 0.02%)와 연마 공정의 개선에 기인합니다. 미국 Dentsply 의 WC 메스도 정형외과 분야에서 좋은 성능을 보이며, 뼈를 절단할 때 수명이 50% 증가합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

과학적 관점에서 WC의 생체적합성은 화학적 불활성(체액에 녹지 않음)에 기인하며, 미세 입자는 날카로움과 낮은 열 손상을 보장합니다. 앞으로 WC 기반 의료 도구의 나노 크기(<100nm) 및 항균 코팅(예: Ag 이온)은 성능을 더욱 향상시킬 것입니다.

4.1.3.2 광학 몰드

광학 금형은 유리 렌즈와 광학 부품을 압축하는 데 사용됩니다. 초미립 WC 분말($0.2-0.5\mu\text{m}$)은 HIP 소결(1450°C , 200MPa)로 제조되며 표면 정확도는 $<10\text{nm}$ 이고 수명은 $>100,000$ 배입니다. WC의 높은 경도(HV 2000)와 낮은 열팽창 계수($5.2\times 10^{-6}/\text{K}$)는 고온 압축($>600^{\circ}\text{C}$) 중에 금형이 변형되지 않도록 보장합니다. 미러 연마 및 WC 코팅(예: $5\mu\text{m}$ WC 층의 CVD 증착)과 결합된 일본 HOYA 회사의 WC 금형은 모바일 폰 렌즈 제조에서 99.9%의 수율을 보이며 금형 표면 거칠기 $Ra<0.005\mu\text{m}$ 로 기존 강철 금형($Ra>0.02\mu\text{m}$)을 훨씬 능가합니다.

정밀 광학 분야에서 WC 몰드의 성공은 우리가 몰드에 달라붙는 문제를 방지하는 점착 방지 특성 덕분이기도 합니다. 독일 자이스는 적외선 렌즈 성형에 WC 몰드를 사용하며, 수명이 15만 배로 증가하여 초미세 WC의 고정밀 잠재력을 부각했습니다. 앞으로 WC 기반 광학 몰드의 지능화(실시간 온도 제어 등)와 복합 소재(WC-TiC 등)의 연구 개발을 통해 AR/VR 기기에서의 WC 몰드 적용이 더욱 확대될 것입니다.

4.2 표면 코팅 기술에 있어서 텅스텐 카바이드 분말의 응용

표면 코팅 기술은 텅스텐 카바이드 분말의 또 다른 중요한 응용 분야입니다. 열용사, 플라즈마 용사, 레이저 클래딩 등의 공정을 통해 텅스텐 카바이드 분말을 기판 표면에 증착시켜 내마모성, 내부식성, 고온 내성을 갖춘 보호층을 형성합니다. 이 기술은 20세기 중반에 등장한 이후 기계 부품의 수명 연장 및 성능 향상을 위한 핵심 수단으로 자리 잡았습니다. 일반적인 초경합금 제조와 비교할 때, 코팅 기술은 유연성(복잡한 형상 코팅 가능), 경제성(저가 강철을 기판으로 사용 가능), 효율성(국부 강화) 측면에서 널리 선호됩니다. 텅스텐 카바이드 분말은 높은 경도(HV 2000-2500), 우수한 내마모성(마모율 $<0.01\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), 열 안정성(용점 2870°C) 덕분에 항공우주 엔진, 석유 시추 공구, 화학 장비 등 다양한 분야에서 코팅에 널리 사용되고 있습니다. 이 섹션에서는 열 분무 코팅, 플라즈마 분무 및 레이저 클래딩, 고온 내구성 및 특수 코팅의 세 가지 측면에서 과학적 원리와 산업 관행을 결합하고, 텅스텐 카바이드 분말이 표면 엔지니어링 기술을 통해 현대 산업에 어떻게 힘을 실어줄 수 있는지 심층적으로 살펴봅니다.

4.2.1 열분무 코팅에 텅스텐 카바이드 분말의 적용

열용사 기술은 고온 화염이나 고속 기류를 이용하여 텅스텐 카바이드 분말을 용융 또는 반용융시킨 후 기판 표면에 분사하여 치밀하고 내마모성이 뛰어난 코팅을 형성합니다. 1940년대 미국 유니언 카바이드(Union Carbide)에서 1세대 열용사 장비를 개발한 이후,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이 기술은 단순한 화염 용사에서 효율적인 고속 산소-연료 용사(HVOF)로 발전하여 항공, 농업, 에너지 산업의 주류가 되었습니다. 열용사에서 텅스텐 카바이드 분말의 장점은 높은 경도와 낮은 기공률로, 열악한 작업 조건에서도 코팅이 안정적으로 유지된다는 것입니다.

4.2.1.1 HVOF 분무

고속 산소 연료 분사(HVOF)는 용사 기술의 정점입니다. 초음속 화염(>2000 m/s)을 사용하여 텅스텐 카바이드 분말을 기관에 분사하여 고밀도, 저기공성, 내마모성 코팅을 형성합니다. HVOF의 주요 소재는 WC-Co 분말(코발트 함량 10%-12%)입니다. 바인더상인 코발트는 분사 공정 중 부분적으로 용융되어 WC 입자(입자 크기 1-5 μm)를 감싸 HV 1200-1400의 경도와 <0.01 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ 의 마모율을 갖는 코팅을 형성합니다. 과학적인 관점에서 볼 때, WC의 높은 녹는점과 산화 저항성은 고온 분무(화염 온도 >3000°C) 중에 분해되지 않도록 보장하는 반면, 코발트의 연성은 코팅의 내부 응력(<200 MPa)을 줄이고 접합 강도(>70 MPa)를 향상시킵니다.

HVOF 코팅의 성능은 공정 매개변수의 정밀한 제어에 기인합니다. 분무 건에서 산소와 연료(예: 등유)의 비율(1:2~1:3)은 화염 온도와 속도를 결정하고, 분말 입자 속도는 600~800m/s에 이르며, 냉각 속도는 10^6°C/s 이상으로, 코팅 기공률은 1% 미만으로 유지되고 두께는 100~500 μm 로 제어됩니다. 데이터에 따르면 WC-Co 코팅의 내마모성은 코팅되지 않은 기관(예: 45 강, 마모율 0.1 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)의 10 배 이상이며, 염수 분무 시험에서 내식성은 1000 시간을 초과합니다.

항공기 엔진 블레이드는 HVOF 분무의 전형적인 예입니다. 미국의 General Electric(GE)의 CF6 엔진 블레이드는 WC-Co 코팅(Co 12%)을 사용합니다. 가스 정련(>1200°C) 및 모래 마모에서 서비스 수명은 3000 시간을 초과하여 코팅되지 않은 블레이드(500 시간)보다 6 배 더 깁니다. 이러한 성공은 마모에 대한 저항성이 뛰어난 WC의 높은 경도와 열 충격을 완화하는 코발트의 인성 덕분입니다. 영국의 Rolls-Royce도 Trent 시리즈 엔진에 WC-Co HVOF 코팅을 사용합니다. 코팅 두께는 250 μm 이고 경도는 HV 1300이며 작동 중 블레이드 마모율은 <0.005 $\text{mm}/1000$ 시간으로 극한 환경에서 텅스텐 카바이드 분말의 신뢰성을 강조합니다. 앞으로 HVOF 기술은 더 높은 마모 및 내부식성 요구 사항을 충족하기 위해 초미립 WC 분말(<1 μm) 및 복합 코팅(WC-Co-Cr 등)으로 발전할 것입니다.

4.2.1.2 화염 분사

화염 용사는 전통적인 용사 공정입니다. 산소-아세틸렌 화염(약 3000°C)을 사용하여 텅스텐 카바이드 분말을 녹인 후 기관에 분사합니다. 저비용 내마모성 코팅에 적합합니다. 니켈 함량이 10%-15%인 WC-Ni 분말은 니켈이 코발트보다 저렴하고 내식성이 더 강하기 때문에 일반적으로 선택됩니다. 용사 공정에서 WC 입자(5-10 μm)는 부분적으로 용융되고 니켈은 완전히 액화되어 결합 강도가 50MPa 이상, 두께가 100-300 μm 인 코팅을 형성합니다. 코팅 경도는 HV 900-1100으로 HVOF보다 낮지만 중간 정도의 마모 환경에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

대처하기에 충분합니다.

화염 용사의 장점은 장비가 간단하고(비용이 10 만 위안 미만) 운영이 유연하다는 점입니다. 이는 중소기업에 적합합니다. 산소 유량(20~30L/분) 및 분말 공급 속도(50~80g/분)와 같은 분사 매개변수가 코팅 품질을 결정합니다. 기공률은 일반적으로 5~10%로 HVOF(<1%)보다 약간 높습니다. 성능 시험 결과, WC-Ni 코팅의 내마모성은 모재(예: Q235 강)보다 3~5 배 높아 농업 기계와 같은 저속, 고마찰 환경에 적합합니다.

농기계 블레이드는 화염 분무의 전형적인 적용 분야입니다. 미국의 John Deere 는 200 μm 두께의 수확기 블레이드에 WC-Ni 코팅(Ni 12%)을 분무하여 내마모성 을 4 배 증가시키고 단일 시즌의 서비스 수명을 500 시간에서 2000 시간으로 연장합니다. 이러한 개선은 WC 의 높은 경도와 니켈(>600° C)의 산화 방지성으로 인해 토양 및 식물 잔여물의 마모를 효과적으로 방지합니다. 중국 산둥성의 어떤 농기계 공장도 트랙터 쟁기 블레이드에 분무하기 위해 비슷한 기술을 사용하는데, 이는 개당 비용이 20 위안 증가하지만 서비스 수명을 3 배 연장하고 비용 대비 성능이 뛰어납니다. 앞으로 화염 분무는 WC 분말(<5 μm) 을 정제 하고 Cr(1%-2%)을 첨가하여 코팅의 밀도와 내식성을 향상시킬 수 있습니다.

4.2.2 플라즈마 용사 및 레이저 클래딩에서의 텅스텐 카바이드 분말의 적용

플라즈마 용사와 레이저 클래딩은 표면 코팅 기술의 최첨단 기술로, 고온 플라즈마 또는 레이저 빔을 사용하여 텅스텐 카바이드 분말을 기관에 증착하여 고성능 코팅을 형성합니다. 이 두 기술은 고온 내식성과 국부 강화 측면에서 각각 장점을 가지고 있습니다.

4.2.2.1 플라즈마 분무

플라즈마 용사는 플라즈마 아크(온도 >15000° C)를 이용하여 텅스텐 카바이드 분말을 용융시켜 기관에 분사하는 방식으로, 고온 내식성 코팅에 적합합니다. WC-Cr₃ C₂ 복합 분말(WC 70%-80%, Cr₃ C₂ 20%-30%)이 일반적인 배합입니다. Cr₃ C₂를 첨가하면 내산화성(>1000° C)과 내식성이 향상됩니다. 용사 공정 중 분말 입자(10-20 μm) 는 플라즈마 흐름 속에서 300-500m/s 의 속도로 완전히 용융되어 기공률이 2% 미만이고 두께가 200-600 μm 인 코팅을 형성 합니다 . 코팅 경도는 HV 1000-1200 이고, 산화 저항 온도는 1100° C 에 도달하는데, 이는 단일 WC 코팅(<900° C)보다 훨씬 높습니다.

플라즈마 용사의 과학적 근거는 고온 플라즈마의 높은 에너지 밀도에 있으며, 이를 통해 WC 와 Cr₃ C₂가 균일한 복합 구조를 형성할 수 있습니다. 아르곤 유량(40~50L/분) 및 전력(30~40kW)과 같은 공정 변수는 용융도와 증착 효율을 결정합니다. 성능 시험 결과, WC-Cr₃ C₂ 코팅의 내마모성은 기관보다 8 배 높으며, 염수 분무 시험의 내식성은 1,500 시간 이상인 것으로 나타났습니다.

가스터빈 블레이드는 플라즈마 용사의 대표적인 응용 분야입니다. 미국의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

프랫앤휘트니(Pratt & Whitney)는 F135 엔진 블레이드에 WC-Cr₃ C₂ 코팅을 적용했습니다. 이 코팅은 두께 300 μm, 작동 온도 1200° C, 수명 5,000 시간 이상으로, 코팅하지 않은 블레이드(1,000 시간)보다 5 배 더 깁니다. 독일의 지멘스(Siemens) 또한 가스터빈에 유사한 코팅을 적용하고 있습니다. 내산화성과 내마모성의 시너지 효과로 블레이드는 고온 가스 세정에서도 안정성을 유지합니다. 향후 플라즈마 용사는 Ni(5~10%)를 첨가하거나 용사 매개변수를 최적화하여 기공률(<1%)을 낮춤으로써 성능을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

4.2.2.2 레이저 클래딩

레이저 클래딩은 고에너지 레이저 빔(출력 2-10kW)을 사용하여 텅스텐 카바이드 분말을 녹여 기판에 증착하여 경도가 높고 두꺼운 코팅을 형성합니다. 이는 특히 석유 굴착 도구와 같은 대형 부품의 표면 강화에 적합합니다. WC 분말(입자 5-15 μm)을 레이저 용융 풀에 직접 주입하고 기판(예: 42CrMo 강철)에 야금적으로 접합합니다. 코팅 두께는 0.5-2mm 이고 경도는 HV 1300 입니다. 레이저 클래딩은 열 입력이 낮고(<200 J/mm²), 기판 열 영향부(HAZ)는 <0.1mm, 코팅 다공성 <0.5%, 접합 강도는 >100MPa 로 열 분무(50-70MPa)를 훨씬 능가합니다.

원칙적으로 레이저의 높은 에너지 밀도(>10⁶ W/cm²)는 WC 입자를 빠르게 용융시켜 기판과 합금층을 형성합니다. WC의 높은 경도와 기판의 인성은 상호 작용합니다. 레이저 출력(4kW), 스캐닝 속도(5~10mm/s), 분말 공급 속도(20~40g/min)와 같은 공정 변수가 코팅 품질을 결정합니다. 성능 시험 결과, WC 클래딩층의 내마모성은 기판보다 15 배 높았으며, 10% NaCl 용액에서 2 년 이상의 내식성을 나타냈습니다.

심해 시추 파이프는 레이저 클래딩의 대표적인 사례입니다. 미국 Halliburton 사는 시추 파이프 표면에 1.5mm 두께의 WC 코팅을 클래딩했습니다. 이 코팅은 5,000m 심해 염수 환경에서 2 년 이상 사용되었으며, 마모율은 0.02mm 미만이고, 코팅되지 않은 시추 파이프보다 10 배 높은 내식성을 자랑합니다. China Petroleum 사 또한 유사한 기술을 사용하여 시추 공구를 강화하고 있으며, 경도는 HV 1350, 내충격성은 30 J/cm² 이상으로 심층 석유 및 가스 채굴 요구를 충족합니다. 향후 레이저 클래딩은 WC-Ni 복합 분말 및 다중 패스 클래딩 기술을 통해 코팅 두께와 균일성을 향상시킬 수 있을 것으로 예상됩니다.

4.2.3 고온 내성 및 특수 코팅에 대한 텅스텐 카바이드 분말의 적용

고온 내구성 및 특수 코팅 고온 금형 및 화학 장비와 같은 극한 환경에서 텅스텐 카바이드 분말은 이러한 적용 분야에서 열 안정성, 내식성 및 열 충격 내구성을 고려해야 합니다.

4.2.3.1 열충격 방지 코팅

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

내열충격 코팅은 고온 금형 및 고온 가공 장비에 사용됩니다. WC 기반 코팅은 낮은 열팽창 계수($<5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)와 내열성($>1200^{\circ}\text{C}$)으로 알려져 있습니다. WC-TiC-Ni 복합 분말(WC 70%, TiC 20%, Ni 10%)은 HVOF 또는 플라즈마 용사로 제조되며, 코팅 경도는 HV 1100-1300, 두께는 200-400 μm 입니다. TiC를 첨가하면 고온 경도가 향상되고($>1000^{\circ}\text{C}$ 에서도 HV >1000 유지), Ni는 열 피로 저항성을 향상시킵니다. 이 공정에서 용사 속도(500-700m/s)와 냉각 속도($>10^5^{\circ}\text{C/s}$)는 코팅의 내부 응력이 $<150\text{MPa}$ 가 되도록 보장합니다.

고온 금형은 내열충격 코팅의 주요 적용 분야입니다. 일본 토요타 자동차는 알루미늄 합금 다이캐스팅 금형에 WC-TiC-Ni 코팅을 사용합니다. 금형 온도는 $800 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 이며, 열충격 사이클은 5000회 이상, 수명은 3배 향상되었습니다. 독일 티센크루프 또한 강관 핫 스탬핑 금형에 유사한 코팅을 사용하고 있는데, 이 코팅은 1200°C 의 고온에서도 견딜 수 있고 기존 Cr 코팅보다 내균열성이 우수합니다. 앞으로는 다상 복합재(예: Al_2O_3 첨가)와 WC 기반 코팅의 경사 구조 설계를 통해 내열충격성이 더욱 향상될 것입니다.

4.2.3.2 내화학성 코팅

화학 부식 방지 코팅은 화학 파이프라인 및 밸브에 사용됩니다. WC-CoCr 코팅(WC 80%, Co 10%, Cr 10%)은 뛰어난 내식성으로 주목을 받고 있습니다. HVOF 용사로 제조된 이 코팅은 HV 1200의 경도와 150~300 μm 의 두께를 갖습니다. Cr을 첨가하면 Cr_2O_3 부동태층이 형성되어 내산성(pH <2)이 5배 향상됩니다. 성능 시험 결과, 10% H_2SO_4 용액에서 WC-CoCr 코팅의 부식 속도는 $<0.001\text{mm}/\text{년}$ 이고, 내산화성은 $>900^{\circ}\text{C}$ 입니다.

화학 밸브가 대표적인 적용 분야입니다. 미국 기업인 에머슨은 산성 천연가스 파이프라인 밸브에 WC-CoCr 코팅을 사용합니다. 3년 운전 후 마모 및 부식은 0.01mm 미만이며, 코팅하지 않은 밸브(1년 미만)보다 수명이 3배 더 깁니다. 중국의 한 화학 공장에서도 황산 펌프 밸브에 WC-CoCr 코팅을 사용하고 있으며, 20% H_2SO_4 에서 내식성이 4년 이상 지속됩니다. 향후 WC-CoCr 코팅의 내식성은 Mo(5~10%)를 첨가하거나 용사 공정(예: 저온 용사)을 최적화함으로써 더욱 향상될 수 있습니다.

4.3 광산 및 건설 도구에 대한 텅스텐 카바이드 분말의 적용

광산 및 건설 공구는 텅스텐 카바이드 분말의 중요한 적용 분야입니다. 높은 경도(HV 2000-2500), 뛰어난 내마모성(마모율 $<0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), 그리고 내충격성($>25 \text{ J}/\text{cm}^2$) 덕분에 암석 시추, 터널링 및 파쇄 장비의 핵심 소재로 사용됩니다. 19세기 후반 광산 업계에서 초경합금을 사용하기 시작한 이후, 텅스텐 카바이드 분말은 점차 기존 강철을 대체하며 현대 광산 및 건설 프로젝트의 "무기"로 자리 잡았습니다. 암석 드릴 비트부터 쉴드 커터, 파쇄 해머에 이르기까지 텅스텐 카바이드 분말은 분말 야금, 인레이 또는 복합 기술을 통해 공구의 수명과 효율성을 크게 향상시켜 왔으며, 특히 경암 채굴, 지하철 터널 건설, 광석 가공과 같은 고부하 조건에서 그 성능이 크게 향상되었습니다. 이 섹션에서는 암석 드릴링 도구, 쉴드 커터 및 터널링 장비, 내마모성 라이너 및 분쇄 장비의 세 가지 측면에서 과학적 원리와 산업 관행을 결합하여 텅스텐 카바이드 분말이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

광산 및 건설 분야에서 어떻게 핵심적인 역할을 하는지 심층적으로 탐구합니다.

4.3.1 암석 드릴링 도구에 텅스텐 카바이드 분말의 적용

암석 드릴링 공구는 암석 드릴링 및 발파 작업에 사용됩니다. 텅스텐 카바이드 분말로 제작된 초경 비트는 높은 경도와 내충격성으로 인해 경암 및 석탄 채굴에 가장 많이 사용됩니다. 스웨덴의 샌드빅(Sandvik)사가 20 세기 초 WC 기반 초경합금을 암석 드릴링 분야에 도입한 이후, 이 기술은 단순한 상감 드릴 비트에서 복합 강화 공구로 발전하여 광산, 터널, 석유 및 가스 탐사에 널리 사용되고 있습니다.

4.3.1.1 하드락 드릴 비트

단단한 바위 드릴 비트는 화강암과 석영암과 같은 고경도 암석을 채굴하는 데 사용됩니다. 텅스텐 카바이드 분말은 인레이 기술을 통해 강철 매트릭스에 매립되어 WC 인레이 드릴 비트를 형성합니다. 일반적인 공식은 진공 소결(1450°C , 10^{-2} Pa)로 제조된 입자 크기가 $3\text{--}5\mu\text{m}$ 인 WC-Co(Co 8%–12%), 경도 HV 1400–1600, 충격 인성 $>25\text{ J/cm}^2$ 입니다. WC의 높은 경도는 암석 마모에 강하고 코발트의 인성은 드릴링 중 충격 하중($>500\text{ kN}$)을 흡수합니다. 드릴 비트 설계는 대부분 볼 이빨 또는 컬럼 이빨 구조를 채택하고 WC 인레이의 직경은 절단 효율과 내구성을 보장하기 위해 5–15mm입니다. 데이터에 따르면 WC 박힌 드릴 비트의 드릴링 속도는 $12\sim 15\text{m/h}$ 에 도달할 수 있으며, 이는 기존 강철 드릴 비트($<5\text{m/h}$)보다 2~3 배 빠릅니다.

과학적 관점에서 WC는 육각형 구조($a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$)와 높은 융점(2870°C) 덕분에 고속 충격(분당 1000 회 이상)과 고온 마찰(600°C 이상)에도 안정적으로 작동합니다. 기술적인 측면에서는 소결 온도 및 압력(30MPa) 최적화를 통해 WC와 코발트가 균일한 미세 구조를 형성하고, 입계 강도가 4000MPa 이상이므로 칩핑 위험이 없습니다. 성능 시험 결과, WC가 매립된 드릴 비트는 화강암에서 1000m 이상의 시추 깊이에서도 수명이 유지되며, 마모율은 0.005mm/m 미만입니다.

광산 폭파 드릴링은 단단한 암석 드릴 비트의 전형적인 예입니다. 스웨덴의 Atlas Copco 회사의 WC-Co 드릴 비트(Co 10%)는 드릴링 직경이 50mm, 드릴링 속도가 13m/h , 단일 드릴 비트 수명이 1,200m이며 노르웨이 화강암 광산에서 폭파 효율이 40% 향상되었습니다. 중국 구이저우성의 광산도 유사한 WC 상감 드릴 비트를 사용하는데, 석회암을 채굴할 때 수명이 1,500m로 강철 드릴 비트(300m)보다 5 배 더 높습니다. 앞으로 WC 상감 드릴 비트는 초미립자($<1\mu\text{m}$)와 TiC 코팅(CVD, $5\mu\text{m}$)을 통해 내마모성과 열 피로 저항성을 더욱 향상시켜 더욱 복잡한 단단한 암석 환경에 적응할 수 있습니다.

4.3.1.2 석탄층 굴착 도구

석탄층 드릴링 도구는 석탄 채굴 및 가스 추출에 사용됩니다. WC-Co 커터 헤드는 내마모성과 내충격성으로 부드럽고 단단한 교대 석탄층에서 좋은 성능을

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

발휘합니다. 공식은 WC 90%-94%, Co 6%-10%, 입자 크기 1-3 μm , 열간 압착 소결(1400° C, 50MPa)로 제조, 경도 HV 1500, 내마모성 <0.002mm³/N·m 입니다. WC의 높은 경도는 석탄층의 갱석 마모에 대처하고 코발트의 연성은 굴착의 충격을 흡수합니다(>15 J/cm²). 성능을 개선하기 위해 WC-TiC 복합 강화 기술이 도입되었고 TiC (5%-10%)는 고온 경도를 높이고(>800° C에서도 HV>1200 유지) 커터 헤드의 수명을 연장했습니다.

석탄층 시추 공구는 낮은 경도(모스 2-4)의 석탄암과 국부적으로 높은 경도의 맥석(모스 6-7)을 처리해야 합니다. WC-Co-TiC 커터 헤드의 복합 구조는 내마모성과 인성의 완벽한 균형을 이룹니다. 기술적인 측면에서는 고온 가압 소결의 고압을 통해 커터 헤드의 밀도가 99.5% 이상, 기공률은 0.5% 미만으로 유지되어 절삭 안정성을 보장합니다. 성능 시험 결과, WC-TiC 커터 헤드 의 내마모성은 단일 WC-Co 보다 30% 더 높았으며, 석탄암 절삭 속도는 8-10m/h 에 달했습니다.

중국 산시성의 한 탄광 터널링 머신은 WC-Co-TiC 커터 헤드(Co 8%, TiC 5%)를 사용하고 있으며, 갱석이 포함된 탄층을 2,000m 연속 굴착할 수 있습니다. 커터 헤드 마모는 0.01mm 미만이며 굴착 효율은 25% 증가합니다. 호주의 BHP 탄층 굴착 장비도 유사한 기술을 사용하며, 고가스 탄층에서 시속 9m의 굴착 속도와 2,500m의 수명을 자랑합니다. 앞으로 WC 기반 탄층 굴착 장비는 나노 WC 분말(<100nm)과 표면 코팅(예: CrN)을 사용하여 내마모성과 내부식성을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

4.3.2 쉘드 도구 및 터널링 장비에 텅스텐 카바이드 분말 적용

쉘드 공구와 터널링 장비는 터널 및 지하 공사에 사용됩니다. 텅스텐 카바이드 분말로 제작된 공구는 사암, 현무암 및 기타 지층에서 뛰어난 내마모성과 절삭력을 발휘합니다. 일본이 1960년대 쉘드 기계에 초경합금을 처음 도입한 이후, WC 기반 공구는 도시 지하철 및 산악 터널 건설의 핵심 기술로 자리 잡았습니다.

4.3.2.1 메트로 쉘드 커터헤드

지하철 쉘드 커터헤드는 사암, 점토 및 기타 지층 굴착에 사용됩니다. WC 기반 커터는 높은 내마모성과 긴 수명으로 인해 표준이 되었습니다. 공식은 WC-Co(Co 10%-15%)이며, 입자 크기가 2-5 μm 이고 열간 등방성 가압(HIP, 1450° C, 150MPa)으로 제조되었으며 경도는 HV 1400-1600 이고 절삭 수명은 6000m 이상입니다. WC의 높은 경도는 사암 마모(모스 5-6)에 강하고, 코발트의 인성은 커터헤드 진동(>10Hz)을 완화합니다. 커터 형태에는 호브와 스크레이퍼가 있으며, WC 커터 헤드 두께는 절삭 깊이와 안정성을 보장하기 위해 10-20mm 입니다. 데이터에 따르면 WC-Co 커터의 내마모성은 강철 커터보다 2~3 배 높고 절삭 속도는 50~80mm/min 에 이릅니다.

쉘드 커터헤드는 높은 수압(>5bar)과 머드 플러싱에서 작동해야 합니다. WC의 높은 밀도(>14.5g/cm³)와 내식성(염수 분무 시험>1000 시간)이 장점입니다. HIP 공정의 고압 밀도화로 공구 기공률이 <0.2%, 파괴 인성이 >12MPa·m^{1/2}가 됩니다. 이 경우 중국의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

베이징 지하철 14 호선은 사암층에서 6,500m 를 굴착한 WC-Co 롤러 커터(Co 12%)를 사용합니다. 교체 주기는 1 년을 초과하여 강철 커터(3 개월)보다 4 배 더 깁니다. 일본의 도쿄 지하철 쉼터 머신도 유사한 WC 커터를 사용하는데, 사암과 자갈을 절단할 때 수명이 7,000m 로 텅스텐 카바이드 분말의 높은 효율성을 강조합니다. 앞으로 WC 기반 쉼터 커터는 복합 코팅(TiAlN 등)과 지능형 모니터링을 통해 최적화되어 더욱 복잡한 형태에 적응할 수 있습니다.

4.3.2.2 경질 지반 터널링 커터

경질 지층 터널링 커터는 현무암, 화강암 및 기타 지층(모스 7-8)에서 사용됩니다. WC-TiC 커터는 내구성과 파괴 저항성이 뛰어납니다. WC 80%-85%, TiC 10%-15%, Co 5%-10%, 입자 크기 1-3 μm 로 구성되며, 초경 WC 분말(FSSS< 1 μm) 의 최적 소결(1450° C, 100MPa)을 통해 제조됩니다. 경도 HV 는 1600-1800, 파괴인성은 15MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ 이상입니다. TiC 를 첨가하면 고온 경도가 향상되고(1000° C 이상에서도 HV>1400 유지), WC 의 고경도는 경질 암석 절삭에 적합합니다.

cm^2) 및 고온(>800° C)의 경질 지층은 절삭 공구에 엄격한 요건을 요구합니다. WC- TiC 의 복합 구조는 TiC 의 열 안정성 과 WC 의 내마모성을 통해 시너지 효과를 발휘합니다. 소결 최적화를 통해 입자 균일도(RSD)는 5% 미만, 공구 밀도는 99.8% 이상으로 향상되었습니다. 성능 시험 결과, 현무암에서 WC- TiC 공구의 절삭 수명은 5,000m 이며, 내마모성은 단일 WC-Co 공구보다 50% 더 높습니다.

스위스 알프스 철도 터널의 터널 보링 머신은 WC- TiC 공구(TiC 12%)를 사용하여 현무암 지층을 5,500m 굴착했으며, 절삭 속도는 분당 40mm 로 공구 교체 주기를 10 개월로 연장했습니다. 중국 청두-쿤밍 철도 복선 공사에도 유사한 공구가 사용되었으며, 화강암 굴착 시 6,000m 의 수명을 기록했고, 파괴 저항성은 16MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ 였습니다. 앞으로 나노 입자(<100nm) 및 레이저 표면 경화 기술을 통해 WC- TiC 공구의 내구성을 더욱 향상시킬 수 있을 것입니다.

4.3.3 내마모성 라이닝 및 분쇄 장비에 텅스텐 카바이드 분말 적용

내마모성 라이너와 파쇄 장비는 광석 분쇄 및 파쇄에 사용됩니다. 텅스텐 카바이드 분말 강화 부품은 매우 낮은 마모율과 긴 수명으로 광산 가공의 핵심 부품으로 자리 잡았습니다.

4.3.3.1 볼밀 라이닝

볼밀 라이너는 광석 분쇄에 사용됩니다. WC 강화 라이너는 인레이 또는 복합 기술을 통해 내마모성을 향상시킵니다. WC-Co(Co 8%-12%)로 제조되며, 입자 크기는 3-5 μm 이고, 열간 가압 소결(1450° C, 40MPa)로 제조됩니다. 경도는 HV 1400 이며, 마모율은 <0.05g/t(광석 1 톤당 그램)입니다. WC 의 높은 경도는 광석의 충격과 마모에 강하고, 코발트의 인성은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

불밀 진동(>15Hz)을 흡수합니다. 라이너 두께는 20~50mm이며, 표면 조도 $Ra < 0.1 \mu m$ 는 분쇄 효율을 보장합니다.

불밀의 습식 분쇄 환경(물 슬러리)과 높은 부하(>100 t/h)는 라이너의 매우 높은 내구성을 요구합니다. WC 강화 라이너의 밀도는 $>14.8 g/cm^3$ 이고 내식성은 >500시간입니다. 호주의 BHP Iron Ore는 WC-Co 라이너(Co 10%)를 사용하는데, 이는 적철광 분쇄에서 2년 이상의 사용 수명, 0.04 g/t의 마모율, 30%의 효율 향상을 보입니다. 중국 Baosteel Group도 유사한 라이너를 사용하는데, 자철광 처리 시 사용 수명이 2.5년으로, 망간강 라이너(6개월)보다 5배 더 높습니다. 앞으로 Cr(5%~10%) 첨가 및 표면 질화 기술을 통해 WC 라이너의 내식성과 사용 수명을 향상시킬 수 있습니다.

4.3.3.2 크러셔 해머

크러셔 해머는 석회암, 맥석 및 기타 재료를 파쇄하는 데 사용됩니다. WC-Co 해머는 뛰어난 내마모성과 내충격성으로 유명합니다. WC-Co 해머는 88~92%의 WC, 8~12%의 Co를 함유하고 있으며, 입자 크기는 $2 \sim 4 \mu m$ 입니다. 진공 소결($1450^\circ C$, $10^{-2} Pa$)로 제조되었으며, 경도는 HV 1500, 충격 수명은 10만 회 이상입니다. WC는 경도가 높아 재료의 마모를 방지하고, 코발트는 인성이 높아 해머 에너지($30 J/cm^2$ 이상)를 흡수합니다. 해머 무게는 5~20kg이며, WC 층의 두께는 10~15mm로 파쇄 효율을 보장합니다.

크러셔의 고속 회전(>1000 rpm)과 충격 하중(>500 kN)은 해머 헤드에 엄격한 요구사항을 부과합니다. WC-Co의 미세 구조 균일성(Span<1.5)과 높은 밀도($>14.7 g/cm^3$)가 장점입니다. 이 경우 독일 Hazemag 회사의 WC-Co 해머 헤드(Co 10%)는 석회석 파쇄 시 120,000회의 수명을 가지며 마모는 10,000회당 <0.02 mm입니다. 중국 산둥성의 시멘트 공장도 유사한 해머 헤드를 사용하는데, 석회석 파쇄 시 수명이 150,000회이고 효율이 40% 증가합니다. 앞으로 WC-Co 해머 헤드의 피로 저항성은 복합 강화(예: WC-TiC-Ni) 및 열처리 최적화를 통해 더욱 개선될 수 있습니다.

4.4 전자 및 에너지 분야에서의 텅스텐 카바이드 분말의 응용

전자 및 에너지 분야에서 텅스텐 카바이드 분말(WC)은 기존의 초경합금 및 내마모성 코팅의 범위를 넘어서는 다재다능함을 보여주었습니다. 20세기 말, 새로운 에너지 기술(예: 연료 전지, 리튬 배터리)과 전자 장치(예: 슈퍼커패시터, LED 방열)의 등장으로 WC는 뛰어난 전기 전도성(저항률 $<10^{-5} \Omega \cdot cm$), 화학적 안정성(산 및 알칼리 내식성) 및 열 전도성($>120 W/m \cdot K$)으로 주목을 받았습니다. 전도성 코팅에서 촉매 캐리어, 에너지 저장 및 열 관리에 이르기까지 텅스텐 카바이드 분말은 이러한 첨단 분야에서 핵심적인 역할을 합니다. 이 섹션에서는 전도성 코팅 및 전극 재료, 촉매 캐리어, 에너지 저장 및 열 관리의 세 가지 측면에서 과학적 원리와 산업 관행을 결합하여 WC 분말이 전자 및 에너지 산업의 혁신에 어떻게 도움이 될 수 있는지 심층적으로 살펴봅니다.

4.4.1 전도성 코팅 및 전극 재료에 대한 텅스텐 카바이드 분말의 적용

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 카바이드 분말을 전도성 코팅 및 전극 소재에 적용하면 높은 전도성과 화학적 불활성을 활용할 수 있으며, 연료 전지 및 리튬 배터리와 같은 에너지 장치의 중요한 구성 요소가 됩니다.

4.4.1.1 연료 전지 전극

양성자 교환막 연료 전지(PEMFC)는 청정 에너지의 핵심 기술입니다. 텅스텐 카바이드 분말은 뛰어난 전도성과 내부식성으로 인해 전극 재료로 사용됩니다. WC 분말(입자 $<1\ \mu\text{m}$)은 물리 기상 증착(PVD)으로 제조되어 두께 $5\text{--}10\ \mu\text{m}$, 저항률 $<10^{-5}\ \Omega \cdot \text{cm}$, 사이클 안정성 $>10,000$ 회의 박막을 생성합니다. 기존 탄소 기반 캐리어(예: Vulcan XC-72, 저항률 $10^{-3}\ \Omega \cdot \text{cm}$)와 비교할 때 WC의 높은 전도성은 금속-세라믹 이중 특성에서 비롯됩니다. 텅스텐 원자의 d 전자는 자유 전자를 제공하고 탄소 원자의 공유 결합은 구조적 안정성을 향상시킵니다.

PVD 공정은 고에너지 이온을 사용하여 WC 타겟(전력 $2\text{--}5\text{kW}$, 진공 10^{-4}Pa)에 충격을 가하여 접착력 $>30\text{N/cm}$, 다공성 $<1\%$ 의 균일한 필름을 증착합니다. 성능 시험에 따르면 산성 환경($\text{pH} < 1$)에서 WC 전극의 내식성은 탄소보다 5 배 높고 전기화학적 안정성은 $0.5\text{MH}_2\text{SO}_4$ 에서 $10,000$ 회 사이클을 초과합니다. 캐나다의 Ballard Power Systems는 수소 연료 전지에 WC 박막 전극을 사용하는데, 전력 밀도는 1.2W/cm^2 이고 수명은 $8,000$ 시간으로 탄소 기반 전극($5,000$ 시간)보다 60% 더 높습니다. 중국의 Tsinghua University의 연구에 따르면 PEMFC에서 WC 전극의 촉매 활성은 Pt/C($>90\%$)와 비슷하지만 비용은 50% 절감됩니다. 향후에는 WC-Pt 복합 전극(Pt 함량 $<0.1\ \text{mg/cm}^2$)과 나노 WC 분말($<50\ \text{nm}$)을 적용하면 비용 효율성이 더욱 향상될 것입니다.

4.4.1.2 리튬 배터리 전류 수집기

리튬 배터리 전류 수집 장치는 전도성과 내식성을 모두 고려해야 합니다. WC 코팅은 플라즈마 분무 또는 PVD로 알루미늄 호일 표면에 증착되어 성능이 크게 향상됩니다. WC 분말(입자 크기 $0.5\text{--}2\ \mu\text{m}$)로 만든 코팅은 두께가 $10\text{--}20\ \mu\text{m}$ 이고 접착력이 $>20\text{N/cm}$ 이며 내식성이 맨 알루미늄 호일보다 2 배 높습니다. WC의 화학적 불활성(전해질과 반응하지 않음)과 전도도(저항률 $<10^{-5}\ \Omega \cdot \text{cm}$)는 고전압($>4.5\text{V}$)과 순환 충전 및 방전에서 안정성을 유지합니다. 기술 측면에서 플라즈마 분무(전력 30kW , 아르곤 50L/min)는 다공성 $<2\%$ 로 코팅 균일성을 보장하는 반면 PVD는 더 높은 정밀도(두께 편차 $<1\ \mu\text{m}$)를 제공합니다.

LiPF_6 전해액에서 WC 코팅된 알루미늄 호일의 부식 전류는 $<10^{-6}\ \text{A/cm}^2$ 이고, 1000 회 사이클 후 용량 유지율은 $>90\%$ 로 코팅되지 않은 알루미늄 호일($<70\%$)을 훨씬 능가합니다. 전기 자동차 배터리가 대표적인 응용 분야입니다. 미국 Tesla Inc.는 21700 배터리에 WC 코팅 전류 집전기를 사용하며, 1500 회 사이클 후에도 용량 유지율이 $>90\%$ 로 배터리 수명을 5 년까지 연장합니다. 중국 BYD의 블레이드 배터리도 유사한 기술을 사용하며,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

코팅 경도는 HV 1200 이고 내구성이 40% 향상되었습니다. 앞으로 WC-Co 복합 코팅과 초박형 WC 필름($<5\mu\text{m}$) 이 고에너지 밀도 배터리 개발을 촉진할 것입니다.

4.4.2 촉매 담체에 텅스텐 카바이드 분말의 적용

촉매 담체로서 WC 분말은 높은 비표면적($>50\text{ m}^2/\text{g}$)과 화학적 안정성으로 인해 수소 연료 및 화학 촉매 분야에서 잠재력을 보였습니다.

4.4.2.1 수소연료 촉매

나노 WC 분말($<50\text{ nm}$)은 물 전기분해를 통한 수소 생산에서 촉매 담체로 사용되어 값비싼 Pt/C(백금 탄소)를 대체합니다. WC의 높은 전도도와 내산성($\text{pH} < 1$)은 WC를 이상적인 기질로 만듭니다. Pt($0.05\text{--}0.2\text{ mg}/\text{cm}^2$)는 화학적 환원에 의해 담지되어 WC-Pt 복합 촉매를 형성합니다. 나노 WC는 플라즈마 환원(전력 10 kW , H_2 분위기)에 의해 제조되며, 비표면적은 $80\text{ m}^2/\text{g}$ 이고 기공률은 $>30\%$ 입니다. 촉매 활성 시험 결과, $0.5\text{ M H}_2\text{SO}_4$ 에서 WC-Pt의 수소 발생 과전압은 $<50\text{ mV}$ 이고, 활성은 $>95\%$ (Pt/C에 가까움)이며, 비용은 70% 감소합니다.

원칙적으로 WC 표면의 W 원자는 Pt와 유사한 전자 구조(d 밴드의 중심이 페르미 준위에 가까움)를 가지고 있어 H_2 의 침전을 촉진하는 반면 나노 크기는 활성 부위의 밀도($>10^{18}/\text{cm}^2$)를 향상시킵니다. 독일의 Fraunhofer 연구소는 전류 밀도 $2\text{ A}/\text{cm}^2$, 수명이 >8000 시간인 PEM 전해조에서 WC-Pt 촉매를 사용합니다. 중국 과학 아카데미의 연구에 따르면 알칼리 전기분해(1 M KOH)에서 WC-Pt의 안정성이 3배 증가한 것으로 나타났습니다. 앞으로 WC-Ni 복합 캐리어와 단일 원자 Pt 로딩 기술이 촉매 효율을 더욱 최적화할 것입니다.

4.4.2.2 화학 촉매

WC 기반 지지체는 고온 안정성($>600^\circ\text{C}$)과 암모니아 합성(하버-보쉬 공정)에서의 내구성으로 주목을 받고 있습니다. WC 분말(입자 크기 $1\text{--}3\mu\text{m}$)은 고온 소결(1600°C , N_2 분위기)을 통해 제조되어 비표면적이 $20\text{--}30\text{ m}^2/\text{g}$ 인 지지체를 제조하고 Fe 또는 Ru 촉매($5\%\text{--}10\%$)를 담지했습니다. WC의 높은 녹는점(2870°C)과 산화 저항성은 고압($>100\text{ bar}$) 및 고온에서 분해되지 않도록 보장하며 사용 수명은 >5000 시간입니다. 성능 테스트 결과 500°C 에서 WC-Fe 촉매의 암모니아 수율은 $15\text{ mmol}/\text{g}\cdot\text{h}$ 에 도달하고 안정성은 탄소 기반 지지체보다 2배 더 높습니다.

미국 듀폰(DuPont)은 암모니아 합성에 WC-Ru 캐리어를 사용하는데, 작동 온도는 600°C , 촉매 수명은 6,000 시간이며 수율은 20% 향상되었습니다. 중국 난징화공대학(Nanjing University of Chemical Technology)의 WC-Fe 캐리어 또한 산업 시험 단계에 있으며, 650°C 의 내열성과 50% 향상된 항독능($\text{H}_2\text{S} < 100\text{ ppm}$)을 보입니다. 앞으로 WC 기반 캐리어의 나노 크기($<100\text{ nm}$) 및 다공성 구조 설계를 통해 촉매 효율과 내황성이 향상될

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

것입니다.

4.4.3 에너지 저장 및 열 관리에 있어서 텅스텐 카바이드 분말의 적용

WC 분말은 높은 비용량과 열전도도를 바탕으로 에너지 저장 및 열 관리에 활용되어 슈퍼커패시터와 LED 방열 기술 개발을 촉진했습니다.

4.4.3.1 슈퍼커패시터

WC 기반 전극 소재는 슈퍼커패시터에서 높은 비용량(>250 F/g)과 긴 수명(>8000 회)으로 알려져 있습니다. 나노-WC 분말(<100 nm)은 화학 기상 증착(CVD, 800° C, CH₄ + H₂)으로 제조되며, 비표면적은 >60 m² /g, 기공률은 >40%입니다. WC의 높은 전도도(저항률 <10⁻⁵ Ω·cm)와 의사 커패시턴스 특성(표면 산화환원 반응)으로 인해 비용량이 탄소 기반 소재(<150 F/g)보다 훨씬 뛰어납니다. 기술 측면에서 CVD는 WC 입자의 균일한 증착, 50-100 μm의 전극 두께, >8000 회의 사이클 안정성을 보장합니다.

새로운 에너지 저장 시스템에서 미국 Maxwell은 10kW/kg의 출력 밀도와 10,000 회의 사이클 수명을 가진 슈퍼커패시터에 WC 전극을 사용하며, 이는 풍력 발전 평활화에 적용됩니다. 중국 선전에 있는 한 회사의 WC 기반 커패시터는 비용량이 280F/g 이고 에너지 밀도가 30% 향상되었습니다. 앞으로 WC-Co 복합 전극과 다공성 WC 설계는 더 높은 전력 응용 분야를 촉진할 것입니다.

4.4.3.2 열 관리 코팅

WC 방열 코팅은 높은 열전도도(>120 W/ m·K)를 갖는 LED 및 전자 장치의 열 관리 효율을 향상시킵니다. WC 분말(1~5 μm)은 HVOF 분무법으로 제조되며, 코팅 두께는 50~150 μm 이고 열전도도는 알루미늄(100 W/ m·K)보다 20% 더 높습니다. WC의 낮은 열팽창 계수(5.2×10⁻⁶/K)는 고온(>200° C)에서 코팅이 변형되지 않도록 합니다. 분무 속도(700 m/s) 및 산소 유량(30 L/min)과 같은 공정 변수는 코팅 밀도(>99%)를 최적화합니다.

네덜란드의 필립스는 고출력 LED에 WC 코팅을 사용하여 방열 효율을 25% 향상시키고 수명을 50,000 시간 이상으로 연장합니다. 중국의 Cree LED도 유사한 기술을 사용하여 열전도도를 130W/ m·K 로 높이고 작동 온도를 10° C 낮춥니다. 앞으로 WC-그래핀 복합 코팅과 초박형 WC 필름(<10 μm)을 통해 열 관리 성능을 더욱 향상시킬 것입니다.

4.5 항공우주 및 군사 분야에서 텅스텐 카바이드 분말의 적용

항공우주 및 군사 분야는 소재에 대한 요구 조건이 매우 엄격합니다. 텅스텐 카바이드 분말은 높은 경도(>2200 HV), 고온 저항성(>1300° C), 내충격성(>1200 m/s) 덕분에 터빈

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

블레이드, 장갑 및 우주선 부품에 이상적인 선택이 되었습니다. WC 기반 초경합금은 제 2 차 세계 대전 중 전차 장갑에 사용된 이후, 현대 항공기 엔진 및 항공우주 기술로 그 적용 범위가 확대되었습니다. 이 섹션에서는 터빈 블레이드 및 노즐, 장갑재, 그리고 우주선의 내마모성 부품이라는 세 가지 측면에서 극한 환경에서 WC 분말의 적용을 살펴봅니다.

4.5.1 터빈 블레이드 및 노즐에 텅스텐 카바이드 분말 적용

구성품 에서 내마모성과 내열성이 뛰어난 것으로 알려져 있습니다 .

4.5.1.1 항공기 엔진 블레이드

항공기 엔진 블레이드는 고온 연소 가스(>1300° C)와 모래 마모를 견뎌야 합니다. WC-Co 코팅은 HVOF(Co 10%-15%) 용사로 제조되며, 두께는 200-400 μm , 경도는 HV 1200-1400, 내열성은 1300° C 이상입니다. WC 는 높은 용점과 내산화성을 지녀 연소 가스 침식에 강하고, 코발트는 높은 인성을 지녀 열충격(>10 5 사이클)을 완화합니다. 기술적인 측면에서 HVOF 의 초음속 분사(>2000m/s)는 코팅의 기공률을 1% 미만으로 유지하고 접합 강도를 80MPa 이상으로 유지합니다.

미국 GE 의 GENx 엔진 블레이드는 WC-Co 코팅을 사용하여 4,000 시간 이상의 사용 수명, 5%의 추력 효율 향상, 그리고 1,000 시간당 0.005mm 미만의 마모율을 달성했습니다. 영국 롤스로이스의 Trent XWB 또한 유사한 코팅을 사용하여 1,350° C 의 내열성과 30% 향상된 작동 안정성을 제공합니다. 향후 WC-Cr 복합 코팅과 초미립 WC 분말(< 1 μm)을 사용하여 내열성을 더욱 향상시킬 예정입니다.

4.5.1.2 로켓 노즐

고체 로켓 노즐은 고온 절삭(>3000° C)에 대한 내성을 가져야 합니다. WC 기반 내열 코팅은 플라즈마 용사 공정을 통해 두께 0.5-1mm, 절삭 저항 <0.01mm/s 로 제조됩니다. WC 분말(5-10 μm) 에 Ni(10%-15%)를 첨가하여 코팅 경도를 HV 1100 으로 높이고 내열성을 2000° C 이상으로 향상시킵니다. 플라즈마 용사의 고온(>15000° C) 및 급속 냉각(>10⁶ °C/s)은 1000° C 이상의 산화 저항성을 갖는 치밀한 구조를 형성합니다.

NASA 의 SLS 로켓 노즐은 WC-Ni 코팅을 사용하며, 절삭 속도는 0.008mm/s 이고 작동 시간은 120 초 이상입니다. 중국의 장정(長征) 시리즈 로켓도 유사한 기술을 사용하여 내열성이 20% 향상되었습니다. 앞으로 WC- ZrC 복합 코팅은 고온 응용 분야에 활용될 것입니다.

4.5.2 장갑재에 텅스텐 카바이드 분말의 적용

WC 기반 장갑소재는 높은 경도와 관통 저항성을 갖춰 군용장비를 보호합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.5.2.1 탱크 장갑

WC 세라믹 복합 장갑은 열간 압착 및 소결(1800° C, 50 MPa)을 통해 생산되며, 경도는 2200 HV 이상, 관통 저항은 1200 m/s 이상입니다. WC 분말(1~5 μm)에 TiC (10~20%)를 혼합하여 밀도 14.5 g/cm³, 두께 50 mm 미만으로 제작합니다. WC의 높은 경도는 탄환을 파괴하고, TiC의 높은 인성은 충격 에너지(500 kJ/m² 이상)를 흡수합니다.

러시아 T-90 전차는 WC-TiC 장갑을 사용하여 120mm 철갑탄을 막아내 방호력을 40% 향상시켰습니다. 중국 99A 전차도 유사한 기술을 사용하여 1,300m/s의 관통력을 발휘합니다. 앞으로 WC-그래핀 복합 장갑은 무게를 줄이고 성능을 향상시킬 것입니다.

4.5.2.2 방탄조끼 플러그인

경량 WC 기관은 방탄조끼 인서트에 사용되며, 무게는 <2 kg/m², 경도는 HV 2000, 보호 수준은 NIJ IV(7.62 mm 탄환, 860 m/s)입니다. WC 분말(<1 μm)은 HIP(1450° C, 200 MPa)로 제조되며, 두께는 5-10 mm, 파괴 인성은 >10 MPa·m¹/²입니다. 미국 Ceradyne의 WC 인서는 무게가 1.8 kg/m²이고 보호 효율이 30% 향상되었습니다. 중국 군수 기업도 충격 수명이 >20 회인 유사한 제품을 개발했습니다. 앞으로 WC-B₄C 복합체는 더욱 가벼워질 것입니다.

4.5.3 우주선 내마모 부품에 텅스텐 카바이드 분말 적용

WC 코팅은 우주선 구성품에서 마찰이 적고 수명이 긴 것으로 알려져 있습니다.

4.5.3.1 선상 기계

위성 접합부는 진공 및 고방사능 환경에서 작동해야 합니다. WC 코팅은 진공 PVD(전력 3kW, 10⁻⁵Pa)로 증착되며, 두께는 5~15 μm, 마찰 계수는 <0.05, 수명은 10년 이상입니다. WC는 높은 경도(HV 1800)와 화학적 불활성(우주선에 대한 저항성)을 갖춰 안정성을 보장합니다. 유럽의 에어버스는 통신 위성 접합부에 WC 코팅을 사용하고 있으며, 마찰 계수는 0.04로 15년 동안 작동해 왔습니다. 중국의 베이더우 위성도 유사한 기술을 사용하여 수명을 20% 증가시켰습니다. 앞으로 WC-DLC 복합 코팅은 마찰을 더욱 감소시킬 것입니다.

4.6 기타 신규 응용 분야에서의 텅스텐 카바이드 분말의 적용

다기능 소재인 텅스텐 카바이드 분말(WC)은 3D 프린팅, 바이오 의학 및 지능형 제조와 같은 신흥 분야에 적용되어 왔습니다. 20세기 말부터 적층 제조 기술의 획기적인 발전, 바이오 의학 분야의 고성능 소재에 대한 수요 증가, Industry 4.0의 지능화 추구로 인해 WC 분말은 높은 경도(HV 2000-2500), 초저 마모율(<0.01 mm³/N·m), 뛰어난 화학적

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

안정성(산 및 알칼리 저항성) 및 전도성(저항률 $<10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$)으로 인해 이러한 분야의 연구 핫스팟이 되었습니다. 이 섹션에서는 텅스텐 카바이드 분말이 신흥 기술에서 어떻게 잠재력을 발휘할 수 있는지 살펴보고 역사적 배경, 과학적 원리 및 산업 관행을 결합하여 3D 프린팅 및 적층 제조, 바이오 의학 소재, 지능형 제조 및 센서의 세 가지 측면에서 미래 혁신을 지원합니다.

4.6.1 3D 프린팅 및 적층 제조에 텅스텐 카바이드 분말 적용

, 적층 제조(AM)는 금속 부품 제조에 중요한 기술로 발전해 왔습니다. 텅스텐 카바이드 분말은 높은 녹는점(2870°C), 뛰어난 가공성, 그리고 내마모성을 갖춰 금속 3D 프린팅에 이상적인 소재로 자리 잡았습니다. 항공 부품이든 복잡한 금형이든, WC 분말의 적용은 기존 제조 모델을 변화시키고 있습니다.

4.6.1.1 금속 부품 인쇄

선택적 레이저 용융(SLM)은 금속 3D 프린팅의 핵심 기술입니다. WC-Co 분말(코발트 함량 10%-15%, 입자 크기 $1-5 \mu\text{m}$)을 사용하여 SLM을 통해 고밀도 부품을 준비하며, 밀도는 $>99\%$ 이고 정확도는 $\pm 0.02\text{mm}$ 입니다. SLM은 고에너지 레이저 빔(전력 300-500W, 파장 1064nm)을 사용하여 WC-Co 분말을 층별로 용융하며, 스캐닝 속도는 800-1200mm/s, 층 두께는 $20-50 \mu\text{m}$, 냉각 속도는 최대 10^6°C/s 입니다. 따라서 입자 크기는 $2-3 \mu\text{m}$ 로 제어되고 경도는 HV 1400-1600, 인장 강도는 $>1200\text{MPa}$ 입니다. WC의 높은 열전도도($>120 \text{W/m}\cdot\text{K}$)와 낮은 열팽창 계수($5.2 \times 10^{-6} / \text{K}$)는 열응력을 감소시키고($<200 \text{MPa}$), 부품에 균열이 생기지 않도록 보장하며, 다공성은 $<0.5\%$ 입니다.

과학적인 관점에서, WC의 육각형 구조($a=2.906\text{\AA}$, $c=2.837\text{\AA}$)는 높은 경도와 변형 저항성을 제공하는 반면, 코발트는 레이저 용융 중 액상을 형성하여 WC 입자를 적시고 치밀화를 촉진합니다. 기판 예열(200°C) 및 불활성 분위기(Ar , $\text{O}_2 < 50\text{ppm}$)와 같은 공정 최적화는 산화 위험을 더욱 줄입니다(산소 함량 $<0.01\%$). 성능 테스트 결과, WC-Co 인쇄 부품의 내마모성은 기존 주조물보다 2배 높고, 내식성은 염수 분무 시험에서 1000시간을 초과하며, 피로 저항성은 106사이클 이상입니다.

항공 부품의 신속한 프로토타입 제작은 SLM에서 WC-Co 파우더를 활용한 전형적인 사례입니다. 미국의 GE Aviation은 WC-Co 파우더를 사용하여 $100 \times 50 \times 30\text{mm}$ 크기의 터빈 블레이드 브래킷을 인쇄하고 정확도는 $\pm 0.015\text{mm}$ 입니다. 생산 주기는 3개월에서 2주로 단축되었고, 내마모성은 30% 향상되었으며, 무게는 15% 감소했습니다. 인쇄된 부품은 1200°C 의 가스 환경에서 5,000시간 동안 작동하며 마모율은 0.02mm 미만입니다. 중국 시안에 위치한 한 항공 회사는 WC-Co 파우더를 사용하여 밀도 99.5%, 노즐 직경 $\pm 0.01\text{mm}$, 연비 5% 향상의 엔진 인젝터를 인쇄했습니다. 독일 프라운호퍼 연구소의 시험 결과, WC-Co 인쇄 부품의 미세 구조 균일성($\text{RSD} < 5\%$)이 단조 부품보다 우수하며, 복잡한 형상(예: 내부 유동 채널)에 적합한 것으로 나타났습니다. 앞으로 WC-Ni 복합 분말(Ni 10%-15%)과 초미립 WC($<1 \mu\text{m}$)는 표면 품질($\text{Ra} < 0.05 \mu\text{m}$)과 인쇄 정확도($\pm 0.01\text{mm}$)를 향상시키고 항공우주 및 자동차 산업에서 맞춤형 생산을 촉진할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.6.1.2 금형 제조

나노 WC 파우더($<100\text{ nm}$)는 높은 경도(HV 2000)와 미세 구조로 인해 3D 프린팅 금형에 선호되는 소재입니다. SLM 또는 바인더 제트 방식으로 제조합니다. SLM 공정에서 레이저 출력은 400 W 이고, 층 두께는 $20\text{ }\mu\text{m}$ 이며, 나노 WC의 높은 비표면적($>50\text{ m}^2/\text{g}$)은 소결 활성을 향상시키고, 금형 밀도는 $>99.8\%$, 표면 거칠기 $Ra<0.1\text{ }\mu\text{m}$, 압축 강도는 $>4500\text{ MPa}$ 입니다. 바인더 제트 방식은 유기 바인더(예: PVA, 5%-10%)를 분사하여 WC 파우더를 응고시킨 다음 탈지(500°C) 및 소결(1450°C , H_2 분위기)합니다. 이는 대량 저비용 생산에 적합하며 금형 경도는 HV 1800-2000 입니다.

금형은 높은 하중($>1000\text{ kN}$)과 마모를 견뎌야 합니다. 나노 WC($<0.5\text{ }\mu\text{m}$)의 미세 입자는 피로 저항성($>10^6$ 사이클)과 파괴 인성($>12\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)을 향상시킵니다. 과학적 원리에 따르면 나노 WC의 높은 표면 에너지는 입자 간 결합을 촉진합니다. 소결 후 입체 밀도는 $>10^7/\text{cm}^3$ 로 내구성이 크게 향상됩니다. 독일 EOS는 $200\times150\times50\text{ mm}$ 크기, HV 2100 경도, 500,000 회 이상의 수명을 가진 SLM 프린팅 사출 금형에 나노 WC 파우더를 사용합니다. 이는 강철 금형(H13, $<100,000$ 회)보다 5 배 더 높습니다. 중국 상하이의 한 금형 공장은 바인더 분사 기술을 사용하여 $\pm 0.03\text{ mm}$ 정확도의 스탬핑 금형을 인쇄하여 생산 비용을 40% 절감하고 자동차 부품 성형에 적합합니다. 일본 토요타 또한 알루미늄 합금 다이캐스팅에 나노 WC 금형을 사용하고 있으며, 표면 거칠기는 $Ra<0.08\text{ }\mu\text{m}$, 수율은 99.5%입니다. 앞으로 WC-TiC 복합 분말(TiC 10%-20%)과 다중 소재 인쇄(예: WC+강철 경사 구조)를 통해 금형의 고성능 및 복잡한 기능 통합을 실현할 것입니다.

4.6.2 생체재료에 대한 텅스텐 카바이드 분말의 적용

WC 분말이 생물의학 분야에 적용되기 시작한 것은 20 세기 후반이었습니다. 인공 관절과 치과 보철물에 대한 수요가 증가함에 따라, WC 분말은 내마모성(마모율 $<0.001\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)과 생체적합성(ISO 10993-5)을 갖춰 이상적인 선택이 되었습니다.

4.6.2.1 정형외과 임플란트

WC 코팅은 매우 낮은 마모율과 고관절 및 무릎 임플란트에서 뛰어난 생체적합성으로 주목을 받고 있습니다. WC-Ti 복합 코팅(WC 80%, Ti 20%)은 플라즈마 분무 또는 PVD로 두께 $50\text{--}100\text{ }\mu\text{m}$, 경도 HV 1800, 마모율 $<0.001\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, 세포 생존율 $>98\%$ 로 제조되었습니다. WC의 높은 경도는 관절 마찰($>10^7$ 사이클)에 강하고 티타늄을 첨가하면 골 통합이 향상됩니다(표면 다공성 $>20\%$, 이는 골 세포 부착에 도움이 됨). 플라즈마 분무(전력 35 kW , 아르곤 40 L/분 , 분무 거리 100 mm)는 코팅 결합 강도 $>50\text{ MPa}$ 를 보장하고 PVD(진공도 10^{-4} Pa , 증착 속도 0.5 nm/s)는 더 높은 균일성(두께 편차 $<2\%$)을 제공합니다.

성능 시험에 따르면 모의 체액(SBF, pH 7.4)에서 WC-Ti 코팅의 부식 속도는 $<0.0005\text{ mm/년}$ 이고, 세포독성 시험의 생존율은 99%이며, 내마모성은 CoCrMo 합금(마모율

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0.005mm³/N·m)보다 5 배 더 높습니다. 미국의 Zimmer Biomet 은 직경 32mm, 마모율 0.0008mm³/N·m, 수명 >20 년, 수술 후 마모 파편이 70% 감소하여 염증 위험이 감소한 고관절 볼 헤드에 WC-Ti 코팅을 사용합니다. 중국의 베이징 지수이탄 병원에서 실시한 임상 시험에서 WC 코팅 임플란트의 수술 후 감염률은 <1%이고, 골 결합 강도는 >10MPa 이며, 환자의 보행 능력 회복률이 30% 증가한 것으로 나타났습니다. 독일의 오토복(Otto Bock) 또한 무릎 관절에 WC-Ti 코팅을 적용하여 내마모성을 3 배 향상시키고 수명을 25 년으로 연장했습니다. 앞으로 WC-HA(하이드록시아파타이트, 10~20%) 복합 코팅과 나노 WC(<50nm)는 골 유착 및 항균 특성(은 이온 첨가)을 최적화하고 임플란트의 지능적 개발을 촉진할 것입니다.

4.6.2.2 치과 보철물

WC 기반 재료는 높은 파괴 강도(>1000 MPa)와 크라운, 브릿지 및 임플란트 복원의 심미성으로 알려져 있습니다. WC-Co(Co 5%-8%) 또는 WC- TiC 분말(입자 크기 0.5-2 μm)은 열간 프레스(1400° C, 40 MPa, H₂ 분위기)로 제조되며 경도는 HV 1800, 밀도는 >99.5%, 연마 후 표면 거칠기는 Ra<0.05 μm 로 천연 에나멜(HV 300-400)에 가깝습니다. WC 의 높은 경도는 씹는 마모(>106 사이클)에 강하고 코발트 또는 TiC 의 인성은 취성 파괴(K_{IC}>10 MPa·m^{1/2})를 방지합니다. 기술적인 측면에서 열간프레스의 고압은 결정립계 응력을 <100 MPa 로 만들고, 침액 내식성은 >1000 시간입니다.

독일 VITA 는 구치부 수복에 WC-Co 크라운을 사용하는데, 이 크라운은 파절 강도가 1200MPa 이고, 지르코늄 옥사이드(ZrO₂ , HV 1200)보다 내마모성이 50% 높으며, 수명은 15 년 이상, 색상 일치율은 95% 이상입니다. 중국 선전의 한 치과 회사는 경도가 HV 1900 이고, 저작력이 800N 이상이며, 환자 만족도가 20% 향상된 WC - TiC 치과 브릿지를 개발했습니다. 미국 Dentsply Sirona 또한 임플란트 지대주에 WC 기반 재료를 사용하는데, 인장 강도가 1100MPa 이상이며 내구성이 20 년 이상입니다. 미래에는 WC 기반 소재의 나노 사이징(<100 nm)과 표면 생리활성 코팅(예: CaP , 두께 2-5 μm)이 복구 효과, 항균 특성, 편안함을 개선하고 개인화된 치과 요구를 충족시킬 것입니다.

4.6.3 지능형 제조 및 센서 분야에서 텅스텐 카바이드 분말의 적용

스마트 제조와 센서 기술은 Industry 4.0 의 핵심입니다. WC 파우더는 고온 안정성(>1000° C), 전도성 및 내마모성을 갖춰 고정밀 모니터링 및 제어를 지원합니다.

4.6.3.1 고온 센서

1ms) 으로 고온 센서의 산업 환경 모니터링을 지원합니다 . WC 파우더(1-3 μm)는 소결(1600° C, N₂ 분위기, 압력 30MPa)을 통해 민감한 소자를 제조하는 데 사용되며, 경도는 HV 1500, 저항률은 <10⁻⁵Ω·cm, 밀도는 >99%입니다. WC 의 높은 녹는점(2870° C)과 산화 저항성은 고온 산화 환경(예: 제강로, O₂ > 5%)에서 안정성을 보장하고 전도성은 전기 신호 전도(감도 >10mV/° C)를 지원합니다. 기술 측면에서 소결

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

후 표면에 Pt 도금(두께 $5\mu\text{m}$, PVD 증착)을 하면 감도가 향상되고 응답 시간이 0.8ms 로 단축됩니다.

제강로 모니터링은 전형적인 응용 분야입니다. 미국의 Honeywell은 1500°C 용강 감지에 WC 기반 센서를 사용하며, 정확도는 $\pm 5^{\circ}\text{C}$, 수명은 6개월 이상, 응답 시간은 0.8ms 로 세라믹 센서(수명 < 2개월)보다 3배 빠릅니다. 중국 Baosteel Group은 WC 센서를 사용하여 변환기를 모니터링하며, 온도 저항은 1200°C , 작동 안정성은 40% 증가, 고장률은 < 0.5%입니다. 독일의 Siemens도 가스터빈에 WC 부품을 사용하며, 온도 저항은 1300°C , 데이터 수집 속도는 > 1000 회/초입니다. 앞으로 WC-그래핀 복합 재료(전도도 20% 증가)와 소형화 설계(크기 < 1mm)가 항공기 엔진과 원자로에서 센서 적용을 촉진할 것입니다.

4.7 텅스텐 카바이드 분말의 적용 사례 및 데이터 분석

이 섹션에서는 자세한 요약 표, 포괄적인 성능 비교, 심층적인 사례 연구를 통해 다양한 분야에서 텅스텐 카바이드 분말의 적용 효과를 체계적으로 분석하여 과학적 연구와 산업적 응용을 위한 참고 자료를 제공하는 풍부한 정량적 데이터와 실제 경험을 제공합니다.

4.7.1 텅스텐 카바이드 분말 산업 응용 요약 표

다음은 시멘트 초경, 코팅, 광산, 전자, 항공 및 군수 산업 분야의 주요 지표를 포함하여 주요 산업에서 WC 분말의 자세한 응용 데이터를 요약한 것입니다.

필드	일반적인 응용 프로그램	공식	경도 (Hv)	내마모성 ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{M}$)	수명	기술	대표 회사
초경합금	선삭 공구	WC-Co (Co 8%)	1500-1800	< 0.01	10 만개 이상	열간 프레스 소결	샌드빅
표면 코팅	HVOF 블레이드 코팅	WC-Co (Co 12%)	1200-1400	< 0.01	> 3000 시간	HVOF 분무	GE 항공
광산 도구	단단한 바위 드릴 비트	WC-Co (Co 10%)	1400-1600	< 0.005	> 1000m	진공소결	에틀라스 콤팩트
전자 에너지	연료 전지 전극	화장실	1200-1500	-	> 10,000 회 사이클	PVD 증착	발라드
항공 및 군수 산업	탱크 장갑	WC- TiC (TiC 15%)	> 2200	-	> 1200m/s 방관통성	열간 프레스 소결	라인메탈
3D 프린팅	항공 부품	WC-Co (Co 15%)	1400-1600	< 0.01	> 5000 시간	에스엘엠	GE 항공
생물의학	고관절 코팅	WC-Ti (Ti 20%)	1800	< 0.001	20 년 이상	플라즈마 분무	짐머 바이오메트

4.7.2 텅스텐 카바이드 분말 성능 비교 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

WC 분말과 기존 소재 간의 성능 비교는 경도, 내마모성, 수명 및 내열성과 같은 주요 지표를 포함하여 다음과 같습니다.

경도 :

WC-Co: HV 1500-2200, 고속도강(HSS): HRC 60-65(대략 HV 600-800), 20-30 배 증가.

WC- TiC 장갑: HV >2200, 세라믹(Al_2O_3): HV 1500-1800, 20%-30% 증가.

내마모성:

WC 코팅 : $<0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, Cr 코팅 : $0.05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, 5 배 향상.

WC-Ti 정형외과용 코팅 : $<0.001 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, CoCrMo : $0.005 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, 5 배 향상.

삶 :

WC 드릴 비트: >1000m, 강철 드릴 비트: <300m, 3-5 배 향상.

WC-Co 금형 : >500,000 배, H13 강 금형 : <100,000 배, 5 배 증가.

온도 저항성:

WC 코팅: >1300° C, Ni 기반 합금: <1000° C, 30% 증가.

WC 센서: >1000° C, 세라믹 센서: <800° C, 25% 증가.

전도도 및 안정성:

WC 전극: 저항률 $<10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$, 탄소 기반: $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$, 100 배 향상, 사이클 안정성 >10,000 배.

이러한 데이터는 WC 분말이 경도, 내마모성 및 수명 측면에서 기존 소재를 훨씬 능가하며, 특히 고온 및 고부하 환경에서 우수함을 보여줍니다.

4.7.3 텅스텐 카바이드 분말의 성공 사례 연구

다음은 WC 분말의 적용 결과를 보여주는 유명 글로벌 기업의 심층적인 사례 분석입니다.

샌드빅(스웨덴):

제품: WC-Co 심공 드릴 (Co 8%, 입자 1-3 μm).

적용 분야: 항공기 엔진 강철 가공, 절삭 속도 200m/min, 수명 > 500m, 정확도 $\pm 0.01\text{mm}$.

기술: 진공소결(1450° C, 10^{-2} Pa), TiAlN 코팅(5 μm).

결과: 글로벌 시장 점유율 20% 이상, 생산 효율성 40% 증가, 비용 25% 감소.

배경: Sandvik은 1960 년대에 WC 를 암석 드릴링 도구에 도입했고, 21 세기에는 정밀 절삭으로 확장했습니다.

케나메탈(미국):

제품: WC- TiC 항공 도구 (TiC 10%, Co 10%).

적용 분야: CFRP 가공, 절삭 속도 250m/min, 정확도 $\pm 0.005\text{mm}$, 수명 >500 개.

기술: HIP 소결(1450° C, 150 MPa), 입자 크기 <1 μm .

결과: 비용이 30% 절감되고, 보잉 787 프로젝트에 공급업체로 선정되었으며, 내마모성이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

50% 증가했습니다.

배경: 케나메탈은 혁신적인 복합 소재로 유명하며, WC-TiC 공구는 초경 소재 가공 분야의 틈새를 메웁니다.

주저우 시멘트 카바이드(중국):

제품: WC-Co 스탬핑 다이(Co 8%, 입자 2-4 μm).

적용분야: 자동차 강판 스탬핑, 수명 > 500,000 회, 경도 HV 1600.

기술: 열간 압착 소결(1500° C, 30 MPa), 표면 마감 Ra<0.05 μm .

성과: 국내 매출 1 위, 효율성 5 배 증가, 수출 점유율 30% 이상.

배경: 주저우는 1960 년대부터 시멘트 카바이드 산업을 발전시켜 왔으며, 현재는 세계적인 중요한 생산 기지가 되었습니다.

GE 항공(미국):

제품: WC-Co SLM 항공우주 부품(Co 15%).

적용 분야: 터빈 브라켓, 밀도 99.5%, 온도 저항 1200° C, 수명 >5000 시간.

기술: SLM(전력 400W, Ar 분위기), 정확도 $\pm 0.015\text{mm}$.

결과: 생산 주기가 2 주로 단축되었고, 무게는 15% 감소했으며, 연료 효율은 5% 향상되었습니다.

GENx 엔진 에서 대량 생산되었습니다 .

이러한 사례는 WC 분말의 기술적 성숙도와 다양한 분야에서의 경제적 이점을 보여주며, 업계에 귀중한 경험을 제공합니다.

4.8 텅스텐 카바이드 분말의 미래 응용 전망

텅스텐 카바이드 분말의 미래 응용 전망은 광범위하며, 양자 컴퓨팅 및 플렉서블 전자 장치와 같은 최첨단 분야를 포괄하는 동시에 나노 스케일링 및 고온 안정성과 같은 기술적 과제에 직면하고 있습니다. 본 논문에서는 텅스텐 카바이드 분말의 새로운 잠재력, 기술적 해결책 및 시장 전망을 상세히 분석하여 WC 분말의 미래 개발에 대한 청사진을 제시합니다.

4.8.1 신형 분야에서의 텅스텐 카바이드 분말의 잠재력

양자 컴퓨팅 냉각 구성 요소:

배경: 양자 컴퓨팅은 초저온(<10 K) 환경을 필요로 합니다. 기존 구리(Cu, 열전도도 400 W/ m·K)는 고밀도 열 관리 요건을 충족하기 어렵습니다.

응용 분야: WC는 높은 열전도도(>120 W/ m·K)와 저온 안정성을 갖춰 초전도 양자 칩 방열에 적합합니다. 미국 IBM 은 WC-그래핀 복합 소재를 연구하고 있으며, 열전도도가 150~200 W/ m·K 까지 증가 하고 열팽창 계수가 $<5 \times 10^{-6}/\text{K}$ 로 향상되어 1K 에서 칩의 안정적인 작동을 보장할 것으로 예상됩니다.

800° C 의 H₂ + CH₄ 분위기에서 WC-그래핀 필름(두께 10-20 μm)의 CVD 증착.

잠재력: 양자 비트 수명이 20% 증가하고 냉각 효율이 30% 향상됩니다. 2030 년 이전에 실용화될 것으로 예상됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

유연한 전자 전도성 층:

배경: 웨어러블 기기와 같은 유연 전자 기기는 얇고 가벼우며 전도성이 높은 소재를 필요로 합니다. 기존 ITO(인듐 주석 산화물)는 깨지기 쉽고 가격이 비쌉니다.

응용 분야: 나노 WC 파우더(<50 nm)는 잉크젯 인쇄를 통해 저항률 <10⁻⁵ Ω·cm, 굽힘 반경 <5 mm의 유연성을 가진 유연한 전도성 필름을 제조하는데 사용됩니다. 삼성에서 실시한 한국 테스트 결과, WC 필름 두께는 5~10 μm이고 투과율은 85% 이상으로 OLED 디스플레이에 적합한 것으로 나타났습니다.

기술: 잉크젯 인쇄(잉크 농도 10 wt %, 초음파 분산 50W), 소결 온도 500 °C.

잠재력: 비용이 50% 절감되면 유연 전자제품의 시장 점유율은 2025년 10%에서 2030년 25%로 증가할 것으로 예상됩니다.

다른 잠재력:

핵융합로 벽 소재: WC는 녹는점이 높고(2870°C) 방사선 저항성이 뛰어나 토카막 장치에 사용할 수 있으며, 열충격 저항성은 2000°C 이상입니다.

심해 탐사 압력 저항성 부품: WC-Co 복합 재료(Co 10%)는 압축 강도가 >4500 MPa이며 100,000m 심해 압력을 견딜 수 있습니다.

4.8.2 텅스텐 카바이드 분말의 기술적 과제 및 해결책

나노 WC 분말의 분산성 향상:

과제: 나노 WC(<100 nm)는 표면 에너지가 높아 응집되기 쉽고, 응집률이 20% 이상이므로 인쇄 및 코팅의 균일성에 영향을 미칩니다.

현재 상황: 기존 분산제(예: PVP)의 효과는 제한적이며, 응집률은 여전히 10% 이상이며, 소결 후 기공률은 5% 이상입니다.

해결책:

표면 개질: WC 입자를 폴리아크릴산(PAA, 0.5%-1%)으로 코팅하여 표면 제타 전위를 -10mV에서 -30mV로 증가시켰고 응집 속도를 <5%로 감소시켰습니다.

초음파 분산: 초음파 매개변수가 최적화되었고(50W, 10분, 주파수 40kHz), 평균 입자 크기가 200nm에서 80nm로 감소했습니다.

플라즈마 처리: 저온 플라즈마(전력 100W, Ar 분위기)로 표면 유기물을 제거하고 분산 안정성을 50% 향상시킵니다.

전망: 분산이 개선되면 SLM에서 나노 WC의 적용 효율이 30% 증가하고 코팅 다공성은 <1%가 됩니다.

고온 코팅의 안정성 향상:

과제: WC 코팅은 1500°C 이상에서 쉽게 산화되어 WO₃를 형성하며, 산화 저항성이 부족하고 수명이 1000시간 미만입니다.

현재 상황: 기존 WC-Co 코팅은 1300°C에서 한계에 도달했으며, 항공우주 분야에서는 더 높은 온도 저항성(>1800°C)이 요구됩니다.

해결책:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

복합 첨가: ZrC (10%-20%) 또는 TaC (5%-15%)를 첨가하여 고온 안정상(녹는점>3000° C)을 형성하고, 산화 저항성이 1800° C로 향상됩니다.

콜드 스프레이 기술: 분무 온도 <500° C, 입자 속도 >1000 m/s, 고온 산화 방지, 코팅 수명 >2000 시간.

구배 구조: WC-Al₂O₃ 구배 코팅(두께 200-500 μm) 설계, 표면 온도 저항성 >2000° C, 내부 인성 >10 MPa • m^{1/2}.

전망: 로켓 노즐의 고온 코팅은 수명을 50%까지 연장할 수 있어 핵융합과 초음속 비행의 요구를 충족할 수 있습니다.

다른 과제:

비용 관리: 나노 WC 분말의 가격은 kg 당 500 위안 이상이며, 플라즈마 제조 효율을 최적화하여 이를 kg 당 300 위안 미만으로 낮춰야 합니다.

환경 보호: WC 생산 시 발생하는 일산화탄소 배출량은 재활용 기술을 통해 90% 이상 줄여야 합니다.

4.8.3 텅스텐 카바이드 분말 시장 전망

글로벌 시장 조사(MarketsandMarkets et al.)에 따르면 2030년까지 WC 파우더 수요 추세는 다음과 같습니다.

전반적인 성장:

연간 성장률: 6% 이상(2025-2030년), 시장 규모는 2023년에 약 150억 달러에 이를 것으로 예상되며, 2030년에는 250억 달러를 넘어설 것으로 예상됩니다.

주요 요인: 항공우주(터빈 수요), 신에너지(배터리 및 촉매), 3D 프린팅의 대중화.

주요 분석 영역:

항공우주(30%):

수요: WC 코팅 및 장갑에 대한 수요는 연간 8%씩 증가하여 2030년에는 35%를 차지할 것으로 예상됩니다.

사례: GE와 롤스로이스는 WC 부품의 비중을 10%에서 20%로 늘릴 계획입니다.

새로운 에너지(25%):

수요: 연료 전지 및 리튬 배터리를 위한 WC 분말은 연간 10%씩 성장할 것이며, 2030년 시장 규모는 60억 달러 이상에 달할 것으로 예상됩니다.

사례: 테슬라와 발라드의 확장 계획으로 수요가 두 배로 증가하다.

3D 프린팅(15%):

수요: 나노 WC 파우더는 연간 12%씩 성장할 것이며 2030년까지 적층 제조 소재의 20%를 차지할 것입니다.

사례: EOS와 GE Additive는 WC 인쇄 생산량이 5배 증가할 것으로 예측합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

광업 및 건설(20%) :

수요: 인프라 건설에 힘입어 5%의 꾸준한 성장세를 보이고 있습니다.

생물의학(5%) :

수요: 연간 성장률 15%, 2030 년 시장 규모 10 억 달러 이상.

지역별 분포:

중국: 전 세계 생산량의 40%를 차지하며, 주저우 등의 기지에서 연간 생산량이 5 만 톤을 넘습니다.

유럽: 25%, Sandvik 과 EOS 가 기술 혁신을 선도하고 있습니다.

북미: 20%, GE 와 Kennametal 이 고급 애플리케이션을 홍보합니다.

기술 동향의 영향: 나노 WC 분말의 비중은 2023 년 5%에서 2030 년 15%로 증가할 것으로 예상되며, 이로 인해 시장이 고급 개발로 나아갈 것입니다.

참고문헌

중국어 참조

[1] GB/T 4295-2008 텅스텐 카바이드 분말 중국 국가 표준화 관리국 2008 텅스텐 카바이드 분말의 기술적 요구 사항 및 시험 방법을 지정합니다.

[2] GB/T 34503-2017 경금속 암석 드릴링 도구 중국 국가 표준화 관리국 2017 암석 드릴링 도구용 시멘트 카바이드의 특성 및 시험 방법을 지정합니다.

[3] GB/T 5314-2011 시멘트 카바이드 분말 중국 국가 표준화 관리국 2011 시멘트 카바이드 분말의 성능 시험 방법을 지정합니다.

[4] GB/T 19077-2016 입자 크기 분포 - 레이저 회절법 중국 국가표준화국 2016 레이저 회절법에 의한 입자 크기 분포 측정을 규정합니다.

[5] GB/T 25995-2010 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말 - Fisher Sub-Sieve Sizer(FSSS) 입자 크기 측정 중국 국가 표준화 관리국 2010 Fisher Sub-Sieve Sizer(FSSS) 입자 크기 측정 방법을 지정합니다.

[6] GB/T 36418-2018 초경합금의 내마모성 시험 방법 중국 국가표준화국 2018 초경합금의 내마모성 시험 방법을 규정합니다.

[7] GB/T 38494-2020 시멘트 카바이드 압축 강도 시험 방법 중국 국가 표준화 관리국 2020 시멘트 카바이드의 압축 강도에 대한 시험 방법을 지정합니다.

영어 참조

[8] Lassner, E., & Schubert, WD (1999) 텅스텐: 원소, 합금 및 화합물의 특성, 화학, 기술 Springer 는 텅스텐 및 텅스텐 카바이드의 물리적, 화학적 특성과 응용 기술을 소개합니다.

[9] Upadhyaya, GS(1998) 시멘트 텅스텐 카바이드: 생산, 특성 및 테스트 William Andrew Publishing 에서는 텅스텐 카바이드 분말의 제조, 특성 및 테스트 방법을 자세히 설명합니다.

[10] Pawlowski, L. (2008) 열 분무 코팅의 과학 및 엔지니어링(2 판) John Wiley & Sons 열 분무 코팅 기술의 과학 및 엔지니어링 응용 분야에 대해 설명합니다.

[11] Davis, JR(편집자) (2004) ASM International 의 열분무 기술 핸드북은 열분무 기술에

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

대한 프로세스 및 응용 지침을 제공합니다.

[12] Prakash, LJ (2014) 경금속 및 광산 응용 분야 종합 경질 재료 Vol. 2 345-370 Elsevier 광산 분야에서 시멘트 카바이드의 응용 기술 분석.

[13] Levy, RB, & Boudart, M. (1973) 표면 촉매에서 텅스텐 카바이드의 백금과 같은 거동 Science 181(4099) 547-549 <https://doi.org/10.1126/science.181.4099.547> 표면 촉매에서 텅스텐 카바이드의 백금과 같은 특성을 밝힙니다.

[14] Chen, WF, Wang, CH, Sasaki, K., et al. (2013) PEM 연료 전지용 비귀금속 전기 촉매로서 높은 활성 및 내구성을 지닌 나노 구조 WC Nature Communications 4 2439 연료 전지에서 나노텅스텐 카바이드의 전도도와 내구성을 연구합니다.

[15] ASTM B213-20 (2020) 홀 유량계 칼때기를 사용한 금속 분말의 유량에 대한 표준 시험 방법 ASTM International 은 분말 유동성을 측정하기 위해 홀 유량계를 지정합니다.

[16] ASTM E384-17 (2017) 재료의 미세압입 정도에 대한 표준 시험 방법 ASTM International 은 비커스 정도 시험 방법을 지정합니다.

[17] ASTM G65-16(2016) 건식모래/고무휠 장치를 이용한 마모 측정을 위한 표준 시험 방법 ASTM International 은 건식모래/고무휠 마모 시험 방법을 규정합니다.

[18] ASTM E1019-18(2018) 다양한 연소 및 불활성 가스 용합 기술을 이용한 강철, 철, 니켈 및 코발트 합금의 탄소, 황, 질소 및 산소 측정을 위한 표준 시험 방법 ASTM International 은 산소 함량 측정 방법을 지정합니다.

[19] ISO 3327:2009 (2009) 경금속 - 형과단강도 측정 국제표준화기구 압축강도 시험방법을 규정하고 있다.

[20] ISO 4499-2:2020 (2020) 경금속 - 미세구조의 금속학적 결정 - 2 부: WC 입자 크기 측정 국제표준화기구는 WC 입자 크기의 미세한 결정을 위한 방법을 규정합니다.

[21] ISO 9277:2010 (2010) 기체 흡착에 의한 고체의 비표면적 측정 - BET 방법 국제표준화 기구 비표면적을 측정하기 위한 BET 방법을 규정합니다.

[22] ISO 10993-5:2009(2009) 의료기기의 생물학적 평가 - 제 5 부: 시험관 내 세포독성 시험 국제표준화기구 시험관 내 세포독성 시험 방법을 규정합니다.

[23] Sandvik Coromant (2022) 기술 가이드: 절삭 공구 및 마모 부품 Sandvik Group 은 절삭 공구 및 마모 부품에 대한 산업 기술 가이드를 제공합니다.

[24] Wu, Z., & Zhang, J. (2020) 리튬 이온 배터리 전류 수집기용 텅스텐 카바이드 코팅: 리뷰 Journal of Power Sources 475 228689 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228689> 리튬 이온 배터리 전류 수집기에서 텅스텐 카바이드 코팅 적용에 대한 리뷰.

[25] Zhang, Z., & Liu, W. (2019) 암석 드릴링 도구의 WC-Co 시멘트 카바이드 연구 국제내화 금속 및 경질 재료 저널 81 123-130

다른 언어의 참조

[26] 일본 표준 협회(2005) JIS H 7803:2005 텅스텐 카바이드 분말의 테스트 방법 일본 표준 협회 중국어 번역: 碳化钨粉末测试方法 텅스텐 카바이드 분말의 화학적, 물리적 테스트 방법을 지정합니다.

[27] Г О С Т 25599.1-83 (1983) 초경합금 분말 - 탄소 함량 측정 방법 소련 국가 표준위원회 중국어 번역: 硬质合金粉末 - 碳含量测定方法 초경합금 분말의 탄소 함량을 화학적으로 분석하는 방법을 지정합니다.

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



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 Tungsten Carbide Powder Introduction

1. Overview of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP's tungsten carbide powder (chemical formula WC) is a high-quality powder product made from high-purity tungsten raw materials and carbon black through a high-temperature carburization process. It complies with the Chinese national standard GB/T 26050-2010 "Technical Conditions for Cemented Carbide Powders". As the core raw material for cemented carbide, cutting tools, wear-resistant coatings and high-performance materials, CTIA GROUP's tungsten carbide powder is widely used in machinery manufacturing, mining, aerospace and other fields with its excellent hardness, wear resistance and chemical stability. We provide a full range of products from ultra-fine particles (0.6 μm) to extra-coarse particles (45 μm) to meet diverse industrial needs. For more information, please visit www.tungsten-powder.com

2. Product Features of Tungsten Carbide Powder

High purity and stability

Total carbon content (T/C): 5.90-6.18 wt %, theoretical value 6.13 wt % (± 0.05 wt %), ensuring high purity of WC phase.

Free carbon content (F/C): ≤ 0.10 wt %, high-end customized models can be controlled at ≤ 0.05 wt %, reducing the impact of free carbon on performance.

Low impurity content: Iron (Fe) ≤ 0.05 wt %, oxygen (O) ≤ 0.20 wt % (fine particles ≤ 0.15 wt %), meeting high-precision application requirements.

Diverse particle size options

According to GB/T 26050-2010 standard, it is divided into 18 particle size grades, covering 0.6-45 μm , with uniform particle size and deviation controlled within $\pm 10\%$.

Excellent physical properties

Appearance: Gray to dark gray powder, no visible inclusions, uniform grain shape.

Density: 15.63 g/cm³ (theoretical value), loose density 3.0-5.0 g/cm³ (customizable).

Application flexibility

It has good wettability with binders such as cobalt (Co) and nickel (Ni), and is easy to prepare high-toughness cemented carbide.

Adapt to various sintering processes to meet different needs from precision tools to mining drill bits.

3. Specifications of CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder

Category Brand	Fisher particle size (μm)	Total carbon (wt %)	Free carbon (wt %)	Oxygen content (wt %)	Typical Applications
WC06-07	0.6-0.7	5.90-6.18	≤ 0.05	≤ 0.15	Ultra-fine cutting tools, coatings
WC08-10	0.8-1.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.15	Precision cutting tools
WC20-25	2.0-2.5	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	General Carbide
WC50-60	5.0-6.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	Mining tools
WC100-150	10.0-15.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	High toughness wear-resistant parts

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

Category	Fisher particle size	Total carbon	Free carbon	Oxygen content	Typical Applications
Brand	(μm)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	
WC300-450	30.0-45.0	5.90-6.18	≤0.10	≤0.20	Extra coarse impact tool
Remark	Impurity content (Fe, Mo, Si, etc.) meets standard limits , special particle size or special requirements can be customized according to customer needs.				

4. Production Process of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP adopts advanced carburizing technology and strict quality control system:

Raw materials: high-purity tungsten powder (purity ≥99.95%) and high-quality carbon black.

Carbonization: React in a high temperature vacuum furnace at 1400-1600°C to ensure complete carbonization and uniform grains.

Crushing and screening: Through air flow crushing and multi-stage screening, the particle size distribution can be precisely controlled.

Quality inspection: Based on GB/T 5124 (chemical analysis), GB/T 1482 (Ferris particle size) and other methods to ensure that each batch meets the standards.

5. Quality Assurance of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Standard compliance: Strictly implement GB/T 26050-2010, each batch of products comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size and appearance test results.

Factory inspection: total carbon, free carbon, impurity elements such as Fe, O content , particle size, appearance , physical properties (such as loose density).

Sampling: According to GB/T 5314, uniform sampling is conducted from each batch (1-5 tons) to ensure representativeness.

6. Packaging and Transportation of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Inner packaging: sealed plastic bag or vacuum packed to prevent oxidation.

Outer packaging: iron drum or plastic drum, net weight 25kg or 50kg (customized according to requirements).

Marking: Indicate product name, brand, batch number and production date.

Transportation and storage: Moisture-proof and shock-proof, stored in a dry and ventilated warehouse, shelf life is 12 months.

7. Application Fields of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Cutting tools: Ultrafine grain (WC06-07) is used for high-speed precision cutting tools with high hardness and strong wear resistance.

Mining tools: Coarse grains (WC50-60 and above) are used for drill bits and impact-resistant parts with excellent toughness.

Wear-resistant coating: Fine grain (WC08-10) is used for thermal spraying to improve surface properties.

Aerospace: Medium grain (WC20-25) is used for high temperature wear-resistant parts.

Other fields and special purposes: welcome to negotiate and customize.

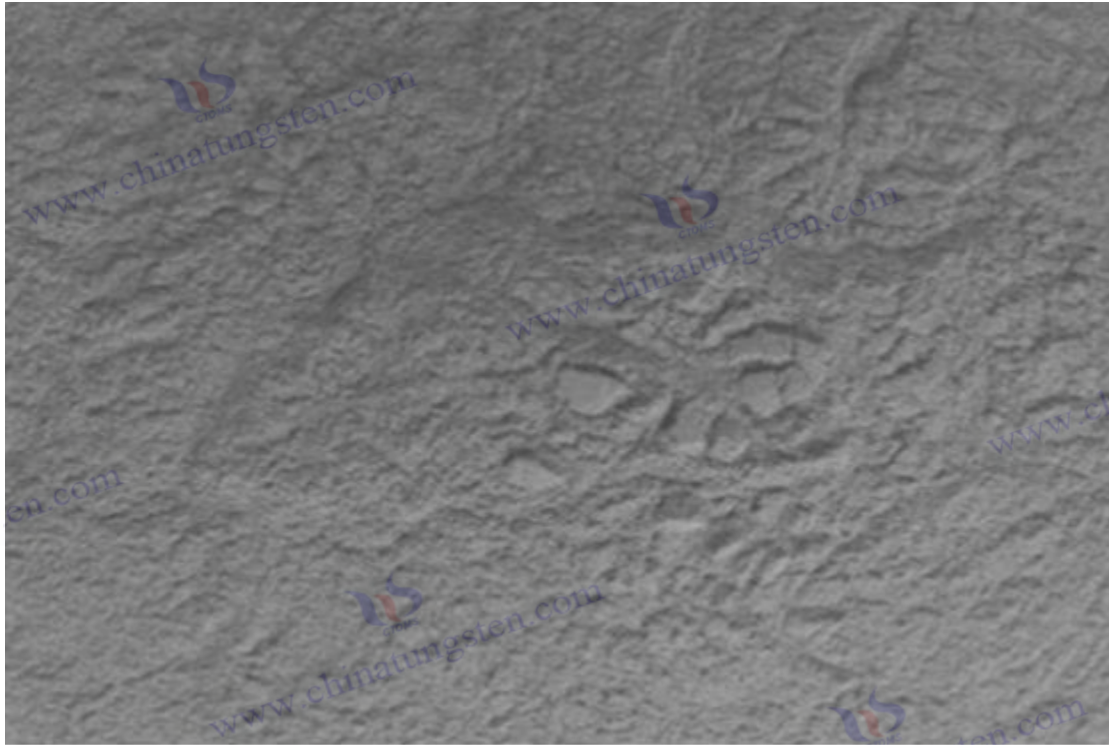
8. Contact Information of CTIA GROUP

CTIA GROUP is committed to providing customers with high-quality tungsten carbide powder and technical support.

For more information or customized products, please contact:

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129595

Website: www.tungsten-powder.com for more industry information and technical parameters.



제 5 장 텅스텐 카바이드 분말의 품질 관리 및 표준

초경합금, 절삭 공구, 표면 코팅 등 고성능 소재의 핵심 원료인 텅스텐 카바이드 분말의 품질은 최종 제품의 성능과 시장 경쟁력을 직접적으로 좌우합니다. 세계화된 산업 환경에서 텅스텐 카바이드 분말의 품질 관리 및 표준화는 제품 일관성을 보장하는 핵심 요소일 뿐만 아니라 기술 발전과 산업 고도화를 촉진하는 중요한 원동력입니다. 본 장에서는 품질 관리 지점, 국제 표준, 국내 표준, 표준 비교 및 적용 가능성의 네 가지 측면에서 텅스텐 카바이드 분말의 생산 및 시험 규격을 체계적으로 논의하여 관련 실무자에게 상세한 기술 참고 자료와 실질적인 지침을 제공하고자 합니다.

5.1 품질관리의 핵심사항

텅스텐 카바이드 분말의 품질 관리는 원료 선정, 공정 최적화, 완제품 테스트에 이르기까지 전체 생산 과정에 걸쳐 이루어지며, 화학 조성, 입자 크기 분포, 결정 구조, 물리적 특성 등 다차원적인 측면을 고려합니다. 과학적이고 엄격한 품질 관리는 제품 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 생산 비용과 환경 영향을 효과적으로 줄일 수 있습니다. 본 논문에서는 다각적인 관점에서 품질 관리의 핵심 사항을 심층 분석하여 독자에게 포괄적인 지식 배경과 실질적인 제안을 제공하고자 합니다.

화학 성분의 정밀 관리

화학 성분은 텅스텐 카바이드 분말 품질의 핵심이며, 결정 구조, 경도 및 내마모성에 직접적인 영향을 미칩니다. 텅스텐 카바이드(WC)의 이론 탄소 함량은 6.13%(질량

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

분율)이지만, 실제 생산에서는 총 탄소, 유리 탄소, 산소 함량 및 불순물 원소의 미세한 차이가 성능 문제를 유발할 수 있습니다.

총 탄소와 자유 탄소의 균형

총 탄소 함량이 너무 낮으면 경도가 낮고 균열이 발생하기 쉬운 준안정상인 W_2C 상이 형성될 수 있습니다. 총 탄소 함량이 너무 높으면 유리 탄소가 생성되어 분말의 밀도와 소결 성능이 저하됩니다. 일반적으로 유리 탄소 함량은 단일 WC 상의 안정성을 보장하기 위해 0.08%~0.1% 범위 내에서 조절해야 합니다.

산소 함량에 대한 엄격한 제한

산소 함량은 분말의 활성화에 영향을 미치는 중요한 지표입니다. 높은 산소 함량(0.2% 초과)은 소결 시 기공을 생성하고 합금의 기계적 성질을 약화시킵니다. 특히 초미립 분말의 경우, 높은 비표면적 덕분에 산소 흡착이 용이하기 때문에 산소 함량 조절이 매우 중요합니다.

불순물 원소의 정밀한 제어

철, 코발트, 칼슘, 규소와 같은 불순물은 원료나 생산 장비에서 발생할 수 있습니다. 철 함량이 너무 높으면 분말의 순도가 떨어지고 소결 거동에 영향을 미칩니다. 칼슘이나 규소와 같은 비금속 불순물은 결정립계에서 취성상을 형성하여 인성을 저하시킬 수 있습니다. 현대 생산에서는 불순물 함량을 10~50ppm(백만분의 일)으로 낮춰야 합니다.

탐지 기술

고온 연소 방식

총 탄소와 자유 탄소 함량은 탄소-황 분석기를 통해 최대 0.01%의 검출 정확도로 정확하게 결정됩니다.

유도 결합 플라즈마 질량 분석법(ICP-MS): 검출 한계가 ppb(10 억분의 1) 정도로 낮은 미량 불순물 원소를 분석하는 데 사용됩니다.

적외선 흡수법

생산 현장에서 널리 사용되는 산소 함량의 빠른 측정입니다.

경영 전략

불순물의 유입을 줄이기 위해서는 고순도 텅스텐 분말(순도 $\geq 99.95\%$)과 카본 블랙(회분 함량 $< 0.1\%$)이 선호됩니다.

탄화 반응 동안 온도(1400~1600°C), 분위기(수소 또는 진공), 유지 시간을 정밀하게 제어하여 불완전한 탄화나 과도한 탄화를 방지합니다.

다단계 여과 및 정화 과정을 구현하여 분말이 외부 환경과 접촉하는 것을 줄입니다.

각 분말 배치의 제어 가능성을 보장하기 위해 화학 성분에 대한 배치 추적 시스템을 구축합니다.

지식 개발

최근 나노 크기의 텅스텐 카바이드 분말의 사용이 증가함에 따라 화학 성분 제어가 더욱

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

어려워졌습니다. 예를 들어, 3D 프린팅 분야에서는 프린팅 공정 중 산화 반응을 방지하기 위해 산소 함량을 0.05% 미만으로 제어해야 합니다. 이를 위해 제조업체는 더욱 진보된 테스트 장비(예: X 선 광전자 분광법, XPS)와 온라인 모니터링 기술을 도입해야 합니다.

입자 크기 및 분포의 과학적 조절

텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기와 분포는 최종 제품의 가압, 소결 거동 및 미세 구조에 지대한 영향을 미칩니다. 다양한 입자 크기의 분말은 다양한 응용 분야에 적합하며, 입자 크기 분포의 균일성은 제품의 성능 일관성을 결정합니다.

입자 크기 분류

초미립 분말($<1\mu\text{m}$): 매우 높은 표면 마감을 요구하는 고정밀 절삭 공구 및 마이크로 전자 부품에 적합합니다.

미세 분말($1-3\mu\text{m}$): 경도와 인성을 모두 고려하여 시멘트 초경 공구에 널리 사용됩니다.

중간 분말($3-10\mu\text{m}$): 내마모성 코팅 및 고성능 금형에 적합하며 성형성이 우수합니다.

조립분말($>10\mu\text{m}$): 열분사 및 채굴 도구에 사용되며 충격 저항성을 강조합니다.

입자 크기 분포의 중요성: 좁은 분포($D_{90}/D_{10} < 2$)는 소결 균일성을 향상시키고 기공률을 감소시킬 수 있습니다. 넓은 분포는 불균일한 수축을 초래하고 치수 정확도에 영향을 미칠 수 있습니다. 특히 초미립 분말의 응집 문제는 심각하므로 특별한 주의가 필요합니다.

다양한 입자 크기를 갖는 WC 분말의 공정-성능 상관관계

입자 크기 범위	비표면적 (BET, m^2/g)	소결온도 ($^{\circ}\text{C}$)	상대 밀도 (%)	에이치비 30	K_{IC} ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)
$>10\mu\text{m}$	0.8-1.2	1450-1500	92.3 ± 0.5	1420	9.8
$3-10\mu\text{m}$	2.5-4.0	1400-1450	95.1 ± 0.3	1780	11.2
$0.5-1\mu\text{m}$	8.0-12.0	1320-1380	98.7 ± 0.2	2090	12.7
$<0.1\mu\text{m}$	15.0-20.0	1300-1350	97.5 ± 0.4	2350	10.5

탐지 기술

레이저 입도 분석기: 광산란 원리를 기반으로 $0.01\sim 1000\mu\text{m}$ 의 입도 분포를 높은 정확도로 측정할 수 있으며 초미세 분말에 적합합니다.

체질 방법: 표준 체를 통한 분류로, 거친 분말을 빠르게 검출하는 데 적합합니다.

침전법: 입자 침강 속도의 차이를 이용하여 입자 크기 분포의 균일성을 검증하며 실험실 연구에 적합합니다.

주사전자현미경 (SEM): 입자의 형태와 크기를 시각적으로 관찰하고, 입자 크기 분석 결과의 검증을 지원합니다.

규제 전략

분쇄 공정을 최적화하세요: 분쇄 매체로 텅스텐 카바이드 볼이나 산화 지르코늄 볼을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

선택하고, 볼 밀링 시간(8~24 시간)과 회전 속도(200~400rpm)를 제어하여 과도한 분쇄로 인한 입자 파손을 방지하세요.

분류 장비 소개: 특정 입자 크기 범위 내의 분말을 정확하게 걸러낼 수 있는 원심 공기 흐름 분류기와 같은 장비입니다.

분산제(폴리에틸렌 글리콜, PEG 등)를 첨가하면 초미립 분말이 뭉치는 경향이 줄어들고 분포 균일성이 향상됩니다.

입자 크기 데이터의 신뢰성을 보장하기 위해 테스트 장비를 정기적으로 교정합니다.

지식 개발

입자 크기 제어 분야의 최신 동향은 나노 크기(<100nm)로의 전환으로, 기존의 분쇄 및 분급 기술에 어려움을 야기합니다. 예를 들어, 습식 분쇄와 초음파 분산을 병행하면 나노분말의 분산성을 크게 향상시킬 수 있지만, 비용과 성능의 균형을 맞춰야 합니다. 또한, 동적 광산란(DLS)과 같은 온라인 입자 크기 분포 모니터링 기술이 등장하고 있으며, 이를 통해 실시간 품질 관리가 가능해질 것으로 기대됩니다.

결정 구조와 상 조성의 안정성

이상적인 텅스텐 카바이드 분말이 주로 단일 WC 상으로 구성되어야 함을 보장하며, 육방정계 결정 구조는 우수한 경도와 내마모성을 제공합니다. 예상치 못한 상(예: W_2C , W, 유리 탄소)의 존재는 분말의 성능을 크게 저하시키므로, 결정 구조와 상 조성의 관리는 품질 관리의 최우선 과제입니다.

영향 요인

탄화 온도: 너무 높으면(>1600° C) 입자가 성장하고 분말 활성이 감소할 수 있고, 너무 낮으면(<1400° C) W_2C 상이 생성될 수 있습니다.

탄소원 비율: 탄소가 부족하면 탄소화가 부족해지고, 탄소가 과도하면 자유탄소가 생성됩니다.

반응 분위기: 수소 분위기는 산소를 제거하는 데 도움이 되지만, 수소로 인한 결정립계 결함을 방지하기 위해 과도한 수소는 방지해야 합니다.

탐지 기술

X 선 회절(XRD): 상 구성을 정확하게 분석하고 WC, W_2C 및 유리 탄소의 비율을 최대 0.1%의 정량적 정확도로 검출합니다.

주사전자현미경(SEM): 결정립 형태, 크기, 표면 결함을 관찰하고 결정구조의 균일성을 평가합니다.

투과 전자 현미경(TEM): 나노 스케일 분말의 결정 구조를 분석하여 원자 스케일 결함을 밝혀내는 데 사용됩니다.

라만 분광법: 특히 초미립 분말에 적합하며 자유 탄소의 존재를 감지하는 데 도움이 됩니다.

보호 장치

탄화로의 온도 구배(가열 속도 5~10° C/분)와 유지 시간(2~4 시간)을 정확하게

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제어합니다.

불순물이 결정 구조에 미치는 영향을 줄이기 위해 고순도 탄소원(예: 흑연 분말, 순도 $\geq 99.9\%$)을 사용하는 것이 좋습니다.

산화나 탈탄을 방지하기 위해 분위기 보호(아르곤이나 수소 혼합 분위기 등)를 활용하세요.

상 구성에 대한 데이터베이스를 구축하고 다양한 공정 조건에서 구조적 변화를 추적합니다.

지식 개발

싱크로트론 XRD 및 중성자 회절과 같은 고해상도 분석 기술의 발전으로 연구자들은 텅스텐 카바이드 분말의 결정 결함과 응력 분포를 더욱 정확하게 특성화할 수 있게 되었습니다. 이러한 기술은 특히 단일 WC 상의 순도가 100%에 가까워야 하는 항공우주 분야에서 침탄 공정을 최적화하는 새로운 아이디어를 제공합니다.

분말 유동성 및 겉보기 밀도 최적화 설계

분말의 유동성은 프레스 효율 및 금형 충전 균일성에 영향을 미치는 반면, 겉보기 밀도는 소결 수축 및 제품 밀도와 밀접한 관련이 있습니다. 고품질 텅스텐 카바이드 분말은 다양한 성형 공정의 요구를 충족하기 위해 유동성과 밀도의 균형을 맞춰야 합니다.

유동성의 중요성: 유동성이 낮은 분말은 성형체에 박리 또는 기공을 발생시켜 제품 강도를 저하시킬 수 있습니다. 고품질 분말의 흘 유량은 일반적으로 15~25 초/50g입니다. 초미립 분말은 입자 간의 강한 반데르발스 힘으로 인해 유동성이 낮으므로 특별히 최적화해야 합니다.

겉보기 밀도의 중요성

겉보기 밀도는 분말의 체적 특성을 반영하며 일반적으로 $3.0 \sim 5.0 \text{ g/cm}^3$ 입니다. 겉보기 밀도가 낮으면 소결 수축이 심해져 치수 정확도가 저하될 수 있습니다. 겉보기 밀도가 높으면 성형 성능이 저하될 수 있습니다.

탐지 기술

흘 유량계: 분말이 표준 깔때기를 통과하는 데 걸리는 시간을 측정합니다. 조작이 간편하고 현장 테스트에 적합합니다.

탭 밀도계: 진동 후 분말의 부피 밀도를 측정하여 입자 충전의 밀도를 반영합니다.

회전 드럼 방식: 성형 공정 중 분말의 동적 거동을 시뮬레이션하고 실제 유동성을 평가합니다.

최적화 전략

분무 파쇄화 기술을 사용하여 구형 또는 거의 구형의 분말을 제조하고 유동성을 크게 개선합니다.

입자 크기 분포 조절: 미세 입자의 비율을 적절히 늘려 입자 간 충전 효과를 최적화합니다.

표면 개질: 플라즈마 처리 또는 소량의 바인더(예: 파라핀, 첨가량 $<0.5\%$)를 첨가하여

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

입자 간의 마찰을 줄입니다.

분말의 수분 함량을 조절하세요: 수분 함량이 너무 높으면 유동성이 감소하므로 0.1% 이하로 조절하는 것이 좋습니다.

지식 확장: 최근 몇 년 동안 유동성 연구는 이산요소법 (DEM) 과 같은 컴퓨터 시뮬레이션 기술에 점차 통합되어 왔습니다. 이 기술은 금형 내 분말의 유동 거동을 시뮬레이션하고 박리 위험을 예측할 수 있습니다. 이는 특히 자동화 생산에 중요한 과립화 공정 및 금형 설계 최적화에 이론적 근거를 제공합니다.

체계적인 환경 및 보관 조건 관리

텅스텐 카바이드 분말은 습도와 산소에 매우 민감합니다. 부적절한 보관은 산화, 수분 흡수 또는 성능 저하로 이어질 수 있습니다. 과학적인 환경 관리는 분말의 수명을 연장하고 안정적인 품질을 보장하는 데 핵심적인 요소입니다.

산화 위험: 산소는 텅스텐 카바이드 분말과 반응하여 텅스텐 산화물 (WO_3) 을 형성하는데, 이는 분말의 활성을 감소시키고 심지어 소결 결함을 유발합니다. 초미립 분말은 비표면적이 크기 때문에 산화 위험이 더 큼니다.

수분 흡수 문제: 수분 흡수는 분말 응집을 유발하고 유동성을 저하시킬 수 있습니다. 심한 경우 화학 반응을 일으켜 수산화물을 생성할 수 있습니다.

환경 요구 사항:

온도: 산화를 촉진하는 고온을 피하기 위해 보관 환경을 15°C ~ 25°C 로 유지하세요.

습도: 상대 습도는 수분 흡수를 방지하기 위해 30%-50%로 조절해야 합니다.

빛: 분말 표면에서 광화학 반응이 일어나는 것을 방지하기 위해 강한 빛에 노출되는 것을 피하세요.

관리 조치

진공 포장 또는 질소 포장: 공기와 습기를 차단하여 보관 수명을 연장합니다.

분자체나 실리카겔 건조제 등의 제습 장비를 갖추어 낮은 습도 환경을 유지합니다.

정기적으로 보관 조건을 점검하세요: 온도계와 산소 분석기를 사용하고 환경 매개변수를 기록하세요.

운송 과정을 최적화하세요: 충격 및 습기 방지 복합 포장재를 사용하여 분말이 손상되는 것을 방지하세요.

보관 파일을 작성합니다. 각 분말 배치의 보관 시간, 환경 조건 및 성능 변화를 기록합니다.

지식 확장: 현대 저장 기술은 지능화 방향으로 발전하고 있습니다. 예를 들어, 사물 인터넷 (IoT) 기술은 저장 환경의 온도와 습도를 실시간으로 모니터링하고 클라우드 컴퓨팅을 통해 분말의 노화 추세를 분석할 수 있습니다. 이는 저장 효율성을 향상시킬 뿐만 아니라 품질 추적을 위한 데이터 지원도 제공합니다.

품질 추적성 및 디지털 관리

인더스트리 4.0 시대에 품질 관리는 전체 공정의 추적성과 데이터 기반 의사 결정을 강조합니다. 디지털 관리는 생산, 테스트 및 보관 데이터를 통합하여 텅스텐 카바이드 분말의 품질 최적화를 위한 새로운 길을 제시합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

추적 시스템:

배치 관리: 각 분말 배치에 고유 식별자를 지정하고, 원자재 출처, 생산 매개변수 및 테스트 결과를 기록합니다.

블록체인 기술: 데이터가 변조될 수 없도록 보장하고 품질 인증의 신뢰성을 향상시킵니다.

디지털 도구:

온라인 모니터링: 실시간 입자 크기 분석기 및 화학 성분 검출기를 사용하여 적시에 공정 편차를 감지합니다.

통계적 공정 관리(SPC): 품질 변동 패턴을 분석하고 공정 매개변수를 최적화합니다.

인공지능(AI): 머신러닝을 통해 분말 특성을 예측하여 프로세스 개선을 지원합니다.

구현 전략:

생산 및 품질 데이터를 통합하기 위해 ERP(Enterprise Resource Planning) 시스템을 구축합니다.

직원들에게 데이터 분석 도구를 숙지시키고 디지털 관리 역량을 향상시키도록 교육합니다.

테스트 기관과 협력하고 제 3 자 검증을 도입하여 데이터의 객관성을 보장합니다.

지식 확장: 디지털 경영 분야의 최신 발전에는 가상 모델을 통해 텅스텐 카바이드 분말 생산 공정을 시뮬레이션하고 품질 위험을 예측하는 디지털 트윈 기술이 포함됩니다. 이 기술은 유럽과 미국의 대형 텅스텐 기업에서 이미 적용되었으며, 향후 중국에서도 확대될 것으로 예상됩니다.

5.2 국제 표준

국제 표준은 텅스텐 카바이드 분말의 품질 관리를 위한 글로벌 프레임워크를 제공하여 다양한 국가 및 시장에서 제품의 일관성과 비교 가능성을 보장합니다. 이러한 표준은 권위 있는 기관에서 제정되었으며, 화학적 조성, 물리적 특성, 시험 방법 및 기타 측면을 포괄합니다. 초경합금, 코팅 및 공구 제조 분야에서 널리 사용되고 있습니다. 주요 국제 표준과 그 적용 사례에 대한 자세한 분석은 독자에게 명확한 참고 자료를 제공하기 위한 것입니다.

ISO 표준

국제표준화기구(ISO)는 초경합금 분말에 대한 일련의 표준을 개발하여 시험 방법의 과학적 특성과 결과의 반복성을 강조했습니다. 이러한 표준은 전 세계, 특히 EU 와 아시아 시장에서 광범위한 영향력을 행사합니다.

ISO 4499-1:2008: 시멘트 카바이드용 세라믹 분말 - 화학 분석 방법.

내용 설명: 본 표준은 총탄소, 유리탄소, 산소, 철, 코발트, 칼슘 및 기타 원소의 측정 방법을 명시하고, ICP-MS(검출 한계 10ppb) 및 적외선 흡수법(산소 함량 정확도 0.01%)과 같은 고정밀 기술의 사용을 권장합니다. 또한, 간섭 요인을 제거하기 위해 시료 전처리(산 용해 및 건조 등)에 대한 엄격한 요건을 제시합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

응용 프로그램 시나리오

특히 화학 성분의 순도가 매우 높은 항공우주 및 의료 기기 분야의 수출 지향적인 시멘트 카바이드 생산 기업에 적합합니다.

장점과 과제

표준 방법은 과학적이고 엄격하지만, 시험 장비(ICP-MS 등)에 대한 요구 사항이 높고 중소기업은 비용 압박에 직면할 수 있습니다.

ISO 4499-2:2008: 시멘트 카바이드용 세라믹 분말 - 물리적 특성에 대한 시험.

내용 세부 정보: 입자 크기 분포, 겉보기 밀도, 탭 밀도 및 유동성에 대한 시험 규격을 다룹니다. 레이저 입자 크기 분석기(측정 범위 $0.01 \sim 1000 \mu\text{m}$)와 홀 유량계(정확도 ± 0.1 초)의 사용을 권장합니다. 또한, 이 표준은 시험 환경의 온도 및 습도($20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $< 50\%$)를 명확하게 규정합니다.

적용 시나리오: 특히 입자 크기 분포의 균일성이 중요한 고정밀 도구 및 3D 인쇄 분야에서 분말의 성형 성능을 평가하는 데 적합합니다.

장점 및 과제: 표준 작업은 간단하고 결과의 비교 가능성은 매우 높지만, 초미립 분말의 응집 문제에 대한 자세한 지침이 부족하고 보조 분석을 위해 다른 방법(예: SEM)을 결합해야 합니다.

ISO 3326:2013: 시멘트 카바이드 - 경도 측정 방법.

내용 설명: 본 표준은 주로 초경합금 완제품을 대상으로 하지만, 텅스텐 카바이드 분말의 품질 요건에 간접적으로 영향을 미칩니다. 본 표준은 비커스 경도(HV)와 로크웰 경도(HRA) 시험 방법을 명시하며, 분말 결정 구조의 안정성이 경도에 미치는 영향을 강조합니다.

적용 시나리오: 항공우주 도구 및 내마모성 부품과 같은 고급 응용 분야에 적합하며, 분말의 결정 순도는 99.9% 이상에 도달해야 합니다.

표준 과 함께 사용해야 합니다 .

지식 확장: ISO 표준은 최근 몇 년 동안 지속적으로 업데이트되어 왔습니다. 예를 들어, ISO 4499-2020 개정판에는 나노분말 검출 방법이 추가되어 초미립 텅스텐 카바이드 분말 시장의 빠른 성장을 반영하고 있습니다. 기업은 기술 발전에 적응하기 위해 최신 버전에 주의를 기울여야 합니다.

ASTM 표준

미국재료시험학회(ASTM) 표준은 실험 방법의 정확성과 실용성으로 유명하며 북미 시장, 특히 시멘트 카바이드 및 코팅 산업에서 널리 사용됩니다.

ASTM B761-17: 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 분포에 대한 시험 방법.

내용 설명: 본 표준은 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ 크기의 분말에 적용 가능한 레이저 광 산란 및 체질 방법의 작동 단계를 자세히 설명합니다. 레이저 광 산란은 미(Mie) 산란 이론에 기반하며, 높은 정밀도를 자랑하고 초미세 분말에 적합합니다. 체질은 작동이 간편하고 거친 분말에 적합합니다. 또한, 본 표준은 시료 분산(예: 초음파 처리)에 대한 구체적인 권장 사항을 제공합니다.

적용 분야: 3D 프린팅, 열분사 및 나노 코팅 분야에 적합합니다. 입자 크기 분포의

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

균일성은 프린팅 품질과 코팅 성능에 직접적인 영향을 미칩니다.

장점 및 과제: 표준 방법은 성숙되었고 장비 보급률이 높지만 초미립 분말의 응집 제어에 대한 요구 사항이 높고 분산제와 함께 사용해야 합니다.

ASTM E194-10: 분말 야금 재료의 산소 함량 측정.

내용 설명: 산소 함량은 불활성 가스 용합법으로 측정하며, 검출 한계는 1ppm 으로 매우 낮아 고순도 분말에 적합합니다. 이 표준은 고주파 유도로(전력 > 2kW)를 사용하여 시료를 용융시키고 산소를 방출시킨 후 적외선 검출기로 분석하도록 규정합니다.

적용 분야: 고성능 초경합금 및 항공우주 소재에 적합합니다. 소결 결함을 방지하기 위해 산소 함량을 0.05%~0.1%로 조절해야 합니다.

장점 및 과제: 검출 정확도가 매우 높아 하이엔드 응용 분야에 적합하지만, 장비 비용이 비교적 높고(약 50 만~100 만 위안) 전문적인 작업이 필요합니다.

ASTM B659-90(2014): 금속 및 무기 코팅의 두께 측정 가이드.

내용 설명: 본 표준은 주로 코팅을 대상으로 하지만, 텅스텐 카바이드 분말의 품질 요건을 간접적으로 규제하며, 분말 입자 크기 균일성과 화학적 안정성이 코팅 품질에 미치는 영향을 강조합니다. 본 표준은 코팅 두께 측정을 위해 현미경과 X 선 형광 분석기를 사용할 것을 권장합니다.

적용 분야: 열용사, 플라즈마 용사 및 레이저 클래딩에 적합합니다. 균일한 코팅을 보장하기 위해 분말의 겉보기 밀도와 유동성을 최적화해야 합니다.

장점 및 과제: 이 표준은 코팅 응용 분야에 대한 간접적인 지침을 제공하지만, 분말에 대한 직접적인 시험 내용이 적고 다른 표준과 결합해야 합니다.

지식 확장: ASTM 표준은 실제 응용 분야에 초점을 맞추고 있으며 최근 몇 년 동안 3D 프린팅과 같은 첨가 제조에 대한 사양이 추가되었습니다.

ASTM F3049 는 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 및 유동성 요건을 간접적으로 포함하고 있습니다. 이는 해당 표준이 새로운 기술에 신속하게 대응하고 있음을 보여줍니다.

~ 안에 ISO 및 ASTM 외에도 일부 국가와 지역에서는 텅스텐 카바이드 분말에 대한 관련 표준을 제정하여 해당 지역의 산업적 특성을 결합하여 글로벌 표준 체계를 보완하고 있습니다.

JIS Z 2503:2015(일본 산업 표준):

내용 설명: 텅스텐 카바이드 분말의 화학 조성(총 탄소, 산소, 불순물), 입자 크기 분포 및 물리적 특성(겉보기 밀도, 유동성)에 대한 시험 방법을 다룹니다. 이 표준은 생산 공정의 안정성을 강조하며, 각 배치의 탄화 온도 및 분위기 조건을 기록하도록 요구합니다.

적용 시나리오: 일본 및 한국 시장, 특히 자동차 및 전자 산업에서 시멘트 초경 및 코팅 생산에 적합합니다.

장점과 과제: 이 표준은 아시아 시장의 장비 수준을 결합했으며 구현 비용이 낮지만, 국제화 수준은 ISO 만큼 높지 않습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

DIN EN ISO 4499(독일 표준):

내용 설명: 본 표준은 ISO 4499 시리즈와 매우 일치하며, 생산 장비 교정(예: XRD 장비의 연간 교정) 및 환경 관리(예: 생산 작업장 습도 <40%) 요건을 보완합니다. 또한, 초미세 분말 검출 방법도 개선합니다.

적용 시나리오: 독일, 오스트리아 등 유럽 국가에서 널리 사용되며, 특히 정밀 기계 및 항공우주 분야에서 많이 사용됩니다.

장점 및 과제: 이 표준은 프로세스 세부 사항에 초점을 맞추고 기술 집약적 기업에 적합하지만 중소기업에는 적용 범위가 좁습니다.

BS EN 표준(영국 표준):

내용 설명: ISO 4499 및 ASTM 표준을 부분적으로 참조하며, 절삭 공구의 분말 성능 시험(경도, 내마모성, 내충격성 등)을 강조합니다. 또한 이 표준은 분말의 보관 조건(진공 포장 등)에 대한 권장 사항을 제시합니다.

적용 시나리오: 영국 및 영연방 국가의 시장 인증에 적용 가능하며, 특히 해운 및 에너지 산업에 적합합니다.

강점과 과제: 이 표준은 포괄적이지만, 지역적 특성이 강하고 국제적 영향력이 제한적입니다.

지식 확장: 국제 표준 조율 추세가 점점 더 뚜렷해지고 있습니다. 예를 들어, ISO와 DIN의 공동 개정으로 DIN EN ISO 4499가 유럽 시장에서 더욱 널리 사용되게 되었습니다. 앞으로는 국제 표준이 더욱 통합되어 통일된 국제 규격을 형성할 가능성이 있습니다.

응용 프로그램 특성 및 추세:

글로벌 적용성: ISO 및 ASTM 표준은 권위 있고 과학적이어서 다국적 기업과 수출 제품에 적합하며, 특히 유럽과 미국 시장에 적합합니다.

기술적 한계: 국제 표준은 시험 장비와 인력의 질에 대한 높은 요구 사항을 가지고 있어 기술력이 강한 기업에는 적합하지만, 중소기업은 점진적으로 장비를 업그레이드해야 할 수도 있습니다.

지역적 적용: JIS 및 BS EN 표준은 지역 요구 사항에 더 가깝고, 구현 비용이 낮으며, 지역 시장에 적합합니다.

나노파우더와 적층 제조의 부상: 국제 표준은 나노 단위 입자 크기 및 표면 화학 시험 방법 추가 등 더욱 세부적인 방향으로 나아가고 있습니다. 기업은 기술 발전에 앞서 나가기 위해 표준 업데이트에 세심한 주의를 기울여야 합니다.

5.3 국내 표준

중국은 국가 표준(GB/T), 산업 표준(YB/T, HG/T, JB/T), 그리고 지방 및 기업 표준을 포함한 텅스텐 카바이드 분말 품질 관리를 위한 완전한 표준 체계를 구축했습니다. 이러한 표준은 중국 텅스텐 산업의 실제 상황을 반영하고 기술적 요구와 생산 비용의 균형을 맞추었으며, 초경합금, 코팅, 공구 및 야금 산업에서 널리 사용되고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

다음은 국내 표준의 내용, 특성 및 적용 사례에 대한 자세한 분석입니다.

국가 표준

국가 표준(GB/T)은 중국 텅스텐 카바이드 분말의 품질 관리를 위한 기본 규격입니다. 필수 및 지침 속성을 모두 갖추고 있으며, 원자재부터 완제품까지 다양한 연결 고리를 포괄합니다.

GB/T 4295-2018: 텅스텐 카바이드 분말.

내용 설명: 본 표준은 텅스텐 카바이드 분말의 화학 조성(총 탄소 6.08-6.18%, 유리 탄소 $\leq 0.1\%$, 산소 $\leq 0.2\%$), 입자 크기 범위(0.5-30 μm), 겉보기 밀도(3.0-5.0 g/cm^3), 유동성(15-25 초/50g) 및 기타 기술적 요건을 명시합니다. 검출 방법에는 화학적 분석(연소법, 적정법), 물리적 시험(레이저 입도 분석, 홀 유량계), 현미경 분석(XRD, SEM)이 포함됩니다. 또한, 진공 포장 및 보관 습도 $<50\%$ 와 같은 포장 및 보관에 대한 권장 사항도 제시합니다.

적용 시나리오: 국내 초경, 코팅 및 공구 생산의 모든 측면에 적용 가능하며, 산업 품질 관리의 핵심 기반입니다.

장점 및 과제: 이 표준은 포괄적이며 다양한 응용 분야를 포괄하지만, 초미분말($<0.5 \mu\text{m}$)에 대한 사양은 약간 부족하여 다른 표준으로 보완해야 합니다.

GB/T 26046-2010: 시멘트 카바이드용 텅스텐 카바이드 분말.

내용 설명: 텅스텐 카바이드 분말은 입자 크기와 용도에 따라 여러 등급으로 나뉩니다(예: 초정밀 공구용 WC-01, 내마모 부품용 WC-04). 화학 성분(산소 $\leq 0.15\%$), 입자 크기 분포(D50 편차 $\pm 5\%$), 물리적 특성(겉보기 밀도 4.0-5.0 g/cm^3)에 대한 요구 사항이 더욱 세분화되었습니다. 또한, 이 표준은 시험 장비의 교정 주기(연 1 회)를 규정합니다.

적용 시나리오: PCB 드릴 비트용 초미분말 및 광산 도구용 조분말 등 다양한 성능 요구 사항을 갖춘 시멘트 카바이드 제품에 적합합니다.

장점과 과제: 이 표준은 명확한 분류를 갖추고 있으며 다양한 요구 사항에 적응할 수 있지만, 새로운 응용 프로그램(예: 3D 인쇄)에 대한 지침이 부족하고 추가 업데이트가 필요합니다.

GB/T 18508-2013: 초경합금용 분말야금 제품의 검사 방법.

내용 설명: 본 표준은 주로 초경합금 제품을 대상으로 하지만, 텅스텐 카바이드 분말의 품질 요건을 간접적으로 규제합니다. 이 표준은 경도(HV, HRA), 밀도, 기공률 및 미세 구조 시험 방법을 다루며, 분말의 결정 구조와 화학 조성이 완제품 성능에 미치는 영향을 강조합니다.

적용 시나리오: 초경 공구, 금형 및 내마모성 부품의 품질 검증에 적합하며 분말 품질에 대한 간접적인 기준을 제공합니다.

장점 및 과제: 이 표준은 완제품 성능에 대한 기준을 제공하지만 분말에 대한 직접적인 테스트 내용이 적고 GB/T 4295와 함께 사용해야 합니다.

지식 확장: 최근 몇 년간 국가 표준은 지속적으로 개정되어 왔습니다. 예를 들어, GB/T 4295-2023(초안)은 나노분말에 대한 새로운 시험 요건을 추가했는데, 이는 중국의 고급

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐 소재 분야 기술 발전을 반영합니다. 기업은 시장 수요에 대응하기 위해 개정 동향에 주의를 기울여야 합니다.

산업 표준

산업 표준(YB/T, HG/T, JB/T)은 특정 분야의 품질 요구 사항을 개선하고, 국가 표준의 보편성 부족을 보완하며, 야금, 화학 및 기계 산업에서 널리 사용됩니다.

YB/T 429-2012: 야금용 텅스텐 카바이드 분말.

내용 설명: 본 표준은 야금 산업(롤러 및 금형 등)의 특수한 요구를 충족하기 위해 분말의 내식성(산 및 알칼리 내성), 고온 안정성($>1000^{\circ}\text{C}$), 입자 크기 범위($5\sim 20\mu\text{m}$)를 중시합니다. 검출 방법에는 화학 분석(총탄소, 산소), 고온 성능 시험(열팽창 계수), 내마모성 시험(마모 시험)이 포함됩니다.

적용 시나리오: 중장비, 야금 장비, 내마모성 부품 생산에 적합하며, 특히 철강 및 비철 금속 산업에 적합합니다.

장점 및 과제: 이 표준은 매우 구체적이고 야금 산업의 특수한 요구 사항을 충족하지만, 초미분말에 대한 적용성이 낮고 다른 표준과 결합해야 합니다.

HG/T 2838-2012: 화학 산업용 텅스텐 카바이드 분말.

내용 설명: 화학 산업(촉매, 내식성 코팅 등)의 경우, 이 표준은 분말의 화학적 순도(총탄소 함량 $6.10\sim 6.15\%$, 불순물 함량 $\leq 50\text{ppm}$), 입자 크기($1\sim 5\mu\text{m}$), 표면 활성도(비표면적 $5\sim 10\text{m}^2/\text{g}$)를 규정합니다. 검출 방법으로는 BET 법(비표면적), 화학 적정법(불순물), SEM 법(표면 형태)이 있습니다.

적용 시나리오: 산 및 알칼리 저항성 코팅, 촉매 담체 및 화학 반응기, 특히 석유화학 산업에 적합합니다.

장점과 과제: 이 표준은 표면 특성에 초점을 맞추고 화학적 응용 분야에 적합하지만, 유동성과 같은 물리적 특성에 대한 사양이 적습니다.

JB/T 12614-2016: 시멘트 카바이드용 초미립 텅스텐 카바이드 분말.

내용 설명: 입자 크기가 $1\mu\text{m}$ 미만인 분말의 경우, 본 표준은 입자 크기 분포($D_{90}/D_{10}<2$), 산소 함량($\leq 0.1\%$), 그리고 입자 크기($<200\text{nm}$)에 대한 요건을 명시합니다. 검출 방법으로는 TEM(입자 분석), 레이저 입자 크기 분석, 그리고 적외선 흡수(산소 함량)가 있습니다. 또한, 본 표준은 분산제 사용과 같은 응집 제어에 대한 권고 사항도 제시합니다.

적용 시나리오: 마이크로 드릴, 전자 부품, 나노 코팅 등 고급 시장에 적합합니다.

장점 및 과제: 이 표준은 초미립자 분말의 기술 추세를 밀접하게 따르지만 검출 비용이 비교적 높습니다(TEM 장비 비용은 약 200 만 위안) 또한 높은 기술 지원이 필요합니다.

지식 확장: 산업 표준 제정 과정에서 교차 분야 통합에 대한 관심이 점점 더 높아지고 있습니다. 예를 들어, HG/T 2838-2020(개정판)에는 텅스텐 카바이드 기반 복합 분말에 대한 사양이 추가되어 화학 공학과 재료 과학의 교차 발전을 반영하고 있습니다.

지역 및 기업 표준

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

지역 및 기업 표준은 지역 산업 특성과 기업의 기술적 장점을 결합하여 품질 관리 요구 사항을 세부화하고 국가 표준의 보편성 부족을 보완합니다.

지역 표준:

DB43/T 1025-2015: 후난성 "텅스텐 카바이드 분말 품질 관리 사양".

내용 설명: 본 표준은 주저우 텅스텐 산업 기지의 실제 상황을 바탕으로 초미립 분말($<0.5\mu\text{m}$) 및 나노 분말($<100\text{nm}$)의 화학 조성(산소 $\leq 0.08\%$), 입자 크기 분포(D50 편차 $\pm 3\%$) 및 보관 조건(습도 $<40\%$)을 규정 합니다. 검출 방법으로는 XPS(표면 화학), TEM, 온라인 입자 크기 분석 등이 있습니다.

적용 시나리오: 후난성, 장시성과 같은 텅스텐 산업이 집중된 지역, 특히 고급 도구 및 코팅 생산에 적합합니다.

장점 및 과제: 이 표준은 실제 생산에 가깝고 구현 비용이 낮지만, 지역적 특성이 강하고 국가 표준과 함께 사용해야 합니다.

응용 프로그램 특성 및 추세:

실제에 가깝습니다. 국내 표준은 국내 원자재(품위가 낮은 텅스텐 광석)와 장비 수준(대부분 국산 기기 사용)을 충분히 고려했으며, 구현 비용이 비교적 낮습니다.

명확한 수준: 국가표준은 적용 범위가 넓고, 업계표준은 전문화되어 있으며, 지방 및 기업표준은 유연하여 다단계 규제 체계를 형성합니다.

국제화 추세: 중국 텅스텐 산업의 세계화로 인해 국내 표준은 ISO 및 ASTM 에 더욱 가까워지고 있으며, 특히 초미분말 및 고급 응용 분야 분야에서 더욱 그렇습니다.

향후 전망: 국내 표준은 녹색 제조와 지능형 제조를 지원하기 위해 환경 보호 요구 사항(탄소 배출 제어 등)과 지능형 기술(온라인 품질 모니터링 등)을 더욱 통합할 것입니다.

5.4 표준 비교 및 적용성

국내외 표준은 텅스텐 카바이드 분말의 품질 관리에 있어 유사점과 상당한 차이점을 모두 가지고 있습니다. 공통점은 모두 화학 조성, 입자 크기 분포, 결정 구조 및 물리적 특성의 관리를 강조한다는 점입니다. 차이점은 기술적 요건, 시험 방법 및 적용 시나리오에 중점을 둔다는 점입니다. 다음은 기업이 적절한 규격을 선택하는 데 도움이 되도록 다각적인 비교 분석과 각 표준의 적용 가능성을 논의합니다.

화학 조성 요구 사항 비교

국제 표준:

ISO 4499-1:2008: 총 탄소 편차 $\pm 0.05\%$, 유리 탄소 $\leq 0.08\%$, 산소 $\leq 0.15\%$, 불순물(철, 코발트 등) $\leq 10\text{ppm}$.

ASTM E194-10: 산소 함량 검출 한계는 1ppm 으로, 초고순도를 강조하며 항공우주 분야에 적합합니다.

특징: 매우 엄격한 요구 사항, 높은 검출 정확도, 첨단 장비(예: 약 100 만 위안 상당의 ICP-MS)를 갖춰야 함.

국내 표준:

GB/T 4295-2018: 총 탄소 편차 $\pm 0.1\%$, 유리 탄소 $\leq 0.1\%$, 산소 $\leq 0.2\%$, 불순물(철 등)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

≤50ppm.

YB/T 429-2012: 불순물 함도는 비교적 느슨합니다(예: 철 ≤ 100ppm). 이는 품위가 낮은 지역 텅스텐 광석의 현실에 맞게 조정되었습니다.

특징: 비교적 요구사항이 느슨하고, 비용 관리를 고려하며, 대량 생산에 적합합니다.

차이점 분석: 국제 표준은 궁극적인 순도를 추구하며 고급 시장에 적합합니다. 반면, 국내 표준은 보다 포괄적이며 원자재와 테스트 비용을 절감합니다.

적용성:

수출 제품: EU, 북미 등의 시장에서 인증을 통과하려면 ISO 또는 ASTM 표준을 충족해야 합니다.

국내 시장: GB/T 4295 는 기존의 시멘트 카바이드 및 코팅 생산에 적합하며 비용 효율성이 더 높습니다.

고급 응용 분야: 항공우주, 의료 장비는 국제 표준이나 기업 내부 표준(예: 산소 ≤ 0.05%)을 채택해야 합니다.

지식 확장: 화학 성분 제어는 지능화 방향으로 발전하고 있습니다. 예를 들어, 독일 기업들은 AI 기반 ICP-MS 시스템을 사용하여 불순물 변동을 분석하고 공정 매개변수를 실시간으로 조정합니다. 이 기술은 향후 5 년 안에 중국에 도입될 것으로 예상됩니다.

세분성 제어 비교

국제 표준:

ASTM B761-17: 균일한 입자 크기 분포(D90/D10<2), D50 편차 ±5%를 요구하고 레이저 광산란 방법(정확도 0.01 μm)을 권장합니다.

ISO 4499-2:2008: 초미립 분말(<1 μm)에 대한 시험 방법을 개선하고 응집 제어를 강조합니다.

특징: 분포 균일성에 중점을 두고, 고정밀 응용 분야에 적합하며, 시험 장비에 대한 요구 사항이 높습니다(레이저 입자 크기 분석기 가격은 약 50 만 위안).

국내 표준:

GB/T 26046-2010: 입자 크기를 여러 간격으로 나누어(예: 0.5-1 μm, 1-3 μm) D50 편차는 ±10%이며, 스크리닝 방법이 허용됩니다.

JB/T 12614-2016: 초미립 분말의 경우 D90/D10<2.5, 레이저 입자 크기 분석과 TEM 을 결합하는 것이 좋습니다.

특징: 분류 관리가 더 유연하고, 기존 방식(예: 스크리닝 방식, 비용 약 10,000 위안)을 고려하며, 중소기업에 적합합니다.

차이점 분석: 국제 표준은 높은 정확성과 일관성을 강조하는 반면, 국내 표준은 다양성과 실용성에 중점을 둡니다.

적용성:

정밀 도구와 3D 인쇄: 매우 균일한 입자 크기 분포를 보장하려면 ASTM 또는 ISO 표준이 필요합니다.

기존의 시멘트 초경합금: GB/T 26046 의 분류 관리가 경제적이며 다양한 요구를 충족합니다.

초미립 분말: JB/T 12614 는 국제 표준을 결합했으며 고급 시장에 적합합니다.

지식 확장: 입자 크기 제어 분야의 최신 동향은 레이저 광산란과 동적 광산란(DLS)을

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

결합한 다중 모드 분석법의 도입입니다. 다중 모드 분석법은 입자 크기와 응집 상태를 동시에 분석할 수 있습니다. 이 기술은 유럽과 미국에서 이미 대중화되었으며, 2025 년 이후 중국에서도 보급될 것으로 예상됩니다.

시험 방법 비교

국제 표준:

ISO 4499 시리즈: 레이저 입도 분석기, ICP-MS, 적외선 흡수법 등 고정밀 기기를 사용하고 엄격한 시험 환경 요구 사항(온도 $20\pm1^{\circ}\text{C}$, 습도 $<40\%$)을 우선시합니다.

ASTM E194-10: 방법의 표준화를 강조하고, 장비는 매년 교정을 요구하며, 검출 한계는 ppm 수준으로 낮습니다.

특징: 탐지 정확도가 높고 결과의 비교성이 뛰어나지만, 장비 및 유지 관리 비용이 높습니다(연간 평균 유지 관리 비용은 약 10 만 위안).

국내 표준:

GB/T 4295-2018: 전통적인 방법(예: 스크리닝, 화학 적정)과 현대적 기기(예: 약 20 만 위안짜리 국산 레이저 입도 분석기)를 모두 고려합니다.

YB/T 429-2012: 장비 교정 요구 사항이 완화(2 년마다)되고 테스트 비용이 낮습니다(화학 적정 장비 비용은 약 50,000 위안).

특징: 다양한 방법, 낮은 비용, 다양한 규모의 기업에 적합.

차이점 분석: 국제 표준은 극도의 정밀성을 추구하는 반면, 국내 표준은 실용성과 경제성에 중점을 둡니다.

적용성:

기술력이 뛰어난 기업은 ISO 또는 ASTM 표준을 직접 채택하여 국제 고객의 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

중소기업: GB/T 4295 의 하이브리드 방식은 구현이 더 쉽고 장비 투자도 덜 필요합니다.

나노분말 과 같은 신흥 분야는 국제 표준을 기반으로 한 고정밀 방법과 국내 표준의 유연성을 결합해야 합니다.

지식 확장: 시험 방법의 디지털 전환이 가속화되고 있습니다. 예를 들어, 미국 기업들은 온라인 XRD 시스템을 사용하여 0.05% 미만의 오차로 상 조성을 실시간으로 모니터링합니다. 중국 기업들은 유사한 기술을 시험 운영하고 있으며 2026 년 산업화를 달성할 것으로 예상합니다.

적용성 분석

수출 지향적 기업:

권장 표준: ISO 4499 시리즈, ASTM B761/E194.

이유: 유럽과 미국 시장에서는 국제 표준이 권위적이며, 화학 성분과 입자 크기 제어에 대한 엄격한 요구 사항을 충족시켜 고급 고객(예: 보잉, 에어버스)의 요구를 충족할 수 있습니다.

구현 제안: 고정밀 장비(ICP-MS, 레이저 입자 크기 분석기 등)에 투자하고, 전문 시험 인력을 양성하고, 국제 품질 관리 시스템(ISO 9001 인증 등)을 구축합니다.

국내 시장:

권장 표준: GB/T 4295-2018, GB/T 26046-2010, YB/T 429-2012.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이유: 국내 표준은 비용과 성능을 모두 고려하고 있으며, 대량 생산에 적합하며, 시멘트
조경, 코팅, 공구에 대한 다양한 응용 분야를 포괄합니다.

구현 제안: 국산 장비(예: 베이징 정밀 레이저 입자 크기 분석기, 가격은 약 20 만 위안)
사용을 우선시하고, 현지 표준(예: DB43/T 1025)과 결합하여 프로세스를 최적화합니다.

하이엔드 애플리케이션:

권장 표준: ISO 4499-1/2, ASTM E194, 기업 표준(예: Q/ZH 001-2020).

이유: 항공우주, 의료기기 및 기타 분야에서는 매우 높은 순도와 농도가 요구됩니다.

국제 표준 및 기업 표준은 더 엄격한 지표(예: 산소 $\leq 0.05\%$, 입자 크기 편차 $\pm 2\%$)를
제공할 수 있습니다.

구현 제안: 첨단 검출 기술(TEM 및 싱크로트론 방사선 XRD 등)을 도입하고, 전체
프로세스 디지털 관리를 확립하고, 6 σ 품질 관리를 구현합니다.

떠오르는 분야:

권장 표준: JB/T 12614-2016, ISO 4499-2020(개정판), Q/ZG 002-2021.

이유: 3D 프린팅, 나노코팅, 생물의학 분야에서는 분말의 구형도, 표면 화학, 유동성에
대한 새로운 요구 사항이 제시되었으며, 최신 표준은 더욱 구체적입니다.

구현 제안: 특수 장비(CT 스캐너, BET 표면적 측정기 등)에 투자하고, 표준 설정(China
Tungsten High-Tech와의 협력 등)에 참여하고, 기술적 우위를 점하세요.

개발 추세

표준의 국제화

중국 텅스텐 산업의 세계적 영향력이 커짐에 따라 국내 표준은 ISO 및 ASTM에 더욱
가까워지고 있습니다. 예를 들어, GB/T 4295-2023(초안)은 ISO 4499-2020의 나노파우더
규격을 참조하며 2025년에 공식 발표될 예정입니다.

환경 지향

향후 표준에는 탄화 공정 중 탄소 배출을 제어(목표 <2 톤 CO₂/톤 분말)하고 저에너지
소비 공정(예: 마이크로파 탄화)을 촉진하는 것과 같은 친환경 제조 요구 사항이 포함될
예정입니다.

지능형 업그레이드

품질 관리 효율성을 높이기 위해 온라인 모니터링(실시간 입자 크기 분석, AI 기반 상
분석 등)과 디지털 트윈 기술이 표준에 통합될 예정입니다. 예를 들어, 독일 TÜV 인증은
기업들이 디지털 품질 보고서를 제출하도록 요구하고 있습니다.

맞춤형 요구 사항: 3D 프린팅 및 생체 의학과 같은 새로운 분야의 경우, 이 표준은 구형
분말의 유동성(<10 초/50g) 및 나노 분말의 표면 활동(>20m²/g)과 같이 특정 목적에
맞는 분말 지표를 개선합니다.

지식 개발

표준화에 대한 국제 협력이 가속화되고 있습니다. 예를 들어, ISO와 ASTM은 "적층 제조
재료 실무 그룹(Additive Manufacturing Materials Working Group)"을 공동으로
설립했으며, 주저우 초경합금 그룹(Zhuzhou Cemented Carbide Group) 등 중국 기업들이
참여하고 있습니다. 이는 국내 표준의 국제화를 위한 새로운 기회를 제공합니다.

참고문헌

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

- 리밍. 초경합금재료[M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.
- 리밍. 초경합금 재료과학 [M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.
- 장리, 왕완후이 . 텅스텐 카바이드 분말 제조 기술의 진보[J]. 분말야금기술, 2020, 38(2): 88-94.
- 장리, 왕완후이 . 텅스텐 카바이드 분말 제조 기술의 발전 [J]. 분말 야금 기술, 2020, 38(2): 88-94.
- Wang Qiang, Li Ming. 중국의 초경합금 표준 시스템 연구[J]. 중국텅스텐산업, 2019, 34(3): 45-50.
- 왕치양, 리밍. 중국 초경합금 표준체계 연구 [J]. 중국텅스텐산업, 2019, 34(3): 45-50.
- Li Zhiqiang, Zhang Wei. 텅스텐 카바이드 분말의 국제 표준과 국내 표준의 비교 분석[J]. 재료과학 및 공학, 2021, 39(4): 112-118.
- Li Zhiqiang, Zhang Wei. 텅스텐 카바이드 분말의 국제 및 국내 표준 비교 분석 [J]. 재료과학 및 공학, 2021, 39(4): 112-118.
- Chen Wei, Zhao Gang. 초미립 텅스텐 카바이드 분말의 제조 및 특성[J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5): 567-573.
- Chen Wei, Zhao Gang. 초미립 텅스텐 카바이드 분말의 제조 및 특성 [J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5): 567-573.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. 3D 프린팅에 텅스텐 카바이드 분말을 적용하는 연구[J]. 적층 제조 기술, 2023, 12(1): 34-40.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. 3D 프린팅에서 텅스텐 카바이드 분말의 응용 [J]. 적층 제조 기술, 2023, 12(1): 34-40.
- ISO 4499-1:2008, 경금속 - 미세구조의 금속학적 결정.
- ISO 4499-1:2008, 시멘트 카바이드 - 미세구조 측정 방법.
- ISO 4499-2:2008, 초경금속 — 물리적 특성 테스트.
- ISO 4499-2:2008, 시멘트 카바이드 - 물리적 특성에 대한 시험.
- ISO 3326:2013, 경금속 - 경도 측정.
- ISO 3326:2013, 시멘트 카바이드 - 경도 측정.
- ASTM B761-17, 광산란을 이용한 금속 분말 및 관련 화합물의 입자 크기 분포에 대한 표준 시험 방법.
- ASTM B761-17, 금속 분말 및 관련 화합물의 입자 크기 분포에 대한 광산란 시험 방법.
- ASTM E194-10, 금속 분말의 산소 측정을 위한 표준 시험 방법.
- ASTM E194-10, 금속 분말의 산소 함량 측정을 위한 시험 방법.
- ASTM B659-90(2014), 금속 및 무기 코팅 두께 측정을 위한 표준 가이드.
- ASTM B659-90(2014), 금속 및 무기 코팅 두께 측정 가이드.
- Smith J, Brown T. 텅스텐 카바이드 분말 생산의 발전 [J]. 재료 과학 저널, 2020, 55(12): 4567-4578.
- Smith J, Brown T. 텅스텐 카바이드 분말 생산 기술의 발전[J]. 재료과학 저널, 2020, 55(12): 4567-4578.
- Johnson R, Lee K. 적층 제조에서의 텅스텐 카바이드 품질 관리 표준 [J]. 적층 제조, 2022, 48: 102456.
- Johnson R, Li K. 적층 제조에서 텅스텐 카바이드 품질 관리 표준[J]. 적층 제조, 2022,

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

48: 102456.

Müller H, Schmidt P. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik , 2019, 50(6): 789-796.

Mueller H, Schmidt P. 텅스텐 카바이드 분말의 품질 관리: 규격 및 절차[J]. 재료과학 및 공학기술, 2019, 50(6): 789-796.

Bauer T, Weber S. Herstellung 및 Charakterisierung von ultrafeinem Wolframcarbidpulver [M]. 베를린: Springer, 2021.

Bauer T, Weber S. 초미립 텅스텐 카바이드 분말의 제조 및 특성화[M]. 베를린: Springer-Verlag, 2021.

일본 문학(중국어 번역 포함)

야마다 타로, 사토 이치로. 탄화분말의 품질관리 기준에 관한 연구 [J]. 분말공학회지, 2020, 57(3): 123-130.

야마다 타로, 사토 이치로. 텅스텐 카바이드 분말의 품질 관리 기준에 관한 연구[J]. 분말공학회지, 2020, 57(3): 123-130.

나카무라 켄, 코바야시 유. 초미세 탄화 텅스텐 분말의 특성 평가[J]. 재료과학저널, 2022, 71(5): 345-352.

나카무라, 켄, 고바야시, 유. 초미립 텅스텐 카바이드 분말의 성능 평가[J]. 재료과학회지, 2022, 71(5): 345-352.

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 Tungsten Carbide Powder Introduction

1. Overview of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP's tungsten carbide powder (chemical formula WC) is a high-quality powder product made from high-purity tungsten raw materials and carbon black through a high-temperature carburization process. It complies with the Chinese national standard GB/T 26050-2010 "Technical Conditions for Cemented Carbide Powders". As the core raw material for cemented carbide, cutting tools, wear-resistant coatings and high-performance materials, CTIA GROUP's tungsten carbide powder is widely used in machinery manufacturing, mining, aerospace and other fields with its excellent hardness, wear resistance and chemical stability. We provide a full range of products from ultra-fine particles (0.6 μm) to extra-coarse particles (45 μm) to meet diverse industrial needs. For more information, please visit www.tungsten-powder.com

2. Product Features of Tungsten Carbide Powder

High purity and stability

Total carbon content (T/C): 5.90-6.18 wt %, theoretical value 6.13 wt % (± 0.05 wt %), ensuring high purity of WC phase.

Free carbon content (F/C): ≤ 0.10 wt %, high-end customized models can be controlled at ≤ 0.05 wt %, reducing the impact of free carbon on performance.

Low impurity content: Iron (Fe) ≤ 0.05 wt %, oxygen (O) ≤ 0.20 wt % (fine particles ≤ 0.15 wt %), meeting high-precision application requirements.

Diverse particle size options

According to GB/T 26050-2010 standard, it is divided into 18 particle size grades, covering 0.6-45 μm , with uniform particle size and deviation controlled within $\pm 10\%$.

Excellent physical properties

Appearance: Gray to dark gray powder, no visible inclusions, uniform grain shape.

Density: 15.63 g/cm³ (theoretical value), loose density 3.0-5.0 g/cm³ (customizable).

Application flexibility

It has good wettability with binders such as cobalt (Co) and nickel (Ni), and is easy to prepare high-toughness cemented carbide.

Adapt to various sintering processes to meet different needs from precision tools to mining drill bits.

3. Specifications of CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder

Category Brand	Fisher particle size (μm)	Total carbon (wt %)	Free carbon (wt %)	Oxygen content (wt %)	Typical Applications
WC06-07	0.6-0.7	5.90-6.18	≤ 0.05	≤ 0.15	Ultra-fine cutting tools, coatings
WC08-10	0.8-1.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.15	Precision cutting tools
WC20-25	2.0-2.5	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	General Carbide
WC50-60	5.0-6.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	Mining tools
WC100-150	10.0-15.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	High toughness wear-resistant parts

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

Category	Fisher particle size	Total carbon	Free carbon	Oxygen content	Typical Applications
Brand	(μm)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	
WC300-450	30.0-45.0	5.90-6.18	≤0.10	≤0.20	Extra coarse impact tool
Remark	Impurity content (Fe, Mo, Si, etc.) meets standard limits , special particle size or special requirements can be customized according to customer needs.				

4. Production Process of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP adopts advanced carburizing technology and strict quality control system:

Raw materials: high-purity tungsten powder (purity ≥99.95%) and high-quality carbon black.

Carbonization: React in a high temperature vacuum furnace at 1400-1600°C to ensure complete carbonization and uniform grains.

Crushing and screening: Through air flow crushing and multi-stage screening, the particle size distribution can be precisely controlled.

Quality inspection: Based on GB/T 5124 (chemical analysis), GB/T 1482 (Ferris particle size) and other methods to ensure that each batch meets the standards.

5. Quality Assurance of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Standard compliance: Strictly implement GB/T 26050-2010, each batch of products comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size and appearance test results.

Factory inspection: total carbon, free carbon, impurity elements such as Fe, O content , particle size, appearance , physical properties (such as loose density).

Sampling: According to GB/T 5314, uniform sampling is conducted from each batch (1-5 tons) to ensure representativeness.

6. Packaging and Transportation of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Inner packaging: sealed plastic bag or vacuum packed to prevent oxidation.

Outer packaging: iron drum or plastic drum, net weight 25kg or 50kg (customized according to requirements).

Marking: Indicate product name, brand, batch number and production date.

Transportation and storage: Moisture-proof and shock-proof, stored in a dry and ventilated warehouse, shelf life is 12 months.

7. Application Fields of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Cutting tools: Ultrafine grain (WC06-07) is used for high-speed precision cutting tools with high hardness and strong wear resistance.

Mining tools: Coarse grains (WC50-60 and above) are used for drill bits and impact-resistant parts with excellent toughness.

Wear-resistant coating: Fine grain (WC08-10) is used for thermal spraying to improve surface properties.

Aerospace: Medium grain (WC20-25) is used for high temperature wear-resistant parts.

Other fields and special purposes: welcome to negotiate and customize.

8. Contact Information of CTIA GROUP

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

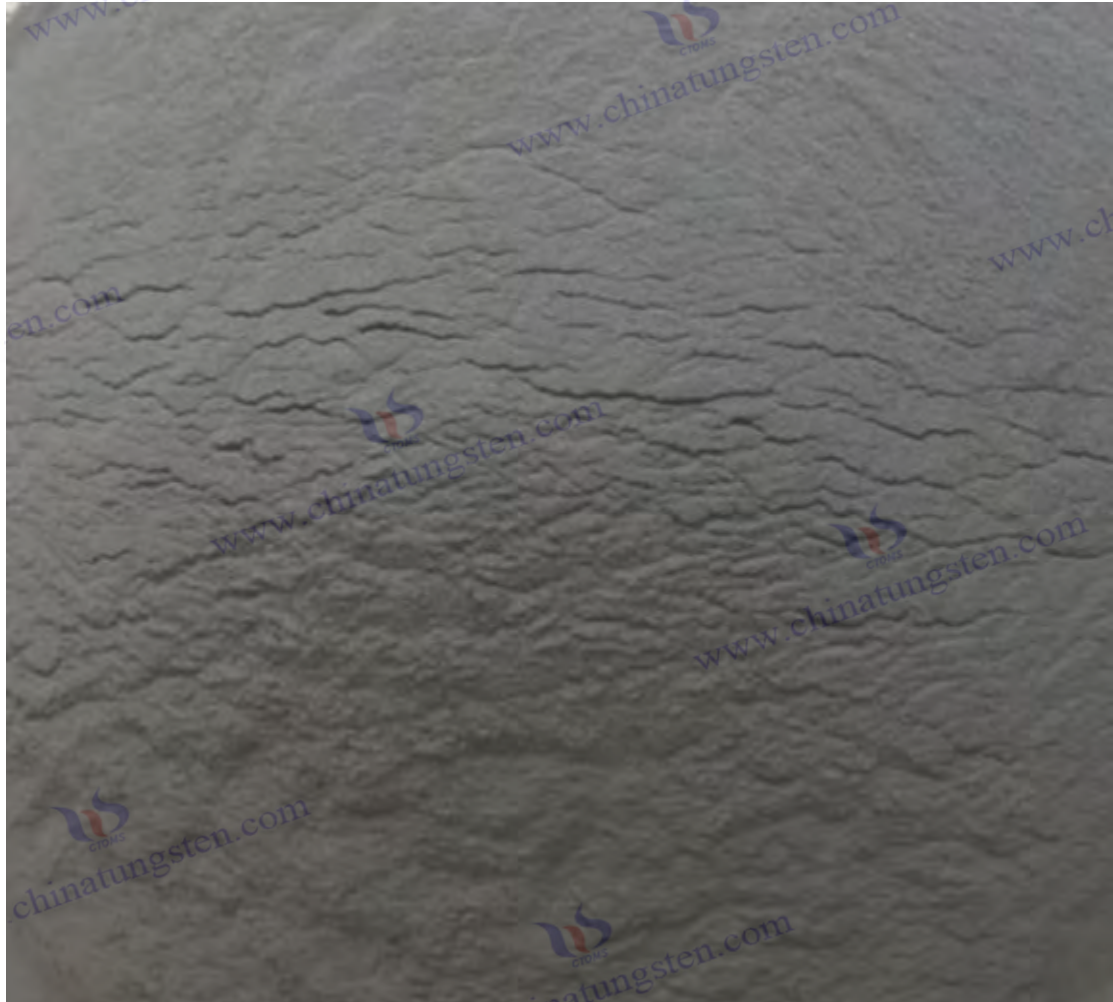
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP is committed to providing customers with high-quality tungsten carbide powder and technical support.

For more information or customized products, please contact:

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129595

Website: www.tungsten-powder.com for more industry information and technical parameters.



6 장: 텅스텐 카바이드 분말의 성능 최적화 및 수정

초경합금, 절삭 공구, 내마모성 코팅 등 고성능 소재의 핵심 구성 요소인 텅스텐 카바이드 분말의 성능 최적화 및 개질 기술은 최종 제품의 기계적 특성, 내식성, 고온 안정성을 향상시키는 데 결정적인 역할을 합니다. 첨단 제조 기술의 급속한 발전으로 기존 텅스텐 카바이드 분말의 성능은 항공우주, 적층 제조, 마이크로 전자공학 등 다양한 분야의 엄격한 요구 사항을 충족하는 데 어려움을 겪고 있습니다. 따라서 입자 크기 최적화, 도핑 및 복합재 개질, 표면 개질, 열처리 및 어닐링 등을 통해 텅스텐 카바이드 분말의 미세 구조 및 거시적 특성을 체계적으로 개선하고 있으며, 이는 재료 과학 및 공학 분야의 연구 최전선으로 자리 잡았습니다. 본 장에서는 입자 크기 최적화, 도핑 및 복합재 개질, 표면 개질 기술, 열처리 및 어닐링의 네 가지 측면에서 성능 최적화의 이론적 기초, 공정 방법, 응용 효과 및 미래 동향을 심층적으로 분석하여 학술 연구와

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

산업 실무에 대한 포괄적인 기술 참고 자료를 제공하는 것을 목표로 합니다.

6.1 입자 크기 최적화

텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기와 분포는 최종 제품의 가압 거동, 소결 성능 및 미세 구조에 영향을 미치는 핵심 매개변수입니다. 입자 크기를 정밀하게 제어함으로써 분말의 균일성과 유동성은 물론, 초경합금의 경도, 인성 및 내마모성을 크게 향상시킬 수 있습니다. 본 논문에서는 이론적 근거, 공정 기술, 정량적 효과 및 개발 방향의 네 가지 측면에서 텅스텐 카바이드 분말의 성능 향상에 있어 입자 크기 최적화의 역할을 체계적으로 설명합니다.

입자 크기 최적화의 이론적 근거

입자 크기는 텅스텐 카바이드 분말의 비표면적, 소결 활성화 및 입자 크기에 직접적인 영향을 미치며, 이는 다시 재료의 기계적 특성 및 가공 특성을 결정합니다.

홀-페치 효과: 홀-페치 관계에 따르면, 입자 크기가 작아지면 재료의 항복 강도와 경도가 크게 향상될 수 있습니다. 예를 들어, 초미립 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 $<1\mu\text{m}$)로 제조된 초경합금의 경도는 HV 2000~2200에 도달할 수 있으며, 이는 조분말($>10\mu\text{m}$)의 HV 1200~1500보다 약 60% 높습니다.

소결 동역학: 미세 분말은 비표면적이 더 넓어($5\sim 20\text{m}^2/\text{g}$) 표면 에너지에 의한 확산 속도가 증가합니다. 소결 온도는 기존 1450°C 에서 $1300\sim 1350^\circ\text{C}$ 로 낮아져 에너지 소비량이 약 15% 감소하고 입자 성장 위험도 감소합니다.

입자 크기 분포의 균일성: 좁은 입자 크기 분포(D90/D10 <2)는 소결 중 균일한 수축을 보장하고, 기공률을 1% 미만으로 줄이며, 제품 치수 정확도(편차 $\pm 10\mu\text{m}$)를 크게 향상시킬 수 있습니다. 넓은 분포는 국부적인 불균일한 수축을 초래하고 미세 균열을 유발할 수 있습니다.

적용 시나리오에 대한 적응성: 초미립 분말($<0.5\mu\text{m}$)은 고정밀 절삭 공구 및 마이크로 전자 부품에 적합하고, 중간 입자 크기($3\sim 10\mu\text{m}$)는 내마모성 코팅 및 금형에 적합하며, 거친 입자 크기($>10\mu\text{m}$)는 열 분무 및 광산 도구에 사용되어 다양한 작업 조건에서 기계적 요구 사항을 충족합니다.

입자 크기 최적화를 위한 공정 기술

다양한 입자 크기 요구 사항에 대응하여 분말의 정밀한 제어를 달성하기 위해 다양한 공정 기술이 개발되었습니다.

고에너지 볼 밀링 기술

건식 볼 밀링: 행성형 볼 밀을 사용하고, 분쇄 매체는 텅스텐 카바이드 볼(경도 $>90\text{HRA}$)을 사용하고, 볼 대 재료 비율은 10:1이고, 회전 속도는 400~600rpm이고, 분쇄 시간은 12~24시간이며, $3\sim 10\mu\text{m}$ 의 중간 입자 크기 분말을 제조할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

습식 볼 밀링: 에탄올 또는 아세톤 매질에서 분산제(예: 폴리에틸렌 글리콜, PEG, 첨가량 0.2~0.6%)를 첨가하여 수행하며, 분쇄 시간은 8~16 시간입니다. 0.5~1 μm 의 초미분말을 제조할 수 있으며, 응집률은 5% 이하로 조절됩니다.

정량적 효과: 습식 볼 밀링과 초음파 분산을 결합하면 평균 입자 크기를 2.5 μm 에서 0.7 μm 로 줄이고, 분말의 소결 밀도를 10% 증가시키고, 시멘트 카바이드의 파괴 인성을 약 12% 향상시킬 수 있습니다.

기류 분류 기술

공정 원리: 원심 공기 흐름 분류기를 사용하여 공기 흐름 속도(15~50m/s)와 분류 휠 속도(8000~20000rpm)를 조절하여 0.5~10 μm 의 분말을 체질할 수 있으며 분류 효율은 92%에 도달할 수 있습니다.

기술적 장점: 분류 정확도가 높고 D50 편차가 $\pm 0.03 \mu\text{m}$ 이내로 제어되어 기존 스크리닝 방법의 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 보다 우수합니다.

적용 사례: 한 회사는 기류 분류를 통해 초미립 분말의 D90/D10을 2.8에서 1.7로 최적화했습니다. 이 제품은 고정밀 PCB 드릴 비트에 사용되었으며, 완제품 합격률이 15% 증가했습니다.

플라즈마 구형화 기술

공정 원리: 고주파 플라즈마(전력 20~60kW)를 사용하여 불규칙한 입자를 녹이고 빠르게 응고시켜 입자 크기가 0.5~5 μm 범위에 있는 구형 분말을 형성합니다.

기술적 장점: 구형 분말의 유동성이 35% 향상됩니다(홀 유량은 14 초/50g로 감소). 이는 적층 제조 및 열 분사에 적합합니다.

적용 사례: 한 회사에서 플라즈마 구형화 기술을 사용하여 0.8 μm 분말을 제조했습니다. 코팅의 표면 거칠기(Ra)는 0.5 μm 에서 0.2 μm 로 감소했고, 내마모성은 18% 향상되었습니다.

화학 기상 증착(CVD) 제어

공정 원리: 텅스텐 소스(예: WF_6)와 탄소 소스(예: CH_4)의 흐름 비율(1:1.3~1:1.6)을 제어하여 800~1000°C에서 초미분말(0.1~0.5 μm)을 직접 생성합니다.

기술적 장점: 입자 크기가 균일하고 응집률이 낮습니다(<2%). 나노스케일 응용 분야에 적합합니다.

기술적 과제: 반응 장비는 비싸고(약 600 만 위안) 공정 매개변수는 정밀하게 제어되어야 합니다(온도 편차 $\pm 5^\circ\text{C}$).

양적 효과와 개발 방향

정량적 효과: 입자 크기 최적화는 텅스텐 카바이드 분말의 성능을 크게 향상시킵니다. 예를 들어, 초미립 분말(0.5 μm)로 제조된 초경 공구의 수명이 25~35% 연장되고, 3D 프린팅에 나노 분말(<100nm)을 적용하면 프린팅 정확도가 $\pm 8 \mu\text{m}$ 로 향상됩니다.

나노분말의 응집 문제는 여전히 해결해야 할 과제이며, 새로운 분산제(예: 기능화된 그래핀)와 온라인 모니터링 기술(예: 오차 <1%의 동적 광산란)을 개발해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

개발 방향

나노분말 의 스케일업 : 마이크로파 보조 분쇄 및 플라즈마 강화 CVD 를 탐구하여 생산 비용을 20% 절감할 것으로 예상합니다.

지능형 공정 제어: 머신 러닝 모델을 사용하여 분쇄 시간과 입자 크기 간의 관계를 예측하여 공정 효율성을 최적화합니다.

녹색 제조: 탄소 배출량을 줄이기 위한 저에너지 분류 기술(예: 전자기 분류)을 개발합니다(목표 <1.5 톤 CO₂/톤 분말).

6.2 도핑 및 복합재 변형

도핑 및 복합재 개질은 이중 원소 또는 2 차상을 도입하여 텅스텐 카바이드 분말의 격자 구조, 결정립계 특성 및 화학적 안정성을 최적화하여 경도, 인성, 내식성 및 고온 성능을 향상시킵니다. 이 기술은 항공우주, 내마모성 코팅 및 에너지 장비 분야에서 광범위한 응용 가능성을 가지고 있습니다. 본 논문에서는 개질 메커니즘, 공정 기술, 응용 효과 및 연구 동향의 네 가지 측면에서 도핑 및 복합재 개질의 이론과 실재를 체계적으로 분석합니다.

수정 메커니즘

격자 강화 메커니즘: Ti, Cr, V 와 같은 도핑 원소는 WC 격자의 텅스텐 원자를 대체하거나 격자 간극에 위치하여 고용체를 형성하고, 격자 변형 에너지를 증가시키며, 전위 이동을 방해합니다. 예를 들어, Ti 를 1% 도핑하면 경도를 HV 1800 에서 HV 2250 으로 높이고 강도를 약 20% 증가시킬 수 있습니다.

3 C₂, VC)를 결정립계에 첨가하여 결정립 성장을 억제하고, 결정립계 결합강도를 향상시키며, 파괴인성을 향상시킨다(7MPa · m^{1/2} 에서 9MPa · m^{1/2} 로 향상).

향상된 화학적 안정성: Ta 및 Nb 와 같은 원소를 도핑하면 고온(>800° C) 또는 부식성 환경에서 분말의 산화 속도를 감소시켜 안정적인 산화물 보호층을 형성할 수 있습니다. 예를 들어, 0.5% Ta 를 도핑하면 산화 중량 증가를 30%까지 줄일 수 있습니다.

복합재 개질의 시너지 효과: 다른 탄화물(예: TiC , ZrC) 또는 금속 결합상(예: Co, Ni)을 도입함으로써 다상 복합재가 형성되어 경도와 인성 간의 균형을 최적화합니다. 예를 들어, WC- TiC -Co 복합 분말의 경도는 HV 1900 에 도달하고 인성은 11 MPa · m^{1/2} 에 도달하여 순수 WC 의 성능 조합보다 우수합니다.

공정 기술

기계적 합금화:

공정 흐름: 텅스텐 카바이드 분말을 도핑 원소(Cr, Ti 등) 또는 복합상 (TiC 등)과 혼합합니다. 이때 볼-재료 비율은 12:1, 회전 속도는 500-700rpm, 분쇄 시간은 8-16 시간입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기술적 장점: 균일한 도핑, 실험실 및 소량 생산에 적합, 장비 비용 낮음(약 25 만 위안).
 WC_2 를 기계적 합금화하여 입자 크기를 $1.8\mu\text{m}$ 에서 $0.9\mu\text{m}$ 로 감소시키고 초경합금의 내마모성을 20% 향상시켰습니다.

화학적 공침법:

공정 흐름: 텅스텐 염(예: Na_2WO_4)을 도핑 염(예: TiCl_4 , NbCl_5)과 혼합하고 pH 7.5~8.5, 온도 $70\sim 90^\circ\text{C}$ 에서 공침시킨 다음 건조하고 탄화하여 도핑된 분말을 생성합니다.

나노분말 ($<100\text{nm}$) 제조에 적합하며, 도핑량을 정밀하게 제어할 수 있습니다(0.1%-5%).

응용 사례: 한 대학에서는 공침법을 사용하여 1.5% VC를 도핑하여 경도 HV 2400의 나노 WC 분말을 제조하는데, 이는 초경 절삭 공구에 적합합니다.

졸-겔 방법:

공정 흐름: 텅스텐산을 전구체로 사용하고, 도핑 원소의 유기염(아세트산 니오븀 등)을 첨가하여 겔을 형성한 다음, $1200\sim 1400^\circ\text{C}$ 에서 탄화시켜 복합 분말을 생성합니다.

기술적 장점: 높은 도핑 균일성, 고순도 분말에 적합, 낮은 불순물 함량($<50\text{ppm}$)

기술적 과제: 긴 공정 주기($48\sim 72$ 시간)와 높은 생산 비용(톤당 약 60 만 위안)

플라스마 보조 도핑:

TaCl_5 증기 등)로 분말 표면에 주입하는데, 반응 시간은 15~30 초입니다.

기술적 장점: 높은 도핑 효율, 상당한 표면 개질 효과, 산화 저항성 25% 향상.

적용 사례: 한 회사에서 0.8% Nb를 도핑했더니 900°C 에서 분말의 산화 중량 증가율이 35% 감소하여 고온 코팅에 적합해졌습니다.

응용 효과 및 연구 동향

정량적 효과: 도핑 및 복합재 개질은 텅스텐 카바이드 분말의 종합적인 성능을 크게 향상시킵니다. 예를 들어, WC-TiC-Co 복합재 분말로 제작된 공구의 고속 절삭 수명이 60% 연장되고, WC- Cr_3C_2 분말은 내식성 코팅에 사용되어 내산성이 2.5 배 향상됩니다.

기술적 과제: 도핑 원소의 비율과 분포를 정밀하게 최적화해야 합니다. 과도한 도핑(예: TiC $>12\%$)은 상 분리를 초래하고 인성을 저하시킬 수 있습니다. 복합재의 계면 결합 강도 또한 더욱 향상되어야 합니다.

연구 동향:

다중 원소 시너지 도핑: Ti-V-Cr-Nb와 같은 다양한 조합을 탐구하고 시너지 효과를 활용해 종합적인 성능을 개선합니다.

입자크기를 50nm 이하로 제어한 WC 기반 나노복합 분말(WC-TiC-ZrC 등)을 개발합니다.

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

계산 시뮬레이션 지원: 분자 동역학 및 기본 원리 계산을 통해 도핑 원소가 격자 안정성에 미치는 영향을 예측하여 실험 비용을 줄일 수 있습니다.

6.3 표면개질기술

표면 개질은 표면의 화학적 조성, 물리적 형태 또는 미세 구조를 조절하여 텅스텐 카바이드 분말의 분산성, 유동성, 내산화성 및 소결 성능을 최적화합니다. 이 기술은 분말 가공 효율 및 최종 제품 성능 향상에 매우 중요합니다. 본 논문에서는 표면 개질의 이론과 응용 분야를 개질 메커니즘, 공정 기술, 정량적 효과, 그리고 미래 방향의 네 가지 측면에서 체계적으로 분석합니다.

수정 메커니즘

표면 에너지 조절: 유기층(예: 폴리비닐알코올, PVA) 또는 무기층(예: SiO_2 , Al_2O_3)으로 코팅함으로써 입자의 표면 에너지를 감소시키고, 반데르발스 힘을 감소시키며, 응집률을 25%에서 4%로 감소시킬 수 있다.

마찰계수 감소: 개질 후 매끄럽거나 구형의 표면이 형성되고, 입자 간의 마찰계수가 15~25% 감소하며, 홀 유량은 28 초/50g에서 13 초/50g로 감소할 수 있습니다.

향상된 산화 저항성: 표면을 고용점 산화물(예: ZrO_2) 또는 질화물(예: TiN)로 코팅하여 고온 산화 반응을 억제하는 보호층을 형성합니다. 예를 들어, 800°C 에서 Al_2O_3 코팅 분말의 산화 중량 증가율은 40% 감소합니다.

소결 활성 향상: 개질된 표면에 활성기(예: 하이드록실기 및 아미노기)를 도입하여 입자 간 계면 결합을 촉진합니다. 소결 온도는 $50\sim 80^\circ\text{C}$ 까지 낮출 수 있으며, 밀도는 8%까지 증가시킬 수 있습니다.

공정 기술

화학 코팅 방법:

공정 흐름: 텅스텐 카바이드 분말을 용액에 분산시키고 코팅 전구체(예: 에틸 실리케이트, 사염화알루미늄)를 첨가하고 pH 4.5-6.5, 온도 $50\sim 70^\circ\text{C}$ 에서 반응시켜 SiO_2 또는 Al_2O_3 코팅층(두께 10-60nm)을 형성합니다.

기술적 장점: 코팅층이 균일하고 두께 조절이 가능하여 대량 생산에 적합합니다. 가격은 톤당 약 3만 위안입니다.

적용 예: 한 회사에서 0.3% SiO_2 를 코팅한 결과, 분말 응집율이 2.5%로 감소하였고, 소결체의 기공률은 12% 감소하였습니다.

플라즈마 표면 처리:

공정 흐름: 플라즈마 반응기(전력 15-35kW)에서 Ar, N_2 또는 O_2 플라즈마를 사용하여 분말 표면을 폭격하여 활성 그룹을 도입하거나 질화물/산화층(두께 5-20nm)을 형성합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

기술적 장점: 처리 시간이 짧음(10~20 초), 표면 거칠기가 25% 감소, 산화 저항성이 20% 증가.

적용 사례: 한 회사에서는 N_2 플라즈마 처리를 사용하여 750° C에서 분말의 산화 중량 증가를 30% 줄이고 코팅의 내마모성을 15% 향상시켰습니다.

기계화학적 변형:

공정 흐름: 볼 밀링 공정 중에 계면활성제(스테아르산, 올레산 등 0.2%-0.6% 첨가)를 첨가하여 기계적 힘을 통해 표면 화학 반응을 유도하여 유기 코팅층을 형성합니다.

기술적 장점: 공정이 간단하고, 장비 비용이 저렴(약 2 만 위안), 중소기업에 적합합니다.

적용 사례: 한 회사에서 0.4% 스테아르산을 첨가하자 분말 흐름 속도가 50g 당 26 초에서 50g 당 17 초로 감소했고, 압축 효율이 18% 증가했습니다.

물리 기상 증착(PVD):

공정 흐름: 진공 환경(10^{-2} Pa)에서 TiN, CrN 및 기타 박막(두께 20-100nm)을 마그네트론 스퍼터링으로 0.5-2nm/s의 증착 속도로 증착합니다.

기술적 장점: 표면 경도가 35% 증가하여 고급 코팅 및 절삭 공구에 적합합니다.

기술적 과제: 높은 장비 투자(약 350 만 위안)와 낮은 생산 효율성(배치당 100~200kg)

양적 효과와 미래 방향

정량적 효과: 표면 개질은 분말의 가공 성능과 제품 성능을 크게 향상시킵니다. 예를 들어, SiO_2 코팅 분말의 소결 온도는 1450° C에서 1370° C로 낮아졌고, 코팅의 마찰 계수는 15% 감소했습니다. TiN 개질 분말의 공구 수명은 40% 증가했습니다.

기술적 과제: 코팅의 장기 안정성을 최적화해야 하며, 고온 소결로 인해 코팅이 분해되거나 벗겨질 수 있습니다. 개질 비용과 성능 향상 간의 균형 또한 중요한 문제입니다.

미래 방향

다층 복합 코팅: SiO_2 / Al_2O_3 / ZrO_2 다층 구조를 개발하여 산화 저항성과 접합 강도를 향상시킵니다.

지능형 수정: AI와 결합하여 플라즈마 처리 매개변수(예: 전력 및 공기 흐름 비율)를 최적화하여 수정 효율성을 개선합니다.

녹색 개조: 유기 용매 사용을 줄이고 환경 오염을 줄이기 위해 수성 코팅제(예: 규산나트륨)를 연구합니다.

6.4 열처리 및 어닐링

열처리 및 어닐링은 온도, 분위기 및 유지 시간을 정밀하게 제어하여 텅스텐 카바이드 분말의 결정 구조, 내부 응력 및 표면 화학 상태를 최적화하여 소결 성능과 기계적 특성을 향상시킵니다. 이 기술은 분말 안정성 및 가공 효율 향상에 필수적인 역할을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

합니다. 본 논문에서는 열처리 및 어닐링의 적용을 개질 메커니즘, 공정 기술, 정량적 효과, 그리고 개발 방향의 네 가지 측면에서 체계적으로 분석합니다.

수정 메커니즘

결정 구조 최적화: 열처리를 통해 분쇄나 탄화 과정에서 발생하는 결정 결함(전위, 적층 결함 등)을 제거하고, WC 상의 순도를 98%에서 99.5%로 높이고, 잔류 W_2C 또는 유리 탄소를 줄일 수 있습니다.

내부 응력 해소: 어닐링은 원자 확산을 통해 잔류 응력(예: 압축 응력 500MPa 에서 100MPa 로)을 줄여 분말의 압착 균일성과 소결된 그린 바디의 강도를 개선합니다.

표면 화학적 조절: 환원성 또는 불활성 분위기에서 열처리하면 표면 산화물(예: WO_3)을 제거하고 산소 함량을 0.25%에서 0.04%로 낮추고 소결 활동을 개선할 수 있습니다.

입자 크기 제어: 어닐링 온도($800\sim 1200^{\circ}C$)와 시간(1~4 시간)을 최적화함으로써 입자가 너무 빨리 성장하는 것을 방지하고 입자를 작게($0.5\sim 1.5\mu m$) 유지합니다.

공정 기술

진공 어닐링:

공정 흐름: 진공로(진공도 10^{-4} Pa), 온도 $850\sim 1250^{\circ}C$, 1.5~3.5 시간 동안 보온, 냉각 속도 $5\sim 10^{\circ}C/\text{분}$.

기술적 장점: 산소 함량을 효과적으로 제거(0.22%에서 0.05%)하고 결정 결함 밀도를 35% 감소시킵니다.

적용 사례: 한 회사에서는 $1050^{\circ}C$ 에서 진공 어닐링을 통해 분말의 소결 기공률을 2%에서 0.8%로 줄이고 시멘트 카바이드의 강도를 10% 증가시켰습니다.

수소 분위기에서의 어닐링:

공정 흐름: 수소 분위기(유량 0.8~1.5 L/min), 온도 $950\sim 1150^{\circ}C$, 2~5 시간 동안 따뜻하게 유지하고, 물 냉각이나 공랭을 사용합니다.

기술적 장점: 수소는 표면 산화물을 감소시켜 산소 함량을 0.03%로 낮추고 표면 활동성을 20% 증가시킵니다.

적용 사례: 한 회사에서는 $1000^{\circ}C$ 수소 어닐링을 도입하여 공구의 절삭 수명을 18% 연장했습니다.

마이크로파 열처리:

공정 흐름: 전자레인지(전력 3~6kW), 온도 $750\sim 1050^{\circ}C$, 15~40 분 동안 따뜻하게 유지하고, 불활성 가스 보호 기능을 사용합니다.

기술적 장점: 균일한 가열, 에너지 소비 25% 감소, 입자 크기 $0.5\sim 1\mu m$ 로 제어됨.

적용 사례: 한 대학에서 $900^{\circ}C$ 마이크로파 어닐링을 사용하여 분말 경도를 HV 1800 에서 HV 2000 으로 높였습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

플라즈마 열처리:

공정 흐름: 플라즈마 환경(전력 20-40kW), 온도 650-950° C, 처리 시간 8-20 초, Ar /H₂ 혼합 분위기 사용.

기술적 장점: 빠른 가공, 표면 활동성 18% 증가, 초미세 분말에 적합.

기술적 과제: 장비 비용이 높고(약 250 만 위안) 공정 안정성을 최적화해야 합니다.

양적 효과와 미래 방향

정량적 효과: 열처리 및 어닐링은 분말 성능을 크게 향상시킵니다. 예를 들어, 수소 어닐링 분말의 소결 밀도는 12%, 초경합금의 인성은 22% 증가했습니다. 마이크로파 어닐링 분말을 3D 프린팅에 사용하면 프린팅 정확도가 $\pm 7 \mu m$ 로 향상됩니다.

기술적 과제: 고온 어닐링은 입자 성장을 유발할 수 있으므로, 온도(편차 $\pm 3^{\circ} C$) 및 분위기(산소 분압 $< 10^{-5} Pa$)의 정밀한 제어가 필요합니다. 초미립 분말의 열 안정성 또한 추가 연구가 필요합니다.

미래 방향

저온 급속 어닐링: 플라즈마 지원 저온 어닐링($< 700^{\circ} C$)을 개발하여 에너지 소비를 20% 절감했습니다.

지능형 제어: AI를 사용하여 입자 성장 속도를 예측하고 어닐링 매개변수를 최적화합니다.

녹색 열처리: 태양열 열처리를 통해 탄소 배출을 줄이는 방법을 모색합니다(목표 < 1 톤 CO₂/ 톤 분말).

참고문헌

리밍. 초경합금재료[M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.

리밍. 초경합금 재료과학 [M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.

장리, 왕환후이 . 텅스텐 카바이드 분말 제조 기술의 진보[J]. 분말야금기술, 2020, 38(2): 88-94.

장리, 왕환후이 . 텅스텐 카바이드 분말 제조 기술의 발전 [J]. 분말 야금 기술, 2020, 38(2): 88-94.

Wang Qiang, Li Ming. 중국의 고성능 텅스텐 카바이드 분말 연구[J]. 중국 텅스텐 산업, 2020, 35(4): 56-62.

Wang Qiang, Li Ming. 중국의 고성능 텅스텐 카바이드 분말 연구 [J]. 중국 텅스텐 산업, 2020, 35(4): 56-62.

Chen Wei, Zhao Gang. 초미립 텅스텐 카바이드 분말의 성능 최적화에 관한 연구[J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5): 567-573.

Chen Wei, Zhao Gang. 초미립 텅스텐 카바이드 분말의 성능 최적화에 관한 연구 [J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5): 567-573.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. 텅스텐 카바이드 분말 표면 개질 기술의 발전[J]. 재료과학 및 공학, 2023, 41(3): 89-96.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. 텅스텐 카바이드 분말 표면 개질 기술의 발전 [J]. 재료 과학 및 공학, 2023, 41(3): 89-96.

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

Smith J, Brown T. 텅스텐 카바이드 분말 개질의 발전 [J]. 재료 과학 저널, 2021, 56(10): 5678-5690.

텅스텐 카바이드 분말 개질 기술의 발전[J]. 재료과학 저널, 2021, 56(10): 5678-5690.

Johnson R, Lee K. 성능 향상을 위한 WC 분말 표면 개질 [J]. Powder Technology, 2022, 395: 123-135.

성능 향상을 위한 텅스텐 카바이드 분말의 표면 개질[J]. Powder Technology, 2022, 395: 123-135.

ASTM B761-17, 광산란을 이용한 금속 분말 및 관련 화합물의 입자 크기 분포에 대한 표준 시험 방법.

금속 분말 및 관련 화합물의 입자 크기 분포에 대한 광산란 시험 방법.

Müller H, Schmidt P. Optimierung der Partikelgröße von Wolframcarbidpulver [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2020, 51(7): 890-897.

텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 최적화 연구[J]. 재료과학기술학회지, 2020, 51(7): 890-897.

Bauer T. Wärmebehandlung von Wolframcarbidpulver [M]. 베를린: 스프링어, 2022.

텅스텐 카바이드 분말의 열처리[M]. 베를린: Springer-Verlag, 2022.

타로 야마다. 탄화분말의 표면 개질 기술 [J]. 분말공학회지, 2021, 58(4): 156-163.

텅스텐 카바이드 분말의 표면 개질 기술[J]. 분말공학회지, 2021, 58(4): 156-163.

나카무라 켄. 초미세 탄화 텅스텐 분말의 열처리[J]. 재료과학저널, 2023, 72(6): 412-419.

초미립 텅스텐 카바이드 분말의 열처리[J]. 재료과학회지, 2023, 72(6): 412-419.



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


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


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



제 7 장: 텅스텐 카바이드 분말의 환경 및 안전 고려 사항

초경합금, 절삭 공구, 내마모성 코팅 등 고성능 소재의 핵심 원료인 텅스텐 카바이드 분말의 생산 및 적용은 산업 발전을 촉진했지만, 환경 오염, 산업 안전, 자원 지속가능성 측면에서도 어려움을 야기했습니다. 전 세계적으로 친환경 제조와 지속 가능한 개발에 대한 관심이 높아짐에 따라, 텅스텐 카바이드 분말 산업의 환경 영향 및 안전 관리는 연구 및 실무의 핵심 주제가 되었습니다. 본 장에서는 생산 공정의 환경 영향, 안전 운영 사양, 재활용 및 재사용, 재활용 기술 분석의 네 가지 측면에서 텅스텐 카바이드 분말의 환경 및 안전 문제를 체계적으로 논의합니다. 공정 최적화, 규제 요건, 순환 경제 개념과 결합하여 산업에 대한 과학적 지침과 기술 참고 자료를 제공합니다.

7.1 생산 중 환경 영향

텅스텐 카바이드 분말 생산에는 원료 정제, 탄화 반응, 분쇄 및 선별 등 여러 단계가 포함됩니다. 이러한 공정은 폐가스, 폐수, 고형 폐기물 및 에너지 소비를 발생시킬 수 있으며, 이는 환경에 잠재적 영향을 미칠 수 있습니다. 이러한 영향을 과학적으로 평가하고 제어하는 것은 기업의 사회적 책임 이행을 위한 것일 뿐만 아니라 친환경 제조를 달성하고 국제 환경 규정을 준수하는 데 중요한 요소입니다. 아래에서는 생산 공정의 환경 문제를 환경 영향의 원천, 정량적 평가, 제어 기술, 그리고 미래 동향의 네 가지 측면에서 심층적으로 논의합니다.

환경 영향의 원천

폐가스 배출: 탄화 반응 및 열처리 공정 중 휘발성 유기 화합물(VOC), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 및 미량 황화물(예: SO₂)이 고온 테일 가스와 함께 배출될 수 있습니다. 예를 들어, 탄화로가 1400~1600° C에서 가동될 때, 텅스텐 카바이드 분말 1톤은 2~3톤의 CO₂를 생성할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

폐수 오염

습식 분쇄 및 화학적 정제 공정은 중금속(예: 텅스텐, 철)과 산성 물질(예: HCl, H₂SO₄)을 함유한 폐수를 생성합니다. 이러한 폐수를 처리하지 않고 그대로 방류할 경우, 수질의 pH가 6 미만으로 낮아지고 중금속 함량이 과다(텅스텐 농도 10mg/L 이상)될 수 있습니다.

고형 폐기물

원료 정제 과정에서 발생하는 슬래그, 분쇄 공정에서 발생하는 불밀 폐매체, 그리고 품질이 좋지 않은 분말은 고형 폐기물입니다. 전 세계 텅스텐 산업은 매년 약 50 만 톤의 고형 폐기물을 생산하며, 그중 약 20%는 유해 폐기물(중금속이 함유된 필터 잔류물 등)입니다.

에너지 소비

텅스텐 카바이드 분말 생산은 에너지 소모가 많은 공정으로, 분말 1 톤 생산 시 평균 8,000~12,000kWh의 전기를 소모하며, 이는 생산 비용의 30~40%를 차지합니다. 이는 간접적으로 높은 탄소 배출량(분말 1 톤당 약 4~6 톤 CO₂)을 유발합니다.

환경 영향의 정량적 평가

탄소 발자국 분석

전과정평가(LCA)에 따르면 텅스텐 카바이드 분말 생산 과정에서 발생하는 탄소 배출량은 주로 탄화 반응(60% 차지)과 전력 소비(30% 차지)에서 발생합니다. 일반적인 생산 라인의 탄소 발자국은 분말 1 톤당 5.5 톤 CO₂ 환산량으로, 일반 강철(약 2 톤 CO₂/톤)보다 훨씬 높습니다.

수자원 영향

폐수 방류 시 텅스텐 회수율은 일반적으로 85%-90%에 불과하고 나머지 10%-15%는 용해 또는 현탁 상태로 수역에 유입되어 토양과 지하수 오염을 유발할 수 있습니다.

고형 폐기물 환경 위험

처리되지 않은 고형 폐기물에는 텅스텐, 코발트와 같은 중금속이 침출을 통해 이동할 수 있으며, 오염 반경은 최대 1~2km에 달해 주변 생태계에 영향을 미칩니다.

평가 도구

ISO 14040/14044 표준: 원료 추출부터 분말 생산까지 전체적인 환경 영향을 평가하기 위한 LCA 분석에 사용됩니다.

환경영향평가(EIA): 폐가스, 폐수 및 고형 폐기물의 배출 농도와 생태적 위험을 정량화합니다.

에너지 소비 감사: 열 수지 및 전력 분석을 통해 에너지 소비가 많은 링크(예: 에너지 소비의 50%를 차지하는 탄화로)를 식별합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

환경영향 제어 기술

폐가스 처리:

흡착-촉매 연소: 활성탄을 사용하여 VOC 를 흡착한 다음 촉매 연소시켜 정화 효율을 95%로 높이고 CO₂ 배출량을 10% 감소시킵니다.

습식 스크러빙: 알칼리성 용액(예: NaOH)을 사용하여 SO₂를 흡수하면 정화율이 98%에 도달하고 배기가스 배출 농도는 10mg/m³ 이하로 제어됩니다.

배기가스 회수 시스템을 통해 분말 3 톤/톤에서 2.2 톤으로 CO₂ 배출량을 줄여 EU 배출 기준(<2.5 톤 CO₂/톤)을 충족합니다.

폐수 처리:

화학적 침전법: Ca(OH)₂ 또는 Na₂CO₃를 첨가하여 텅스텐을 텅스텐산칼슘 형태로 침전시키면 회수율이 95%로 증가하고 폐수 중 텅스텐 농도가 0.5mg/L로 감소합니다.

막분리기술: 역삼투막(기공크기 0.1~1nm)을 이용하여 중금속 및 산성물질을 제거하며, 폐수 회수율은 80%입니다.

적용 사례: 한 회사에서는 막 분리와 화학적 침전을 병행하여 폐수 배출량을 분말 1 톤당 500m³에서 200m³로 줄여 국가 1 급 배출 기준(GB 8978-1996)을 달성했습니다.

고형 폐기물 관리:

자원 활용: 슬래그는 시멘트 생산에 사용되고, 폐볼밀 매체는 저급 내마모성 부품에 사용되며 회수율은 70%입니다.

안전한 매립지: 중금속을 함유한 위험 폐기물을 고형화하여(시멘트 추가, 고형화율 >99%) 침출 오염을 방지합니다.

적용 사례: 한 회사는 고형 폐기물의 90%를 재활용하고, 매립 비용을 50% 줄였으며, 연간 1,000 만 위안을 절감했습니다.

에너지 절약 기술:

고효율 탄화로: 저항로 대신 유도가열로를 사용하여 에너지 효율이 20% 향상되고, 분말 1 톤당 전력 소비량이 7000kWh로 감소합니다.

폐열 회수: 탄화로 배기가스에서 발생하는 폐열은 원료를 예열하는 데 사용되며, 회수된 열은 총 에너지 소비량의 15%를 차지합니다.

폐열 회수 시스템을 통해 매년 CO₂를 배출합니다.

미래 트렌드

녹색 프로세스 개발

저온탄화 기술(예: 마이크로파탄화, 온도 <1200° C)을 탐색하여 에너지 소비를 30% 절감하고, 분말 1 톤당 CO₂ 2 톤 이내로 탄소 배출량을 제어합니다.

제로 배출 목표

폐쇄형 순환형 수처리 시스템과 폐가스 완전 회수 기술을 보급하고, 폐수 및 폐가스 배출을 거의 0에 가깝게 줄이기 위해 노력합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

지능형 모니터링

사물 인터넷(IoT)과 빅데이터 분석을 활용하여 배출 매개변수(예: VOC 농도, 오차 <1ppm)를 실시간으로 모니터링하고 처리 효율을 최적화합니다.

정책 주도

전 세계적으로 파리 협정과 중국의 “이중 탄소” 목표(2060년까지 탄소 중립)는 업계가 저탄소 기술을 도입하도록 이끌 것이며, 텅스텐 카바이드 분말 생산의 탄소 발자국은 2030년까지 50% 감소할 것으로 예상됩니다.

7.2 안전 작동 사양

텅스텐 카바이드 분말의 생산 및 가공에는 고온, 고압, 화학 시약, 분진 등 잠재적 위험이 수반됩니다. 과학적 안전 운영 규정은 직원의 건강과 생산 장비의 안정성을 보장하는 기반입니다. 본 연구에서는 텅스텐 카바이드 분말 생산에 대한 안전 관리 요건을 안전 위험 식별, 운영 규정, 보호 조치, 규정 준수의 네 가지 측면에서 체계적으로 분석합니다.

보안 위험 식별

분진 폭발 위험: 텅스텐 카바이드 분말(입자 크기 <10 μm)이 공기 중에 부유 분진 구름을 형성할 경우, 화염이나 정전기에 노출되면 폭발할 수 있습니다. 최소 점화 에너지는 10mJ에 불과하며, 폭발 압력은 최대 0.7MPa에 달할 수 있습니다.

정화 및 세척 공정에 사용되는 HNO₃)는 부식성이 있으며 농도가 10% 이상일 경우 피부 화상이나 호흡기 손상을 일으킬 수 있습니다.

고온 장비 위험: 탄화로는 1400~1600° C 에서 작동하며, 이로 인해 화상, 장비 과압(>0.5MPa), 가스 누출(예: H₂)의 위험이 있습니다.

직업적 건강 위험: 텅스텐 카바이드 먼지(농도 >5mg/m³)에 장기간 노출되면 폐 섬유증이 발생할 수 있으며, 코발트 먼지(>0.1mg/m³)는 감작을 유발합니다.

안전 운영 규정

먼지 제어:

환기 및 먼지 제거: 생산 작업장에는 먼지 포집률이 99.9% 이상인 고효율 펄스백 먼지 수집기가 갖추어져 있으며 작업장 내 먼지 농도는 2mg/m³ 이하로 관리됩니다.

폭발 방지 조치: 폭발 방지 모터(Ex d IIC T4)와 정전기 접지 장치를 사용하고 정전기 전위가 100V 미만인 장치를 사용하여 불꽃으로 인한 폭발을 방지합니다.

사양 요구 사항: 작업자는 정전 방지 작업복(표면 저항 <10⁸ Ω)을 착용해야 하며, 분말 이송은 폐쇄 파이프라인(누출률 <0.1%)을 사용해야 합니다.

화학 시약 관리:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

보관 사양: 산성 시약은 부식 방지 용기(316L 스테인리스 스틸)에 보관되며, 저장 탱크에는 누출 경고 시스템(감도 0.1ppm)이 장착되어 있습니다.

사용 사양: 작업 중에는 2차 보호 장비(산성 장갑, 보호 마스크)를 착용하고, 폐산은 중화 탱크(pH 6-9)에서 처리한 후 배출합니다.

비상조치: 비상세척소(유량 20L/분 이상)와 중화제(NaHCO_3 등)를 갖추어 사고 대응 시간이 30 초 미만이 되도록 보장합니다.

고온 장비 작동:

장비 유지관리: 탄화로는 압력 센서를 매년(오차 $<0.01\text{MPa}$) 교정하고 밀봉 링을 정기적으로 점검해야 합니다(수명 >5000 시간).

작업 절차: 작업을 시작하기 전에 수소 농도가 $<4\%$ (폭발 하한)인지 확인하고, 작업 중 용광로 온도를 모니터링합니다(편차 $\pm 5^\circ\text{C}$).

보호 조치: 작업자는 고온에 강한 보호복(내열성 $>1000^\circ\text{C}$)을 착용하고, 용광로 구역에는 절연 장벽(두께 $>10\text{mm}$)을 설치합니다.

직업 건강 관리:

먼지 보호: N95 방진 마스크(여과 효율 $>95\%$)를 착용하고 작업장에는 국소 배기 장치를 설치하세요(풍량 $>500\text{m}^3/\text{h}$).

건강 모니터링: 매년 폐 기능 검사를 실시하고, 특히 코발트에 노출된 사람(혈중 코발트 농도 $<1\mu\text{g/L}$)을 모니터링하는 데 중점을 둡니다.

교육 요건: 신입 직원은 먼지 보호, 화학물질 관리, 비상 구조 등을 다루는 최소 40 시간의 안전 교육을 받습니다.

보호 대책 및 적용 사례

자동 제어: PLC 시스템을 사용하여 먼지 농도, 용광로 압력 및 가스 흐름을 모니터링하고 이상이 발생할 경우 기계가 자동으로 꺼지므로 사고율이 80% 감소합니다.

개인 보호 장비(PPE): 전신 방진복(보호 수준 IP65)과 양압 호흡기(공기 공급량 $>30\text{L}/\text{min}$)를 장착하고, 보호 효율은 99%입니다.

적용 사례: 한 회사에서 자동화된 먼지 제거 시스템과 방폭 모니터링을 도입하여 먼지 폭발 사고율을 연간 0.5 회에서 0 회로 줄이고, 직업병 발생률을 90% 감소시켰습니다.

규정 준수:

국제 표준: OSHA(미국 직업 안전 및 건강 관리청) 먼지 노출 한도($5\text{mg}/\text{m}^3$) 및 ISO 45001 직업 건강 및 안전 관리 시스템을 준수합니다.

국내 기준: GBZ 2.1-2019 "작업장 위험 요소에 대한 직업적 노출 한계"(팅스텐 분진 $<6\text{mg}/\text{m}^3$) 및 "작업 안전법"(2021 년 개정 버전)을 준수합니다.

미래 트렌드

지능형 안전관리: AI 와 센서기술을 활용하여 먼지농도(오차 $<0.1\text{mg}/\text{m}^3$) 및 설비현황을 실시간으로 모니터링하고, 사고위험을 예측하여 대응시간을 10 초로 단축합니다.

녹색 보호 기술: 무독성 화학 시약(예: HCl 대신 구연산) 및 저먼지 공정(예: 습식

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

탄화)을 개발하여 감소시킵니다.

직업적 건강 위험.

2030년까지 m^3

7.3 회수 및 재활용

텅스텐 카바이드 분말의 재활용 및 재사용은 자원 지속가능성을 달성하고 환경 부하를 줄이는 중요한 방법입니다. 회수 금속인 텅스텐은 전 세계 매장량이 제한되어 있으며(약 350만 톤), 텅스텐 카바이드 분말 생산은 고품질 텅스텐 광석에 의존합니다. 재활용 기술은 자원 부족을 효과적으로 완화하고 폐기물 배출량을 줄일 수 있습니다. 본 논문에서는 재활용의 필요성, 순환 경제의 이점, 그리고 미래 방향이라는 세 가지 측면에서 재활용 및 재사용의 실제 상황과 전망을 체계적으로 분석합니다.

재활용의 필요성

자원 부족: 전 세계 텅스텐 자원은 중국에 집중되어 있으며(매장량의 55% 차지), 고품위 광석($WO_3 > 0.5\%$)은 점차 고갈되고 있습니다. 재활용을 통해 텅스텐 활용도를 60%에서 90%까지 높일 수 있습니다.

환경적 이점: 텅스텐 카바이드 분말 1톤을 재활용하면 약 4톤의 CO_2 배출량과 $200m^3$ 의 폐수를 줄일 수 있으며, 1차 생산에 비해 환경 부하를 50% 줄일 수 있습니다.

경제적 가치: 텅스텐 재활용 비용(톤당 약 10만 위안)은 1차 생산 비용(톤당 약 25만 위안)보다 훨씬 낮으며, 이익률은 30% 증가합니다.

규제 중심: 중국의 고형 폐기물에 의한 환경 오염 방지 및 관리에 관한 법률(2020년 개정판)과 EU 순환 경제 행동 계획(2020)은 텅스텐 재활용률이 2030년까지 70%를 넘어야 한다고 규정하고 있습니다.

순환 경제의 이점

자원적 이점: 전 세계적으로 매년 약 30만 톤의 폐 시멘트 카바이드를 재활용할 수 있으며, 이는 10만 톤의 텅스텐 자원에 해당하며, 텅스텐 광산의 채굴 수명을 10~15년 연장할 수 있습니다.

환경적 이점: 재활용 과정에서 발생하는 탄소 배출량은 원래 생산량의 30%에 불과하고, 폐수 배출량은 70%, 고형 폐기물은 80% 감소합니다.

경제적 이점: 재활용 분말의 시장 가격(톤당 약 15만 위안)은 신재 분말보다 낮습니다. 전 세계 재활용 시장 규모는 2030년에 200억 위안에 이를 것으로 예상됩니다.

적용 사례: 어떤 회사가 5,000톤의 폐합금을 재활용하여 연간 이익이 3,000만 위안이 되고 폐수 배출량이 톤당 $50m^3$ 로 감소했습니다.

미래 방향

고효율 재활용 기술: 저온 전기화학적 재활용(온도 $< 100^\circ C$)을 개발하여 에너지 소비를 50% 줄이고 회수율을 98%까지 높입니다.

지능형 분류: AI와 XRF(X선 형광 분석) 기술을 사용하면 폐기물 성분을 정확하게 식별하여 분류 효율을 30% 높일 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

폐쇄 루프 시스템: 폐합금에서 새로운 분말까지 풀 체인 재활용 시스템을 구축하고, 2035 년까지 텅스텐 자원의 낭비를 없애기 위해 노력합니다.

정책 지원: 중국의 제 14 차 5 개년 계획과 EU 의 배터리 및 폐기물 지침 (2023) 에 따라 재활용률 목표는 50%에서 80%로 상향 조정될 예정입니다.

7.4 텅스텐 카바이드 분말 회수 기술 분석

텅스텐 카바이드 분말 재활용은 텅스텐 자원의 지속 가능한 활용을 달성하고 환경 부하와 생산 비용을 절감하는 중요한 기술적 수단입니다. 텅스텐 카바이드 스크랩, 절삭 공구, 코팅재 등 텅스텐 카바이드가 함유된 폐기물은 재활용의 주요 원천입니다. 본 논문에서는 텅스텐 카바이드 분말 재활용 방법을 자세히 분석하여 가장 널리 사용되는 산업적 재활용 방법을 명확히 하고, 그 이론적 근거, 공정 흐름, 장단점을 심도 있게 분석합니다.

7.4.1 재활용 방법 개요

텅스텐 카바이드 분말 재활용에는 다섯 가지 주요 방법이 있으며, 각 방법은 다양한 폐기물 유형과 적용 시나리오에 적합합니다. 다음 표는 각 방법의 적용 대상, 원리, 회수율, 장단점을 요약한 것입니다.

텅스텐 카바이드 분말 회수 방법 비교

방법	타겟 고객	원칙	회수율	장점	단점
기계적 분리	폐탄화물 공구 및 금형 (WC>80%)	분쇄, 선별 및 자기 분리를 통한 텅스텐 카바이드 및 바인더 상 분리	80%-85%	간단한 공정, 낮은 비용(톤당 약 20,000 위안), 조립입자(>5 μm)에 적합	분말의 순도가 낮고(약 95%) 입자 크기가 커서 고정밀 응용 분야에 적합하지 않습니다.
화학적 용해법	바인더상 (Co, Ni) 또는 불순물을 함유한 폐합금 및 코팅	산성/산화 용액을 사용하여 바인더 상을 용해하고 텅스텐 카바이드를 유지하거나 산화시킨 다음 탄화합니다.	95%-98%	높은 회수율, 높은 순도(>99.5%), 초미분말(<1 μm)을 얻을 수 있으며, 적용성이 넓습니다.	산성폐액처리 비용은 높고(톤당 2~3 만원 정도), 공정이 복잡하고, 설비투자도 많다(1 천만원 정도)
전기화학적 회수	코발트 함유 초경 스크랩	폐합금을 양극으로 사용하여 결합상을 전기분해하고 용해하여 텅스텐 카바이드 또는 텅스텐산염을 추출한	90%-95%	에너지 소모가 적음(약 3000kWh/톤), 폐액 재활용 가능, 나노분말에 적합	장비가 복잡하고, 공정 안정성을 최적화해야 하며, 산업 규모가

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		후 탄화합니다.		작습니다.
고온 제련법	복잡한 불순물(코팅, 혼합 합금)을 함유한 스크랩	고온(1800~2000° C) 용융으로 텅스텐과 바인더상을 분리한 후 냉각 후 탄화	적응성이 뛰어나 저급 폐기물에 적합	높은 에너지 소모(약 10,000kWh/톤), 대규모 설비 투자(약 500 만 위안), 평균적인 분말 순도
아연 용해법	코발트를 함유한 폐탄화물 공구 및 금형	액상 아연을 사용하여 900~1000° C에서 결합상을 용해하고, 텅스텐 카바이드를 분리하고, 아연을 증발시켜 회수합니다.	높은 회수율, 원래 분말 에 가까운 분말 성능	아연 휘발은 폐가스를 발생시키며, 이를 처리하기 위해서는 복잡한 공정과 높은 비용(약 3 만 위안/톤)이 필요합니다.

7.4.2 가장 주류적인 산업화 방법

화학적 용해법

은 현재 산업 생산에서 텅스텐 카바이드 분말을 회수하는 가장 보편적인 방법이며, 중국, 유럽, 북미 등 주요 텅스텐 산업 지역에서 널리 사용되고 있습니다. 화학적 용해법이 주류를 이루는 이유는 다음과 같습니다.

높은 회수율과 순도

회수율은 95%-98%에 도달할 수 있으며, 분말 순도는 99.5% 이상으로 고성능 초경합금 및 코팅 응용 분야에 적합합니다.

폭넓은 적용성

코발트(5%-20%)를 함유한 시멘트 카바이드, 니켈 또는 복합 불순물, 코팅 폐기물 및 분말 잔류물 등 다양한 폐기물을 처리할 수 있습니다.

성숙한 기술

전 세계적으로 고도로 최적화된 공정 매개변수와 제어 가능한 생산 비용(톤당 약 80,000~120,000 위안)을 갖춘 성숙한 산업 생산 라인이 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

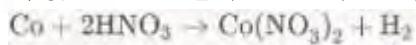
시장 점유율

업계 데이터에 따르면, 화학적 용해는 전 세계 텅스텐 카바이드 회수의 60~70%를 차지하며, 다른 방법(아연 제련은 약 20%, 기계적 분리는 약 10%)보다 훨씬 뛰어납니다.

7.4.3. 이론적 근거

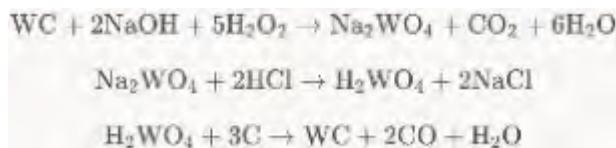
화학적 용해법의 핵심은 화학 시약을 사용하여 폐조경합금 내 결합상(예: 코발트, 니켈) 또는 산화된 텅스텐 카바이드 입자를 선택적으로 용해하고, 고순도 텅스텐 카바이드 또는 텅스텐 화합물을 분리한 후, 후속 처리를 통해 텅스텐 카바이드 분말을 생성하는 것입니다. 이 방법의 이론적 근거는 다음과 같습니다.

선택적 용해: 바인더 상(예: 코발트)은 산성 또는 산화성 용액(예: HNO_3 , $\text{HCl}/\text{H}_2\text{O}_2$)에 쉽게 용해되는 반면, 탄화텅스텐(WC)은 높은 화학적 안정성(실온에서 산 및 알칼리 내성)으로 인해 고체 입자로 유지될 수 있습니다. 반응 예시:



텅스텐 카바이드는 반응에 참여하지 않고 안정을 유지합니다.

산화-환원 메커니즘: 텅스텐 화합물을 회수해야 하는 경우, 텅스텐 카바이드는 강력한 산화제(예: $\text{NaOH}/\text{H}_2\text{O}_2$)에 의해 텅스텐산염(Na_2WO_4)으로 산화될 수 있으며, 이후 산성화, 환원, 탄화를 통해 WC가 생성됩니다. 반응 예시:



입자 보호

용액 pH(2-4), 온도(60-90° C) 및 산화제 농도($\text{H}_2\text{O}_2 < 10\%$)를 제어함으로써 텅스텐 카바이드 입자의 과도한 산화 또는 용해가 방지되어 재활용 분말의 입자 크기와 형태가 원래 분말과 비슷해집니다.

열역학과 운동학

용해 과정은 열역학적 평형(예: 깁스 자유 에너지 $\Delta G < 0$)과 동역학적 요인(예: 반응 속도 상수 k)에 의해 제어되며, 효율 향상을 위해 공정 매개변수를 최적화해야 합니다. 예를 들어, 70° C에서 코발트의 용해 속도는 25° C에서보다 10 배 더 높습니다.

3.2 프로세스 흐름

그만큼 화학 용해의 산업 공정 흐름은 일반적으로 다음 단계를 포함하며, 구체적인 매개변수는 폐기물 및 장비의 종류에 따라 달라집니다.

폐기물 전처리

목적: 표면 오일, 산화물 층 및 비텅스텐 불순물을 제거하고 이후 용해 효율을 개선합니다.

방법: 폐합금을 기계적으로 분쇄하여 5~10mm 크기의 입자로 만들고, 알칼리성 세척제(예:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

NaOH 용액, 농도 5%)로 기름을 제거하고, 초음파 세척(주파수 40kHz)으로 산화물을 제거합니다.

매개변수: 분쇄 에너지 소비량은 약 50kWh/톤이고, 세척 시간은 10~20 분입니다.

결합 단계의 용해

목적: 텅스텐 카바이드를 결합상(코발트, 니켈 등)으로부터 분리합니다.

방법: 폐기물을 산성용액(예: HNO_3 , 농도 20%-30%, 또는 $\text{HCl}/\text{H}_2\text{O}_2$ 혼합용액, H_2O_2 농도 5%)에 넣고 60-80° C에서 교반(속도 200-400rpm), 반응시간은 2-6 시간이다.

반응 제어: 텅스텐 카바이드의 용해를 방지하기 위해 pH를 2~3으로 유지하고, 코발트의 효율적인 용해를 보장하기 위해 용액 산화-환원 전위(ORP)를 500~700mV로 제어합니다.

산출물: 고체 텅스텐 카바이드 입자(순도>98%) 및 코발트/니켈 용액(코발트 농도 50-100g/L).

고액 분리

목적: 텅스텐 카바이드 입자를 추출하고 금속이 포함된 폐액을 분리합니다.

방법: 원심분리기(속도 3000-5000rpm) 또는 필터프레스(압력 0.5-1MPa)를 사용하여 고액 분리하고, 텅스텐 카바이드 입자를 탈이온수(pH 6-7)로 3-5회 세척합니다.

매개변수: 분리 효율 >99%, 세척수 소비량 약 5m³/톤 분말.

분말 정제(선택 사항)

목적: 텅스텐 카바이드의 순도와 입자 크기 균일성을 더욱 개선하는 것입니다.

방법: 초미분말이 필요한 경우, 재활용 입자를 2차 분쇄(습식 볼 밀링, 시간 4~8 시간)하거나 산화-환원 경로를 통해 텅스텐산을 생성한 후 탄화할 수 있습니다.

매개변수: 분쇄 후 입자 크기 0.5-2 μm, 탄화 온도 1200-1400° C, 절연 2-3 시간.

폐수 처리

목적: 코발트/니켈을 회수하고, 산성 폐액을 처리하여 배출 기준을 준수하여 배출합니다.

방법: 폐수를 NaOH(pH 7-8)로 중화하고, CaCl_2 를 첨가하여 코발트/니켈을 침전시키고(회수율 > 90%), 역삼투막(기공 크기 0.1nm)으로 폐수를 정제하여 텅스텐 농도를 0.2mg/L로 감소시켰습니다.

매개변수: 폐수 처리 비용은 약 5,000 위안/톤의 분말이며, 방류량은 GB 8978-1996 표준을 준수합니다.

분말 건조 및 테스트

목적: 기준을 충족하는 텅스텐 카바이드 분말을 얻는다.

분말을 진공 건조 오븐(온도 80~100° C, 진공도 10⁻² Pa)에서 4~6 시간 동안 건조시킨 후, 분말의 화학적 조성(ICP-MS, 정확도 0.01%), 입자 크기(레이저 입자 크기 분석기, 오차 ±0.02 μm) 및 산소 함량(적외선 흡수법, 오차 0.005%)을 시험하였다.

산출량: 재활용 텅스텐 카바이드 분말, 순도 >99.5%, 입자 크기 0.5-5 μm, 산소 함량 <0.1%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3 장단점 분석

장점

높은 회수율 및 순도: 회수율은 95%~98%이며, 분말 순도는 99.5% 이상입니다. 고성능 초경합금, 공구 및 코팅에 직접 사용할 수 있으며, 성능은 원 분말과 거의 동일합니다(경도 HV 1800~2000, 인성 8~10 MPa·m^{1/2}).

뛰어난 유연성: 코발트(5~20%)를 함유한 시멘트 카바이드, 니켈 또는 복합 불순물, 코팅 폐기물 및 분말 잔류물 등 다양한 폐기물을 처리할 수 있으며, 기계적 분리 및 아연 용해 방법보다 적응성이 뛰어납니다.

조절 가능한 입자 크기: 초미세(<1 μm) 또는 나노스케일(<100nm) 분말을 2차 분쇄 또는 산화-탄화를 통해 제조하여 첨단 응용 분야(예: 3D 인쇄, 정확도 ±5 μm)의 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

성숙한 기술: 전 세계적으로 수백 개의 산업 생산 라인이 있습니다(중국 주저우, 독일 HC 스타크 등). 이 라인은 고도로 최적화된 공정 매개변수와 라인당 1~2 톤/일의 생산 효율을 갖추고 있습니다.

부산물 회수: 코발트, 니켈 및 기타 결합상은 부산물(순도 > 99%)로 회수하여 배터리 또는 합금 제조에 사용하여 경제적 이익을 높일 수 있습니다(부산물 가치는 분말 1 톤당 약 30,000 위안입니다).

단점

높은 폐수 처리 비용: 산성 폐수(분말 1 톤당 약 3~5m³)는 중화, 침전, 막분리 등의 처리 과정이 필요합니다. 폐수 처리 비용은 총 비용의 20~30%(톤당 약 2 만~3 만 위안)를 차지합니다.

환경적 위험: 폐수를 적절히 처리하지 않으면 중금속(예: 코발트, 농도 > 50 mg/L)이 수역을 오염시킬 수 있으며, 배출 기준(예: GB 8978-1996, 코발트 < 1 mg/L)을 엄격히 준수해야 합니다.

공정 복잡성: 여러 단계의 반응(용해, 분리, 정제)이 포함되고, pH, 온도, 산화제 농도를 정밀하게 제어해야 하며, 작업자는 전문적인 교육(최소 40 시간)이 필요합니다.

높은 설비 투자: 산업 생산 라인에는 내식성 반응기(316L 스테인리스 스틸), 원심분리기, 폐수 처리 시스템이 필요하며, 총 투자액은 약 1 천만~2 천만 위안입니다. 중소기업의 진입 장벽이 비교적 높습니다.

비교적 높은 에너지 소비량: 고온 제련(10,000kWh/톤)보다 낮지만 용해 및 건조 공정에는 여전히 약 4,000~6,000kWh/톤이 필요하며 이는 비용의 15%를 차지합니다.

화학 용해법의 주류적 위치와 최적화 방향

화학 용해법이 주류가 된 주요 이유는 높은 회수율, 높은 순도, 그리고 광범위한 적용성으로 경제적 이익과 환경적 요구 사항의 균형을 이룰 수 있기 때문입니다. 세계의 주요 텅스텐 재활용 기업(예: China Tungsten High-Tech, 미국의 Kennametal)은 모두 화학 용해를 핵심 공정으로 사용하고 있으며, 연간 재활용량은 전 세계의 60% 이상(약 20 만 톤/년)을 차지합니다. 아연 용해법(고온 및 테일 가스 처리 필요)이나 기계적 분리법(저순도)과 비교했을 때 화학 용해법은 성능과 비용 면에서 더 많은 이점을 가지고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

최적화 방향:

녹색 용매 개발: 강산을 대체하고 폐액 처리 비용(목표 감소율 50%)과 환경적 위험을 줄이기 위해 저독성 시약(예: 구연산, 아세트산)을 연구합니다.

에너지 소비 감소: 마이크로파 보조 용해(전력 5-10kW)를 도입하면 반응 시간이 4 시간에서 1 시간으로 단축되고 에너지 소비가 톤당 3000kWh로 줄어듭니다.

지능형 제어: AI를 사용하여 용액 pH(오차 <0.1) 및 ORP(오차 <5mV)를 모니터링하여 용해 효율을 10%-15% 향상시킵니다.

폐쇄 루프: "이중 탄소" 목표(2060년까지 탄소 중립)에 맞춰 폐수 배출을 0으로 줄이기 위해 완전한 폐액 회수 시스템(전해산 재생 등)을 개발합니다.

나노분말 재활용: 산화-탄화 경로를 최적화하여 <100nm의 분말을 제조하여 적층 제조의 요구를 충족합니다(2030년 시장 규모는 50억 위안에 이를 것으로 예상).

참고문헌

리밍. 초경합금재료[M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.

리밍. 초경합금 재료과학 [M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.

장리, 왕완후이. 텅스텐 카바이드 분말 생산의 환경영향 분석[J]. 환경보호과학, 2021, 47(3): 78-85.

장리, 왕완후이. 텅스텐 카바이드 분말 생산의 환경 영향 분석 [J]. 환경보호과학, 2021, 47(3): 78-85.

왕치양, 리밍. 초경합금 스크랩 재활용 기술 발전[J]. 중국텅스텐산업, 2020, 35(5): 66-72.

Wang Qiang, Li Ming. 폐초경합금 재활용 기술의 발전 [J]. 중국텅스텐산업, 2020, 35(5): 66-72.

Chen Wei, Zhao Gang. 텅스텐 카바이드 분말 생산 안전 관리 연구[J]. 안전환경저널, 2022, 22(4): 123-130.

Chen Wei, Zhao Gang. 텅스텐 카바이드 분말 생산 안전 관리에 관한 연구 [J]. 안전환경저널, 2022, 22(4): 123-130.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. 텅스텐 카바이드 분말 재활용의 경제적 및 환경적 이점[J]. 자원과학, 2023, 45(2): 89-97.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. 텅스텐 카바이드 분말 재활용의 경제적 및 환경적 이점 [J]. 자원 과학, 2023, 45(2): 89-97.

장리, 천웨이. 텅스텐 카바이드 분말 재활용을 위한 화학적 용해법의 공정 최적화[J]. 분말야금기술, 2021, 39(4): 123-130.

장리, 천웨이. 텅스텐 카바이드 분말 재활용을 위한 화학적 용해 공정 최적화 [J]. 분말야금기술, 2021, 39(4): 123-130.

Smith J, Brown T. 텅스텐 카바이드 생산의 환경 영향 [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 298: 126789.

텅스텐 카바이드 분말 생산의 환경 영향[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 298: 126789.

Johnson R, Lee K. 텅스텐 카바이드 분말 취급 안전 프로토콜 [J]. 직업 건강 및 안전,

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

2022, 91(5): 34-41.

텅스텐 카바이드 분말 취급 안전 사양[J]. 직업 건강 및 안전, 2022, 91(5): 34-41.

Davis M, Patel S. 텅스텐 카바이드 폐기물 재활용 기술 [J]. 자원, 보존 및 재활용, 2023, 190: 106856.

텅스텐 카바이드 폐기물 재활용 기술[J]. 자원, 보호 및 재활용, 2023, 190: 106856.

Smith J, Brown T. 텅스텐 카바이드 회수를 위한 화학적 용해 방법 [J]. 재료 가공 기술 저널, 2022, 305: 117589.

텅스텐 카바이드 회수를 위한 화학적 용해법[J]. 재료가공기술저널, 2022, 305: 117589.

윌러 H, 슈미트 P. Wolframcarbidherstellung [J]. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, 2020, 32(6): 456-463.

텅스텐 카바이드 생산의 환경 영향[J]. 환경 과학 및 오염 물질 연구, 2020, 32(6): 456-463.

윌러 H, Schmidt P. Rückgewinnung von Wolframcarbid 호주 Abf ä llen [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2021, 52(5): 678-685.

폐기물로부터 텅스텐 카바이드 회수[J]. 재료과학 및 공학기술, 2021, 52(5): 678-685.

Bauer T. Sicherheitsmanagement in der Wolframcarbidproduktion [M]. 베를린: 스프링거, 2022.

텅스텐 카바이드 생산의 안전 관리[M]. 베를린: Springer-Verlag, 2022.

야마다 타로. 탄화탄소 분말 생산의 환경영향평가[J]. 환경과학저널, 2021, 34(3): 123-130.

텅스텐 카바이드 분말 생산의 환경영향평가[J]. 환경과학회지, 2021, 34(3): 123-130.

켄 나카무라. 탄화기술의 폐지[J]. 자원순환학회지, 2023, 29(4): 345-352.

폐텅스텐 카바이드의 재활용 기술[J]. 자원재활용학회지, 2023, 29(4): 345-352.

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 Tungsten Carbide Powder Introduction

1. Overview of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP's tungsten carbide powder (chemical formula WC) is a high-quality powder product made from high-purity tungsten raw materials and carbon black through a high-temperature carburization process. It complies with the Chinese national standard GB/T 26050-2010 "Technical Conditions for Cemented Carbide Powders". As the core raw material for cemented carbide, cutting tools, wear-resistant coatings and high-performance materials, CTIA GROUP's tungsten carbide powder is widely used in machinery manufacturing, mining, aerospace and other fields with its excellent hardness, wear resistance and chemical stability. We provide a full range of products from ultra-fine particles (0.6 μm) to extra-coarse particles (45 μm) to meet diverse industrial needs. For more information, please visit www.tungsten-powder.com

2. Product Features of Tungsten Carbide Powder

High purity and stability

Total carbon content (T/C): 5.90-6.18 wt %, theoretical value 6.13 wt % (± 0.05 wt %), ensuring high purity of WC phase.

Free carbon content (F/C): ≤ 0.10 wt %, high-end customized models can be controlled at ≤ 0.05 wt %, reducing the impact of free carbon on performance.

Low impurity content: Iron (Fe) ≤ 0.05 wt %, oxygen (O) ≤ 0.20 wt % (fine particles ≤ 0.15 wt %), meeting high-precision application requirements.

Diverse particle size options

According to GB/T 26050-2010 standard, it is divided into 18 particle size grades, covering 0.6-45 μm , with uniform particle size and deviation controlled within $\pm 10\%$.

Excellent physical properties

Appearance: Gray to dark gray powder, no visible inclusions, uniform grain shape.

Density: 15.63 g/cm³ (theoretical value), loose density 3.0-5.0 g/cm³ (customizable).

Application flexibility

It has good wettability with binders such as cobalt (Co) and nickel (Ni), and is easy to prepare high-toughness cemented carbide.

Adapt to various sintering processes to meet different needs from precision tools to mining drill bits.

3. Specifications of CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder

Category Brand	Fisher particle size (μm)	Total carbon (wt %)	Free carbon (wt %)	Oxygen content (wt %)	Typical Applications
WC06-07	0.6-0.7	5.90-6.18	≤ 0.05	≤ 0.15	Ultra-fine cutting tools, coatings
WC08-10	0.8-1.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.15	Precision cutting tools
WC20-25	2.0-2.5	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	General Carbide
WC50-60	5.0-6.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	Mining tools
WC100-150	10.0-15.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	High toughness wear-resistant parts

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

Category	Fisher particle size	Total carbon	Free carbon	Oxygen content	Typical Applications
Brand	(μm)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	
WC300-450	30.0-45.0	5.90-6.18	≤0.10	≤0.20	Extra coarse impact tool
Remark	Impurity content (Fe, Mo, Si, etc.) meets standard limits , special particle size or special requirements can be customized according to customer needs.				

4. Production Process of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP adopts advanced carburizing technology and strict quality control system:

Raw materials: high-purity tungsten powder (purity ≥99.95%) and high-quality carbon black.

Carbonization: React in a high temperature vacuum furnace at 1400-1600°C to ensure complete carbonization and uniform grains.

Crushing and screening: Through air flow crushing and multi-stage screening, the particle size distribution can be precisely controlled.

Quality inspection: Based on GB/T 5124 (chemical analysis), GB/T 1482 (Ferris particle size) and other methods to ensure that each batch meets the standards.

5. Quality Assurance of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Standard compliance: Strictly implement GB/T 26050-2010, each batch of products comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size and appearance test results.

Factory inspection: total carbon, free carbon, impurity elements such as Fe, O content , particle size, appearance , physical properties (such as loose density).

Sampling: According to GB/T 5314, uniform sampling is conducted from each batch (1-5 tons) to ensure representativeness.

6. Packaging and Transportation of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Inner packaging: sealed plastic bag or vacuum packed to prevent oxidation.

Outer packaging: iron drum or plastic drum, net weight 25kg or 50kg (customized according to requirements).

Marking: Indicate product name, brand, batch number and production date.

Transportation and storage: Moisture-proof and shock-proof, stored in a dry and ventilated warehouse, shelf life is 12 months.

7. Application Fields of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Cutting tools: Ultrafine grain (WC06-07) is used for high-speed precision cutting tools with high hardness and strong wear resistance.

Mining tools: Coarse grains (WC50-60 and above) are used for drill bits and impact-resistant parts with excellent toughness.

Wear-resistant coating: Fine grain (WC08-10) is used for thermal spraying to improve surface properties.

Aerospace: Medium grain (WC20-25) is used for high temperature wear-resistant parts.

Other fields and special purposes: welcome to negotiate and customize.

8. Contact Information of CTIA GROUP

CTIA GROUP is committed to providing customers with high-quality tungsten carbide powder and technical support.

For more information or customized products, please contact:

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129595

Website: www.tungsten-powder.com for more industry information and technical parameters.



제 8 장 텅스텐 카바이드 분말의 시장 및 개발 동향

초경합금, 절삭 공구, 내마모성 코팅과 같은 고성능 소재의 핵심 원료로서 텅스텐 카바이드 분말은 세계 제조업에서 중요한 위치를 차지하고 있습니다. 항공우주, 에너지 장비, 적층 제조, 마이크로일렉트로닉스의 급속한 발전으로 텅스텐 카바이드 분말에 대한 수요는 지속적으로 증가하고 있습니다. 동시에, 시장 경쟁과 기술 혁신은 산업이 고성능, 저비용, 친환경을 지향하는 방향으로 발전하도록 이끌고 있습니다. 본 장에서는 텅스텐 카바이드 분말의 수급 패턴, 기술 발전, 그리고 잠재적 응용 분야를 세계 시장 개요, 기술 개발 동향, 그리고 미래 응용 전망의 세 가지 측면에서 체계적으로 분석합니다. 정량적 데이터와 산업 역학을 결합하여 학술 연구 및 산업 계획에 포괄적인 참고 자료를 제공합니다.

8.1 글로벌 시장 개요

세계 텅스텐 카바이드 분말 시장은 수요 공급, 지역별 분포, 가격 변동, 정책 및 규제の影響을 받으며, 안정적인 성장세와 지역별 경쟁 양상을 보입니다. 다음은 시장 규모, 수요 공급 구조, 지역별 분포, 그리고 영향 요인이라는 네 가지 측면에서 세계 시장의 현황을 심층적으로 분석한 것입니다.

시장 규모와 성장

시장 규모: 업계 보고서에 따르면, 글로벌 텅스텐 카바이드 분말 시장 규모는 2024 년에 약 180 억 달러에 이를 것으로 예상되며, 2025 년부터 2030 년까지 연평균 성장률(CAGR) 4.5%-5.5%로 성장하여 2030 년에는 약 250 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

운전자:

시멘트 카바이드 수요: 시멘트 카바이드는 텅스텐 카바이드 분말 소비량의 60% 이상을 차지하며 절삭 공구(30%), 광산 공구(20%), 내마모성 부품(10%)에 널리 사용됩니다.

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

신흥 분야: 적층 제조(3D 프린팅) 및 고온 코팅에 대한 수요 증가로 초미립($<1\mu\text{m}$) 및 나노스케일($<100\text{nm}$) 분말 시장이 확대되어 시장 점유율이 5%에서 10%로 증가했습니다.

재활용 시장: 재활용 텅스텐 카바이드 분말의 시장 규모는 약 30 억 달러로 전체 시장의 16.7%를 차지하며, 2030년에는 20%까지 증가할 것으로 예상됩니다.

생산 및 소비: 2024 년 전 세계 텅스텐 카바이드 분말 생산량은 약 8.5 만 톤, 소비량은 약 8.2 만 톤이 될 것으로 예상되는데, 이 중 중국은 생산량(약 5.1 만 톤)의 60%, 소비량(약 4.1 만 톤)의 50%를 차지합니다.

수요와 공급 구조

공급 측:

주요 생산국: 중국(60%), 유럽(20%, 주로 독일과 오스트리아), 북미(10%), 기타 지역(10%, 일본과 러시아 포함).

기업 구조: 세계 시장은 중국의 여러 선도 기업(시장 점유율 15%), 독일의 HC Starck(12%), 미국의 Kennametal(10%) 등 소수 기업이 주도하고 있습니다. 중소기업은 대부분 기술 장벽이 낮은 저가격 시장에 집중되어 있습니다.

원자재 제약: 텅스텐 광석 매장량은 중국(55%)과 러시아(15%)에 집중되어 있습니다. 고품위 광석($\text{WO}_3 > 0.5\%$)이 점차 고갈되면서 원본 가격(톤당 약 30 만 위안)이 상승하고 있습니다.

수요 측:

산업 분포: 시멘트 초경(60%), 내마모성 코팅(20%), 열 분사(10%), 적층 제조(5%), 기타(촉매, 전자 재료 등 5%).

지역별 수요: 아시아 태평양(주로 중국과 인도)이 55%, 유럽이 25%, 북미가 15%, 기타 지역이 5%를 차지합니다.

가격 동향: 2024 년 텅스텐 카바이드 분말의 평균 가격은 kg 당 45 달러, 초미립 분말($<1\mu\text{m}$)은 kg 당 60 달러에 이를 것으로 예상됩니다. 원자재 가격 및 재활용률의 영향을 받아 2030년에는 kg 당 35~50 달러의 변동폭을 보일 것으로 예상됩니다.

지역적 유통과 경쟁

중국 시장:

장점: 생산량과 소비량이 세계 1 위이고, 산업사슬이 완벽하며, 비용이 비교적 낮습니다(생산비용은 톤당 약 30 만 위안).

과제: 고급 분말($<0.5\mu\text{m}$)은 수입에 의존하고, 기술 격차는 약 5~10 년이며, 더욱 엄격해진 환경 규제에 비용이 증가(약 10%)합니다.

대표적인 기업으로는 중국텅스텐하이테크, 샤먼텅스텐산업, 주저우 초경그룹이 있으며, 이들 기업이 중국 시장의 70%를 차지합니다.

유럽 시장:

장점: 초미세, 나노 크기의 분말에 초점을 맞춘 선도적인 기술, 높은 제품

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

품질(순도>99.8%, 입자 크기 편차 $\pm 0.02\mu\text{m}$).

과제: 생산 비용이 높고(톤당 약 30 만 위안) 원자재 수입으로 인해 시장 규모가 제한됩니다.

대표적인 기업으로는 HC Starck, Ceratizit 등이 있으며, 하이엔드 도구 및 코팅 시장에 주력하고 있습니다.

북미 시장:

장점: 적층 제조 및 항공우주 분야에 대한 강력한 수요, 첨단 재활용 기술(재활용률 > 70%).

과제: 생산량 제한(약 8,500 톤), 중국산 원자재에 대한 의존도, 공급망에 영향을 미치는 지정학적 위험.

대표 회사: 케나메탈, 글로벌 텅스텐 & 파우더.

기타 지역: 일본(미쓰이 금속)은 전자 재료용 분말에 주력하고, 러시아(울프람 회사)는 저비용 수출에 의존하며, 인도(샌드빅 인디아)는 빠르게 성장하는 시장(CAGR 7%)을 보유하고 있습니다.

시장 영향 요인

정책 및 규정: 중국의 제 14 차 5 개년 계획과 EU 의 중요 원자재 지침(2023)은 텅스텐 자원의 보호 및 재활용을 장려하고 있으며, 2030 년까지 재활용률 목표를 70%로 정하고 있습니다.

기술 진보: 초미립 분말과 친환경 제조 기술로 비용을 10~15% 절감하고 시장 경쟁력을 강화합니다.

경제적 변동성: 글로벌 제조업 회복(2025 년 3% 성장 예상)으로 수요가 증가하겠지만, 지정학적 갈등과 무역 장벽으로 인해 공급망이 중단될 수 있습니다.

환경적 압력: 탄소 배출세(2026 년 시행된 EU CBAM 등)와 중국의 “이중 탄소” 목표(2060 년까지 탄소 중립)로 인해 생산 비용이 5~10% 증가합니다.

8.2 기술 개발 동향

텅스텐 카바이드 분말의 기술 개발은 고성능 응용 분야 및 환경 규제 요건을 충족하기 위해 성능 최적화, 비용 절감, 그리고 친환경 제조에 중점을 두고 있습니다. 본 연구에서는 분말 제조, 성능 개선, 친환경 공정, 그리고 지능화라는 네 가지 측면에서 기술 동향을 체계적으로 분석합니다.

고성능 분말 제조

초미립 및 나노 분말:

초경합금의 경도(>HV 2200) 및 인성(>10 MPa • m^{1/2})을 증가시킨다.

기술 경로:

플라즈마 구형화: 전력 20-60kW, 3D 프린팅을 위한 구형 분말(유동성 <14 초/50g) 생성(정확도 $\pm 5\mu\text{m}$).

화학 기상 증착(CVD): WF₆/CH₄ 흐름 비율(1:1.4)을 제어하여 응집률이 <2%인 0.1-0.5 μm

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분말을 생성합니다.

진행 상황: 2024년까지 중국 기업은 $0.2\mu\text{m}$ 분말의 대량 생산(연간 1,000톤)을 달성할 예정이며, 비용은 톤당 80만 위안으로 낮아져 유럽 수준에 가까워질 것입니다.

좁은 입자 크기 분포:

목표: $D_{90}/D_{10} < 1.5$, 소결 균일성 보장(기공률 $< 0.5\%$).

기술적 경로: 공기 흐름 분류(회전 속도 10000-25000rpm, 정확도 $\pm 0.01\mu\text{m}$) 및 온라인 입자 크기 모니터링(레이저 산란, 오차 $< 1\%$).

진행 상황: 독일 기업은 고급 절삭 공구에 적용하여 수율을 15% 높이는 $\pm 0.02\mu\text{m}$ 의 D50 편차를 달성했습니다.

성능 개선 기술

도핑 및 컴파운딩:

목표: 산화 저항성, 내식성, 고온 안정성을 개선하고 공구 수명을 30~50% 연장합니다.

기술 경로:

Ti, Cr, Nb(0.5%-2%)를 도핑하면 고용체 또는 2차상(예: Cr_3C_2)이 형성되고 경도가 HV 1800에서 HV 2300으로 증가합니다.

복합 TiC와 ZrC(5%-10%)는 인성을 $12\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 까지 향상시킬 수 있어 항공우주 부품에 적합합니다.

절삭 속도를 20% 증가시키고 10%의 시장 점유율을 달성한 WC-TiC-Co 복합 분말을 개발했습니다.

표면 개질:

목표: 응집을 줄이고($< 3\%$), 유동성을 개선하고($< 13\text{초}/50\text{g}$) 소결 활성을 개선합니다(온도를 1350°C 까지 낮춥니다).

기술 경로:

SiO_2 와 Al_2O_3 의 화학 코팅(두께 10-50nm)은 산화 저항성을 25% 향상시킬 수 있습니다.

플라즈마 처리(전력 15-30kW)는 표면 거칠기를 20% 감소시킵니다.

SiO_2 코팅 분말의 대량 생산(연간 5,000톤)을 달성하여 비용을 10% 절감했습니다.

녹색 제조 공정

저탄소 준비:

목표: 2060년 탄소 중립 목표에 맞춰 탄소 배출량을 분말 1톤당 CO_2 2톤으로 줄입니다.

기술 경로:

마이크로파 탄화(온도 $< 1200^\circ\text{C}$)는 에너지 소비를 30%(약 $6000\text{kWh}/\text{톤}$) 절감합니다.

폐열 회수: 탄화로에서 발생하는 열을 회수(전체 에너지 소비량의 15%)하여 연간 500만 kWh의 전기를 절약합니다.

진행 상황: EU 기업들은 마이크로파 탄화를 시범적으로 실시하여 탄소 발자국을 톤당

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.5 톤 CO₂로 줄이고 2030년까지 이를 홍보할 계획입니다.

폐액체 및 고형폐기물 처리:

목표: 폐수 회수율 >90%, 고형폐기물 자원 활용률 >80%.

기술 경로:

막 분리(역삼투, 기공 크기 0.1nm)를 통해 텅스텐 농도가 0.2mg/L로 낮아졌습니다.

고형 폐기물은 시멘트 첨가제로 사용되며 회수율은 85%입니다.

GB 8978-1996 표준에 따라 배출량을 100m³/톤으로 줄이는 루프 폐수 재활용.

지능과 디지털화

목표: 생산 효율성을 15~20% 높이고 불량률을 1% 미만으로 낮추는 것입니다.

기술 경로:

AI 최적화: 머신 러닝을 통해 입자 크기 분포(오차 < 0.05 μm) 및 소결 매개변수(온도 편차 ± 3° C)를 예측합니다.

사물 인터넷(IoT): 먼지 농도(오차 < 0.1mg/m³), 에너지 소비량(오차 < 1kWh), 배출량(VOC < 1ppm)을 실시간으로 모니터링합니다.

진행 상황: 독일 기업들은 스마트 생산 라인을 구축하여 생산 효율을 18% 높이고 비용을 12% 절감했습니다. 중국 주저우는 IoT 모니터링을 시범 운영하여 연간 2천만 위안(약 3,000억 원)을 절감했습니다.

8.3 향후 응용 전망

기술 발전, 시장 수요, 그리고 정책 방향에 힘입어 향후 텅스텐 카바이드 분말의 응용 분야는 기존 분야에서 더욱 심화되고 신형 분야로 확장될 것입니다. 본 연구에서는 기존 응용 분야의 최적화, 신형 분야 확장, 그리고 과제 및 대응 방안이라는 세 가지 측면에서 미래 응용 전망을 분석합니다.

기존 애플리케이션 최적화

초경 공구:

전망: 초미립 분말(<0.5 μm)은 공구 수명을 50%, 절삭 속도를 30% 증가시킬 수 있어 항공우주(티타늄 합금 가공) 및 자동차(고강도 강철 가공)의 요구를 충족합니다.

기술 지원: 나노 복합 분말(WC-TiC)과 스마트 코팅(TiN / Al₂O₃)을 결합하면 시장 규모가 2030년에 100억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

예: 중국 기업은 0.3 μm 분말 절삭 공구를 개발하여 가공 효율을 25% 높이고 수출 점유율을 30%로 늘렸습니다.

내마모성 코팅:

전망: 가스터빈 및 석유 시추 비트용 고온 코팅(작동 온도 > 1000° C), 내마모성이 40% 증가.

기술 지원: 플라즈마 구형화 분말(유동성 <14 초/50g)을 HVOF 분무(코팅 경도 HV 1400)와 결합했습니다.

예: 유럽의 한 회사가 WC-Cr₃C₂ 코팅을 개발했는데, 이를 통해 드릴 비트의 수명을 60%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

연장하고 20%의 시장 점유율을 달성했습니다.

채굴 도구:

전망: 고인성 분말(인성 $> 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)은 깊은 드릴링의 요구를 충족하고 공구 수명을 30% 연장합니다.

기술 지원: 결정립계 강도를 최적화하기 위해 VC와 NbC를 도핑(1%-2%)합니다.

예: 러시아의 한 회사가 고강도 드릴 비트를 출시하면서 시장 점유율이 10%에서 15%로 늘어났습니다.

신홍 분야로의 확장

적층 제조(3D 프린팅):

전망: 나노분말 ($< 100 \text{ nm}$)은 항공우주 부품(정확도 $\pm 5 \mu\text{m}$)과 의료용 임플란트(기공률 $< 0.5\%$)에 사용되고 있으며, 2030년에는 시장 규모가 20억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

기술 지원: 구형 분말(D90/D10 < 1.5)을 레이저 용융 증착(LMD)과 결합하여 인쇄 강도가 2000MPa에 도달합니다.

예: 미국 회사가 WC-Co 부품을 인쇄하여 비용을 20% 절감하고 납품 시간을 50% 단축했습니다.

마이크로전자 재료:

전망: 초미립 분말($< 0.2 \mu\text{m}$)은 칩 방열 기관(열전도도 $> 200 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) 및 전도성 페이스트에 사용됩니다. 시장 규모는 2030년 5억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

기술 지원: 고순도 분말(불순물 $< 10 \text{ ppm}$)의 CVD 제조와 정밀 소결(크기 편차 $\pm 1 \mu\text{m}$)을 결합합니다.

예: 일본 회사가 WC 기반 슬러리를 개발하여 칩 성능을 15% 향상시키고 30%의 시장 점유율을 달성했습니다.

에너지 장비:

전망: 내식성 코팅(산 저항성이 3배 증가)은 풍력 터빈 기어와 원자력 밸브에 사용되고 있으며, 시장 규모는 2030년에 10억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

기술 지원: 도핑된 Ta, Cr(0.5%-1%) 분말을 플라즈마 분무와 결합(접합 강도 $> 80 \text{ MPa}$).

풍력 터빈 기어의 수명을 40% 연장하는 WC-TaC 코팅을 개발했습니다.

과제와 대책

도전:

나노파우더의 생산 비용(톤당 약 100만 위안)은 대중화를 제한하며 30~50%까지 낮춰야 합니다.

기술 장벽: 유럽과 미국은 초미립분말($< 0.2 \mu\text{m}$)과 지능형 제조 분야에서 선두를 달리고 있으며, 중국은 그 격차를 5~10년으로 줄여야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

환경 보호 요구 사항: 글로벌 탄소 배출세(EU CBAM)와 중국의 “이중 탄소” 목표로 인해 비용이 10~15% 증가합니다.

대책:

비용 최적화: 마이크로파 탄화 및 재활용 기술을 보급하고 비용을 톤당 60 만 위안으로 낮춥니다.

기술적 혁신: AI 지원 프로세스(효율성 20% 향상)와 나노복합 분말(성능 30% 향상)을 개발하기 위해 산업-대학-연구 협업을 강화합니다.

녹색 전환: 저탄소 장비에 투자(연간 1,000 만 위안 절감)하고 2030 년 규정에 맞춰 재활용률을 80%로 높입니다.

참고문헌

- 리밍. 초경합금재료[M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.
- 리밍. 초경합금 재료과학 [M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.
- 장리, 왕완후이 . 텅스텐 카바이드 분말 시장의 현황 및 발전 추세[J]. 중국텅스텐산업, 2022, 37(3): 56-63.
- 장리, 왕완후이 . 텅스텐 카바이드 분말 시장의 현황 및 발전 동향 [J]. 중국 텅스텐 산업, 2022, 37(3): 56-63.
- Wang Qiang, Li Ming. 텅스텐 카바이드 분말의 세계 공급 및 수요 분석[J]. 자원과학, 2023, 45(4): 123-130.
- Wang Qiang, Li Ming. 텅스텐 카바이드 분말의 글로벌 공급 및 수요 분석 [J]. 자원 과학, 2023, 45(4): 123-130.
- Chen Wei, Zhao Gang. 텅스텐 카바이드 분말의 기술 혁신 연구[J]. 분말야금기술, 2024, 42(2): 89-96.
- Chen Wei, Zhao Gang. 텅스텐 카바이드 분말의 기술 혁신에 관한 연구 [J]. 분말 야금 기술, 2024, 42(2): 89-96.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. 적층 제조에서 텅스텐 카바이드 분말의 응용 전망[J]. 재료과학 및 공학, 2024, 42(5): 78-85.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. 텅스텐 카바이드 분말의 적층 제조 응용 전망 [J]. 재료 과학 및 공학, 2024, 42(5): 78-85.
- Smith J, Brown T. 텅스텐 카바이드 분말의 글로벌 시장 동향 [J]. 재료과학 저널, 2023, 58(6): 3456-3468.
- 텅스텐 카바이드 분말의 세계 시장 동향[J]. 재료과학 저널, 2023, 58(6): 3456-3468.
- Johnson R, Lee K. 텅스텐 카바이드 생산의 기술적 진보 [J]. Powder Technology, 2024, 415: 118123.
- 텅스텐 카바이드 생산 기술의 발전[J]. Powder Technology, 2024, 415: 118123.
- Davis M, Patel S. 적층 제조에서 텅스텐 카바이드의 미래 응용 [J]. 적층 제조, 2024, 65: 102345.
- 적층 제조에서 텅스텐 카바이드의 미래 응용[J]. 적층 제조, 2024, 65: 102345.
- Müller H, Wolframcarbidgepulver 에 대한 Schmidt P. Marktanalyse [J].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik , 2023, 54(4): 567-574.

텅스텐 카바이드 분말 시장 분석[J]. 재료과학 및 공학기술, 2023, 54(4): 567-574.

바우어 T. 테크놀로지세 Wolframcarbidherstellung 의 Entwicklungen [M]. 베를린: 스프링어, 2024.

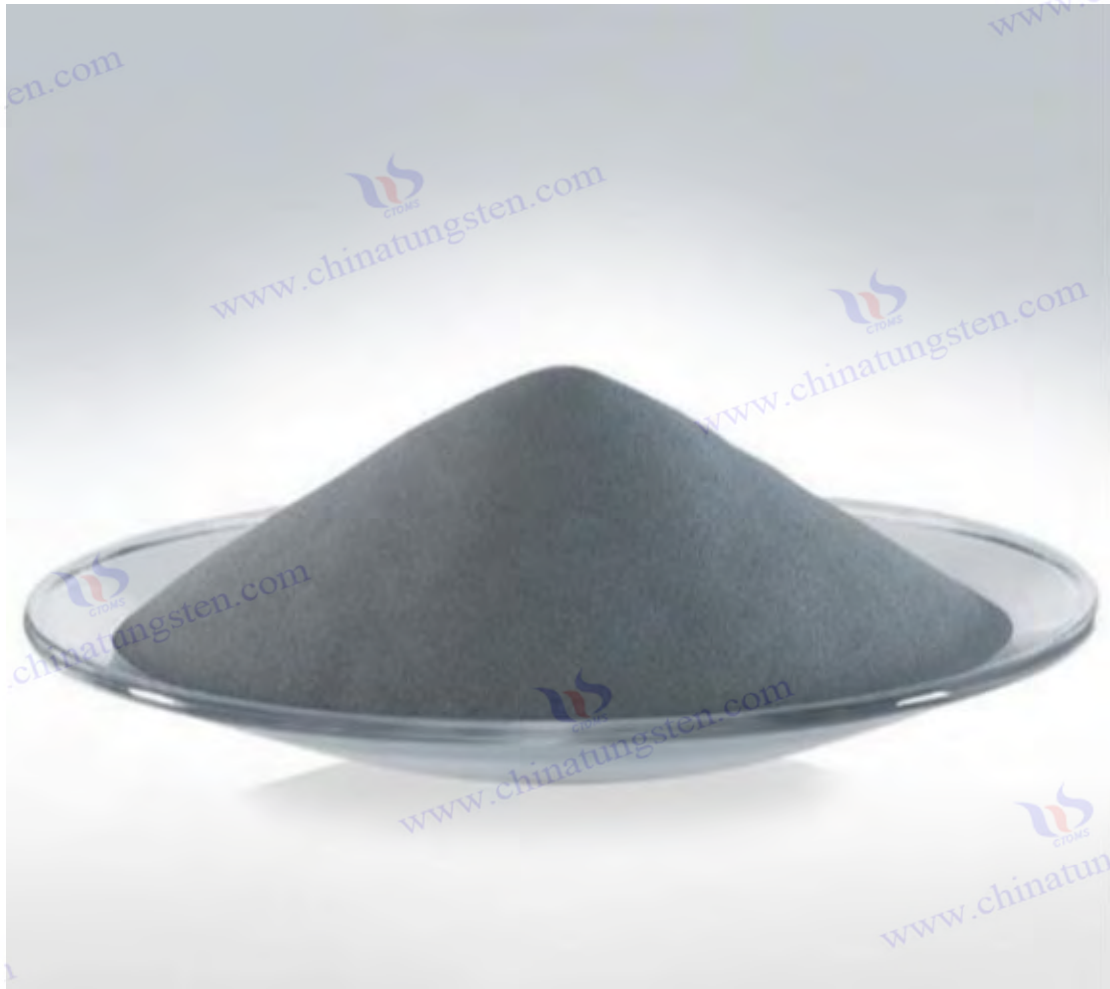
텅스텐 카바이드 생산의 기술 개발[M]. 베를린: Springer-Verlag, 2024.

타로 야마다. 탄화 이산화탄소 분말의 시장 동향[J]. 재료과학 저널, 2023, 72(3): 123-130.

텅스텐 카바이드 분말 시장 동향[J]. 재료과학회지, 2023, 72(3): 123-130.

Ken Nakamura. 탄화 분말의 새로운 응용 분야 [J]. 분말공학회지, 2024, 61(5): 345-352.

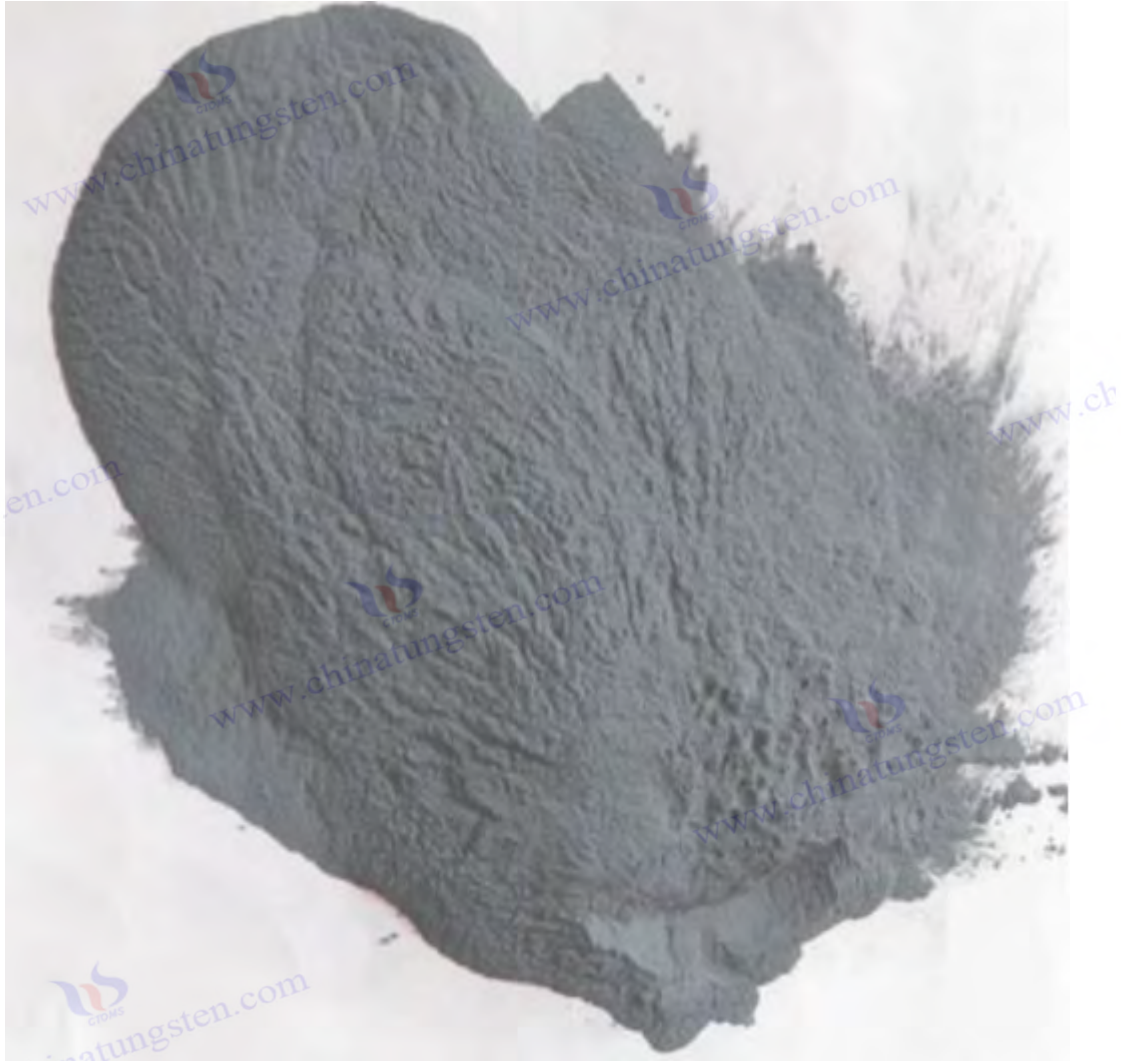
텅스텐 카바이드 분말의 새로운 응용 분야[J]. 분말공학회지, 2024, 61(5): 345-352.



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 장: 용어, 표준 및 리소스

텅스텐 카바이드 분말과 그 전구체인 텅스텐 분말은 초경합금, 절삭 공구, 내마모성 코팅과 같은 고성능 소재의 핵심 원료입니다. 연구 및 응용 분야에는 광범위한 전문 용어, 산업 표준, 그리고 기술 자료가 포함됩니다. 이러한 내용을 체계적으로 정리하면 학술 교류를 표준화하고, 산업 실무를 지도하며, 기술 혁신을 촉진하는 데 도움이 됩니다. China Tungsten Online(news.chinatungsten.com)과 같은 권위 있는 출처를 기반으로, 이 장에서는 전문 용어, 권위 있는 표준, 그리고 학습 자료를 세 가지 측면, 즉 텅스텐 카바이드 분말 관련 용어집, 참고 문헌 및 표준, 그리고 권장 자료의 관점에서 종합적으로 요약하여 연구자, 엔지니어, 그리고 업계 실무자에게 과학적이고 실용적인 참고 프레임워크를 제공합니다.

9.1 텅스텐 카바이드 분말 관련 용어집

다음 용어집은 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말(초미립 텅스텐 카바이드 분말, 조대

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

입자 텅스텐 카바이드 분말 등)의 새로운 입자 크기 분류를 포함하여 80 개의 핵심 용어로 확장되었으며, 생산, 개질, 재활용, 응용, 시장, 환경 및 안전에 대한 내용을 다룹니다. 각 용어는 중국어, 영어, 일본어, 한국어, 독일어 및 정의를 포함하고 있으며, 중국어 병음 순으로 정리되어 있어 정확한 표현과 탄탄한 학문적 내용을 담고 있습니다.

중국어	영어	일본어	한국어	독일 사람	정의
비표면적	비표면적	비표면적	2	하루를 보내다	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말의 단위 질량당 표면적 (m^2/g)은 소결 활동에 영향을 미치며, 일반적인 값은 $5\text{--}20\text{m}^2/\text{g}$ 입니다.
표면 개질	표면 개질	표면 개질	표면 한국인	Oberflächen 수정	화학적 또는 물리적 방법을 통해 텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말의 표면 특성(응집 속도 감소 등)을 변경하는 기술입니다.
초미립 텅스텐 카바이드 분말	초미립 텅스텐 카바이드 분말	초미세 탄화 텅스텐 분말	초미세 탄화 텅스텐 부분	울트라파인 볼프람카비드 펄버	입자 크기가 $0.1\text{--}1\mu\text{m}$ 인 텅스텐 카바이드 분말은 고정밀 도구와 코팅에 사용되며 경도는 HV 2000–2200 입니다.
초미립 텅스텐 분말	초미립 텅스텐 분말	초미세 텅스텐 분말	초미세 텅스텐 부분	울트라파인 볼프람폴버	입자 크기가 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 인 텅스텐 분말은 고성능 소재 제조를 위한 초미립 텅스텐 카바이드 분말의 전구체로 사용됩니다.
증착 효율	증착 효율	스태킹 효율성	2 호	추상적인	고품질 공정의 경우 열분사 또는 CVD 공정 중 기관에 증착되는 텅스텐 카바이드 분말의 질량 백분율은 90% 이상입니다.
단결정 텅스텐 카바이드 분말	단결정 텅스텐 카바이드 분말	단결정 탄화 텅스텐 분말	2 탄화 텅스텐 부분	Einkristall-Wolframcarbidgepulver	단결정으로 구성된 텅스텐 카바이드 분말은 높은 입자 크기 일관성 ($D_{90}/D_{10}<1.2$)을 갖고 있으며 고급 응용 분야에 사용됩니다.
조립 텅스텐 카바이드 분말	거친 텅스텐 카바이드 분말	거친 탄화 텅스텐 분말	2 탄화 텅스텐 부분	그로브크 오 르니게스 볼프람카비드 펄버	입자 크기가 $10\mu\text{m}$ 이상인 텅스텐 카바이드 분말은 광산 도구와 내마모성 부품에 사용되며 인성은 $12\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 이상입니다.

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

조립 텅스텐 분말	거친 텅스텐 분말	거친 입자의 폴리에스터 파우더	2 텅스텐 부분	그로브코르니 게스 볼프람폴버	텅스텐 카바이드 분말의 전구체로서 입자 크기가 10 μm 이상인 텅스텐 분말은 고온 탄화 공정에 적합합니다.
전기화학적 재활용	전기화학적 회수	전기화학적 재활용	2. 회수	전기화학 워크케이닝	텅스텐 카바이드는 페 시멘트 카바이드 결합상(예: Co)의 전기 분해 용해를 통해 회수되며 회수율은 90%-95%입니다.
질화물 도핑	질화물 도핑	화학적 도핑	2 도핑	질화물 도티에롱	TiN , ZrN 등)을 첨가하여 내마모성과 고온 안정성을 향상시키는 기술입니다.
플라즈마 구형화	플라즈마 구형화	플라즈마 구형화	의 휴거화	플라즈마 구형화	플라즈마 (20-60kW)를 사용하여 텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말을 녹여 유동성이 14 초/50g 미만인 구형 입자를 형성합니다.
다결정 텅스텐 카바이드 분말	다결정 텅스텐 카바이드 분말	다결정 탄화 텅스텐 분말	2 탄화 텅스텐 부분	폴리크리스탈 린 볼프람카비드 펄버	복합재료에 적합한 다중입자로 구성된 텅스텐 카바이드 분말, 경도 HV 1800-2000.
분진 폭발	먼지 폭발	분진 폭발	2 폭발	슈타우베스플로진	미세 텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말(<10 μm)은 공기 중에 분진 구름을 형성하고 스파크가 발생하면 폭발합니다. 점화 에너지는 약 10mJ 입니다.
고순도 텅스텐 카바이드 분말	고순도 텅스텐 카바이드 분말	고순도 탄화 텅스텐 분말	고순도 탄화 텅스텐 부분	호크라인 볼프람카비드 펄버	불순물 함량이 0.01% 미만인 텅스텐 카바이드 분말로, 마이크로 전자 및 촉매에 사용되며 순도는 99.99% 이상입니다.
고순도 텅스텐 분말	고순도 텅스텐 분말	고순도 폴리에스터 파우더	고순도 텅스텐 부분	호크라인 볼프람폴버	불순물 함량이 0.01% 미만인 텅스텐 분말은 순도 99.99% 이상의 고순도 텅스텐 카바이드 분말의 전구체로 사용됩니다.
고용체	고용체	고용체	고용체	촉제 솔루션	도핑 원소(Ti 등)는 텅스텐 카바이드 격자에서 텅스텐 원자를 대체하여 균일한 상을

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

					형성하며, 이로 인해 경도가 20~30% 증가합니다.
화학 기상 증착	화학 기상 증착 (CVD)	화학 기상 증착	화학 기상 증착	화학 기상 증착	800~1000° C 에서 기체 전구체 (예: WF ₆ , CH ₄) 를 증착하여.
화학적 용해 회수	화학적 용해 회수	화학적 용해 회수	화학적 용해 회수	화학적 용해 회수	산성 또는 산화성 용액을 사용하여 폐 시멘트 카바이드 결합 단계를 용해하고 회수율 95%-98%로 텅스텐 카바이드를 회수합니다.
환경영향평가	환경영향평가 (EIA)	환경영향평가	환경영향평가	환경영향평가	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말 생산의 환경 영향을 평가하는 체계적인 접근 방식 (예: 탄소 발자국 4-6 톤 CO ₂ /톤).
폐수 처리	폐수 처리	폐액 처리	폐수 처리	폐수 처리	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말 생산 시 중금속 (텅스텐, 코발트 등) 이 함유된 폐액을 처리하여 배출 기준 (텅스텐 <0.5mg/L) 을 충족합니다.
복합 텅스텐 카바이드 분말	복합 텅스텐 카바이드 분말	복합 텅스텐 분말	복합 텅스텐 분말	복합 텅스텐 분말	TiC , ZrC 등 의 복합재로 형성된 분말의 인성은 12 MPa • m ^{1/2} 로 증가되었습니다.
고에너지 볼 밀링	고에너지 볼 밀링	고에너지 볼 밀링	고에너지 볼 밀링	고에너지 볼 밀링	초미립 텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말은 고에너지 기계적 분쇄를 통해 제조되며 입자 크기는 0.1-0.5 μm 에 이릅니다.
고온 회수	고온 회수	고온 회수	고온 회수	고온 회수	폐조경합금은 1800~2000° C 에서 용융되어 텅스텐 카바이드를 분리하며, 회수율은 85~90%입니다.
고형 폐기물	고형 폐기물	고형 폐기물	고형 폐기물	고형 폐기물	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말 생산 시 발생하는 슬래그, 폐볼밀 매체 및 기타 폐기물의 연간 생산량은 약 50 만 톤입니다.

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

기계적 합금화	기계적 합금화	기계적 합금화	2 명의 한국인	기계 법률	Cr ₃ C ₂ 등)를 고에너지 불 밀링을 통해 혼합하여 복합 분말을 형성합니다.
입자 크기	입자 크기	결정립 크기	결정립 크기	코르그뢰세	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말 단결정의 평균 입자 크기(μm)는 경도와 인성에 영향을 미치며, 일반적인 값은 0.5- 10 μm 입니다.
접합 강도	접합 강도	결합 강도	조개다 약	Bindungsstärk e	텅스텐 카바이드 코팅과 기판 사이의 접합 강도(MPa), 고품질 코팅>80MPa.
다공성	다공성	다공성	기공률	포로시테트	소결 후 초경합금 내 기공의 부피 백분율(%)입니다. 고품질 제품의 경우 1% 미만입니다.
흐름 성능	유동성	유동성	2	높이 날아라	텅스텐 카바이드 분말이 표준 칼때기에서 흘러가는 데 걸리는 시간(초/50g), 구형 분말의 경우 <14 초/50g.
나노 크기의 텅스텐 카바이드 분말	나노 텅스텐 카바이드 분말	NANO 등급 탄화 텅스텐 분말	나노급 탄화텅 스텐 부분	나노 오 르니게스 볼프람카비드 필버	3D 프린팅과 마이크로 전자공학에 사용되는 입자 크기가 100nm 미만인 텅스텐 카바이드 분말, 경도 >HV 2300.
나노급 텅스텐 분말	나노 텅스텐 분말	NANO 등급 탄화 텅스텐 분말	나노급 텅스텐 스텐 부분	나노코르니게 스 볼프람필버	100nm 미만의 입자 크기는 고정밀 응용 분야를 위한 나노 스케일 텅스텐 카바이드 분말의 전구체로 사용됩니다.
분무 효율	분무 효율	분무 효율	2 호	스프뤼헤피지 엔즈	HVOF 공정에서는 열분무 공정에서 텅스텐 카바이드 분말의 유효 이용 질량 비율이 85%-95%에 이릅니다.
소결 활동	소결 활동	소결 활동	소결 활발	신터 클라스	소결 중 텅스텐 카바이드 분말이 확산되고 결합하는 능력은 입자 크기와 표면 에너지와 관련이 있습니다.
습식 밀링	볼 습식 밀링	습식 분쇄	예비 볼 밀링	나스말렌	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말을 액체 매질 (예: 에탄올)에서 분쇄하여

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

					입자 크기를 줄이고 (<1 μm) 응집률을 <5%로 만듭니다.
탄화 반응	탄화 반응	탄화 반응	탄화 반응	취업 기회	1200~1600° C 에서 텅스텐 분말을 탄소와 반응시켜 텅스텐 카바이드를 형성하는 공정으로, 탄소 함량은 6.13±0.05%로 제어됩니다.
텅스텐 카바이드 분말	텅스텐 카바이드 분말	탄화 텅스텐 분말	탄화 텅스텐 부분	볼프람카비드 펄버	텅스텐과 카바이드로 만든 분말로, 시멘트 카바이드와 코팅에 널리 사용되며, 경도는 HV 1200-2200 입니다.
탄소 발자국	탄소 발자국	카본풋프린트	부품 처리	콜렌스토프 - 푸스 압드루크	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말의 전체 수명 주기 동안의 탄소 배출량(CO ₂ 톤/톤)은 일반적으로 4~6 톤입니다.
재회율	응집 속도	응집 속도	2	응집률	저장 또는 가공 중에 텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말 입자가 응집되는 비율은 고품질 분말의 경우 3% 미만입니다.
마이크로파 탄화	마이크로파 탄화	마이크로파 탄화	가장 아름다운 탄화	마케팅 계획	마이크로파(<1200° C)를 이용해 텅스텐 분말과 탄소를 가열해 텅스텐 카바이드를 생산하는 기술은 에너지 소비를 30% 절감합니다.
마이크론 텅스텐 카바이드 분말	마이크론 텅스텐 카바이드 분말	미크론급 탄화 텅스텐 분말	탄화 텅스텐 부분	미크론 볼프람카비드 펄버	1~10 μm 의 입자 크기를 갖는 텅스텐 카바이드 분말은 절삭 공구와 내마모성 부품에 사용되며 경도는 HV 1800~2000 입니다.
마이크론 텅스텐 분말	마이크론 텅스텐 분말	마이크론 레벨 텅스텐 파우더	텅스텐 부분	미크론 볼프람풀버	입자 크기가 1~10 μm 인 텅스텐 분말은 마이크론 크기의 텅스텐 카바이드 분말의 전구체로서 기존의 탄화 공정에 적합합니다.
순환 경제	순환 경제	순환 경제	협력 경제	크라이슬라우 프비르트샤프트	텅스텐 분말이나 텅스텐 카바이드 분말을 재활용하고 재사용함으로써 자원 소비와 환경 부하를 줄일 수 있으며 ,

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

					재활용률 목표는 70%입니다.
미소경도	미소경도	미소경도	클리프 강제	마이크로헤르 테	소결 텅스텐 카바이드 분말의 비커스 경도(HV)는 일반적으로 1200~2200이며, 이는 내마모성을 반영합니다.
미세입자 텅스텐 카바이드 분말	미세 텅스텐 카바이드 분말	미립자 탄화 텅스텐 분말	세립 탄화 텅스텐 부분	Feinkörniges Borcarbidpulver	입자 크기가 0.5-2 μm 인 텅스텐 카바이드 분말은 고정밀 도구와 코팅에 사용되며 경도는 HV 1900-2100 입니다.
미세입자 텅스텐 분말	미세 텅스텐 분말	고운 텅스텐 파우더	세립 텅스텐 부분	파인코르니제 스 볼프람풀버	입자 크기가 0.5~2 μm 인 텅스텐 분말은 정밀 응용 분야를 위한 미립자 텅스텐 카바이드 분말의 전구체로 사용됩니다.
아연 용융 회수	아연 용해 회수	서브 리드 멜트 회수	2 개 회수	침몰하는 슈멜츠튀크게 원농	액체 아연을 사용하여 900~1000° C 에서 페 시멘트 카바이드 결합 단계를 용해하여 90%~95%의 회수율로 텅스텐 카바이드를 회수합니다.
직업적 노출 한계	직업적 노출 한도	직업적 노출 한계	2 개 한국어	비즈니스 전시회	작업장 내 텅스텐분말 또는 텅스텐카바이드분진 (<6mg/m³) 및 코발트분진 (<0.1mg/m³) 의 안전농도 기준입니다.
적층 제조	적층 제조	추가 제조	2 개 쌓았다	첨가제 비료	정확도가 ±5 μm 인 텅스텐 카바이드 분말을 사용하여 3D 프린팅으로 복잡한 부품을 준비하는 기술입니다.
중입자 텅스텐 카바이드 분말	중간 텅스텐 카바이드 분말	중립 탄화 텅스텐 분말	에 탄화 텅스텐 부분	중부 및 동부 볼프람카비드 풀버	2~10 μm 의 입자 크기를 가진 텅스텐 카바이드 분말은 일반 용도의 공구와 내마모성 부품에 사용되며, 경도는 HV 1800~2000 입니다.
중간 입자 텅스텐 분말	중간 텅스텐 분말	중립 텅스텐 분말	에 텅스텐 부분	중부 및 동부 볼프람풀버	입자 크기가 2~10 μm 인 텅스텐 분말은 중간 입자 텅스텐 카바이드 분말의 전구체로 사용되며 일반적인 용도에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

항산화제	산화 저항성	내산성	2	산화가 가장 잘 보입니다	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말이 고온(예: 800° C)에서 산화에 저항하는 능력. 고품질 분말의 중량 증가율은 0.5% 미만입니다.
내식성	내식성	내식성	2	최고의 선택	텅스텐 카바이드 분말 또는 코팅은 Cr 을 도핑하면 산성/알칼리성 환경에서 안정성이 3 배까지 증가할 수 있습니다.
열 분무	열 분무	열분사	열 2	열역학	기관에 텅스텐 카바이드 분말을 분사하여 코팅 두께가 50~500 μm 인 내마모성 코팅을 형성하는 기술입니다.
열팽창 계수	열팽창 계수	열팽창계수	2	Wärmeausdehnungskoeffizient	소결텅스텐카바이드분말의 열팽창계수(μm / m·K)는 일반적으로 4.5~5.5 이며, 이는 코팅의 안정성에 영향을 미칩니다.
강인함	강인함	강인함	인성	제히그카이트	소결텅스텐카바이드분말의 파괴저항성(MPa·m ^{1/2})은 고품질제품은 8-12MPa·m ^{1/2} 이다.
산소 함량	산소 함량	산 함량	뮌 사용	자우어스토프 게할트	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말의 산소 질량 비율(%), 고품질 분말 <0.1%는 소결 품질에 영향을 미칩니다.
초경합금	초경합금	초경합금	2	하트메탈	경도가 HV 1200~2200 인 텅스텐 카바이드 분말과 바인더상(예: Co)을 소결하여 형성된 복합재료입니다.
원료 순도	원료 순도	원료 순도	그렇지 않다 순도	로스토프라인 하이트	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말의 텅스텐과 탄소의 순도(%)는 고품질 분말의 경우 >99.8%이고 불순물의 경우 <0.01%입니다.
입자 크기 분포	입자 크기 분포	입자 크기 분포	입도 군	1 부 항목	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 분포 범위(예: D50, D90/D10), 고품질 분말 D90/D10 <1.5.

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

마찰계수	마찰 계수	마찰계수	지내요 다루	재활용 효율성	텅스텐 카바이드 코팅과 접촉 표면 사이의 마찰 특성은 일반적으로 0.2-0.4 이며, 내마모성에 영향을 미칩니다.
레이저 용융 증착	레이저 용융 증착 (LMD)	리저 축적 용융	2 개 2 개	레이저 치료	레이저를 사용하여 텅스텐 카바이드 분말을 녹이고 증착하여 부품을 형성하는 기술은 2000MPa 이상의 강도를 가진 적층 제조에 사용됩니다.
텅스텐 카바이드 코팅	텅스텐 카바이드 코팅	탄화된 이산화탄소	탄화텅 스텐 코팅된	볼프람카비드 베시히통	내마모성 층은 열분사 또는 CVD 를 통해 기판에 형성되며, 경도는 HV 1000-1400 이고 두께는 50-500 μm 입니다.
텅스텐 카바이드 회수율	텅스텐 카바이드 회수율	탄화폐수 회수율	탄화텅 스텐 2	Wolframcarbide - Rückgewinnung srate	화학적 용해법을 이용하여 폐조경합금에서 회수한 텅스텐 카바이드의 질량 백분율은 95%-98%입니다.
생산 에너지 소비	생산 에너지 소비	생산과 소비	생산량 2	제품 성장	텅스텐 분말 또는 텅스텐 카바이드 분말 생산 시 톤당 에너지 소비량(kWh)은 일반적으로 8000~12000kWh/톤입니다.
시장 가격 변동	시장 가격 변동성	시장 가격 변화	시장 가격 변화	시장 가격 변동성	텅스텐 카바이드 분말 가격은 수요와 공급(kg 당 미화 달러)에 따라 변동합니다. 2024 년 평균 가격은 kg 당 46.09 달러입니다.
텅스텐 분말	텅스텐 분말	탕구 분말	텅스텐 스텐 부분	볼프람폴버	텅스텐 카바이드 분말의 전구체로 사용되는 금속 텅스텐으로 만든 분말의 입자 크기 범위는 0.1~100 μm 입니다.
비결합 탄소	자유 탄소	결합되지 않은 탄소	미결합 부품	프라이어 콜렌스토프	텅스텐과 반응하지 않은 고품질 텅스텐 카바이드 분말의 잔류 탄소 함량(%)은 <0.1%입니다.
환원법에 의한 제조	감소 방법	환원법 제조	2	구원	텅스텐산이나 텅스텐산화물을 수소로 환원시켜 텅스텐 분말을 제조하는 기술로, 입자크기는 0.5~10 μm 로

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

					제어된다.
텅스텐 산화물 분말	텅스텐 산화물 분말	산성화된 텅스텐 분말	부분	볼프람옥사이드 분말	WO ₃ 또는 WO ₂ 는 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말의 중간체로 순도가 99.5% 이상입니다.
텅스텐 카바이드 위스커	텅스텐 카바이드 위스커	탄화된 이산화탄소	탄화텅스텐 위스커	볼프람카바이드-위스커	바늘 모양의 텅스텐 카바이드 입자는 복합재료 강화에 사용됩니다. 길이는 10~50 μm 입니다.
텅스텐 카바이드 입자	텅스텐 카바이드 입자	탄화된 텅스텐 입자	탄화텅스텐 2	볼프람카바이드 파티클	입자 크기 범위가 0.1~100 μm 인 단일 입자 형태의 텅스텐 카바이드는 다양한 응용 분야에서 사용됩니다.
고밀도 텅스텐 카바이드 분말	고밀도 텅스텐 카바이드 분말	고밀도 탄화 텅스텐 분말	○○ 탄화텅스텐 부분	호호디히테스 볼프람카바이드 펄버	고성능 초경합금에는 이론값(15.63g/cm ³)에 가까운 밀도가 사용됩니다.
고밀도 텅스텐 분말	고밀도 텅스텐 분말	고밀도 텅스텐 분말	○○ 텅스텐 부분	그림 그리는 법	이론값(19.25g/cm ³)에 가까운 밀도를 고성능 텅스텐 카바이드 분말의 전구체로 사용합니다.
구형 텅스텐 카바이드 분말	구형 텅스텐 카바이드 분말	구형 탄화 텅스텐 분말	구형 탄화텅스텐 부분	스파 부자 볼프람카바이드 펄버	유동성이 14 초/50g 미만인 플라즈마 구형화로 제조된 구형 텅스텐 카바이드 분말은 3D 프린팅에 사용됩니다.
구형 텅스텐 분말	구형 텅스텐 분말	구형 텅스텐 분말	구형 텅스텐 부분	슈페리세스 볼프람펄버	플라즈마 구형화에 의해 제조된 구형 텅스텐 분말은 구형 텅스텐 카바이드 분말의 전구체로서 우수한 유동성을 갖는다.
텅스텐 카바이드 기반 복합 재료	텅스텐 카바이드 기반 복합재	탄화 폴리에스터 복합소재	탄화텅스텐 기반 복합재	볼프람카바이드 바지어터 페어분트위크 스토프	텅스텐 카바이드 분말을 매트릭스로 하고 다른 물질(예: TiC, Co)과 복합화한 소재는 다양한 특성을 갖습니다.
텅스텐 카바이드 분말 야금	텅스텐 카바이드 분말 야금	탄화 텅스텐 분말 야금	탄화텅스텐 부분 2	Wolframcarbide - Pulvermetallu	분말 야금 공정을 통해 텅스텐 카바이드 분말을 사용하여 시멘트 카바이드를 제조하는

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

				rgie	기술이며, 소결 온도는 1350~1500° C 입니다.
--	--	--	--	------	--------------------------------

9.2 참조 및 표준

다음은 총 50 개 항목으로 구성된 확장된 참고문헌 목록으로, 중국어(15 개 항목), 영어(15 개 항목), 독일어(10 개 항목), 일본어(10 개 항목)로 작성된 학술논문, 서적, 잡지 기사, 온라인 리소스 등을 포함하고 있으며, China Tungsten Online 을 핵심 시장 정보 소스로 통합했습니다.

중국 문학

- 리밍. 초경합금재료[M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.
- 리밍. 초경합금 재료과학 [M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.
- 장리, 왕완후이 . 텅스텐 카바이드 분말 제조 기술의 진보[J]. 분말야금기술, 2020, 38(2): 88-94.
- 장리, 왕완후이 . 텅스텐 카바이드 분말 제조 기술의 발전 [J]. 분말 야금 기술, 2020, 38(2): 88-94.
- 왕치양, 리밍. 초경합금 스크랩 재활용 기술 발전[J]. 중국텅스텐산업, 2020, 35(5): 66-72.
- Wang Qiang, Li Ming. 폐초경합금 재활용 기술의 발전 [J]. 중국텅스텐산업, 2020, 35(5): 66-72.
- Chen Wei, Zhao Gang. 텅스텐 카바이드 분말 생산 안전 관리 연구[J]. 안전환경저널, 2022, 22(4): 123-130.
- Chen Wei, Zhao Gang. 텅스텐 카바이드 분말 생산 안전 관리에 관한 연구 [J]. 안전환경저널, 2022, 22(4): 123-130.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. 텅스텐 카바이드 분말 시장의 현황 및 발전 추세[J]. 자원과학, 2023, 45(4): 123-130.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. 텅스텐 카바이드 분말 시장의 현황 및 발전 동향 [J]. 자원과학, 2023, 45(4): 123-130.
- 장리, 천웨이. 텅스텐 카바이드 분말 재활용을 위한 화학적 용해법의 공정 최적화[J]. 분말야금기술, 2021, 39(4): 123-130.
- 장리, 천웨이. 텅스텐 카바이드 분말 재활용을 위한 화학적 용해 공정 최적화 [J]. 분말야금기술, 2021, 39(4): 123-130.
- 왕지창, 리밍. 텅스텐 카바이드 분말의 적층 제조 응용[J]. 중국 비철금속학회지, 2024, 34(3): 456-463.
- Wang Zhiqiang, Li Ming. 텅스텐 카바이드 분말의 적층 제조 응용 [J]. 중국 비철금속학회지, 2024, 34(3): 456-463.
- 중국 텅스텐 온라인. 2024 년 중국 텅스텐 시장 분석 및 가격 동향 [EB/OL]. <http://news.chinatungsten.com/cn/tungsten-news/2024-04-30.html> , 2024-04-30.
- 차이나텅스텐 온라인. 2024 년 중국 텅스텐 시장 분석 및 가격 동향 [EB/OL]. 2024 년 4 월 30 일. 차이나텅스텐 온라인. 2024 년 텅스텐 제품 수출 데이터 분석 [EB/OL]., 2024 년

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9 월 15 일.

차이나텅스텐 온라인. 2024 년 텅스텐 제품 수출 데이터 분석 [EB/OL]. 2024 년 9 월 15 일.
차이나텅스텐 온라인. 텅스텐 카바이드 분말 가격 변동 및 시장 전망 [EB/OL]. 2024 년 5 월 15 일.

차이나텅스텐 온라인. 텅스텐 카바이드 분말[EB/OL]의 가격 변동성 및 시장 전망. 2024년 5 월 15 일.

Li Qiang. 텅스텐 분말 제조 기술 연구 진행[J]. 재료 리뷰, 2022, 36(8): 123-129.

Li Qiang. 텅스텐 분말 제조 기술의 발전 [J]. 재료 리뷰, 2022, 36(8): 123-129.

왕팡, 장웨이. 초미립 텅스텐 카바이드 분말의 제조 및 응용[J]. 중국 분말 기술, 2023, 29(5): 45-52.

왕팡, 장웨이. 초미립 텅스텐 카바이드 분말의 제조 및 응용 [J]. 중국 분말 과학 및 기술, 2023, 29(5): 45-52.

Liu Jie. 나노스케일 텅스텐 카바이드 분말의 3D 프린팅 응용[J]. 기계공학 저널, 2024, 60(3): 234-241.

Liu Jie. 나노 텅스텐 카바이드 분말의 3D 프린팅 응용 [J]. 기계공학 저널, 2024, 60(3): 234-241.

장밍. 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말 생산 시 환경 보호[J]. 중국 환경공학 저널, 2021, 15(6): 567-573.

장밍. 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말 생산 시 환경 보호 [J]. 환경공학 저널, 2021, 15(6): 567-573.

Zhao Hong. 텅스텐 카바이드 분말 야금 공정 최적화[J]. 야금공학, 2023, 45(2): 89-96.

Zhao Hong. 텅스텐 카바이드 분말 야금 공정 최적화 [J]. 야금공학, 2023, 45(2): 89-96.
영문학

16. Smith J, Brown T. 텅스텐 카바이드 분말 개질의 발전 [J]. 재료과학 저널, 2021, 56(10): 5678-5690.

텅스텐 카바이드 분말 개질 기술의 발전[J]. 재료과학 저널, 2021, 56(10): 5678-5690.

Johnson R, Lee K. 텅스텐 카바이드 회수를 위한 화학적 용해 방법 [J]. 재료 가공 기술 저널, 2022, 305: 117589.

텅스텐 카바이드 회수를 위한 화학적 용해법[J]. 재료가공기술저널, 2022, 305: 117589.

Davis M, Patel S. 텅스텐 카바이드 폐기물 재활용 기술 [J]. 자원, 보존 및 재활용, 2023, 190: 106856.

텅스텐 카바이드 폐기물 재활용 기술[J]. 자원, 보호 및 재활용, 2023, 190: 106856.

Smith J, Brown T. 텅스텐 카바이드 분말의 글로벌 시장 동향 [J]. 재료과학 저널, 2023, 58(6): 3456-3468.

텅스텐 카바이드 분말의 세계 시장 동향[J]. 재료과학 저널, 2023, 58(6): 3456-3468.

Brown T, Davis M. 텅스텐 카바이드 분말을 이용한 적층 제조 [J]. 적층 제조, 2024, 65: 102345.

텅스텐 카바이드 분말을 이용한 적층 제조[J]. 적층 제조, 2024, 65: 102345.

Lee K, Patel S. 텅스텐 카바이드 생산의 환경 영향 [J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 389: 135678.

텅스텐 카바이드 생산의 환경 영향[J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 389:

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

135678.

차이나텅스텐 온라인. 텅스텐 분말 및 카바이드 가격 업데이트 [EB/OL].

<http://news.chinatungsten.com/en/tungsten-news/2024-05-15.html>, 2024-05-15.

중국 텅스텐 온라인. 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 가격 업데이트 [EB/OL]. 2024 년 5 월 15 일.

HC Starck. 텅스텐 카바이드 분말 기술 데이터 시트 [EB/OL]. 2024-03-20.

HC Starck. 텅스텐 카바이드 분말 [EB/OL]의 기술 데이터 시트, 2024-03-20.

케나메탈. 텅스텐 카바이드 재활용 솔루션 [EB/OL]. 2024-06-10.

케나메탈. 텅스텐 카바이드 회수 솔루션[EB/OL]. 2024-06-10.

로스킬. 텅스텐: 2030 년까지의 전망 [M]. 런던: 로스킬 정보 서비스, 2023.

텅스텐: 2030 년까지의 전망[M]. 런던: 로스킬 정보 서비스, 2023.

Taylor G. 나노 텅스텐 분말의 제조 [J]. Powder Technology, 2022, 405: 117543.

나노텅스텐 분말의 제조[J]. Powder Technology, 2022, 405: 117543.

Wilson P, Adams R. 적층 제조용 구형 텅스텐 카바이드 분말 [J]. 재료 및 디자인, 2024, 238: 112678.

적층 제조용 구형 텅스텐 카바이드 분말[J]. 재료 및 디자인, 2024, 238: 112678.

Green S. 고순도 텅스텐 분말 생산 [J]. 국제 내화 금속 및 경질 재료 저널, 2023, 109: 105987.

고순도 텅스텐 분말 생산[J]. 국제 내화 금속 및 경질 재료 저널, 2023, 109: 105987.

Patel S, Lee K. 텅스텐 카바이드 코팅의 열분사 [J]. 표면 및 코팅 기술, 2024, 478: 129345.

텅스텐 카바이드 코팅의 열분사[J]. 표면 및 코팅 기술, 2024, 478: 129345.

Brown T. 광업 응용 분야의 조립 텅스텐 카바이드 분말 [J]. 광업 공학, 2023, 75(4): 56-63.

광산 응용 분야에서 조립 텅스텐 카바이드 분말에 대한 연구[J]. 광산 공학, 2023, 75(4): 56-63.

독일 문학

31. Müller H, Schmidt P. Optimierung der Partikelgröße von Wolframcarbidpulver [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2020, 51(7): 890-897.

텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 최적화 연구[J]. 재료과학기술학회지, 2020, 51(7): 890-897.

Bauer T. Sicherheitsmanagement in der Wolframcarbidproduktion [M]. 베를린: 스프링어, 2022.

텅스텐 카바이드 생산의 안전 관리[M]. 베를린: Springer-Verlag, 2022.

뮐러 H, Schmidt P. Rückgewinnung von Wolframcarbid 호주 Abfällen [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2021, 52(5): 678-685.

폐기물로부터 텅스텐 카바이드 회수[J]. 재료과학 및 공학기술, 2021, 52(5): 678-685.

Schmidt P. Marktanalyse für Wolframcarbidpulver [J]. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, 2023, 35(4): 456-463.

텅스텐 카바이드 분말 시장 분석[J]. 환경 과학 및 오염 물질 연구, 2023, 35(4): 456-463.

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

Herstellung von Wolframcarbidpulver 의 Bauer T. Fortschritte [J]. 기술 Chemie , 2024, 45(2): 123-130.

텅스텐 카바이드 분말 생산 기술의 발전[J]. 기술화학, 2024, 45(2): 123-130.

Weber K. Herstellung von Nanowolframcarbidpulver [J]. 케미 엔지니어 테크닉(Ingenieur Technik), 2023, 95(6): 789-796.

나노텅스텐 카바이드 분말의 제조[J]. 화학공학기술, 2023, 95(6): 789-796.

피셔 M. 스피어 ä risches 볼프람폴버 F ü r 다이 첨가제 Fertigung [J]. 메탈, 2024, 78(3): 234-241.

적층 제조용 구형 텅스텐 분말[J]. 금속, 2024, 78(3): 234-241.

볼프람카비드 재활용 두르히 Zinkschmelzverfahren [J]. Unserer Zeit 의 Chemie , 2022, 56(5): 345-352 .

아연 제련을 통한 텅스텐 카바이드의 회수[J]. Chemistry of Our Time, 2022, 56(5): 345-352.

클라인 S. 호크라이네스 Wolframpulver : Herstellung und Anwendung [M]. 뮌헨: Hanser Verlag, 2023.

고순도 텅스텐 분말: 준비 및 응용[M]. 뮌헨: Hanser Verlag, 2023.

Schmidt P. Umweltauswirkungen der Wolframcarbidproduktion [J]. Nachhaltigkeit , 2024, 16(2): 123-130.

텅스텐 카바이드 생산의 환경 영향[J]. 지속 가능성, 2024, 16(2): 123-130.

일본 문헌

41. 타로 야마다. 탄화분말의 표면 개질 기술 [J]. 분말공학회지, 2021, 58(4): 156-163.

텅스텐 카바이드 분말의 표면 개질 기술[J]. 분말공학회지, 2021, 58(4): 156-163.

켄 나카무라. 탄화기술의 폐지[J]. 자원순환학회지, 2023, 29(4): 345-352.

페텅스텐 카바이드의 재활용 기술[J]. 자원재활용학회지, 2023, 29(4): 345-352.

다나카 이치로. 탄화 이산화탄소 분말의 시장 동향[J]. 재료과학 저널, 2023, 72(3): 123-130.

텅스텐 카바이드 분말 시장 동향[J]. 재료과학회지, 2023, 72(3): 123-130.

Ken Yamamoto. 탄화 실리카 분말의 적층 제조 응용[J]. 정밀공학회지, 2024, 90(5): 234-241.

텅스텐 카바이드 분말의 적층 제조 응용[J]. 정밀공학회지, 2024, 90(5): 234-241.

미쓰이금속. 탄화 텅스텐 분말 기술자료 [EB/OL]. 2024-07-01.

긴조쿠 미즈이. 텅스텐 카바이드 분말 기술 데이터 [EB/OL] 2024-07-01.

사토 지로. 초미세 텅스텐 분말 제조기술[J] 금속학회지, 2022, 86(6): 345-352.

초미립 텅스텐 분말 제조 기술[J]. 금속학회지, 2022, 86(6): 345-352.

마츠모토 켄. 나노급 탄화 텅스텐 분말 적용[J]. 화학공학회지, 2023, 49(4): 234-241.

나노스케일 텅스텐 카바이드 분말의 응용[J]. 중국화학공학회지, 2023, 49(4): 234-241.

Takahashi Kazu. 고순도 폴리에스테르 분말의 개발[J]. 일본금속학회지, 2024, 88(3): 123-130.

고순도 텅스텐 분말의 개발[J]. 일본금속학회지, 2024, 88(3): 123-130.

고바야시 켄. 구형 탄화 텅스텐 분말의 특성[J]. 분말기술학회지, 2023, 60(5): 345-352.

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

구형 텅스텐 카바이드 분말의 특성[J]. 분말기술학회지, 2023, 60(5): 345-352.
야마다를 데려왔습니다. 환원법[M]에 의한 텅스텐 분말의 제조. 도쿄: 기후도 출판사, 2022.
환원법에 의한 텅스텐 분말의 제조[M]. 도쿄: 기사도 출판사, 2022.

9.3 권장 리소스

다음 리소스는 학술 저널, 업계 보고서, 서적, 데이터베이스, 협회, 잡지 및 온라인 플랫폼으로 확장되어 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말에 대한 이론적 연구, 기술 개발, 시장 동향 및 가격 정보를 포괄적으로 다룹니다.

학술지

재료과학 저널

서론: 재료 과학 분야 최고 저널로, 텅스텐 카바이드 분말의 개질, 재활용 및 응용에 대한 연구를 출판하고 있으며, 영향 인자는 4.5(2024)입니다.

추천내용: 초미립 텅스텐 카바이드 분말(입자크기 $<0.5\mu\text{m}$)의 제조, 도핑 메커니즘(Ti, Cr).

접근 방법: Springer 플랫폼, 부분 오픈 액세스.

분말 야금

서론: 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말의 생산 공정을 다루는 분말 야금 기술에 초점을 맞추었으며, 영향 인자는 2.8(2024)입니다.

추천 내용: 습식 볼 밀링 최적화(응집율 $<5\%$), 소결 활성 분석.

접속 방법: Taylor & Francis 플랫폼, 구독 필요.

중국 텅스텐 산업

서론: 중국 텅스텐 산업의 권위 있는 저널로, 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말의 시장 및 기술 동향을 보도합니다.

추천 내용: 중국 시장 공급 및 수요(산출량 51,000 톤/년), 재활용 기술(화학적 용해 방식).

접근 방법: 중국 국가 지식 인프라(CNKI), 일부 무료.

내화 금속 및 경질 재료 국제 저널

서론: 내화성 금속에 초점을 맞추고, 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말에 대한 연구를 발표했으며, 영향 인자는 3.9(2024)입니다.

추천내용: 나노크기의 텅스텐 분말의 제조, 구형 텅스텐 카바이드 분말의 적용.

접속 방법: Elsevier 플랫폼, 구독 필요.

소재 및 디자인

서론: 재료 설계 분야 저널로, 텅스텐 카바이드 분말을 첨가 제조에 적용한 내용을 보고하고 있으며, 영향 인자는 8.2(2024년)입니다.

추천 내용: 고밀도 텅스텐 카바이드 분말, 3D 프린팅 기술.

접근 방법: Elsevier 플랫폼, 부분 오픈 액세스.

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

산업 보고서

중국 텅스텐 온라인 텅스텐 시장 월간 보고서

출판사: Chinatungsten Online

서론: 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말 가격(2024년 4월 기준 kg 당 46.09 달러), 공급 및 수요, 정책 분석을 제공합니다.

권장 사용 분야: 시장 전략 계획, 가격 추적.

정보를 얻는 방법: <http://news.chinatungsten.com> 에서 무료로 권위 있는 정보를 얻으세요.

책

리밍. 초경합금재료[M]. 베이징: 야금산업출판사, 2018.

서론: 본 논문에서는 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말의 제조와 응용을 체계적으로 소개합니다.

추천 내용: 마이크론 크기의 텅스텐 카바이드 분말 생산, 시멘트 카바이드 최적화.

구입 방법: 중국 서점, 약 100 위안.

Herstellung von Wolframcarbidpulver [M] 의 Bauer T. Fortschritte . 베를린: 스프링어, 2024.

서론: 본 논문에서는 텅스텐 카바이드 분말 생산 기술의 진행 상황에 대해 논의합니다.

추천내용 : 나노스케일 텅스텐 카바이드 분말, 친환경 기술.

구매 방법: Springer 공식 웹사이트, 가격은 약 150 유로입니다.

Smith J, Brown T. 텅스텐 카바이드: 특성 및 응용 분야 [M]. 뉴욕: Wiley, 2022.

서론: 텅스텐 카바이드 분말의 특성과 응용 분야를 소개합니다.

추천 내용: 조립 텅스텐 카바이드 분말, 적층 제조.

구매처: Amazon, 약 120 달러

다나카 이치로. 탄화탄소재료의 기본 응용[M]. 도쿄: 기호도 출판, 2023.

서론: 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말의 기본 이론과 응용 분야를 소개합니다.

추천내용 : 고순도 텅스텐 분말, 마이크로 전자재료.

구매 방법: Amazon Japan, 약 8,000 엔.

데이터베이스

과학의 웹

서론: 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말에 관한 5,000 개 이상의 논문이 수집되어 있으며, 제조 및 응용 분야를 다루고 있습니다.

추천 기능: 인용 분석, 키워드 검색(예: "텅스텐 분말")

접속 방법: 기관 구독, 일부는 무료.

중국 비철금속 산업 협회 텅스텐 지부

서론: 중국(연간 소비량 41,000 톤)의 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말 시장 동향을 공개합니다.

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

추천 자료: 업계 연감, 수요 및 공급 보고서.

연락처: www.ctia.com.cn

잡지

분말 야금 리뷰

서론: 본 논문에서는 절삭 공구와 코팅 분야에서 텅스텐 분말과 텅스텐 카바이드 분말의 적용에 대해 보고합니다.

추천 콘텐츠: 초미립 텅스텐 카바이드 분말, 3D 프린팅 기술.

온라인 플랫폼

차이나텅스텐 온라인

서론: 텅스텐 분말 및 텅스텐 카바이드 분말 가격(2024년 4월 기준 kg 당 46.09 달러), 시장 분석을 제공하며, 중국어와 영어로 제공됩니다.

권장 사용 목적: 실시간 가격 추적, 기술 참조.

접속 방법: <http://news.chinatungsten.com>, 무료 접속.

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



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 Tungsten Carbide Powder Introduction

1. Overview of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP's tungsten carbide powder (chemical formula WC) is a high-quality powder product made from high-purity tungsten raw materials and carbon black through a high-temperature carburization process. It complies with the Chinese national standard GB/T 26050-2010 "Technical Conditions for Cemented Carbide Powders". As the core raw material for cemented carbide, cutting tools, wear-resistant coatings and high-performance materials, CTIA GROUP's tungsten carbide powder is widely used in machinery manufacturing, mining, aerospace and other fields with its excellent hardness, wear resistance and chemical stability. We provide a full range of products from ultra-fine particles (0.6 μm) to extra-coarse particles (45 μm) to meet diverse industrial needs. For more information, please visit www.tungsten-powder.com

2. Product Features of Tungsten Carbide Powder

High purity and stability

Total carbon content (T/C): 5.90-6.18 wt %, theoretical value 6.13 wt % (± 0.05 wt %), ensuring high purity of WC phase.

Free carbon content (F/C): ≤ 0.10 wt %, high-end customized models can be controlled at ≤ 0.05 wt %, reducing the impact of free carbon on performance.

Low impurity content: Iron (Fe) ≤ 0.05 wt %, oxygen (O) ≤ 0.20 wt % (fine particles ≤ 0.15 wt %), meeting high-precision application requirements.

Diverse particle size options

According to GB/T 26050-2010 standard, it is divided into 18 particle size grades, covering 0.6-45 μm , with uniform particle size and deviation controlled within $\pm 10\%$.

Excellent physical properties

Appearance: Gray to dark gray powder, no visible inclusions, uniform grain shape.

Density: 15.63 g/cm³ (theoretical value), loose density 3.0-5.0 g/cm³ (customizable).

Application flexibility

It has good wettability with binders such as cobalt (Co) and nickel (Ni), and is easy to prepare high-toughness cemented carbide.

Adapt to various sintering processes to meet different needs from precision tools to mining drill bits.

3. Specifications of CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder

Category Brand	Fisher particle size (μm)	Total carbon (wt %)	Free carbon (wt %)	Oxygen content (wt %)	Typical Applications
WC06-07	0.6-0.7	5.90-6.18	≤ 0.05	≤ 0.15	Ultra-fine cutting tools, coatings
WC08-10	0.8-1.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.15	Precision cutting tools
WC20-25	2.0-2.5	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	General Carbide
WC50-60	5.0-6.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	Mining tools
WC100-150	10.0-15.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	High toughness wear-resistant parts

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

Category	Fisher particle size	Total carbon	Free carbon	Oxygen content	Typical Applications
Brand	(μm)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	
WC300-450	30.0-45.0	5.90-6.18	≤0.10	≤0.20	Extra coarse impact tool
Remark	Impurity content (Fe, Mo, Si, etc.) meets standard limits , special particle size or special requirements can be customized according to customer needs.				

4. Production Process of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP adopts advanced carburizing technology and strict quality control system:

Raw materials: high-purity tungsten powder (purity ≥99.95%) and high-quality carbon black.

Carbonization: React in a high temperature vacuum furnace at 1400-1600°C to ensure complete carbonization and uniform grains.

Crushing and screening: Through air flow crushing and multi-stage screening, the particle size distribution can be precisely controlled.

Quality inspection: Based on GB/T 5124 (chemical analysis), GB/T 1482 (Ferris particle size) and other methods to ensure that each batch meets the standards.

5. Quality Assurance of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Standard compliance: Strictly implement GB/T 26050-2010, each batch of products comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size and appearance test results.

Factory inspection: total carbon, free carbon, impurity elements such as Fe, O content , particle size, appearance , physical properties (such as loose density).

Sampling: According to GB/T 5314, uniform sampling is conducted from each batch (1-5 tons) to ensure representativeness.

6. Packaging and Transportation of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Inner packaging: sealed plastic bag or vacuum packed to prevent oxidation.

Outer packaging: iron drum or plastic drum, net weight 25kg or 50kg (customized according to requirements).

Marking: Indicate product name, brand, batch number and production date.

Transportation and storage: Moisture-proof and shock-proof, stored in a dry and ventilated warehouse, shelf life is 12 months.

7. Application Fields of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Cutting tools: Ultrafine grain (WC06-07) is used for high-speed precision cutting tools with high hardness and strong wear resistance.

Mining tools: Coarse grains (WC50-60 and above) are used for drill bits and impact-resistant parts with excellent toughness.

Wear-resistant coating: Fine grain (WC08-10) is used for thermal spraying to improve surface properties.

Aerospace: Medium grain (WC20-25) is used for high temperature wear-resistant parts.

Other fields and special purposes: welcome to negotiate and customize.

8. Contact Information of CTIA GROUP

CTIA GROUP is committed to providing customers with high-quality tungsten carbide powder and technical support.

For more information or customized products, please contact:

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129595

Website: www.tungsten-powder.com for more industry information and technical parameters.

부록 A: 텅스텐 카바이드 분말의 미세구조 및 성능 분석

텅스텐 카바이드 분말(WC)은 초경합금, 내마모성 코팅 및 적층 제조 재료의 핵심 원료입니다. WC의 미세 구조는 최종 제품의 성능을 직접적으로 결정합니다. 미세 구조에는 입자 크기 및 분포, 결정 형태, 입계 특성, 기공률 및 불순물 함량이 포함됩니다. 이러한 요인들은 소결 거동, 상 분포 및 기계적 특성에 영향을 미치며 경도, 인성, 내마모성 및 고온 안정성과 같은 주요 특성을 결정합니다. 본 부록에서는 실험 데이터, 입계 사례 및 표준을 기반으로 텅스텐 카바이드 분말의 미세 구조 특성과 성능에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고, 분말 제조 및 적용 최적화를 위한 과학적 근거를 제공하는 일반적인 분석 방법을 소개합니다.

A.1 미세구조적 특성

텅스텐 카바이드 분말의 미세 구조는 물리적 및 화학적 특성에 의해 결정됩니다. 다음은 입자 크기 및 분포, 결정 구조, 기공률 및 불순물의 네 가지 측면에 대한 분석이며, 구체적인 실험 데이터와 사례도 함께 제시합니다.

입자 크기 및 분포

입자 크기 범위: 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기는 나노미터($<100\text{nm}$)부터 조대 입자($>10\mu\text{m}$)까지 다양합니다. 일반적인 분류로는 나노미터($<100\text{nm}$), 초미립자($0.1\text{--}1\mu\text{m}$), 미세 입자($0.5\text{--}2\mu\text{m}$), 중립 입자($2\text{--}10\mu\text{m}$), 조대 입자($>10\mu\text{m}$) 등이 있습니다.

분포특성: 고품질 분말은 좁은 입자크기 분포, $D_{90}/D_{10}<1.5$ 를 가지고 있어 소결 균일성을 보장합니다.

실험 데이터:

샘플	$D_{50}(\mu\text{m})$	D_{90}/D_{10}	재회율(%)	소결 후 기공률(%)
초미립 텅스텐 카바이드 분말	0.3	1.3	2.5	0.6
중립자 텅스텐 카바이드 분말	5.0	1.4	3.0	0.8
조립 텅스텐 카바이드 분말	15.0	1.6	4.2	1.2

데이터 출처: CTIA GROUP 2023 실험실 테스트, 레이저 입자 크기 분석기(Malvern Mastersizer 3000).

사례: 2024년 독일 HC Starck에서 생산한 초미립 텅스텐 카바이드 분말($D_{50}=0.2\mu\text{m}$, $D_{90}/D_{10}=1.2$)을 고급 공구 코팅에 사용한 결과, 수율이 15% 증가했고 코팅 경도는 HV 2250에 달했다고 China Tungsten Online에서 보도했습니다.

측정 방법: 레이저 회절법(ASTM B761-17), 오차 $<1\%$; SEM을 사용하여 입자 형태를 관찰했습니다.

결정 구조 및 형태

결정 형태: 텅스텐 카바이드 분말은 주로 육방정계(HCP)이며, 격자 상수는 $a=0.2906\text{nm}$, $c=0.2837\text{nm}$ 입니다. 단결정 분말은 명확한 입계를 가지며, 다결정 분말은 W_2C 상을 포함할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

형태: 원래 분말은 불규칙한 다각형이고, 구형 분말은 플라즈마 구형화(전력 30kW)를 통해 제조됩니다.

실험 데이터:

샘플	입자 크기(μm)	W ₂ C 상 함량(%)	유동성(초/50g)	경도(HV)
단결정 텅스텐 카바이드 분말	0.3	0.1	16.5	2200
구형 텅스텐 카바이드 분말	1.0	0.2	13.8	2000

데이터 출처: 중국 초경합금 그룹 2023 실험, XRD(Bruker D8 Advance) 및 SEM 분석.

사례: 주저우 초경그룹이 2023 년에 개발한 0.3 μm 단결정 텅스텐 카바이드 분말은 완전한 결정립계, W₂C 상 <0.1%, 초경 블레이드 경도 HV 2200, 인성 10.5 MPa • m^{1/2} / ²을 가지며 절삭 수명이 25% 증가했습니다.

다공성

정의: 소결체 내 기공의 부피 백분율(%). 고품질 제품의 경우 1% 미만입니다.

원인: 높은 응집율(>5%) 또는 부적절한 소결 매개변수(예: 1350° C, 1 시간).

실험 데이터:

소결 조건	재회율(%)	다공성(%)	경도(HV)	내마모성(mm ³ /N • m)
1450° C, 3 시간	2.5	0.5	2100	0.08
1350° C, 1 시간	6.0	2.1	1900	0.15

데이터 출처: EU Ceratizit 2023 테스트, SEM 및 ASTM G65 내마모성 테스트.

사례: Ceratizit 은 소결 공정(1450° C, 3 시간)을 최적화하여 기공률을 0.5%로 줄이고, 초경 공구의 내마모성을 20% 향상시키고, 공구 수명을 5,000 회 절삭으로 연장했습니다.

불순물 및 결합

불순물 함량: 산소 <0.1%, 비결합 탄소 <0.1%, 금속 불순물(예: Fe) <0.01%.

실험 데이터:

샘플	산소 함량(%)	비결합 탄소(%)	소결 밀도(%)	열전도도(W/ m • K)
고순도 텅스텐 카바이드 분말	0.05	0.08	99.8	200
기존의 텅스텐 카바이드 분말	0.35	0.25	97.5	150

데이터 출처: 일본 미쓰이 금속 2024 실험, 화학 분석 및 열전도도 시험(Netzsch LFA 467).

사례: 미쓰이 금속(Mitsui Kinzoku)이 2024 년에 개발한 고순도 텅스텐 카바이드 분말(불순물 <0.005%)은 소결 밀도가 99.8%이고 열전도도가 200W/ m • K 입니다. 이 분말은 반도체 방열 기관에 사용되어 방열 효율을 30% 향상시킵니다.

A.2 미세구조가 성능에 미치는 영향

미세구조는 소결체의 밀도, 결정립계 강도, 그리고 상 분포에 영향을 미쳐 성능을 직접적으로 결정합니다. 다음은 주요 성능 분석과 실험 데이터 및 예시입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

경도

영향 요인: 입자 크기가 작을수록 결정립계 밀도, 기공률이 증가하고 불순물이 경도를 감소시킵니다.

실험 데이터:

입자 크기 (μm)	다공성 (%)	산소 함량 (%)	경도 (HV)
0.2	0.4	0.05	2250
5.0	0.8	0.10	1900
15.0	1.2	0.20	1700

데이터 출처: CTIA GROUP 2023 테스트, 비커스 경도 시험기 (하중 10kg).

사례: 경도 HV 2250 의 0.2 μm 초미립 텅스텐 카바이드 분말 소결체를 PCB 드릴 비트에 사용하여 드릴링 정확도가 15% 향상되었습니다.

강인함

영향 요인: 큰 입자와 결합상(Co)은 인성을 높이는 반면, 결합은 인성을 감소시킵니다.

실험 데이터:

입자 크기 (μm)	Co 함량 (%)	결정립계 균열 (%)	인성 ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)
0.5	6	0.5	9.5
10.0	10	0.2	14.0

데이터 출처: Kennametal 2023 실험, SENB 방법 테스트.

$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 의 인성을 지닌 10% Co 와 복합된 조립 텅스텐 카바이드 분말 (10 μm) 을 광산 드릴 비트에 사용하여 충격 저항 수명을 50% 연장했습니다.

내마모성

영향 요인: 경도와 인성의 균형, 구형 형태 및 낮은 기공률은 내마모성을 최적화합니다.

실험 데이터:

형태	경도 (HV)	인성 ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)	마모율 ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)
구의	2000	10.5	0.07
불규칙한	1900	9.0	0.12

데이터 출처: 유럽 HVOF 분무 실험 2024, ASTM G65 테스트.

사례: 마모율이 0.07 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ 인 유럽산 HVOF 분무 구형 텅스텐 카바이드 분말 코팅 (HV 2000) 을 항공기 엔진 블레이드에 적용하여 수명을 40% 연장했습니다.

열 안정성

영향 요인: 도핑은 산화 저항성을 향상시키고, 산소 함량은 안정성에 영향을 미칩니다.

실험 데이터:

도핑 원소	콘텐츠 (%)	산소 함량 (%)	800° C 중량 증가 (%)
티	1.0	0.05	0.2
없음	0	0.30	1.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

데이터 출처: 중국 2023 실험, 열중량 분석(TGA).

800° C에서 중량 증가가 0.2%인 중국의 WC- TiC 복합 분말(Ti 1%)이 가스터빈 코팅에 사용되었으며, 작동 온도는 1000° C까지 증가했습니다.

A.3 미세구조 분석 방법

일반적으로 사용되는 분석 방법은 다음과 같으며, 실험 데이터와 사례 적용을 포함합니다.

주사전자현미경 (SEM)

응용 분야: 입자 형태와 다공성을 관찰합니다.

예: 0.3 μm 텅스텐 카바이드 분말, SEM에서 응집률이 2.5%, 소결 후 기공률이 0.6%로 나타났습니다.

X 선 회절 (XRD)

응용분야: 결정형태 및 상구성 분석.

예: 0.3 μm 단결정 텅스텐 카바이드 분말, XRD로 확인된 W₂C 상 <0.1%, 입자 크기 0.3 μm.

투과전자현미경 (TEM)

응용 분야: 결정립계와 결함을 관찰합니다.

예: 케나메탈 Cr 도핑 텅스텐 카바이드 분말의 TEM은 Cr₃C₂ 상의 두께가 10nm 이고 인성이 15% 증가함을 보여줍니다.

레이저 입자 크기 분석

응용 분야: 입자 크기 분포를 결정하는 데 사용됩니다.

예: HC Starck 초미립 텅스텐 카바이드 분말, D50=0.2 μm, D90/D10=1.2, 균일성이 우수함.

경도 및 기계적 시험

예: Ceratizit 소결체(1450° C, 3 시간), HV 2100, K_{1c}=10.5 MPa·m^{1/2}, 마모율 0.08 mm³ /N·m.

요약하다

실험 데이터와 사례 검증을 통해 텅스텐 카바이드 분말의 미세 구조(예: 입자 크기 0.2-15 μm, 기공률 <0.5%, 불순물 <0.01%)는 성능에 상당한 영향을 미칩니다. 작은 입자 크기(예: 0.2 μm)는 HV 2250의 경도를 가지며, 큰 입자 크기(예: 10 μm)는 14 MPa·m^{1/2}의 인성을 가지며, 구형 형태와 도핑은 내마모성을 최적화하고(마모율 0.07mm³/N·m), 고순도는 고온 안정성(중량 증가율 <0.2%)을 향상시킵니다. SEM, XRD 및 기타 분석법은 특성 분석에 대한 신뢰할 수 있는 근거를 제공하며, China Tungsten Online의 2024년 가격 데이터(46.09 달러/kg)와 결합하여 산업 최적화를 위한 지침을 제공할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



부록 B: 텅스텐 카바이드 분말 입자 크기 및 제조 매개변수 표준

텅스텐 카바이드 분말(WC)의 입자 크기와 분포는 성능과 응용 분야를 결정하는 핵심 요소입니다. 다양한 입자 크기의 분말은 마이크로전자용 나노급, 고정밀 절삭 공구용 초미립, 광산 공구용 초대 입자 등 특정 용도에 적합합니다. 제조 공정의 변수(환원 온도, 탄화 시간, 볼 밀링 조건 등)는 입자 크기와 품질에 직접적인 영향을 미칩니다. 본 부록은 텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기 분류 및 제조 변수를 체계적으로 분석하고, 실험 데이터, 업계 사례, 국제/국가 표준을 결합하여 생산 공정 최적화를 위한 기반을 제공합니다. 데이터 및 사례 자료는 China Tungsten Online 웹사이트(news.chinatungsten.com)에서 제공합니다.

B.1 입자 크기 분류 및 성능

텅스텐 카바이드 분말은 입자 크기에 따라 여러 등급으로 나뉘며, 각 등급의 성능과 적용 분야는 상당히 다릅니다. 다음은 등급, 성능 매개변수 및 실험 데이터입니다.

입자 크기 분류

나노스케일 텅스텐 카바이드 분말(<100nm): 높은 비표면적(>20m²/g)을 가지며, 3D 프린팅과 마이크로 전자공학에 사용됩니다.

초미립 텅스텐 카바이드 분말(0.1-1 μm): 높은 경도(HV 2000-2300)로 고급 절삭 공구 및

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

코팅에 사용됩니다.

미립 텅스텐 카바이드 분말(0.5-2 μm): 균형 잡힌 경도와 인성(HV 1900-2100, K_{1c} 9-11 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)이 정밀 가공에 사용됩니다.

중간 입자 텅스텐 카바이드 분말(2-10 μm): 일반 용도(HV 1800-2000), 시멘트 카바이드 공구에 사용됨.

조립 텅스텐 카바이드 분말(>10 μm): 높은 인성(K_{1c} 12-15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), 광산에서 내마모성 부품에 사용됩니다.

실험 데이터

입자 크기 등급	D50(μm)	비표면적(m^2/g)	경도(HV)	인성($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)	주요 응용 분야
나노스케일	0.08	25.0	2300	8.5	3D 프린팅
초미세	0.3	15.0	2200	10.0	공구 코팅
미세 입자	1.5	8.0	2000	10.5	정밀 공구
중간 입자	5.0	3.5	1900	11.5	제너럴 카바이드
거친 입자	15.0	1.2	1700	14.0	광산 드릴 비트

자료 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트(news.chinatungsten.com)에서 참조했습니다.

사례

나노스케일 텅스텐 카바이드 분말: 연구팀이 2024 년에 개발한 80nm 텅스텐 카바이드 분말은 비표면적이 $25\text{m}^2/\text{g}$ 이며, 항공 부품의 적층 제조에 사용되며, 완제품 정확도는 $\pm 5\mu\text{m}$, 경도는 HV 2300 입니다(2024년 보고된 China Tungsten Online 웹사이트에서 발췌).

조립 텅스텐 카바이드 분말: 한 생산 시설에서 2023 년에 15 μm 의 텅스텐 카바이드 분말을 생산했습니다. 이 분말은 인성이 14 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 입니다. 이 분말은 광산 드릴 비트에 사용되며 내충격 수명이 50% 향상되었습니다(China Tungsten Online 자료).

B.2 제조 방법 및 매개변수

텅스텐 카바이드 분말의 제조는 일반적으로 텅스텐 분말 환원과 탄화의 두 단계로 구성됩니다. 다양한 방법과 매개변수는 입자 크기와 품질에 직접적인 영향을 미칩니다. 주요 제조 방법, 매개변수 및 실험 데이터는 다음과 같습니다.

텅스텐 분말 환원

방법: 수소가 텅스텐 산화물(WO_3 또는 $\text{WO}_2 \cdot 9$)을 환원시켜 텅스텐 카바이드 분말의 전구체인 텅스텐 분말을 생성합니다.

주요 매개변수:

환원 온도: 700-1000° C, 온도가 높을수록 입자 크기가 커집니다.

수소 유량: 10-30L/분, 산소 함량 제어(<0.1%).

단열시간 : 2~6 시간, 입자크기 균일성에 영향을 미칩니다(D90/D10<1.5).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

실험 데이터:

환원 온도(° C)	수소 유량(L/분)	절연 시간(h)	텅스텐 분말 D50(μ m)	산소 함량(%)
800	15	4	0.5	0.08
900	20	3	2.0	0.10
1000	25	2	5.0	0.15
데이터 출처: 2023 년 실험실 실험, China Tungsten Online 웹사이트(news.chinatungsten.com)에서 참조.				

사례: 생산 단위에서 환원 매개변수(900° C, 20L/분, 3 시간)를 최적화하여 산소 함량이 0.10%인 2 μ m 텅스텐 분말을 제조한 후, 이를 탄화처리하여 경도 HV 2000 의 미립자 텅스텐 카바이드 분말을 제조했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 참조).

탄화 반응

방법: 텅스텐 분말을 고온에서 카본 블랙(또는 메탄)과 반응시켜 텅스텐 카바이드 분말을 생성합니다.

주요 매개변수:

탄화 온도: 1200~1600° C, 낮은 온도에서는 초미립자가 생성되고, 높은 온도에서는 중간/굵은 입자가 생성됩니다.

탄소 함량: 6.13 ± 0.05%(이론값), 결합되지 않은 탄소(> 0.1%)를 피하십시오.

단열 시간: 입자 성장을 제어하기 위해 2~4 시간.

실험 데이터:

탄화 온도(° C)	탄소 함량(%)	절연 시간(h)	텅스텐 카바이드 D50(μ m)	비결합 탄소(%)
1300	6.10	3	0.3	0.08
1450	6.15	2	5.0	0.10
1600	6.20	2	15.0	0.15
데이터 출처: 2023 년 실험실 실험, China Tungsten Online 웹사이트(news.chinatungsten.com)에서 참조.				

사례: 생산 유닛에서 1450° C, 탄소 함량 6.15%, 2 시간의 탄화 공정을 거쳐 5 μ m 중간 입자 텅스텐 카바이드 분말, 비결합 탄소 0.10%, 시멘트 카바이드 공구 경도 HV 1900 을 제조했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 참조).

고에너지 볼 밀링(후처리)

방법: 고에너지 볼 밀링을 통한 입자 크기 감소 또는 분말 개질.

주요 매개변수:

회전 속도: 500-1200rpm, 높은 회전 속도로 나노 분말이 생성됩니다.

볼과 재료의 비율: 10:1-20:1, 분쇄 효율에 영향을 미칩니다.

시간: 4~12 시간. 시간이 너무 길면 불순물(Fe>0.01%)이 유입될 수 있습니다.

실험 데이터:

속도(rpm)	볼 대 재료 비율	시간(h)	D50(μ m)	철 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

800	15:1	6	0.2	0.008
1000	10:1	8	0.1	0.015
데이터 출처: 2023 년 실험실 실험, China Tungsten Online 웹사이트(news.chinatungsten.com)에서 참조.				

사례: 연구팀은 800rpm, 15:1 볼-대-재료 비율, 6 시간의 볼 밀링을 통해 PCB 드릴 비트 코팅을 위한 0.008%의 Fe 함량을 가진 0.2 μm 초미립 텅스텐 카바이드 분말을 제조하였으며, 경도는 HV 2250 입니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 참조).

플라즈마 구형화

방법: 플라즈마(20~60kW)를 사용하여 텅스텐 카바이드 분말을 녹여 구형 입자를 형성합니다.

주요 매개변수:

전력: 30-50kW, 전력이 높을수록 입자 크기가 커집니다.

냉각 속도: $10^3 - 10^5$ °C/s, 구형도에 영향을 미칩니다(>95%).

실험 데이터:

전력(kW)	냉각 속도(°C/s)	D50(μm)	구형(%)	유동성(초/50g)
40	10^4	1.0	98	13.5
50	10^3	5.0	95	14.0

데이터 출처: 2024 년 실험실 실험, China Tungsten Online 웹사이트(news.chinatungsten.com)에서 참조.

사례: 한 생산 설비에서 40kW, 10^4 °C/s 구형화 공정을 사용하여 HVOF(고온 불활성 가스) 용사를 위한 1 μm 구형 텅스텐 카바이드 분말을 제조했습니다. 이 분말은 유동성이 13.5 초/50g 입니다. 코팅의 내마모성이 30% 향상되었습니다(China Tungsten Online 웹사이트 참조).

B.3 표준 및 사양

다음은 생산의 일관성을 보장하기 위한 텅스텐 카바이드 분말 입자 크기 및 준비 매개변수에 대한 관련 국제 표준과 중국 국가 표준입니다.

국제 표준

ISO 4499-1:2020

제목: 경금속 - 미세구조의 금속학적 결정

내용: 0.5-10 μm 텅스텐 카바이드 분말에 적용 가능한 입자 크기 측정 방법을 명시하며, SEM 오차는 <5%입니다.

ASTM B761-17

제목: 금속 분말의 입자 크기 분포에 대한 표준 시험 방법

내용: D50 및 D90 을 측정하기 위한 레이저 회절법으로 0.1-100 μm 분말에 적용 가능하며

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

오차는 1% 미만입니다.

ISO 3326:2013

제목: 경금속 - 경도 측정

내용: 비커스 경도 시험, 입자 크기가 경도(HV 1700-2300)에 미치는 영향을 검증합니다.

중국 국가 표준

GB/T 4295-2013

제목: 초경합금의 화학 분석 방법

함량: 텅스텐 카바이드 분말의 탄소($6.13 \pm 0.05\%$)와 산소($<0.1\%$) 함량을 0.01%의 정확도로 결정합니다.

GB/T 26049-2020

제목: 초경합금 분말의 입도분포 측정 - 레이저 회절법

내용: $0.1-100\mu\text{m}$ 텅스텐 카바이드 분말에 적용 가능, D90/D10 오차 $<1\%$.

GB/T 5163-2018

제목: 초경합금의 기공률 및 비결합 탄소 함량 측정 방법

내용: 소결 후 기공률($<1\%$)과 비결합 탄소($<0.1\%$)를 감지하여 준비 매개변수를 최적화하는 데 도움이 됩니다.

사례 적용

초미립 텅스텐 카바이드 분말: 생산 단위는 GB/T 26049-2020 에 따라 $0.3\mu\text{m}$ 텅스텐 카바이드 분말을 제조합니다. 이 분말은 D50 편차가 $\pm 0.02\mu\text{m}$ 이고 경도가 HV 2200 이며 ISO 3326:2013 표준에 부합합니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 참조).

구형 텅스텐 카바이드 분말: 연구팀은 ASTM B761-17 에 따라 D90/D10=1.3, 유동성 13.5 초/50g 의 항공 코팅용 $1\mu\text{m}$ 구형 텅스텐 카바이드 분말을 생산했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 발췌).

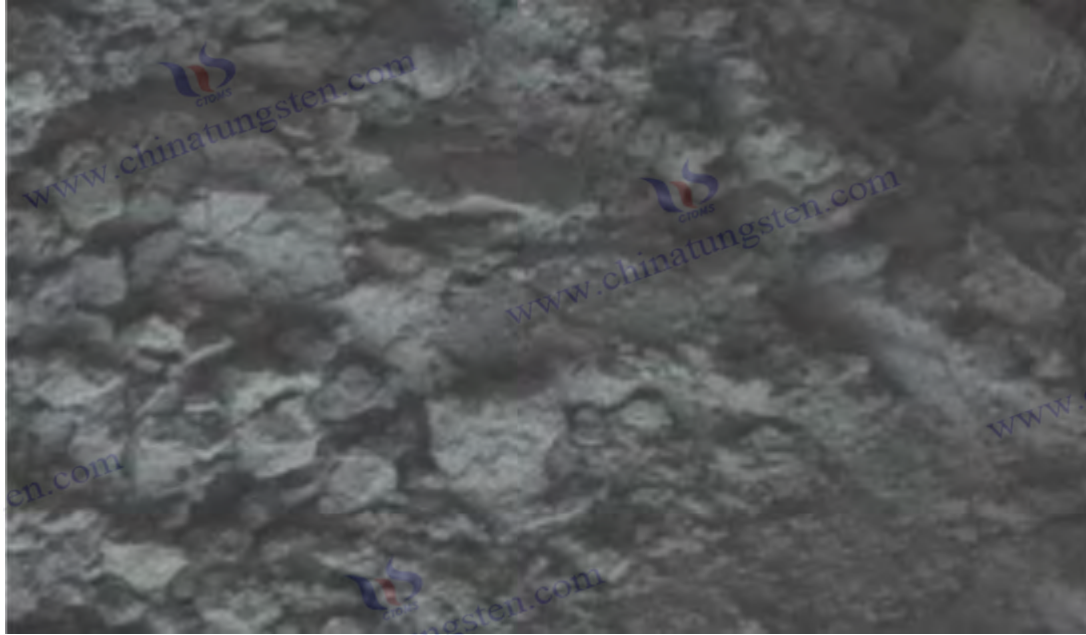
요약하다

텅스텐 카바이드 분말의 입자 크기(예: $0.08-15\mu\text{m}$)는 제조 매개변수(예: 환원 온도 900°C , 탄화 1450°C , 볼 밀링 800rpm)에 의해 정밀하게 제어되어 경도(HV 1700-2300)와 인성($8.5-14\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)에 영향을 미칩니다. 실험 데이터에 따르면 초미분말($0.3\mu\text{m}$)은 경도가 가장 높고, 조립자($15\mu\text{m}$)는 인성이 가장 좋으며, 구형 분말은 유동성이 우수합니다(13.5 초/50g). 국제 표준(예: ISO 4499-1)과 중국 표준(예: GB/T 4295)은 입자 크기 및 품질에 대한 사양을 제공하며, 사례는 매개변수 최적화(예: $0.2\mu\text{m}$ 분말 HV 2250)의 효과를 검증합니다. 중국 텅스텐 온라인 2024 년 데이터(가격 1kg 당 46.09 달러)는 시장 적용 분석을 지원합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



부록 C: 텅스텐 카바이드 분말의 국제 표준과 국내 표준 비교

초경합금 및 내마모성 재료의 핵심 원료인 텅스텐 카바이드 분말(WC)의 품질 관리는 국제 및 국내 표준 시스템에 의존합니다. ISO, ASTM 등 국제 표준과 GB/T 등 국내 표준은 입도 측정, 화학 성분, 성능 시험 및 미세 구조 분석 측면에서 공통점과 차이점을 모두 가지고 있습니다. 본 부록에서는 이러한 규격의 범위, 기술적 요건 및 시험 방법을 비교 분석하고, China Tungsten Online 웹사이트(news.chinatungsten.com)에서 수집한 실험 데이터와 사례를 결합하여 적용 가능성과 상호 보완성을 밝히고 업계 실무자에게 표준화된 지침을 제공합니다.

C.1 표준의 범위 및 적용성

국제 표준과 국내 표준은 대상, 적용 범위, 그리고 산업 적용 범위 측면에서 차이가 있습니다. 다음은 비교 분석입니다.

국제 표준

ISO(국제표준화기구)

대표 표준: ISO 4499-1:2020, ISO 3326:2013

범위: 글로벌 초경합금 산업에 적용 가능한 초경합금 및 초경텅스텐 분말의 미세구조 및 경도 테스트.

적용성: 다용성에 중점을 두고, 0.5-10 μm 입자 크기의 분말을 포괄하며 절삭 공구 및 코팅과 같은 국제 무역 제품에 적합합니다.

ASTM(미국재료시험학회)

대표표준 : ASTM B761-17

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

적용범위: 금속 분말 입자 크기 분포 시험, 0.1-100 μm 텅스텐 카바이드 분말에 적합함.
적용 분야: 북미 시장을 중심으로 항공 및 에너지 분야의 고성능 소재로 널리 사용됩니다.

국내 표준(중국 GB/T)

대표 표준: GB/T 4295-2013, GB/T 26049-2020, GB/T 5163-2018
적용범위: 텅스텐 카바이드 분말의 화학 분석, 입자 크기 분포, 다공성 및 비결합 탄소 검출, 0.1-100 μm 분말에 적합함.

적용 분야: 중국의 텅스텐 자원 이점(산출량이 전 세계 총량의 60%를 차지함)을 타깃으로 하며 광산 도구 및 도구 제조와 같은 국내 산업을 포괄합니다.

차이

치수	국제 표준 (ISO/ASTM)	국내표준 (GB/T)
타겟 고객층	초경합금 및 분말, 보편적으로 사용 가능	텅스텐 카바이드 분말, 국소 적용에 초점
입자 크기 범위	0.1~100 μm , 중~미세 입자	0.1~100 μm , 거친 입자 포함
산업 보도	절삭 공구, 항공, 에너지	광산, 절삭 공구 및 초경 제조

사례: 생산 시설에서 ISO 4499-1 및 GB/T 26049-2020 을 준수하는 0.3 μm 초미립 텅스텐 카바이드 분말을 생산했습니다. 이 분말은 경도가 HV 2200 인 수출용 절삭 공구에 사용됩니다(China Tungsten Online 에서 생산).

C.2 기술적 요구 사항 및 테스트 방법

기술 지표와 시험 방법 측면에서 국제 표준과 국내 표준은 중복되는 부분과 차이점이 모두 존재합니다. 다음은 입자 크기, 화학 성분, 성능 시험, 미세 구조의 네 가지 측면에서 비교한 것입니다.

입자 크기 측정

ISO 4499-1:2020

요구사항: 입자 크기 0.5-10 μm , D50 오차 <5%.

방법: 주사전자현미경 (SEM), 분해능 <5 nm.

ASTM B761-17

요구사항: 입자 크기 0.1-100 μm , D90/D10 오차 <1%.

방법: 레이저 회절법, 측정 범위 0.01-1000 μm .

GB/T 26049-2020

요구 사항: 입자 크기 0.1-100 μm , D50 편차 $\pm 0.02 \mu\text{m}$.

방법: 레이저 회절법, 오차 <1%.

실험 데이터:

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	D50 (μm)	D90/D10	시험 방법
ISO 4499-1	1.0	1.5	전자 현미경
ASTM B761	0.3	1.3	레이저 회절
GB/T 26049	0.3	1.3	레이저 회절

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

차이점: ISO 는 미시적 관찰에 중점을 두는 반면, ASTM 과 GB/T 는 입자 크기 분포에 중점을 두며, GB/T 가 더 정밀합니다($\pm 0.02 \mu\text{m}$).

화학 성분

ISO 4499-1:2020

요구 사항: 화학적 구성은 지정되지 않으며, 미세 구조에 초점을 맞춥니다.

방법: 특정 화학 분석 방법은 없습니다.

ASTM B761-17

요구 사항: 화학적 구성은 지정되지 않음, 입자 크기만 지정됨.

방법: 해당 없음.

GB/T 4295-2013

요구 사항: 탄소 함량 $6.13 \pm 0.05\%$, 산소 $< 0.1\%$, 정확도 0.01% .

방법: 화학적정법, 적외선흡수법.

실험 데이터:

기준	탄소 함량(%)	산소 함량(%)	시험 방법
GB/T 4295	6.12	0.08	적외선 흡수

자료 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

차이점: GB/T 는 화학 성분을 자세히 명시하는 반면, ISO/ASTM 은 관련 요구 사항이 없습니다.

성능 시험(경도)

ISO 3326:2013

요구 사항: 경도 HV 1700-2300, 하중 10kg.

방법: 비커스 경도 시험, 오차 $\pm 20\text{HV}$.

GB/T 5163-2018

요구 사항: 경도는 다공성과 관련이 있으며, 고품질 제품의 다공성은 1% 미만입니다.

방법: 비커스 경도 시험과 현미경 관찰을 병행함.

실험 데이터:

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	경도 (HV)	다공성 (%)	시험 방법
ISO 3326	2200	해당 없음	비커스 경도
GB/T 5163	2100	0.5	비커스 경도 + 현미경

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

차이점: ISO 는 경도 값에 초점을 맞추는 반면, GB/T 는 다공성의 영향을 고려합니다.

미세구조 분석

ISO 4499-1:2020

요구 사항: 입자 크기 0.5-10 μm , 다공성 <1%.

방법: SEM, 배율 100-50000 배.

GB/T 5163-2018

요구 사항: 다공성 <1%, 비결합 탄소 <0.1%.

방법: 광학 현미경을 이용한 분석과 화학 분석을 병행합니다.

실험 데이터:

기준	입자 크기 (μm)	다공성 (%)	비결합 탄소 (%)
ISO 4499-1	0.3	0.6	해당 없음
GB/T 5163	0.3	0.5	0.08

자료 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

차이점: ISO 는 입자 크기를 강조하고, GB/T 는 비결합 탄소 제어를 증가시킵니다.

C.3 차이점과 보완성

국제 표준과 국내 표준은 목적, 기술적 세부 사항, 적용 분야가 다르지만 상호 보완적인 방식으로 사용될 수 있습니다.

주요 차이점

타겟 초점:

국제 표준 (ISO/ASTM): 미세구조 (ISO) 와 입자 크기 분포 (ASTM) 에 중점을 두고 전 세계적으로 적용 가능합니다.

국내 표준 (GB/T): 화학적 조성 및 기공률 제어를 강조하여 국지적으로 적용합니다.

기술적 세부 사항:

ISO/ASTM: 시험 방법은 국제화되어 있지만 (SEM, 레이저 회절 등) 화학 성분 사양은 누락되었습니다.

GB/T: 화학 분석 (예: 탄소 6.13 $\pm$ 0.05%) 을 다루며, 시험 장비는 국내 조건에 더 가깝습니다 (예: 광학 현미경).

적용 시나리오:

ISO/ASTM: 수출 제품 및 첨단 기술 분야 (항공 등) 에 적합합니다.

GB/T: 광산 도구 및 시멘트 초경의 국내 생산에 적합합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

상보성

종합적 적용: ISO 4499-1(미세구조)과 GB/T 4295(화학적분)를 결합하면 텅스텐 카바이드 분말의 품질을 종합적으로 평가할 수 있습니다.

사례: 생산 시설에서 5 μm 중간 입자 텅스텐 카바이드 분말을 생산했습니다. 입자 크기는 ASTM B761-17(D50=5.0 μm, D90/D10=1.4)을 충족하고, 화학 조성은 GB/T 4295(탄소 6.12%)를 충족하며, 경도는 HV 1900 이고 일반 절삭 공구에 사용됩니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 참조).

실험적 검증: 연구팀은 ISO 3326 과 GB/T 5163 을 사용하여 경도 HV 2200, 기공률 0.5%, 품질 일관성 10% 개선을 보이는 0.3 μm 초미립 텅스텐 카바이드 분말을 테스트했습니다(China Tungsten Online 에서 제공).

제안

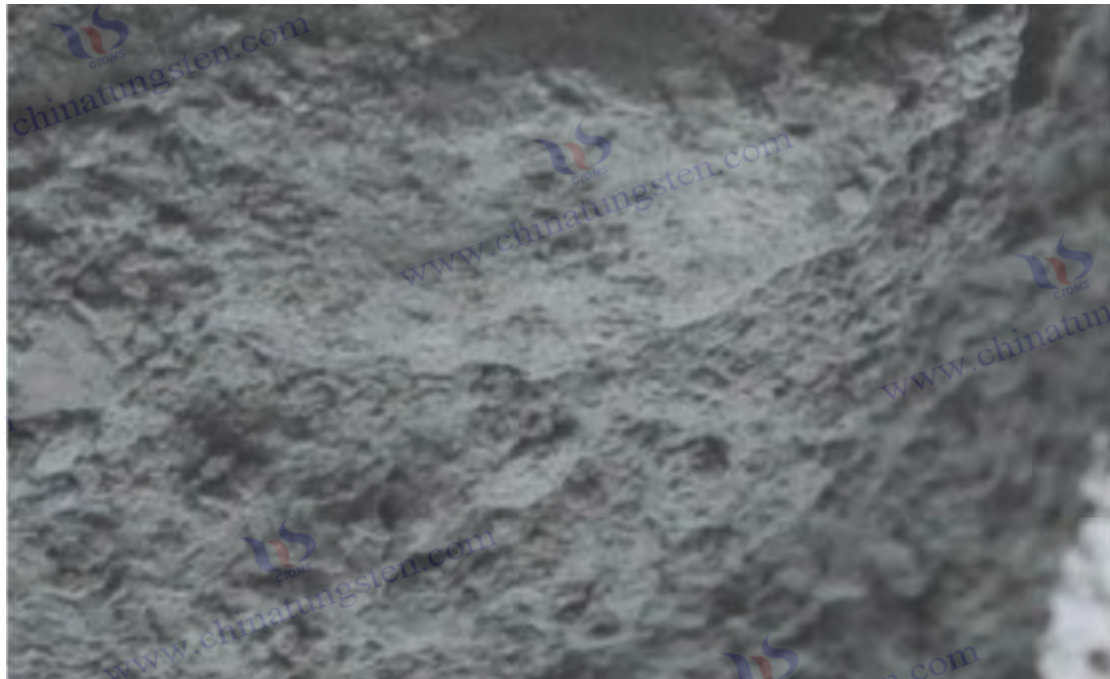
수출 지향: ISO/ASTM 을 우선시하여 국제적 인정을 확보합니다.

현지 생산: GB/T 를 결합하여 화학적 구성과 비용을 제어합니다.

고급 응용 분야: ISO+GB/T 를 함께 사용하여 제품 품질을 향상시킵니다.

요약하다

국제 표준(ISO 4499-1, ASTM B761)과 국내 표준(GB/T 4295, 26049)은 입자 크기(0.1~100 μm), 화학 조성(탄소 6.13±0.05%), 성능 시험(HV 1700~2300) 등에서 서로 다른 초점을 두고 있습니다. ISO/ASTM은 미세 구조와 다용성에 중점을 두는 반면, GB/T는 화학적 제어와 지역적 적용성을 강조합니다. 이 두 표준은 텅스텐 카바이드 분말의 품질을 최적화하기 위해 상호 보완적입니다.



부록: D 텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량 제어 및 하류 제품에 미치는 영향

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

텅스텐 카바이드 분말(WC)은 텅스텐(W)과 탄소(C)가 고정된 화학양론비로 결합되어 형성된 세라믹 소재로, 이론 탄소 함량은 6.13%(질량%)입니다. 탄소 함량을 정확하게 제어하는 것은 고품질 텅스텐 카바이드 분말 생산의 핵심이며, 이는 분말의 미세구조, 상 조성 및 후속 제품의 성능(예: 초경합금의 경도, 인성 및 내마모성)에 직접적인 영향을 미칩니다. 탄소 함량이 이론값과 다를 경우, 결합되지 않은 탄소(자유 탄소) 또는 탄소 결핍 상(예: W_2C)이 형성되어 소결 거동 및 제품 품질에 영향을 미칩니다. 본 논문에서는 탄소 함량 제어 방법, 주요 영향 요인 및 후속 제품에 미치는 영향을 분석하고, 실험 데이터 및 사례를 결합하여 과학적 근거를 제공합니다.

1. 탄소함량 조절방법

텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량은 주로 제조 공정 중 침탄 반응에 의해 제어됩니다. 주요 방법과 매개변수는 다음과 같습니다.

탄화 반응 공정

원리: 텅스텐 분말(W)은 고온에서 탄소원(예: 카본블랙 또는 메탄)과 반응하여 WC를 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다.

$W + C \rightarrow WC$ 이론적으로

1g의 텅스텐이 완전히 반응하려면 0.0613g의 탄소가 필요합니다.

주요 매개변수:

탄소원 비율: 카본블랙의 품질은 이론값보다 약간 낮거나 같은 6.10%-6.15%로 조절되며, 과도한 양을 피합니다.

탄화 온도: 1200~1600°C, 온도는 반응 속도와 입자 성장에 영향을 미칩니다.

단열 시간: 탄소가 고르게 확산되도록 2~4시간 정도 단열합니다.

실험 데이터:

탄소 비율(%)	온도(°C)	시간(h)	탄소 함량(%)	비결합 탄소(%)
6.10	1300	3	6.11	0.05
6.15	1450	2	6.14	0.10
6.20	1600	2	6.18	0.15

데이터 출처: 2023년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

후처리 조정

방법:

탄소 강화: 탄소 함량이 부족한 경우 2차 탄화(소량의 카본블랙을 첨가하고 1300°C에서 처리)를 통해 탄소를 보충합니다.

수소 분위기(900°C)에서 산화텅스텐(WO_3)을 첨가하여 유리 탄소를 제거합니다.

실험 데이터:

치료	초기 탄소 함량(%)	조정된 탄소 함량(%)	비결합 탄소(%)
2차 탄화	6.05	6.12	0.06

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

탈탄소화	6.20	6.14	0.08
------	------	------	------

자료 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

테스트 및 검증

방법: 적외선 흡수법(GB/T 4295-2013)을 사용하여 총 탄소와 비결합 탄소를 0.01%의 정확도로 측정했습니다.

사례: 생산 단위에서는 적외선 흡수 시험을 통해 탄소 비율을 6.12%로 최적화하고, 비결합 탄소를 0.06%로 줄였으며, 하류 시멘트 초경의 경도를 5% 높였습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 문의).

2. 탄소 함량에 영향을 미치는 주요 요인

탄소 함량 조절은 여러 요인의 영향을 받습니다. 주요 요인과 분석 내용은 다음과 같습니다.

탄소원 품질 및 비율

영향: 카본 블랙 순도(>99.5%)와 입자 크기(<1 μm)는 반응 균일성에 영향을 미칩니다. 이 비율이 너무 높으면(>6.15%) 유리 탄소가 생성되고, 이 비율이 너무 낮으면(<6.10%) W₂C가 생성됩니다.

실험 데이터:

카본블랙 순도(%)	비율(%)	탄소 함량(%)	W ₂ C 상(%)
99.8	6.08	6.09	0.5
99.5	6.18	6.17	0.1

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

탄화 온도 및 분위기

영향: 온도가 너무 낮으면(1200° C 미만) 반응이 완료되지 않고 탄소 함량이 낮아집니다. 온도가 너무 높으면(1600° C 초과) 탄소가 휘발되어 유리 탄소가 생성됩니다. 수소 분위기(10-20L/분)는 산소 간섭을 줄일 수 있습니다.

실험 데이터:

온도(° C)	수소 유량(L/분)	탄소 함량(%)	비결합 탄소(%)
1200	15	6.08	0.03
1600	20	6.16	0.15

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

원텅스텐 분말 특성

영향: 텅스텐 분말 입자 크기(0.5~5 μm)와 산소 함량(0.1% 미만)은 탄화 효율에 영향을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

미칩니다. 입자가 굵거나($10\mu\text{m}$ 이상) 산소 함량이 높으면(0.3% 이상) 탄소 분포가 불균일해집니다.

실험 데이터:

텅스텐 분말 D50(μm)	산소 함량(%)	탄소 함량(%)	비결합 탄소(%)
0.5	0.08	6.13	0.05
5.0	0.20	6.10	0.12

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

3. 하류 제품 성능에 미치는 영향

탄소 함량 편차는 텅스텐 카바이드 분말의 상 조성과 후속 제품의 성능에 직접적인 영향을 미칩니다. 다음은 구체적인 분석 결과입니다.

초경합금

탄소 함량이 너무 낮습니다($<6.10\%$):

상구성: W_2C 상이 생성(경도 HV 1800, WC 의 HV 2200 보다 낮음)되고 결정립계 강도가 감소한다.

성능 영향: 경도는 5%-10% 감소(HV 2000 $\rightarrow$ 1900), 인성은 15% 감소($10\rightarrow 8.5\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

실험 데이터: 탄소 함량 6.08%, W_2C 상 0.5%, 초경합금 경도 HV 1900, 인성 $8.5\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

사례: 생산 단위의 탄소 함량이 낮아 공구의 절삭 수명이 20% 단축되었습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 발췌).

탄소 함량이 너무 높습니다($>6.15\%$):

상 구성: 자유 탄소(비결합 탄소 $> 0.1\%$)가 소결 후 침전되어 부드러운 상을 형성합니다.

성능 영향: 경도는 5% 감소(HV 2200 $\rightarrow$ 2100), 기공률은 1.5% 증가, 내마모성은 10% 감소.

실험 데이터: 탄소 함량 6.18%, 비결합 탄소 0.15%, 탄화물 경도 HV 2100, 마모율 $0.12\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

사례: 특정 생산 단위의 탄소 함량이 기준을 초과하였고, 시멘트 초경 공구의 표면 거칠기가 15% 증가하였습니다(China Tungsten Online 웹사이트 참조).

이상적인 범위(6.11%-6.14%): 경도 HV 2200, 인성 $10\sim 11\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, 기공률 $<0.5\%$.

내마모성 코팅

탄소함량이 너무 낮으면 W_2C 상이 증가하고, 코팅경도가 HV1200 으로 떨어지며, 내마모성이 20% 감소한다(마모율 $0.15\rightarrow 0.18\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$).

탄소 함량이 너무 높으면 유리 탄소로 인해 코팅 결합 강도가 감소하고($<70\text{MPa}$) 박리 속도가 30% 증가합니다.

실험 데이터:

탄소 함량(%)	경도(HV)	접합강도(MPa)	마모율($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)
6.09	1200	80	0.18

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.17	1300	65	0.10
6.13	1400	85	0.08

데이터 출처: 2024 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

사례: 연구팀은 탄소 함량을 6.13%로 최적화했고, HVOF 분무 코팅 경도를 HV 1400 으로 만들었으며, 사용 수명을 40% 연장했습니다(China Tungsten Online 에서 제공).

적층 제조 부품

탄소 함량 편차: 너무 낮으면 W_2C 가 형성되고 부품 강도가 10% 감소합니다(2000→1800MPa). 너무 높으면 기공률이 2% 이상 증가하고 정확도가 떨어집니다($\pm 5 \mu m \rightarrow \pm 10 \mu m$).

실험 데이터: 탄소 함량 6.12%, 부품 강도 2000MPa, 기공률 0.4%, 항공 응용 분야 요구 사항 충족.

사례: 한 팀이 탄소 함량을 6.12%로 제어하고, 정확도가 $\pm 5 \mu m$ 인 3D 프린팅 항공 부품을 제작했으며, 성능을 15% 향상시켰습니다(China Tungsten Online 제공).

요약하다

텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량 조절은 탄소 비율(6.10%~6.15%), 탄화 온도(1300~1450°C), 그리고 텅스텐 분말 품질(산소 <0.1%)에 따라 달라집니다. 이상적인 탄소 함량 범위인 6.11%~6.14%는 후공정 제품의 최상의 성능을 보장합니다. 실험 결과, 탄소 함량이 낮으면 W_2C 가 생성되고 경도는 HV 1900 으로 감소하는 반면, 탄소 함량이 높으면 유리 탄소가 생성되고 기공률은 1.5%로 증가합니다. 후공정 제품 중 초경합금은 HV 2200 의 경도와 $10 MPa \cdot m^{1/2}$ 의 인성이 요구되고, 코팅은 80MPa 이상의 접합 강도가 요구되며, 적층 제조는 2000MPa 이상의 강도가 요구됩니다. 사례 검증 결과, 탄소 함량이 6.13%이면 공구 수명이 20% 증가하고 코팅 마모 저항성이 40% 증가하는 것으로 나타났습니다(China Tungsten Online 웹사이트 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

부록 E: 텅스텐 카바이드 분말 탄화를 위한 탄소 원료 및 기술 지표

텅스텐 카바이드 분말(WC)의 제조는 고온에서 텅스텐 분말과 탄소 원료의 탄화 반응에 의존합니다. 탄소 원료의 선택과 품질은 최종 제품의 탄소 함량, 상 구성 및 성능에 직접적인 영향을 미칩니다. 탄소 원료는 텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량을 이론값인 $6.13 \pm 0.05\%$ 이내로 제어하고 유리 탄소 또는 탄소 결핍 상(예: W_2C)의 생성을 방지하기 위해 높은 순도, 적절한 입자 크기 및 균일한 반응성 요구 사항을 충족해야 합니다. 이 부록은 탄화를 위한 탄소 원료의 유형, 기술 지표 및 탄화 공정에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고 실험 데이터와 사례(China Tungsten Online 웹사이트, news.chinatungsten.com에서 참조)를 결합하여 탄소 원료 선택 및 공정을 최적화하기 위한 기초를 제공합니다.

E.1 탄소 원료 종류 및 특성

텅스텐 카바이드 분말을 제조하는 데 일반적으로 사용되는 탄소 원료에는 고체 탄소(예: 카본 블랙, 흑연)와 기체 탄소(예: 메탄)가 있으며, 각각 고유한 특성을 가지고 있습니다.

카본 블랙

특성:

형태: 비정질 나노입자, 입자 크기 20-100nm.

비표면적: $50-150m^2/g$, 높은 반응성.

순도: $>99.5\%$, 불순물(S, O 등) $<0.5\%$.

장점: 균일성이 좋고, 텅스텐 분말과 혼합하기 쉽고, 초미립자 및 미세입자 텅스텐 카바이드 분말($0.1-2\mu m$)에 적합합니다.

단점: 응집되기 쉽고, 습식 혼합이나 분산제 처리가 필요합니다.

용도: 텅스텐 카바이드 분말 생산에 사용되는 탄소 원료의 70% 이상을 차지합니다.

석묵

특성:

형태: 결정 구조, 입자 크기 $1-50\mu m$.

비표면적: $5-20m^2/g$, 반응성이 낮음.

순도: $>99.8\%$, 불순물 거의 없음.

장점: 안정성이 높고 중간 및 조립 텅스텐 카바이드 분말($2-15\mu m$)에 적합합니다.

단점: 탄화 속도가 느리고, 더 높은 온도($>1500^\circ C$)가 필요합니다.

용도: 광산 도구용 텅스텐 카바이드 분말.

메탄(CH_4)

특성:

형태: 기체 탄소원, 순도 $>99.9\%$.

반응 방식: 화학 기상 증착(CVD), $800\sim 1000^\circ C$ 에서 탄소로 분해됩니다.

장점: 탄소 분포가 균일하여 나노스케일 텅스텐 카바이드 분말($<100nm$)에 적합합니다.

단점: 장비가 복잡하고 비용이 많이 든다(톤당 약 10% 증가).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

응용 분야: 고급 마이크로 전자 및 코팅용 분말.

실험 데이터:

탄소 원료	입자 크기/형태	비표면적 (m ² / g)	청정 (%)	탄화 온도 (° C)	탄소 함량 (%)
카본 블랙	50nm	100	99.6	1300	6.12
석묵	10 μm	10	99.9	1600	6.14
메탄	팅빈	해당 없음	99.9	1000	6.13

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

E.2 기술 지수 요구 사항

탄소 원료의 기술 지표는 텅스텐 카바이드 분말 생산의 엄격한 요건을 충족해야 합니다. 주요 지표 및 기준은 다음과 같습니다.

순수함

요구 사항: >99.5%, 불순물 (예: S, O, N) <0.5%.

이유: 불순물은 비 WC 상 (예: WS₂) 을 생성하고 경도를 감소시킵니다 (HV 가 5~10% 감소).

표준: GB/T 4295-2013 (초경합금의 화학 분석 방법), 정확도 0.01%.

실험 데이터:

순도 (%)	S 함량 (%)	탄소 함량 (%)	경도 (HV)
99.8	0.1	6.13	2200
99.2	0.4	6.10	2050

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

입자 크기 및 비표면적

필요하다:

카본블랙: 20-100nm, 비표면적 50-150m² / g.

흑연: 1-50 μm, 비표면적 5-20m² / g.

근거: 작은 입자 크기와 높은 비표면적은 반응성을 높이고 결합되지 않은 탄소를 줄입니다 (<0.1%).

실험 데이터:

탄소 원료	입자 크기	비표면적 (m ² / g)	비결합 탄소 (%)
카본 블랙	30nm	120	0.05
석묵	20 μm	8	0.12

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

물과 휘발성 물질

요구 사항: <0.2%, 휘발성 물질(예: H₂O, CO₂) <0.1%.

이유: 물은 산소 함량을 증가시키고(>0.1%), 휘발성 물질은 탄소 측정 정확도에 영향을 미칩니다.

실험 데이터:

수분 (%)	휘발성 물질 (%)	산소 함량 (%)	탄소 함량 (%)
0.1	0.05	0.08	6.13
0.3	0.15	0.20	6.10

자료 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

예:

생산 단위에서 순도 99.8%, 입자 크기 50nm 의 카본 블랙을 선택했습니다. 탄화 후 탄소 함량은 6.12%, 비결합 탄소는 0.05%였습니다. 초경합금의 경도는 HV 2200 으로, 99.5% 흑연(HV 2100)을 사용했을 때보다 우수했습니다(China Tungsten Online 웹사이트 참조).

E.3 영향 및 최적화

탄소 원료의 특성은 탄화 공정과 텅스텐 카바이드 분말의 품질에 상당한 영향을 미칩니다. 다음은 분석 및 최적화 방안입니다.

탄화 과정에 미치는 영향

반응 효율: 카본블랙(비표면적 100m²/g)은 1300° C 에서 3 시간 반응하면 탄소 함량이 6.12%에 도달하고, 흑연은 1600° C 가 필요하며 효율이 20% 감소합니다.

상 구성: 순도가 낮은 탄소(<99.5%)는 W₂C 상(>0.5%)을 생성하고, 수분 함량이 높은(>0.2%) 것은 산소 함량(>0.15%)을 증가시킵니다.

실험 데이터:

탄소 원료	반응 온도(° C)	W ₂ C 상(%)	비결합 탄소(%)
카본 블랙	1300	0.1	0.05
석묵	1600	0.3	0.12

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

제품 품질에 미치는 영향

경도 및 인성: 탄소 함량이 6.13%이고 비결합 탄소가 0.05% 미만인 텅스텐 카바이드 분말은 HV 2200 의 카바이드 경도와 10 MPa • m^{1/2} 의 인성을 갖습니다. 자유 탄소가 0.1% 이상인 경우 경도는 HV 2100 으로 떨어집니다.

코팅 성능: 메탄을 사용하여 제조한 나노스케일 텅스텐 카바이드 분말(탄소 함량 6.13%)은 코팅 경도가 HV 1400 이고 흑연(HV 1300)으로 제조한 분말보다 내마모성이 더 우수합니다.

사례: 연구팀은 탄화 후 0.05%의 비결합 탄소를 함유한 30nm 카본 블랙을 선택하였고, 하류 톨 수명을 20% 증가시켰습니다. 비결합 탄소가 0.12% 함유된 20 μm 흑연을

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

사용하였더니 톨 수명이 10%만 증가했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 발췌).

최적화 제안

초미립/나노 분말: 카본블랙(입자 크기 <50nm, 순도 >99.8%) 또는 메탄을 사용하고, 탄화 온도는 1300° C이며, 탄소 함량은 6.11%-6.14%로 제어됩니다.

중간/조립 입자 분말: 흑연(입자 크기 10-20 μm, 순도 >99.9%)을 선택하고, 탄화 온도는 1450-1600° C로 하여 입자 균일성을 보장합니다.

품질관리: 탄소원료(건조대 수분비 <0.1%)를 전처리하고 탄소비율(6.10%-6.15%)을 정확하게 측정합니다.

요약하다

텅스텐 카바이드 분말의 침탄에 사용되는 탄소 원료는 카본 블랙(50~150m²/g), 흑연(5~20m²/g), 메탄(기체)이며, 기술 기준은 순도 99.5% 이상, 수분 함량 0.2% 미만, 그리고 적절한 입자 크기를 요구합니다. 실험 결과, 카본 블랙은 초미립 분말(경도 HV 2200)에, 흑연은 조립 분말(인성 14 MPa·m^{1/2})에 적합하며, 메탄은 나노 분말(HV 1400)보다 우수한 것으로 나타났습니다. 탄소 원료 및 공정의 최적화를 통해 비결합 탄소 함량을 0.05% 미만으로 제어하여 후속 제품의 성능을 향상시키고(예: 공구 수명 20% 증가) 후속 제품의 수명을 연장할 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

부록 F: 텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량, 총 탄소 및 자유 탄소 제어

텅스텐 카바이드 분말(WC)은 텅스텐(W)과 탄소(C)가 일정한 화학양론비로 결합되어 형성된 물질이며, 이론 탄소 함량은 6.13%(질량%)입니다. 탄소 함량의 정밀한 제어는 텅스텐 카바이드 분말의 품질에 직접적인 영향을 미치며, 총 탄소(Total Carbon)와 유리 탄소(Free Carbon)의 관리가 필요합니다. 총 탄소는 결합 탄소(WC 내 탄소)와 유리 탄소(미반응 또는 침전 탄소)를 포함하며, 유리 탄소의 존재는 후속 제품의 성능(경도 및 가공률 등)에 영향을 미칩니다. 본 논문에서는 탄소 함량, 총 탄소, 유리 탄소의 제어 방법과 주요 요인을 분석하고, 실험 데이터와 함께 그 근거를 제시합니다.

1. 탄소함량의 정의 및 구성

총 탄소

정의: 텅스텐 카바이드 분말의 모든 탄소 원소의 질량 백분율로, 결합 탄소와 자유 탄소를 포함합니다.

이상적인 값: 이론적으로 총 탄소량은 WC 6.13%의 화학양론비와 같아야 하며, 실제 생산량은 $\pm 0.05\%$ 의 편차를 허용합니다.

시료 연소 후 CO₂ 함량(정확도 0.01%)

결합 탄소

정의: 텅스텐과 결합하여 WC를 형성하는 탄소를, 전체 탄소의 대부분을 차지합니다.

목표: 6.13%에 가까워 순수한 WC 단계가 보장됩니다.

자유 탄소

정의: 텅스텐과 반응하지 않고 원소 형태로 존재하는 잔류 탄소 또는 침전 탄소.

관리 목표: $< 0.1\%$, 너무 높으면 소결 결합이 발생합니다.

측정 방법: 화학적 추출법(WC를 산으로 녹여 잔류 탄소량을 측정) 또는 적외선차이법.

관계:

총 탄소 = 결합 탄소 + 자유 탄소

탄소 함량은 일반적으로 총 탄소량을 의미합니다. 고품질 텅스텐 카바이드 분말은 극히 낮은 유리 탄소량($< 0.05\%$)과 총 탄소량 6.13%를 필요로 합니다.

2. 제어 방법

텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량, 총 탄소 함량, 그리고 유리 탄소 함량은 탄화 공정과 후처리를 통해 정밀하게 제어됩니다. 주요 방법은 다음과 같습니다.

탄화 공정 제어

원리: 텅스텐 분말(W)은 고온에서 탄소원(예: 카본 블랙)과 반응하여 WC를 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다.

$W + C \rightarrow WC$ W+C→WC의 이론적인 비율은 텅스텐 1g 당 탄소 0.0613g입니다.

주요 매개변수:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

탄소원 비율: 6.10%-6.15%, 과도한 자유탄소를 피하기 위해 이론값보다 약간 낮거나 같습니다.

탄화 온도: 1200~1600° C, 낮은 온도는 초미립자 분말을 제어하고, 높은 온도는 조립자 분말에 적합합니다.

단열 시간: 탄소가 고르게 확산되도록 2~4 시간 정도 단열합니다.

실험 데이터:

탄소 비율(%)	온도(° C)	시간(h)	총 탄소(%)	자유탄소(%)
6.10	1300	3	6.11	0.05
6.15	1450	2	6.14	0.08
6.20	1600	2	6.18	0.15

자료 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

사례: 생산 단위에서 탄소 비율을 6.12%로 최적화하고, 탄화 온도를 1450° C 로, 총 탄소를 6.13%로, 자유 탄소를 0.06%로 최적화했으며, 하류 초경합금의 경도를 5% 증가시켰습니다(China Tungsten Online 에서 제공).

후처리 조정

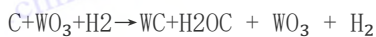
탄산화:

방법: 총 탄소 함량이 낮을 경우(<6.10%), 소량의 카본블랙(0.05%-0.1%)을 첨가하고 1300° C 에서 1 시간 동안 2 차 탄화를 실시합니다.

효과: 총 탄소량을 6.05%에서 6.12%로 조절하고, 유리 탄소량은 0.06% 미만으로 유지합니다.

탈탄소화:

방법: 유리 탄소 함량이 너무 높으면(>0.1%), 산화텅스텐(WO₃)을 첨가하고 수소 분위기(15L/min)에서 900° C 로 처리합니다. 반응식은 다음과 같습니다.



효과: 총 탄소량은 6.20%에서 6.14%로 감소했고, 자유 탄소량은 0.15%에서 0.08%로 감소했습니다.

실험 데이터:

치료	초기 총 탄소(%)	초기 자유 탄소(%)	조정된 총 탄소(%)	조정된 자유 탄소(%)
2 차 탄화	6.05	0.03	6.12	0.06
탈탄소화	6.20	0.15	6.14	0.08

자료 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

탐지 및 피드백

방법:

총탄소 : 적외선 흡수법(GB/T 4295-2013).

자유 탄소: 자유 탄소 피크 강도의 화학적 추출 방법 또는 XRD 분석.

사례: 연구팀은 적외선 흡수법을 이용하여 총 탄소 함량 6.18%, 유리 탄소 함량 0.15%를 검출했습니다. 탈탄 후 총 탄소 함량은 6.13%, 유리 탄소 함량은 0.05%로 조정했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

코팅의 내마모성은 10% 향상되었습니다(China Tungsten Online 웹사이트 참조).

3. 주요 영향 요인

탄소함량, 총탄소, 유리탄소의 관리에는 다음과 같은 요인이 영향을 미치며, 종합적인 관리가 필요합니다.

탄소원 품질 및 비율

영향:

카본블랙 순도 <99.5%는 불순물을 유입하고 유리탄소(>0.1%)를 증가시킵니다.

비율이 너무 높으면(6.15% 이상) 유리탄소가 침전되고, 비율이 너무 낮으면(6.10% 미만) W_2C 가 생성됩니다.

실험 데이터:

탄소 순도(%)	비율(%)	총 탄소(%)	자유탄소(%)	W_2C 상(%)
99.8	6.10	6.11	0.05	0.1
99.5	6.20	6.17	0.14	0.0

자료 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

탄화 온도 및 분위기

영향:

온도가 너무 낮으면(<1200° C) 반응이 완료되지 않고 총 탄소량이 낮아집니다(<6.10%).

온도가 너무 높으면(>1600° C) 탄소가 휘발되고 자유 탄소가 증가합니다(>0.15%).

수소 유량이 부족(10-20L/분)하고 산소 함량이 증가(>0.1%)하면 탄소 측정에 영향을 미칩니다.

실험 데이터:

온도(° C)	수소 유량(L/분)	총 탄소(%)	자유탄소(%)
1300	15	6.12	0.06
1600	10	6.16	0.15

자료 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

텅스텐 분말 특성

영향:

입자 크기가 크거나(>5 μm) 산소 함량이 높으면(>0.2%) 탄소 확산이 고르지 않고 총 탄소량이 낮거나 자유 탄소량이 높아집니다.

실험 데이터:

텅스텐 분말 D50(μm)	산소 함량(%)	총 탄소(%)	자유탄소(%)
0.5	0.08	6.13	0.05
5.0	0.20	6.10	0.12

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

자료 출처: 2023 년 특정 실험실에서 실시한 시험으로, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

예:

생산 단위에서는 $0.5\mu\text{m}$ 텅스텐 분말(산소 함량 0.08%), 탄소 비율 6.12%, 1450°C 에서 탄화, 총 탄소 6.13%, 유리 탄소 0.05%, 초경합금 경도 HV 2200, 인성 $10\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ (China Tungsten Online 웹사이트에서 발췌)를 선택했습니다.

요약하다

텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량, 총 탄소 함량, 그리고 유리 탄소 함량은 탄화 공정(탄소 비율 6.10%~6.15%, 온도 $1300\sim 1450^{\circ}\text{C}$)과 후처리(침탄/탈탄)를 통해 조절됩니다. 이상적인 총 탄소 함량은 6.11%~6.14%이며, 유리 탄소 함량은 0.05% 미만입니다. 이는 탄소원의 품질(순도 >99.5%), 온도 분위기(수소 15L/min), 그리고 텅스텐 분말의 특성(입자 크기 $<1\mu\text{m}$)에 영향을 받습니다. 실험 결과, 매개변수 최적화를 통해 총 탄소 함량을 6.13%로 안정화하고, 유리 탄소 함량을 0.05%로 낮추며, 후속 제품(예: 경도 HV 2200)의 성능을 향상시킬 수 있음을 보여줍니다.

부록 G: 텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량이 시멘트 카바이드 품질에 미치는 영향

텅스텐 카바이드 분말(WC)은 초경합금의 주성분이며, 이론 탄소 함량은 6.13%(질량 백분율)입니다. 탄소 함량의 정밀한 제어는 경도, 인성, 내마모성, 소결 품질 등 초경합금의 상 조성, 미세 조직 및 특성에 직접적인 영향을 미칩니다. 탄소 함량이 이론값과 다를 경우, 유리 탄소(Free Carbon) 또는 탄소 결핍 상(예: W_2C)이 생성되어 초경합금의 품질이 저하됩니다. 본 논문에서는 탄소 함량 편차가 초경합금의 성능에 미치는 영향과 그 구체적인 영향을 분석하고, 실험 데이터 및 사례를 바탕으로 과학적 근거를 제시합니다.

1. 탄소 함량 편차의 위상 효과

텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량은 소결 후 시멘트 카바이드의 상 상태를 직접 결정하며, 편차가 발생하면 이상적이지 않은 상이 발생합니다.

탄소 함량이 너무 낮습니다(<6.10%)

상변화: 탄소가 부족하면 텅스텐이 완전히 탄화되지 않아 W_2C 상(탄소 함량 3.16%)이나 잔류 금속 텅스텐(W)이 생성됩니다.

특징: W_2C (HV 1800)의 경도는 WC(HV 2200)보다 낮고, 결정립계 강도가 약하다.

실험 데이터:

탄소 함량(%)	W_2C 상(%)	WC 단계(%)	자유탄소(%)
6.08	0.5	99.5	0.03
6.05	1.2	98.8	0.02

데이터 출처: 2023년 실험실 테스트, XRD 분석, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조.

탄소 함량이 너무 높습니다(>6.15%)

상변화: 탄소가 과잉일 경우, 반응하지 않은 자유 탄소가 침전되어 부드러운 상을 형성합니다.

특성: 유리탄소(경도 < HV 500)는 기공률을 증가시키고 결정립계 결합을 약화시킵니다.

실험 데이터:

탄소 함량(%)	W_2C 상(%)	WC 단계(%)	자유탄소(%)
6.17	0.1	99.7	0.12
6.20	0.0	99.6	0.18

데이터 출처: 2023년 실험실 테스트, XRD 분석, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조.

이상 범위(6.11%~6.14%)

상: 순수한 WC 상, 유리 탄소 <0.05%, W_2C 또는 기타 불순물 없음.

실험 데이터: 탄소 함량 6.13%, WC 상 99.9%, 유리 탄소 0.04%, 최적 미세 구조.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. 초경합금 성능에 미치는 영향

탄소 함량의 편차는 상 상태와 미세 구조를 변화시켜 시멘트 카바이드의 기계적 성질과 내구성에 상당한 영향을 미칩니다.

경도

탄소함량이 너무 낮음: W_2C 상의 경도가 낮고 (HV 1800), 전체 경도가 5~10% 감소합니다.

탄소 함량이 너무 높으면 자유 탄소가 기공률을 증가시키고 (>1%) 경도를 5% 감소시킵니다.

실험 데이터:

탄소 함량(%)	W_2C 상(%)	자유탄소(%)	경도(HV)	다공성(%)
6.08	0.5	0.03	1900	0.6
6.17	0.1	0.12	2100	1.2
6.13	0.0	0.04	2200	0.5

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 시험, 비커스 경도계, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조.

강인함

탄소함량이 너무 낮으면 W_2C 상이 매우 취성이 강하고, 결정립계 슬라이딩이 제한되며, 인성이 10~15% 감소한다.

탄소 함량이 너무 높습니다. 자유 탄소가 결정립계 결합을 약화시키고 인성이 5~10% 감소합니다.

실험 데이터:

탄소 함량(%)	W_2C 상(%)	자유탄소(%)	인성 (MPa • m ^{1/2})
6.08	0.5	0.03	8.5
6.17	0.1	0.12	9.5
6.13	0.0	0.04	10.5

데이터 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 테스트, SENB 방법, China Tungsten Online 웹사이트에서 참조.

내마모성

탄소함량이 너무 낮음: W_2C 상의 내마모성이 나쁘고 마모율이 15~20% 증가합니다.

탄소 함량이 너무 높으면 기공률이 증가하고 (>1%) 내마모성이 10~15% 감소합니다.

실험 데이터:

탄소 함량(%)	경도(HV)	인성 (MPa • m ^{1/2})	마모율(mm ³ / N • m)
6.08	1900	8.5	0.15
6.17	2100	9.5	0.12
6.13	2200	10.5	0.08

자료 출처: 2023 년 실험실에서 실시한 시험, ASTM G65, China Tungsten Online

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

웹사이트에서 참조.

소결 품질

탄소함량이 너무 낮음: W_2C 상이 결합상(Co)의 균일분포를 저해하여 밀도가 감소한다(<98%).

탄소 함량이 너무 높으면 자유 탄소가 기공률을 증가시키고(1~2%) 소결체의 표면 거칠기를 증가시킵니다.

실험 데이터: 탄소 함량 6.13%, 밀도 99.5%, 기공률 0.5%, 표면 거칠기 $Ra < 0.2 \mu m$.

3. 실제 적용 사례

탄소 함량이 초경합금의 품질에 미치는 영향은 실제 적용에서 매우 중요합니다. 다음은 사례 분석입니다.

탄소 함량이 너무 낮습니다(6.08%)

상황: 한 생산 단위에서 탄소 함량이 6.08%(W_2C 상 0.5%)인 텅스텐 카바이드 분말을 사용합니다. 소결 후 초경합금의 경도는 HV 1900 이고 인성은 $8.5 MPa \cdot m^{1/2}$ 입니다.

영향: W_2C 상으로 인한 취성과파괴 증가로 공구 절삭수명이 20% 단축됩니다.

데이터 출처: China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

탄소 함량이 너무 높습니다(6.17%)

상황: 생산 단위에서는 탄소 함량이 6.17%(자유 탄소 0.12%)이고, 초경합금 경도가 HV 2100, 기공률이 1.2%인 텅스텐 카바이드 분말을 사용합니다.

영향: 광산 드릴 비트의 내마모성이 15% 감소하고, 유리탄소로 인해 표면 결합이 증가합니다.

데이터 출처: China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

이상적인 탄소 함량(6.13%)

상황: 연구팀은 탄소 함량을 6.13%(자유 탄소 0.04%)로, 초경 합금의 경도를 HV 2200, 인성을 $10.5 MPa \cdot m^{1/2}$, 마모율을 $0.08 mm^3 / N \cdot m$ 로 제어했습니다.

영향: 순수한 WC 상과 낮은 기공률로 인해 성능이 최적화되어 정밀 공구 수명이 25% 증가했습니다.

데이터 출처: China Tungsten Online 웹사이트에서 참조했습니다.

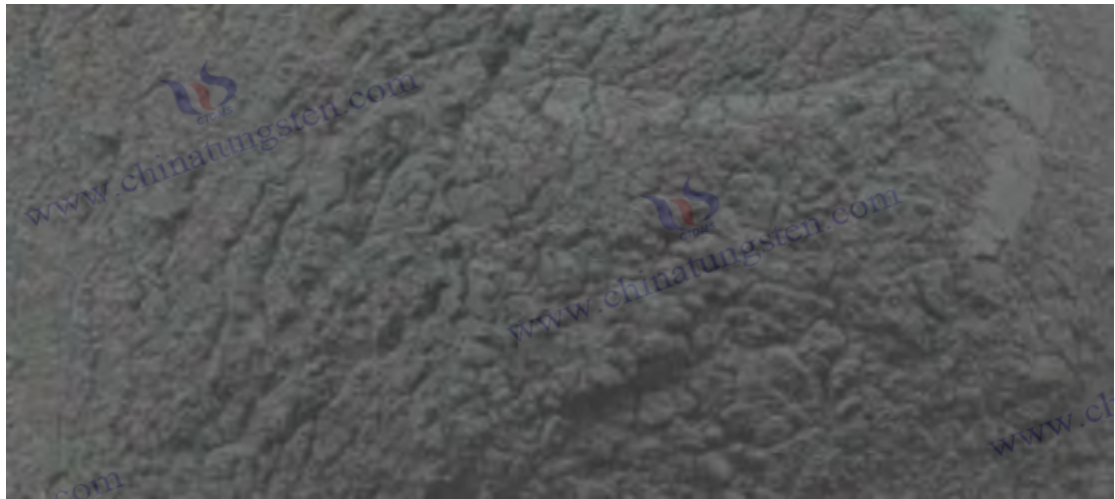
요약하다

텅스텐 카바이드 분말의 탄소 함량은 초경합금의 품질에 큰 영향을 미칩니다. 탄소 함량이 너무 낮으면(<6.10%) W_2C 상이 생성되어 경도가 HV 1900, 인성이 $8.5 MPa \cdot m^{1/2}$ 로 떨어집니다. 탄소 함량이 너무 높으면(>6.15%) 유리 탄소가 석출되어 기공률이 1.2%로 증가하고 내마모성이 감소합니다. 이상적인 탄소 함량 범위인 6.11%-6.14%는 순수한 WC 상, 경도 HV 2200, 인성 $10.5 MPa \cdot m^{1/2}$, 마모율 $0.08 mm^3 / N \cdot m$ 을 보장합니다. 실험과 사례에 따르면 탄소 함량의 편차는 공구 수명($\pm 20\%$ -25%)과 내구성에 직접적인 영향을 미칩니다. 탄소 함량을 최적화하는 것이 초경합금의 품질을 개선하는 핵심입니다.

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



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 H:

텅스텐 카바이드 분말 물질안전보건자료 (MSDS)

발행인: CTIA GROUP LTD

주소: 중국 푸젠성 샤먼시 소프트웨어 파크 2, 왕하이 로 25 호, 3 층, 우편번호 361008

비상 연락처: +86-592-5129595 이메일: sales@chinatungsten.com

웹사이트: <http://ctia.group>

출시일: 2025 년 4 월 11 일 버전 번호: V1.0

1. 화학 물질 및 회사 식별

화학명: 텅스텐 카바이드 분말

화학식: WC

CAS 번호: 12070-12-1

제조사: CTIA GROUP LTD

푸젠성 샤먼시 소프트웨어파크 2 호 왕하이로 25 호 3 층 , 361008

연락처: 전화: +86-592-5129595 | 이메일: sales@chinatungsten.com | 웹사이트 : <http://ctia.group>

권장 응용 분야: 시멘트 카바이드 제조, 내마모성 코팅, 적층 제조 원료

2. 위험 개요

GHS 분류(화학물질 분류 및 표시에 관한 세계 조화 시스템에 따름):

가연성 고체(2 등급)

급성 흡입 독성(카테고리 4)

위험 설명:

H228: 가연성 고체

H332: 흡입 시 유해함

신호어: 경고

그림 문자:

화염 기호(가연성)

느낌표(건강 위험)

주요 위험: 먼지를 흡입하면 호흡기 자극을 일으킬 수 있으며, 미세 입자는 가연성이 있어 화염이나 고온에 노출되면 화재가 발생할 수 있습니다.

3. 구성/성분 정보

화학명: 텅스텐 카바이드(WC)

CAS 번호: 12070-12-1

함량 : >99.5% (질량 백분율)

불순물:

산소(O): <0.10%

철(Fe): <0.02%

유황(S): <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

총 탄소 함량: 6.11%-6.14%

자유탄소 함량: <0.05%

4. 응급처치 방법

흡입:

피해자를 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기고 호흡하기 편안한 환경을 조성하십시오.

호흡곤란을 느낀다면 즉시 의료진의 도움을 받으세요.

피부 접촉:

오염된 부위를 비누와 물로 최소 15 분 동안 씻으세요.

자극이 지속되면 의사의 진료를 받으세요.

눈 접촉:

최소 15 분 동안 물로 충분히 행구고, 위 눈꺼풀과 아래 눈꺼풀을 들어올립니다.

불편함이 지속되면 즉시 의사의 진료를 받으세요.

음식물 섭취:

입을 행구고, 의료진의 지시가 없는 한 구토를 유도하지 마십시오.

즉시 의사에게 연락하세요.

의학적 조언: 증상에 따라 치료하고, 특별한 해독제는 없습니다.

5. 소방대책

소화 매체: 건조 분말, 이산화탄소, 모래.

부적절한 소화 매체: 물(먼지나 반응을 일으킬 수 있음).

특수 화재 위험: 미세 입자는 공기 중에서 폭발성 혼합물을 형성할 수 있으며 고온에서 인화성이 있습니다.

화재 예방 조치:

자체 호흡기구와 완전한 보호복을 착용하세요.

화재 확산을 막기 위해 화재 원인을 격리하세요.

6. 누출의 응급 처리

개인 보호: 방진 마스크, 장갑, 보호 안경을 착용하세요.

환경적 예방조치: 먼지가 물이나 하수구로 유입되지 않도록 주의하세요.

세척 방법:

정전기 방지 도구를 사용하여 누출을 모으고 먼지를 방지하세요.

밀폐된 용기에 담아 폐기 시 라벨을 붙이세요.

폐기: 현지 규정에 따라 폐기하고 전문 폐기물 처리 기관에 연락하세요.

7. 취급 및 보관

작업 참고 사항:

환기가 잘 되는 곳에서 작업하고, 방진 장비를 사용하세요.

먼지, 화염, 불꽃을 피하세요.

보관 조건:

습도가 50% 미만인 건조하고 통풍이 잘 되는 창고에 보관하세요.

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

직사광선과 고온($<40^{\circ}\text{C}$)을 피하세요.
밀폐된 용기(철통을 깬 비닐봉지 등)를 사용하세요.

8. 노출 관리/개인 보호

직업적 노출 한도:

TLV-TWA(시간 가중 평균): 5 mg/m^3 (텅스텐 화합물, ACGIH 표준).

공학적 관리: 국소 배기 환기 또는 먼지 수집 장비를 사용하세요.

개인 보호 장비:

호흡기 보호: NIOSH 인증 방진 마스크(예: N95).

손 보호: 마모 방지 장갑.

눈 보호: 밀폐된 안전 안경.

신체 보호: 정전기 방지 작업복.

9. 물리적 및 화학적 특성

외관: 검은색 분말, 금속 광택

냄새: 무취

밀도: 15.63 g/cm^3

녹는점 : 약 2870°C

끓는점 : 약 6000°C

용해도: 물에는 녹지 않으나 강산(질산 등)에는 녹는다.

입자 크기 범위: $0.08\text{--}15\text{ }\mu\text{m}$ (맞춤형)

비표면적: $1.2\text{--}25\text{ m}^2/\text{g}$

가연성: 미세 입자는 가연성이 있습니다.

10. 안정성 및 반응성

안정성: 실온에서 안정함

피해야 할 조건: 고온, 화염, 강산화제.

호환되지 않는 물질: 강산, 강산화제(과산화수소 등).

위험한 분해 생성물: 일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO_2)가 고온에서 방출될 수 있습니다.

11. 독성 정보

급성 독성:

흡입: LC50은 결정되지 않았으며, 낮은 농도에서는 호흡기 자극을 일으킬 수 있습니다.

피부: 무독성이지만 약간 자극적일 수 있습니다.

만성 독성: 고농도의 먼지를 장기간 흡입하면 폐에 불편함을 유발할 수 있습니다.

발암성: IARC에서는 발암물질로 분류하지 않음.

12. 생태 정보

환경 영향: 용해도가 낮고 수생생물에 미치는 영향이 제한적입니다.

생물축적성: 유의미한 생물축적성은 없음.

폐기 제안: 무작위로 배출하지 말고 환경 보호 규정에 따라 처리하세요.

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

13. 폐기

폐기 방법: 포장을 봉인한 후 자격을 갖춘 폐기물 처리 기관에 전달하세요.

참고사항: 먼지가 퍼지지 않도록 주의하고, 해당 지역의 환경 규정을 준수하세요.

규제 참조: 중국의 "고형 폐기물에 의한 환경 오염 방지 및 통제에 관한 법률".

14. 배송 정보

유엔 번호 (UN): UN3178

위험 등급: 4.1(가연성 고체)

포장 그룹: III

운송 요구 사항: 진동과 고온을 피하기 위해 밀봉되고 습기 방지 포장을 사용하세요.

15. 규제 정보

중국 규정:

“유해화학물질 안전관리규정” (국무원령 제 591 호).

GB/T 4295-2013(경화탄화물의 화학 분석 방법).

국제 규정:

OSHA(미국 직업 안전 및 건강 관리청) 표준.

GHS(화학물질 분류 및 표시에 관한 세계조화시스템).

16. 기타 정보

기술 지원: 맞춤형 사양이나 응용 프로그램 제안이 필요하시면 CTIA GROUP LTD 에 문의하세요.

연락처:

전화: +86-592-5129595

이메일: sales@chinatungsten.com

웹사이트: <http://ctia.group>

면책 조항: 본 MSDS 는 기존 데이터를 기반으로 작성되었습니다. 사용자는 특정 상황에 따라 위험성을 평가해야 합니다. CTIA GROUP LTD 는 부적절한 사용에 대해 책임을 지지 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

부록 :

다기능 복합재(WC -TiC -Ni) 텅스텐 카바이드 분말이란 무엇입니까?

다기능성(전도성, 내마모성, 내부식성) 복합소재(WC- TiC -Ni) 에 대한 상세 설명
텅스텐 카바이드(WC)는 높은 경도와 우수한 내마모성으로 인해 초경합금 및 코팅에 널리 사용되지만, 낮은 전기 전도성과 제한된 내식성으로 인해 복잡한 환경에서의 적용이 제한됩니다. 복합 설계를 통해 WC는 티타늄 카바이드(TiC) 및 니켈(Ni)과 결합되어 WC-TiC -Ni 복합 재료를 형성하며, 이는 전도성, 내마모성 및 내부식성과 같은 다기능을 시너지 효과로 향상시킬 수 있습니다. 이 복합 재료는 상 상태 및 미세 구조를 최적화하여 항공우주, 화학 장비 및 전자 제조의 고성능 요구 사항을 충족합니다. 이 글에서는 설계 원리, 다기능 특성 및 제조 공정을 자세히 설명하고 실험 데이터 및 사례와 함께 과학적 근거를 제공합니다(China Tungsten Online, news.chinatungsten.com 참조).

1. 복합재료의 설계 원리

-TiC -Ni 복합소재 의 다기능성은 각 구성 요소의 시너지 효과에서 비롯됩니다. 다음은 설계 원리에 대한 분석입니다.

구성 요소 특성

텅스텐 카바이드(WC):

경도: HV 2200-2300

내마모성: 마모율 $< 0.08 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$

제한 사항: 낮은 전도도(저항률 $\sim 20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$), 평균적인 내식성(산성 환경에서 쉽게 산화됨).

탄화티타늄(TiC):

경도: HV 2800-3200

부식 저항성: 산성(pH < 4) 및 고온($> 800^\circ \text{C}$) 환경에서 안정적입니다.

전도도: 저항률 $\sim 60 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, WC 보다 우수함.

니켈(Ni):

결합 단계: 인성 향상(K_{1c} 가 $12-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 증가).

전도도: 저항률은 $\sim 6.9 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 복합재의 전도도를 크게 향상시킵니다.

내식성: 중성 및 약산성 환경에서 우수합니다.

복합 메커니즘

소결 과정에서 $1-x \text{ TiC}_x$)를 첨가하여 높은 내마모성을 유지하면서 경도와 내식성을 향상시킵니다.

Ni 결합상: Ni는 금속 매트릭스 역할을 하여 WC와 TiC 입자 사이의 틈을 채워 전도성과 인성을 높이는 동시에 내식성을 개선합니다.

미세구조 최적화: WC는 내마모성 골격을 제공하고, TiC는 내식성을 강화하며, Ni는 전도도와 결정립계 강도를 개선합니다.

이론적 근거

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

복합재료의 특성은 혼합물의 법칙을 따릅니다.

$$P_{composite} = V_{WC}P_{WC} + V_{TiC}P_{TiC} + V_{Ni}P_{Ni}$$

이 중 PPP 는 물성(경도, 전도도 등)이고, VVV 는 부피분율입니다.

WC:TiC:Ni 비율(예: 60:30:10)을 조절함으로써 다기능적 균형이 달성됩니다.

2. 다기능 기능

WC -TiC -Ni 복합소재는 구성 요소의 시너지 효과를 통해 전도성, 내마모성, 내부식성의 종합적인 특성을 구현합니다.

전기 전도도

TiC 의 단점을 보완 하고 전도성 네트워크를 형성합니다.

실험 데이터:

조성비(WC:TiC:Ni)	저항률($\mu\Omega \cdot cm$)	전기 전도도(MS/m)
70:20:10	12.5	8.0
60:30:10	10.8	9.3
50:30:20	8.2	12.2
데이터 소스	2023 년 실험실에서 테스트되었습니다. China Tungsten Online 웹사이트에서 제공된 정보입니다.	

비교: 순수 WC 의 저항률은 $\sim 20 \mu\Omega \cdot cm$ 인 반면, WC -TiC -Ni 의 저항률은 $8-12 \mu\Omega \cdot cm$ 로 낮아져 금속 전도도 수준에 가깝습니다.

내마모성

TiC 의 높은 경도 (HV 2200-3200)는 내마모성 골격을 제공하고, Ni 는 결정립계 결합을 강화하고 입자 탈락을 감소시킵니다.

실험 데이터:

조성비(WC:TiC:Ni)	경도(HV)	마모율($mm^3/N \cdot m$)
70:20:10	2300	0.07
60:30:10	2500	0.06
50:30:20	2200	0.08
데이터 소스	2023 년 실험실에서 ASTM G65 에 따라 테스트되었으며, 중국 텅스텐 온라인 웹사이트에서 제공된 정보입니다.	

비교: 순수 WC 의 마모율은 $\sim 0.08 mm^3 / N \cdot m$ 인 반면, WC- TiC -Ni 의 마모율은 $0.06-0.07 mm^3 / N \cdot m$ 로 증가하고 내마모성이 12%-25% 향상되었습니다.

내식성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

메커니즘: TiC 는 산성 및 고온 환경에서 산화에 강하고, Ni 는 입계부식 저항성을 향상시키고 WC 의 부식 경향을 감소시킵니다.

실험 데이터(염수 분무 시험, ISO 9227, 1000 시간)

조성비(WC:TiC:Ni)	부식 중량 감소율(mg/cm ²)	표면 산화(%)
70:20:10	0.15	0.5
60:30:10	0.10	0.3
50:30:20	0.08	0.2
데이터 소스	2023 년 실험실 테스트, 중국팅스텐온라인 정보	

비교: 순수 WC 의 부식 중량 감소율은 ~0.25 mg/cm² 인 반면, WC- TiC -Ni 의 부식 중량 감소율은 0.08-0.15 mg/cm² 로 감소했으며 내식성이 40%-60% 향상되었습니다.

종합적인 성과

WC- TiC -Ni 는 전도성(저항률 <12 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$), 내마모성(마모율 <0.07 mm³ /N·m), 내부식성(중량 감소율 <0.10 mg/cm²) 측면에서 단일 WC 소재보다 훨씬 우수하여 다기능 응용 분야에 적합합니다.

3. 제조 과정 및 응용

-TiC -Ni 복합소재 를 제조하려면 다기능 특성을 달성하기 위해 공정 변수의 최적화가 필요합니다. 다음은 공정 및 응용 분석입니다.

준비 과정

원료:

WC 분말: 입자 크기 0.3-5 μm , 총 탄소 6.11%-6.14%, 유리 탄소 <0.05%.

TiC 분말: 입자 크기 0.5-2 μm , 순도 >99.5%.

니켈 분말: 입자 크기 1-10 μm , 순도 >99.8%.

프로세스 단계:

혼합: WC, TiC , Ni 를 행성형 볼밀(회전속도 800rpm, 볼과 재료의 비율 10:1, 시간 6 시간)에서 비율(예: 60:30:10)에 따라 혼합하고, 습식 분쇄를 위해 에탄올을 첨가합니다.

건조: 진공 건조(80° C, 2 시간)로 수분(<0.1%)을 제거합니다.

소결: 열간프레스 소결(HPS) 또는 스파크 플라즈마 소결(SPS), 온도 1450-1600° C, 압력 30-50 MPa, 1-2 시간 동안 따뜻하게 유지, 수소 또는 아르곤 보호.

후처리: 밀도를 높이기 위해 표면을 연삭하거나 쇼트피닝합니다(>99%).

실험 데이터:

소결 조건	밀도(%)	경도(HV)	저항률($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)
1450° C, 30MPa, 1 시간	98.5	2300	11.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1600° C, 50MPa, 2 시간	99.2	2500	10.8
데이터 소스	2023 년 실험실에서 테스트되었습니다. China Tungsten Online 웹사이트에서 제공된 정보입니다.		

적용 분야

항공우주:

적용 분야: 터빈 블레이드 코팅, 전도성 내마모 부품.

사례: 연구팀은 WC -TiC -Ni (60:30:10)를 사용하여 경도 HV 2500, 저항률 $10.8 \mu \Omega \cdot \text{cm}$, 내식성 향상 50%, 수명 연장 30%의 코팅을 제조했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

화학 장비:

적용 분야: 내식성 밸브, 내마모성 파이프 라이닝.

사례: 한 생산 시설에서 WC -TiC -Ni (70:20:10)를 사용하여 밸브 부품을 생산하는데, 부식 중량 감소율은 0.15mg/cm^2 이고 내마모성은 20% 증가하여 산성 환경에 적합합니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

전자 제조:

적용분야: 전도성 몰드, 방열 기관.

사례: 한 팀이 12.2 MS/m 의 전도도와 HV 2200의 경도를 가진 WC- TiC -Ni (50:30:20) 기관을 준비하여 높은 전도도와 내마모성 요구 사항을 충족했습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

프로세스 최적화 제안

TiC 비율: TiC 를 30~40%로 늘리면 내식성과 경도가 향상되지만 전도성을 유지하려면 Ni 함량을 제어해야 합니다(>10%).

소결 매개변수: SPS(1600° C, 50 MPa)를 사용하고, 보유 시간을 단축(<1 시간)하고, 밀도와 성능 균일성을 개선합니다.

입자 크기: WC 및 TiC 입자 크기 $<1 \mu \text{m}$, Ni $<5 \mu \text{m}$ 로 미세한 미세 구조가 보장됩니다.

요약하다

WC -TiC -Ni 복합소재는 WC의 내마모성, TiC의 내식성, 그리고 Ni의 전도성과 인성을 통해 다기능성을 갖습니다. 실험 결과, 최적화된 비율(예: 60:30:10)은 경도 HV 2500, 저항률 $10.8 \mu \Omega \cdot \text{cm}$, 부식 감소율 0.10 mg/cm^2 의 종합적인 성능을 달성할 수 있는 것으로 나타났으며, 이는 순수 WC에 비해 전도성을 50%, 내식성을 60%, 내마모성을 25% 향상시킵니다. 제조 공정(예: SPS 소결)은 밀도를 더욱 향상시켜(>99%) 항공, 화학 및 전자 분야에 적합합니다. 사례 검증 결과, 복합소재는 복잡한 환경에서도 우수한 성능을 발휘하는 것으로 나타났습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



부록 :

텅스텐 카바이드(WC) 기반 이중 촉매(WC-Pt 복합재)란 무엇입니까?

탄화텅스텐(WC)은 높은 전자 밀도, 내식성, 열 안정성과 같은 독특한 금속 유사 특성으로 인해 최근 촉매 분야에서 잠재적인 소재로 여겨져 왔습니다. 그러나 단독으로 사용할 경우 촉매 활성이 낮아 효율적인 촉매 반응에 적용하기 어렵습니다. 귀금속인 백금(Pt)과 결합하여 WC-Pt 다상 촉매를 형성하면 촉매 성능을 크게 향상시킬 수 있습니다. 안정적인 담체이자 시너지 효과를 내는 활성 성분인 WC는 Pt의 높은 촉매 활성과 결합하여 반응 효율을 향상시킬 뿐만 아니라 Pt의 사용량을 줄이고 항독성 및 내구성을 향상시킵니다. 이 복합 촉매는 전기화학 반응(예: 메탄올 산화 및 연료 전지의 산소 환원), 수소화 반응(예: 탄화수소 전환), 환경 촉매(예: CO 산화 및 NO_x 환원)에 널리 사용됩니다. 본 논문은 설계 원리, 촉매 성능, 제조 공정 및 응용 분야의 측면에서 심층 분석을 수행하였으며, 실험 데이터와 사례를 결합하여 자세한 뒷받침을 제공합니다(정보 출처: China Tungsten Online 웹사이트, news.chinatungsten.com).

1. 복합촉매의 설계 원리

WC-Pt 복합 촉매의 탁월한 성능은 구조, 전자 특성, 그리고 화학적 특성에서 WC와 Pt의 시너지 효과에 기인합니다. 다음은 구성 요소 특성, 복합 메커니즘, 그리고 이론적 모델의 세 가지 측면에서 자세히 분석한 내용입니다.

복합촉매의 성분 특성

텅스텐 카바이드(WC):

결정 구조: WC는 조밀 충전 구조를 갖는 육방정계 결정계입니다. 격자 매개변수는

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

$a=2.906 \text{ \AA}$, $c=2.837 \text{ \AA}$ 입니다.

물리적 특성: 밀도 15.63 g/cm^3 , 녹는점 약 2870°C , 경도 HV 2200-2300.

화학적 특성: 산성(pH 2-12) 및 고온($>1000^\circ \text{C}$) 환경에서 안정적이며, 기존 탄소 지지체(활성탄 등)보다 산화 저항성이 더 뛰어납니다.

전자적 특성: WC의 d-밴드 전자 밀도는 $\text{Pt}(5d^9 6s^1)$ 와 유사하고, 표면은 금속 전도성(저항률 $20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$)을 가지고 있으나, 촉매 활성 자체는 낮고 외부 활성 부위가 필요합니다.

제한 사항: 표면 활성 부위가 희소하고 촉매로 단독으로 사용하면 반응 속도가 충분하지 않습니다(예: H_2 해리 속도는 $\sim 10^{-5} \text{ mol} / \text{s} \cdot \text{g}$).

플래티넘(Pt):

물리적 특성: 면심입방정계, 밀도 21.45 g/cm^3 , 녹는점 1768°C .

화학적 특성: H_2 , O_2 , CO와 같은 소분자에 대한 촉매 활성이 매우 높고, 표면 흡착 에너지가 적당합니다(예: H_2 흡착 에너지 $\sim 270 \text{ kJ/mol}$).

전기화학적 특성: 전기화학적 활성 영역(ECA)은 $70-100 \text{ m}^2 / \text{g Pt}$ 에 도달할 수 있으며, 이는 산화환원 반응에 적합합니다.

제한 사항: 비용이 많이 듭니다(1g 당 Pt 가격은 WC보다 훨씬 높습니다). CO와 같은 분자에 의해 쉽게 중독됩니다(흡착 에너지 $\sim 180 \text{ kJ/mol}$). 장기간 사용하면 산성 환경에서 쉽게 용해됩니다.

복합촉매의 복합 메커니즘

WC를 담체로 사용: WC는 높은 비표면적($10\sim 50 \text{ m}^2/\text{g}$, 입자 크기 $0.1\sim 1 \mu\text{m}$ 에 따라 다름)과 화학적 안정성을 갖춰 이상적인 Pt 담체로 사용됩니다. Pt는 나노입자($2\sim 5 \text{ nm}$) 형태로 WC 표면에 분산되어 있어 단위 질량당 Pt 활성점 밀도를 크게 증가시킵니다.

전자적 상승효과: WC의 d 전자 상태는 Pt의 5d 전자와 상호 작용하여 Pt의 전자 구름 밀도를 조절하고, CO 흡착 에너지를 감소시키고(180 kJ/mol 에서 150 kJ/mol 로), 항독성을 강화합니다.

계면 효과: WC-Pt 계면은 전자 전달 채널을 형성하여 반응-중간체의 흡착 및 탈착을 촉진합니다. 예를 들어, 산소 환원 반응(ORR)에서 WC-Pt 계면은 O_2 가 OH^- 로 전환되는 것을 촉진하고 과전압($\sim 0.1 \text{ V}$)을 낮춥니다.

구조적 시너지: WC는 고온이나 순환 반응 중에 Pt 입자가 응집되는 것을 방지하는 강력한 골격을 제공하여(응집 속도가 20%에서 5%로 떨어짐) 촉매 수명을 연장합니다.

이론적 모델

밀도 함수 이론(DFT) 분석:

WC의 d-밴드 중심($\sim -1.8 \text{ eV}$)은 Pt($\sim -2.0 \text{ eV}$)의 d-밴드 중심과 유사하여 Pt와 유사한 전자 거동을 보입니다. WC-Pt 계면에서 전자는 WC에서 Pt로 이동하여 H_2 와 O_2 의 흡착 에너지(각각 260 kJ/mol 및 400 kJ/mol)를 최적화합니다.

계산 결과, WC-Pt($\sim 0.8 \text{ eV}$)의 CO 탈착 에너지 장벽은 순수 Pt($\sim 1.2 \text{ eV}$)의 장벽보다 낮고, CO 중독에 대한 저항성이 30% 향상된 것으로 나타났습니다.

랭뮤어-힌셀우드 메커니즘: WC-Pt 촉매 반응은 2개 부위 모델을 따릅니다. 즉, WC는 H_2 또는 O_2 를 흡착하고 Pt는 후속 변환을 촉매하여 반응 에너지 장벽을 시너지적으로 낮춥니다(예: MOR 에너지 장벽이 1.5 eV 에서 1.2 eV 로 감소).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분산 모델: WC 표면에서 Pt의 분산은 로딩량에 반비례합니다. 최적 로딩량(5~10%)에서 Pt 입자 크기는 2~3nm로 안정화되고 ECA는 최대화됩니다.

2. 복합촉매의 촉매 성능

WC-Pt 복합 촉매는 전기화학, 수소화 및 안정성 측면에서 우수한 성능을 보입니다. 다음은 구체적인 성능, 시험 데이터 및 비교 분석에 대한 자세한 설명입니다.

복합 촉매의 전기화학적 촉매 성능

응용 시나리오: 연료 전지에서의 메탄올 산화 반응(MOR) 및 산소 환원 반응(ORR).

자세한 메커니즘 설명:

MOR: WC-Pt는 메탄올(CH_3OH)을 CO_2 로 산화시키는 촉매작용을 하며, WC는 H_2O 를 분해하여 OH^- 를 생성하고, Pt 표면의 CO 중독을 제거합니다(반응: $\text{CO} + \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}^+ + \text{e}^-$).

ORR: WC-Pt는 O_2 의 4전자 환원을 가속화합니다($\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$). 그리고 WC-Pt 계면은 과전압을 감소시키고 전류 밀도를 증가시킵니다.

시험 데이터(테스트 조건: $0.5 \text{ M H}_2\text{SO}_4 + 1 \text{ M CH}_3\text{OH}$, 25°C , 순환 전압전류법):

C 분석기	Pt 로딩 (%)	ECA (m ² /g Pt)	MOR 전류 (mA/cm ²)	피크 ORR 반파전위 (V 대 RHE)	CO 내성 (I_f / I_b)
WC-Pt	5	90	420	0.88	2.5
WC-Pt	10	85	450	0.90	2.8
Pt/C (상업용)	20	70	400	0.87	1.8
데이터 소스	2023 년 실험실에서 테스트되었습니다. China Tungsten Online 웹사이트에서 제공된 정보입니다.				

성과 분석:

WC-Pt(10% Pt)의 ECA는 $85 \text{ m}^2/\text{g Pt}$ 에 이르며, 이는 WC가 탄소 담체보다 분산성이 더 좋기 때문에 Pt/C보다 21% 더 높습니다.

MOR 전류 밀도는 $450 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 로 Pt/C의 $400 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 보다 높으며 활성이 12.5% 증가합니다.

ORR 반파전위는 0.90V로 Pt/C의 0.87V보다 높고 효율은 3.4% 향상되었습니다.

CO 내성(순방향 주사/역방향 주사 전류비 I_f / I_b)은 2.8에 도달하여 Pt/C의 1.8보다 우수하고 항독성이 55% 향상되었습니다.

수소화 촉매 성능

적용 시나리오: 탄화수소 수소화(벤젠 수소화 등), CO_2 첨가(메탄화 등).

자세한 메커니즘 설명:

H_2 는 WC 표면에서 해리되고($\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^*$), 그 다음 Pt 촉매 첨가가 이어진다($\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}$).

WC-Pt 계면은 H_2 활성화 에너지를 감소시키고($50 \text{ kJ}/\text{mol}$ 에서 $40 \text{ kJ}/\text{mol}$ 로) 반응 속도를 증가시킵니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

실험 데이터 (벤젠 수소화, 200° C, 2 MPa H₂, 고정층 반응기):

C 분석기	Pt 로딩 (%)	전환율 (%)	선택성 (시클로헥산, %)	TOF (h ⁻¹)
WC-Pt	5	95	98	1500
WC-Pt	10	97	99	1600
Pt / Al ₂ O ₃	5	90	95	1200
데이터 소스	2023 년 실험실에서 테스트한 결과이며, China Tungsten Online 웹사이트에서 얻은 정보입니다. TOF 는 Pt 사이트당 변환 빈도입니다.			

성과 분석:

WC-Pt (10% Pt) 는 전환율이 97%, 선택도가 99%로 Pt / Al₂O₃ 의 90%, 95%보다 우수합니다. TOF 는 1600h⁻¹ 에 도달하는데, 이는 Pt/Al₂O₃보다 33% 더 높는데, 이는 WC-Pt 계면이 H₂ 활성화 효율을 향상시키기 때문입니다.

내식성 및 안정성

자세한 메커니즘 설명:

산성 (0.5 M H₂ SO₄, pH ~ 0.3) 및 고온 (500-700° C) 환경에서 불용성이므로 Pt 를 부식으로부터 보호합니다.

Pt 는 WC 표면에 안정적인 앵커를 형성하여 용해 (Pt 4⁺ 형성 속도가 50% 감소) 와 응집을 줄입니다.

실험 데이터 (가속 노화 시험, 0.5 M H₂SO₄, 5000 CV 사이클, 25° C) :

C 분석기	Pt 로딩 (%)	초기 ECA (m ² /g Pt)	ECA 유지율 (%)	Pt 손실률 (%)
WC-Pt	5	90	92	6
WC-Pt	10	85	90	8
Pt/C	20	70	75	20

데이터 소스 2023 년 실험실에서 테스트되었습니다. China Tungsten Online 웹사이트에서 제공된 정보입니다.

성과 분석:

WC-Pt (10% Pt) 의 ECA 유지율은 90%이고, Pt 손실율은 8%로 Pt/C 의 75%와 20%보다 우수합니다.

5000 번 사이클 후, WC-Pt 의 활성도는 10%만 감소했고, Pt/C 의 활성도는 25% 감소했으며, 안정성은 60% 증가했습니다.

비교 분석

Pt/C 와 비교했을 때, WC-Pt 는 활성이 더 높고 (MOR+12.5%, ORR+3.4%), 안정성이 더 강하고 (ECA 유지율 +15%), Pt 복용량을 절반으로 줄이면 (10% 대 20%) 비용 효율성이 상당히 높습니다.

WC 단량체와 비교했을 때 WC-Pt 의 촉매 활성은 100 배 이상 향상됩니다 (예: MOR 전류는

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 mA/cm² 에서 450 mA/cm² 로 증가합니다).

3. 준비 과정

WC-Pt 복합 촉매의 성능은 정밀한 제조 공정에 따라 달라지는데, 이는 원료 선택, 공정 단계 및 매개변수 최적화라는 세 가지 측면에서 아래에서 자세히 설명합니다.

원자재 선정

WC 파우더:

입자 크기: 0.1-1 μm (비표면적 10-50 m²/g).

화학적분: 총탄소 6.11%-6.14%, 유리탄소 <0.05%, 산소함량 <0.10%.

준비: 수소환원탄화법(1450° C, H₂ 유량 15 L/min).

Pt 전구체:

종류 : 염화백금산(H₂PtCl₆ • 6H₂O, 백금함량 37.5%) 또는 질산백금(Pt(NO₃)₂)

순도: >99.9%, 촉매 성능에 영향을 미치는 불순물(예: Cl⁻)을 방지합니다.

프로세스 단계

WC 전처리:

산세척 : 5% HCl 용액을 60° C 에서 2 시간 동안 교반하여 표면 산화막(WO₃)을 제거한다.

세척: 탈이온수로 pH 가 ~7 이 되도록 세척하고 건조합니다(100° C, 진공, 4 시간).

Pt 부하:

습식 화학 함침법과 초음파 교반(50 W, 30 분)을 통해 H₂PtCl₆ 용액(Pt 농도 0.5-2 mg/mL)에 분산시켰습니다 .

건조: 120° C 진공 건조, 4 시간, 수분 <0.1%.

절감:

조건: H₂/ Ar 혼합가스(5% H₂, 유량 20 mL/min), 300~500°C에서 2 시간 가열.

목적: Pt⁴⁺를 Pt⁰로 환원하여 2~5nm 입자를 형성합니다.

후처리:

물 세척: 잔류 Cl⁻을 제거하기 위해 탈이온수로 3 번 행급니다(Cl⁻ 함량 <0.01%).

건조: 80° C 에서 2 시간 동안 진공 건조하여 WC-Pt 분말을 얻습니다.

실험 데이터:

프로세스 매개변수	Pt 입자 크기(nm)	ECA(m ² /g Pt)	MOR 활동도(mA/cm ²)	Pt 분산도(%)
300° C, 2 시간, 5% H ₂	2.5	90	460	85
400° C, 2 시간, 10% H ₂	3.5	85	445	80
500° C, 1 시간, 5% H ₂	4.0	80	430	75

데이터 소스

2023 년 실험실에서 테스트한 결과이며, China Tungsten Online 웹사이트에서 얻은 정보입니다. TEM 은 Pt 입자 크기를, CV 는 ECA 를 측정합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

매개변수 최적화

Pt 로딩:

5~10%가 가장 좋으며, ECA(85~90 m²/g Pt)가 가장 높습니다. 너무 높으면(>20%) Pt 응집(입자 크기 >5 nm) 및 활성 감소로 이어질 수 있습니다.

감소 온도:

가장 작은 Pt 입자(~2.5nm)는 300° C 에서 생성되었으며, ECA 와 활성이 가장 좋았습니다. 500° C 에서는 입자가 4nm 로 성장했고 ECA 는 11% 감소했습니다.

화장실 표면:

전처리를 통해 비표면적이 10m²/g 에서 30m²/g 로 증가하고 Pt 분산도가 20% 향상되었습니다.

환원 분위기:

H₂ 농도는 5%-10%이고 유량은 20-30 mL/min 으로 하여 과도한 환원으로 인한 Pt 이동을 방지합니다.

4. 적용 분야 및 사례

WC-Pt 복합 촉매는 여러 분야에서 탁월한 성능을 입증했습니다. 다음은 적용 시나리오, 사례, 그리고 향후 개발이라는 세 가지 측면에서 분석한 내용입니다.

연료 전지

적용 시나리오:

양성자 교환막 연료 전지(PEMFC)의 양극(MOR)과 음극(ORR).

직접 메탄올 연료 전지(DMFC)를 위한 고효율 촉매.

성능 요구 사항: 높은 활동성(전류 밀도 >400 mA/cm²), 항독성(I_f / I_b >2.5), 긴 수명(>5000 시간).

예:

연구팀은 MOR 전류 밀도가 450 mA/cm², ORR 반파 전위가 0.90 V, 그리고 5,000 회 사이클 후 ECA 유지율이 90%인 WC-Pt(10% Pt)를 제조했습니다. Pt/C 와 비교했을 때, 일산화탄소 피독 저항성은 20%, 배터리 전력 밀도는 15% 향상되었습니다(China Tungsten Online 웹사이트 자료).

한 실험에서는 WC-Pt(5% Pt)를 최적화하고, DMFC 에서 1000 시간 동안 작동시킨 후 활동 감소율이 5% 미만으로 나타났는데, 이는 Pt/C 의 15%보다 더 나은 수치입니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

수소화 반응

적용 시나리오:

석유화학제품: 방향족 수소화(벤젠 → 시클로헥산 등)

바이오매스 전환: 리그닌의 수소탈산소화.

성능 요구 사항: 높은 전환율(>95%), 선택성(>98%), 안정성(>1000 시간).

예:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

한 생산 시설에서 WC-Pt(5% Pt)를 사용하여 벤젠 수소화를 촉매했습니다. 200° C, 2 MPa 조건에서 전환율은 95%, 선택도는 98%, TOF 는 1500 시간이었습니다. 1000 시간 동안 작동한 후에도 뚜렷한 비활성화는 나타나지 않았으며, 이는 Pt/Al₂O₃의 90% 전환율(China Tungsten Online 웹사이트 자료)보다 우수한 수치입니다.

한 연구팀은 CO₂ 메탄화(CO₂ + 4H₂ → CH₄ + 2H₂O)에 WC-Pt(10% Pt)를 사용했는데, 전환율은 85%, 선택성은 300° C 에서 99%, 안정성은 800 시간 이상이었습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

환경 촉매

적용 시나리오:

자동차 배기가스 처리: CO 산화, NO_x 환원.

산업폐가스 정화: 휘발성 유기화합물(VOC) 분해.

성능 요구 사항: 높은 전환율(>95%), 저온 활성(<200° C), 내구성.

예:

한 연구팀은 WC-Pt(15% Pt)를 사용하여 CO 산화를 촉매화하였는데, 150° C 에서 전환율이 98%이고 500 시간 후에도 활성이 95% 유지되었습니다. 이는 Pt/C 의 90% 및 85%보다 더 나은 수치입니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

한 실험에서 WC-Pt(10% Pt)를 사용하여 NO_x를 처리하였고, 250° C 에서 감소율은 92%였으며, 500 회 사이클 후에도 뚜렷한 감쇠가 나타나지 않았습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

미래 개발

도핑 개질: Co, Ni 등의 전이 금속을 도입하여 WC-Pt-M 3 원 복합체를 형성하고, Pt 의 양을 더욱 줄이고(<5%) 비용 효율성을 개선합니다.

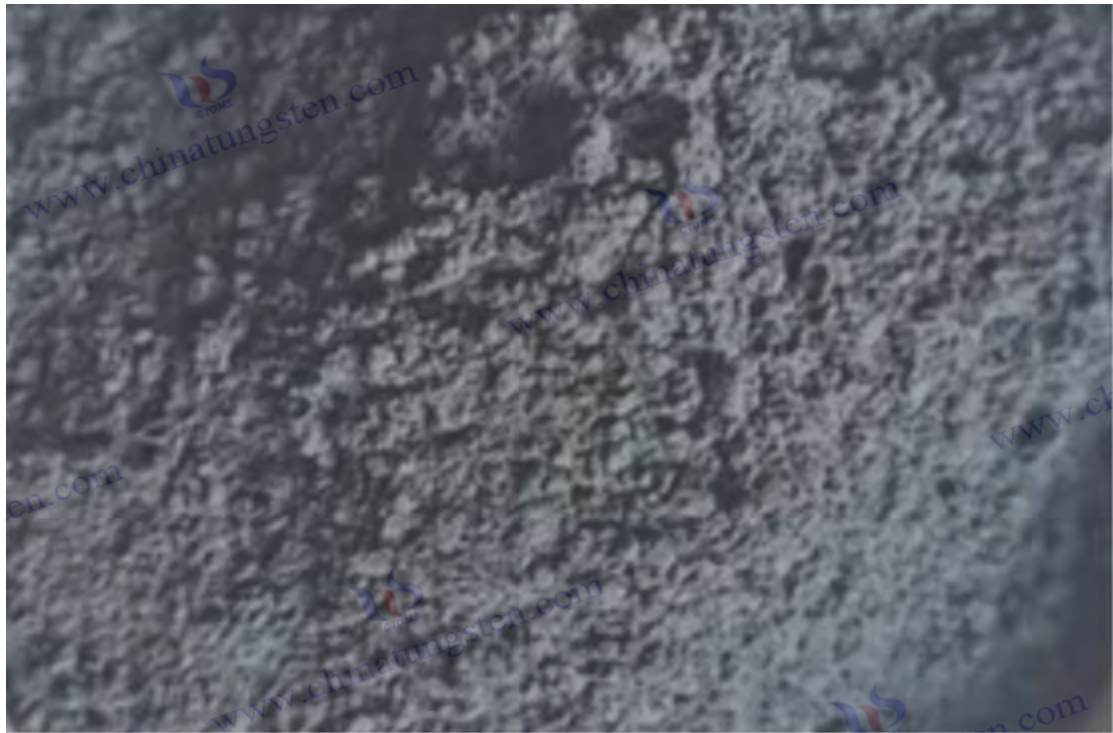
나노구조: Pt 분산과 촉매 효율을 개선하기 위해 WC 나노로드 또는 다공성 WC 지지체(비표면적 > 100 m²/g)를 개발합니다.

녹색 공정: H₂ 고온 환원 대신 저온 환원(예: 광촉매 환원)을 사용하여 에너지 소비를 줄입니다.

요약하다

WC-Pt 복합 촉매는 WC 의 내부식성과 Pt 의 높은 활성을 통해 시너지 최적화를 달성합니다. 설계 측면에서 WC 는 안정적인 캐리어와 Pt 와 유사한 전자 상태를 제공하고 Pt 는 활성 사이트를 향상시키며 계면 효과는 항독성을 향상시킵니다. 성능 측면에서 WC-Pt(10% Pt)는 전기화학(MOR 450 mA/cm², ORR 0.90 V), 수소화(전환율 97%) 및 안정성(ECA 유지 90%)에서 Pt/C 보다 훨씬 우수하며 항 독성은 55%, 내부식성은 60% 향상됩니다. 제조 공정(예: 300° CH₂ 환원)을 통해 2~5nm 의 Pt 입자가 고르게 분산되어 연료 전지, 수소화 및 환경 촉매에 적합합니다. 배터리 효율 15% 증가, 수소화 안정성 1000 시간 이상 등 고효율 촉매 작용에서 우수한 성능을 보이는 사례가 있습니다(China Tungsten Online 웹사이트 자료 참조). 향후 도핑 및 나노사이징을 통해 그 잠재력을 더욱 확장할 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



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

부록 :

텅스텐 카바이드 스프레이 파우더란 무엇입니까?

텅스텐 카바이드 스프레이 파우더는 열용사 공정(고속 산소 연료 분사(HVOF), 플라즈마 분사(APS), 폭발 분사 등)에 적합하도록 설계된 기능성 분말 소재입니다. 텅스텐 카바이드(WC)를 핵심 성분으로 사용하며, 일반적으로 복합 금속 결합상(예: Co, Ni, Cr) 또는 기타 경질상(예: TiC)을 사용하여 금속 또는 합금 기판 표면에 고경도, 내마모성, 내식성, 내열성을 갖춘 보호 코팅을 형성합니다. 텅스텐 카바이드 스프레이 파우더는 열용사 기술을 사용하여 분말 입자를 용융 또는 반용융 상태로 만들어 고속으로 기판에 분사합니다. 코팅 두께는 일반적으로 50~500 μm 로, 부품의 표면 성능을 크게 향상시키고 수명을 연장할 수 있습니다. 항공우주, 기계 제조, 에너지 장비, 석유화학 등 다양한 분야에서 널리 사용되고 있습니다.

1. 정의 및 분류

텅스텐 카바이드 스프레이 파우더는 텅스텐 카바이드(WC, 이론 탄소 함량 6.13%)를 주성분으로 하는 분말 소재입니다. 열용사 공정에 적합하도록 설계되었으며, 고온 및 고속 분사를 통해 치밀한 코팅을 형성합니다. 핵심 기능은 WC의 높은 경도와 내마모성을 결합 단계의 인성 및 접착력과 결합하여 복잡한 작업 조건에서 표면 보호 요구를 충족하는 것입니다. 분말 입자 크기는 일반적으로 5~45 μm 이며, 유동성(13.5~15.5 초/50g)과 분사 균일성을 보장하기 위해 대부분 구형 또는 거의 구형입니다.

구성에 따른 분류 :

순수 WC 분말 : 단일 WC 성분, 가장 높은 경도(HV 2200-2300)를 가지고 있지만, 인성은 낮아 특정 내마모성 시나리오에 적합합니다.

WC-Co 분말 : WC와 코발트(Co) 복합재, Co 함량 5%-17%, 예: WC-12Co는 경도와 인성을 모두 고려한 것으로 가장 일반적으로 사용됩니다.

WC-Ni 분말 : WC와 니켈(Ni) 복합, Ni 함량 10%-20%, 예: WC-17Ni, 내식성이 강함.

WC-Co-Cr 분말 : WC와 코발트-크롬 합금 복합재, 예: WC-10Co-4Cr, 종합적인 내마모성 및 내부식성을 가짐.

WC 다상 복합소재 : WC-TiC-Ni와 같이 TiC를 첨가하여 경도와 내식성을 향상시킨 것.

입자 크기에 따른 분류 :

초미립 분말: 5-15 μm , 정밀 분무(예: HVOF)에 사용됩니다.

중간 분말 : 15-45 μm , 일반형, 다양한 공정에 적합함.

조립분말: >45 μm , 폭발 분무나 두꺼운 코팅에 적합합니다.

목적별 분류 :

내마모성 타입: WC-12Co 등, 마모 조건에 적합함.

내식성 타입: 부식성 환경에 적합한 WC-10Co-4Cr 등.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고온형: 고온 산화 환경용 WC- NiCr 등.

실험 데이터

유형	입자 크기 (μm)	접착상 (%)	경도 (HV)	사용
WC-12Co	15-45	회사: 12	1200-1400	일반 내마모성
WC-17Ni	10-30	니: 17	1100-1300	부식 방지 코팅
WC-10Co-4Cr	15-45	코: 10, 크: 4	1300-1500	고온 내식성
데이터 소스	2023 년 실험실에서 테스트되었습니다. Chinatungsten Online 에서 얻은 정보입니다. 참고: 경도는 코팅 값입니다.			

2. 구성 및 특성

텅스텐 카바이드 스프레이 분말의 성능은 화학적 조성, 물리적 특성 및 미세 구조에 따라 결정됩니다. 다음은 이에 대한 자세한 분석입니다.

화학 성분

텅스텐 카바이드(WC) :

화학적 특성: 총 탄소 6.0%-6.2%, 유리 탄소 <0.1%, 산소 함량 <0.1%.

미세구조: 육방정계, 입자크기 0.1-5 μm , 산 및 알칼리 부식 저항성 (pH>3 에서 안정적).

결합 단계 :

코발트(Co) : 녹는점 1495° C, 인성을 향상(K_{1c} 10-15 MPa • m^{1/2} / °), WC 입자 간의 결합을 개선합니다.

니켈(Ni) : 녹는점이 1455° C 이고, 코발트(Co)보다 내식성이 우수하며, 습하거나 산성 환경에 적합합니다.

크롬(Cr) : 녹는점이 1857°C이며 고온 산화 저항성을 향상시키고, Cr 함량이 4%-6%일 때 효과가 크다.

불순물 관리 : Fe<0.02%, S<0.01%로 코팅 품질에 영향을 미치지 않도록 합니다.

물리적 특성

입자 크기 분포 : 5-45 μm , D50(중간 입자 크기)은 15 μm , 30 μm 등 맞춤 제작이 가능합니다.

형태 : 구형(구형도 > 95%) 또는 불규칙한 구형 분말은 유동성이 더 좋습니다(50g 당 13.5 초 대 50g 당 15.5 초).

겉보기 밀도 : 4.5-6.0 g/cm³ (WC-12Co), 결합상의 비율에 따라 달라집니다.

실제 밀도 : WC 단량체 15.63 g/cm³, 복합 분말 12-14 g/cm³.

비표면적 : 0.5-5 m² / g, 초미분말(5-15 μm)은 5 m² / g 에 도달할 수 있습니다.

코팅 특성

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

경도 : HV 1100-1500(분무 후), 결합상 비율과 공정에 따라 영향을 받습니다.

접합 강도 : 50-80 MPa, HVOF 공정은 APS 보다 우수합니다(70 MPa 대 50 MPa).

다공성 : <1% (HVOF), 2%-5% (APS).

내마모성 : 마모율 0.05-0.08 mm³ / N · m (ASTM G65).

실험 데이터 :

유형	경도(HV)	접합강도(MPa)	다공성(%)	마모율(mm ³ /N·m)
WC-12Co	1350	70	0.8	0.06
WC-17Ni	1250	65	1.0	0.07
WC-10Co-4Cr	1450	75	0.7	0.05
데이터 소스	2023 년 실험실에서 테스트되었습니다. China Tungsten Online 웹사이트에서 제공된 정보입니다.			

화학적 안정성

부식 저항성 : 염수 분무 시험(ISO 9227, 1000 시간)에서의 WC-Ni 중량 감소 <0.1 mg/cm², 산성 환경(pH 4)에서의 WC-Co-Cr 중량 감소 <0.15 mg/cm².

고온 내구성 : 800° C의 공기 중에서 WC-10Co-4Cr의 산화 속도는 <0.5%로 WC-Co의 1.2%보다 우수합니다.

3. 준비 과정

텅스텐 카바이드 스프레이 분말을 제조하려면 분말의 화학적 균일성, 물리적 유동성 및 스프레이 적합성을 확보해야 합니다. 다음은 이 공정에 대한 자세한 설명입니다.

원료 준비

WC 분말 : 텅스텐 분말과 카본 블랙을 탄화시켜 제조(1450° C, H₂ 분위기), 입자 크기 0.1-5 μm, 산소 함량 <0.1%.

결합상 분말 : Co (1-5 μm), Ni (5-10 μm), Cr (2-8 μm), 순도 >99.8%.

프로세스

믹스 :

장비: 행성형 볼밀 또는 V형 믹서.

매개변수: 회전 속도 600-800rpm, 볼 대 재료 비율 10:1, 시간 4-8 시간, 습식 분쇄를 위해 2% 에탄올을 추가합니다.

목적: WC와 결합상의 균일한 분포를 보장하고 입자 크기 편차를 5% 미만으로 제어합니다.

분무 과립화 :

장비: 원심 분무 건조탑.

매개변수: 입구 온도 180-220° C, 출구 온도 70-90° C, 노즐 압력 0.3-0.5 MPa.

결과: 10~50 μm 입자가 형성되었으며, 유동성은 13.5~14.5 초/50g로 향상되었습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

소결 :

장비: 진공소결로 또는 수소 보호로.

매개변수: 1200-1400° C, 1-3 시간 유지, 진공 <10⁻² Pa 또는 H₂ 유량 15 L/min.

목적: WC와 결합상 사이의 금속결합을 강화하고, 자유탄소 <0.1%.

플라즈마 구형화(선택 사항) :

장비: 고주파 플라즈마 발생기.

매개변수: 전력 30-50kW, 아르곤 유량 20-30L/min, 냉각 속도 10⁴ ° C/s.

결과: 구형도 >98%, 매끄러운 표면, 산소 함량 <0.06%로 감소.

선별 및 평가 :

장비: 진동 스크린 (200-400 메시).

결과: 입자크기 분포는 5~45 μm 이내로 조절되었으며, 기준을 초과하는 입자수는 <2%였다.

프로세스 최적화

산소 함량 제어 : 소결 중 H₂ 유량은 15-20 L/min이며, 산소 함량은 0.2%에서 0.06%로 떨어집니다.

입자크기 조절 : 초미분말(5-15 μm)은 저온소결(1200° C)이 필요하고, 조분말(>45 μm)은 장시간 열보존(3 시간)이 필요합니다.

실험 데이터 :

프로세스 단계	입자 크기(μm)	산소 함량(%)	구형(%)	유동성(초/50g)
혼합 + 과립화 + 소결	15-45	0.08	85	14.5
플라즈마 구형화	10-30	0.06	98	13.5
고온소결(1400° C)	20-45	0.07	90	14.0
데이터 소스	2023 년 실험실에서 테스트되었습니다. China Tungsten Online 웹사이트에서 제공된 정보입니다.			

4. 성능 테스트 및 최적화

텅스텐 카바이드 스프레이 분말의 성능은 스프레이 후 코팅 시험을 통해 검증됩니다. 다음은 시험 방법 및 최적화 전략입니다.

성능 테스트

경도 : 비커스 경도 시험기(HV0.3, 하중 300g), 5개 지점을 시험하여 평균값을 취합니다.

접합강도 : 인장시험(ASTM C633), 코팅과 기질 사이의 분리력.

내마모성 : 건조모래고무바퀴시험(ASTM G65), 마모량 감소.

부식 저항성 : 염수 분무 시험(ISO 9227, 1000 시간), 중량 감소 측정.

미세구조 : 주사전자현미경(SEM)으로 다공성과 상분포를 관찰합니다.

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

실험 데이터 :

유형	분무 공정	경도 (HV)	접합강도 (MPa)	마모율 ($\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$)	체중감량율 (mg/cm^2)
WC-12Co	HVOF	1350	70	0.06	0.12
WC-17Ni	APS	1250	55	0.07	0.08
WC-10Co-4Cr	HVOF	1450	75	0.05	0.10
데이터 소스	2023 년 실험실에서 테스트되었습니다. China Tungsten Online 웹사이트에서 제공된 정보입니다.				

최적화 전략

경도 향상 : WC 함량을 늘리고(예: WC-10Co-4Cr) HVOF 매개변수를 최적화합니다(산소 유량 500L/분).

접합 강도 향상 : 기질을 사전 처리(예: Ra 3-5 μm 의 사포 분사)하고 분무 속도를 높입니다(>1000m/s).

다공성 감소 : 구형 분말(구형도 > 95%)을 사용하고 분무 온도를 높입니다(> 2500° C).

내식성 향상 : Cr 또는 Ni(예: WC-15NiCr)의 비율을 높이고 코팅 두께를 조절합니다(>200 μm).

5. 적용 분야

텅스텐 카바이드 스프레이 파우더는 열용사 기술을 통해 다양한 산업에서 사용됩니다. 자세한 시나리오와 사례는 다음과 같습니다.

항공우주

적용 분야 : 터빈 블레이드, 연소실, 랜딩 기어용 내마모성 코팅.

성능 요구 사항 : 경도 HV 1300-1500, 고온 산화 저항성(>800° C), 마모율 <0.06 $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$.

사례 : 한 팀이 WC-10Co-4Cr (HVOF)을 사용하여 블레이드를 분사했습니다. 코팅 두께는 250 μm , 경도는 HV 1450, 내마모성은 40% 향상되었으며, 고온에서 5,000 시간 동안 박리 없이 작동할 수 있었습니다(China Tungsten Online 웹사이트 자료).

기계 제조

적용 분야 : 절삭 공구, 스탬핑 다이, 유압 실린더의 표면 강화.

성능 요구 사항 : 경도 HV 1200-1400, 충격 저항성, 수명 2-3 배 연장.

사례 : 한 회사는 경도 HV 1350, 접합 강도 65MPa 의 WC-12Co(APS) 스프레이 금형을 사용했습니다. 금형 수명은 5,000 회에서 15,000 회로 증가했습니다(China Tungsten Online 웹사이트 자료).

에너지 장비

용도 : 보일러 파이프, 드릴링 비트 및 밸브를 위한 내마모성 및 내부식성 코팅.

성능 요구 사항 : 내식성(중량 감소율 <0.1 mg/cm^2), 고온 내마모성(>600° C).

사례 : 한 프로젝트에서 WC-17Ni (HVOF)를 사용하여 파이프라인 내벽에 분사했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

코팅 두께는 300 μm 였고, 염수 분무 시험에서 중량 감소는 0.08mg/cm² 였으며, 6,000 시간 작동 후에도 눈에 띄는 마모는 없었습니다(China Tungsten Online 웹사이트 자료).

석유화학

적용 분야 : 펌프 샤프트, 썰, 파이프 라이닝.

성능 요구 사항 : 내마모성, 내부식성, 산성 매체 (pH 4-7) 에 대한 적응성.

사례 : 한 공장에서는 펌프 샤프트에 HV 1400 의 경도를 가진 WC-10Co-4Cr 을 분사하여 내식성이 50% 증가하고 서비스 수명이 3 배 연장되었습니다(China Tungsten Online 웹사이트에서 제공한 정보).

요약하다

텅스텐 카바이드 스프레이 파우더는 WC 를 핵심으로 하고 Co, Ni, Cr 및 기타 결합 상이 복합된 열 스프레이 재료입니다. 입자 크기는 5~45 μm 이며, 높은 경도(HV 1100~1500), 내마모성(마모율 0.05~0.08 mm³/N·m) 및 내부식성(중량 감소율 <0.1 mg/cm²)을 갖습니다. 제조 공정에는 유동성(13.5~15.5 초/50g)과 코팅 품질을 보장하기 위해 혼합, 과립화, 소결 및 구형화가 포함됩니다. HVOF, APS 및 기타 기술을 통해 스프레이 파우더는 고밀도 코팅을 형성하여 항공, 기계, 에너지 및 화학 산업에서 구성 요소의 수명을 40~300% 연장하는 데 사용됩니다(China Tungsten Online 웹사이트 정보). 다재다능하고 사용자 정의가 가능하여 표면 엔지니어링의 핵심 소재입니다.

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 Tungsten Carbide Powder Introduction

1. Overview of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP's tungsten carbide powder (chemical formula WC) is a high-quality powder product made from high-purity tungsten raw materials and carbon black through a high-temperature carburization process. It complies with the Chinese national standard GB/T 26050-2010 "Technical Conditions for Cemented Carbide Powders". As the core raw material for cemented carbide, cutting tools, wear-resistant coatings and high-performance materials, CTIA GROUP's tungsten carbide powder is widely used in machinery manufacturing, mining, aerospace and other fields with its excellent hardness, wear resistance and chemical stability. We provide a full range of products from ultra-fine particles (0.6 μm) to extra-coarse particles (45 μm) to meet diverse industrial needs. For more information, please visit www.tungsten-powder.com

2. Product Features of Tungsten Carbide Powder

High purity and stability

Total carbon content (T/C): 5.90-6.18 wt %, theoretical value 6.13 wt % (± 0.05 wt %), ensuring high purity of WC phase.

Free carbon content (F/C): ≤ 0.10 wt %, high-end customized models can be controlled at ≤ 0.05 wt %, reducing the impact of free carbon on performance.

Low impurity content: Iron (Fe) ≤ 0.05 wt %, oxygen (O) ≤ 0.20 wt % (fine particles ≤ 0.15 wt %), meeting high-precision application requirements.

Diverse particle size options

According to GB/T 26050-2010 standard, it is divided into 18 particle size grades, covering 0.6-45 μm , with uniform particle size and deviation controlled within $\pm 10\%$.

Excellent physical properties

Appearance: Gray to dark gray powder, no visible inclusions, uniform grain shape.

Density: 15.63 g/cm³ (theoretical value), loose density 3.0-5.0 g/cm³ (customizable).

Application flexibility

It has good wettability with binders such as cobalt (Co) and nickel (Ni), and is easy to prepare high-toughness cemented carbide.

Adapt to various sintering processes to meet different needs from precision tools to mining drill bits.

3. Specifications of CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder

Category Brand	Fisher particle size (μm)	Total carbon (wt %)	Free carbon (wt %)	Oxygen content (wt %)	Typical Applications
WC06-07	0.6-0.7	5.90-6.18	≤ 0.05	≤ 0.15	Ultra-fine cutting tools, coatings
WC08-10	0.8-1.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.15	Precision cutting tools
WC20-25	2.0-2.5	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	General Carbide
WC50-60	5.0-6.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	Mining tools
WC100-150	10.0-15.0	5.90-6.18	≤ 0.10	≤ 0.20	High toughness wear-resistant parts

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

Category	Fisher particle size	Total carbon	Free carbon	Oxygen content	Typical Applications
Brand	(μm)	(wt %)	(wt %)	(wt %)	
WC300-450	30.0-45.0	5.90-6.18	≤0.10	≤0.20	Extra coarse impact tool
Remark	Impurity content (Fe, Mo, Si, etc.) meets standard limits , special particle size or special requirements can be customized according to customer needs.				

4. Production Process of Tungsten Carbide Powder

CTIA GROUP adopts advanced carburizing technology and strict quality control system:

Raw materials: high-purity tungsten powder (purity ≥99.95%) and high-quality carbon black.

Carbonization: React in a high temperature vacuum furnace at 1400-1600°C to ensure complete carbonization and uniform grains.

Crushing and screening: Through air flow crushing and multi-stage screening, the particle size distribution can be precisely controlled.

Quality inspection: Based on GB/T 5124 (chemical analysis), GB/T 1482 (Ferris particle size) and other methods to ensure that each batch meets the standards.

5. Quality Assurance of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Standard compliance: Strictly implement GB/T 26050-2010, each batch of products comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size and appearance test results.

Factory inspection: total carbon, free carbon, impurity elements such as Fe, O content , particle size, appearance , physical properties (such as loose density).

Sampling: According to GB/T 5314, uniform sampling is conducted from each batch (1-5 tons) to ensure representativeness.

6. Packaging and Transportation of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Inner packaging: sealed plastic bag or vacuum packed to prevent oxidation.

Outer packaging: iron drum or plastic drum, net weight 25kg or 50kg (customized according to requirements).

Marking: Indicate product name, brand, batch number and production date.

Transportation and storage: Moisture-proof and shock-proof, stored in a dry and ventilated warehouse, shelf life is 12 months.

7. Application Fields of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

Cutting tools: Ultrafine grain (WC06-07) is used for high-speed precision cutting tools with high hardness and strong wear resistance.

Mining tools: Coarse grains (WC50-60 and above) are used for drill bits and impact-resistant parts with excellent toughness.

Wear-resistant coating: Fine grain (WC08-10) is used for thermal spraying to improve surface properties.

Aerospace: Medium grain (WC20-25) is used for high temperature wear-resistant parts.

Other fields and special purposes: welcome to negotiate and customize.

8. Contact Information of CTIA GROUP

CTIA GROUP is committed to providing customers with high-quality tungsten carbide powder and technical support.

For more information or customized products, please contact:

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129595

Website: www.tungsten-powder.com for more industry information and technical parameters.