

Wolframcarbidpulver (TCP)

Physikalische und chemische Eigenschaften, Herstellung und Anwendungen

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

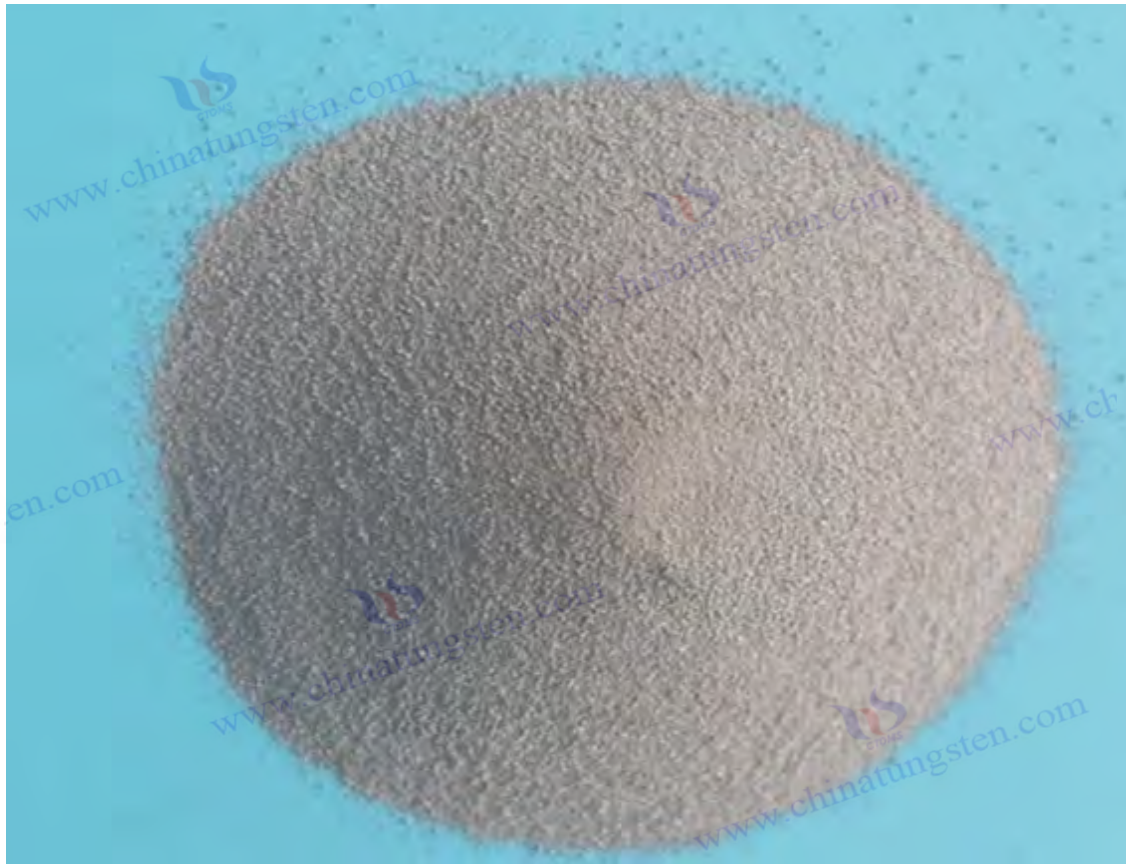
CTIA GROUP LTD

Weltweit führend in der intelligenten Fertigung für die Wolfram-, Molybdän- und
Seltenerdindustrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Bedeutung und Forschungshintergrund von Wolframcarbidpulver
Ziele und Zielgruppe dieses Buches
Schreibmethode und Inhaltsübersicht

Kapitel 1: Einführung in Wolframcarbidpulver

- 1.1 Definition und chemische Zusammensetzung
- 1.2 Historische Entwicklung
- 1.3 Grundlegende physikalische und chemische Eigenschaften
- 1.4 Klassifizierung von Wolframcarbidpulver

Kapitel 2: Produktionsprozess von Wolframcarbidpulver

- 2.1 Rohstoffaufbereitung
- 2.2 Traditionelle Karbonisierungsmethode
- 2.3 Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)
- 2.4 Mechanisches Legierungsverfahren
- 2.5 Andere neue Technologien
- 2.6 Nachbearbeitungstechnologie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Kapitel 3: Mikrostruktur und Charakterisierungstechnologie von Wolframcarbidpulver

- 3.1 Mikrostruktureigenschaften
- 3.2 Charakterisierungsmethoden
- 3.3 Analyse der chemischen Zusammensetzung
- 3.4 Prüfung der physikalischen Eigenschaften

Kapitel 4: Anwendungsgebiete von Wolframcarbidpulver (Schlüsselkapitel)

Überblick

Die Vielseitigkeit und der Anwendungswert von Wolframcarbidpulver

Kapitelstruktur und Forschungsmethoden

Datenquelle und Fallanalyse

4.1 Hartmetallherstellung

4.1.1 Schneidwerkzeuge

4.1.1.1 Drehwerkzeuge und Fräser

WC-Co-Formel (Kobaltgehalt 6–12 %) und Schnittleistung Daten: Schnittgeschwindigkeit um 50 % erhöht (im Vergleich zu Schnellarbeitsstahl, > 200 m/min) Fall: Bearbeitung von Zylinderblöcken von Automotoren (Lebensdauer > 100.000 Stück)

4.1.1.2 Bohrer und Bohrwerkzeuge

WC-Pulver in Mikron-Qualität (1–3 μm) bei der Tieflochbearbeitung. Leistung: Härte HV 1600, Absplitterungsfestigkeit > 12 MPa·m^{1/2}. Technologie: Mehrschichtiger WC- TiC -beschichteter Bohrer (Verschleißfestigkeit um das Dreifache erhöht).

4.1.1.3 Spezielle Schneidwerkzeuge

Mikrobohrer für Leiterplatten (Durchmesser < 0,1 mm) und Werkzeuge zur Verarbeitung von superharten Materialien. Sinterprozess (1450 °C, HIP) von Nano-WC-Pulver (< 100 nm). Fall: Verarbeitung von Verbundwerkstoffen für die Luftfahrt (Genauigkeit $\pm 0,005$ mm).

4.1.2 Verschleißteile

4.1.2.1 Stanzwerkzeuge

Anwendung von WC-basierten Matrizen in Kaltumformungsstahlplatten Daten: Lebensdauer > 500.000-mal (5-mal höher als Cr12MoV) Technologie: WC-Co-Sintern (1500 °C, 30 MPa)

4.1.2.2 Drahtziehstein und Strangpressstein

feines WC-Pulver (0,5–1 μm) beim Kupferdrahtziehen Leistung: Oberflächenrauheit Ra < 0,02 μm , Verschleißrate < 0,001 mm³/N·m Fall: Drahtziehstein in der Kabelindustrie (Dauerbetrieb > 6 Monate)

4.1.2.3 Verschleißfeste Lager und Dichtungen

Anwendung von WC-Ni-Verbundwerkstoffen in Hochgeschwindigkeitslagern Daten: Reibungskoeffizient < 0,1, Temperaturbeständigkeit > 800°C Technologie: Heißisostatisches Pressen (HIP) Prozessoptimierung

4.1.3 Präzisionsbearbeitungswerkzeuge

4.1.3.1 Zahnärztliche und medizinische Instrumente

Mikrozerspantung von WC-Pulver auf Dentalbohrern (Durchmesser 0,3–1 mm) Eigenschaften: Härte HV 1800, Biokompatibilität (ISO 10993-5) Anwendungsbeispiel: Dentalchirurgischer Bohrer (Haltbarkeit >

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1000-fach)

4.1.3.2 Optische Form

Anwendung von ultrafeinem WC-Pulver in Glaslinsenformen Daten : Oberflächengenauigkeit <10 nm, Lebensdauer >100.000 Matrizenpressungen Technologie: Spiegelpolieren kombiniert mit WC-Beschichtung

4.2 Oberflächenbeschichtungstechnologie

4.2.1 Thermisches Spritzbeschichten

4.2.1.1 HVOF-Spritzen

Anwendung von WC-Co-Pulver (10–12 % Co) in verschleißfesten Beschichtungen. Daten: Beschichtungshärte HV 1200–1400, Verschleißrate <0,01 mm³/N·m. Fall: Flugzeugtriebwerksschaufeln (Lebensdauer > 3000 Stunden).

4.2.1.2 Flamspritzen

Anwendung von WC-Ni-Pulver in kostengünstigen verschleißfesten Beschichtungen. Leistung: Bindungsstärke > 50 MPa, Dicke 100–300 µm. Fall: Klingen für landwirtschaftliche Maschinen (Verschleißfestigkeit um das Vierfache erhöht).

4.2.2 Plasmaspritzen und Laserauftragschweißen

4.2.2.1 Plasmaspritzen

WC-Cr₃C₂-Verbundbeschichtung in Hochtemperatur-Korrosionsbeständigkeit Daten: Oxidationsbeständigkeit >1000°C, Porosität <2% Fall: Gasturbinenschaufeln (Betriebsdauer > 5000 Stunden)

4.2.2.2 Laserauftragschweißen

Verfestigung der Oberfläche von Ölbohrwerkzeugen mit WC-Pulver. Leistung: Beschichtungsdicke 0,5–2 mm, Härte HV 1300. Fall: Tiefsee-Bohrgestänge (Korrosionsbeständigkeit > 2 Jahre).

4.2.3 Hohe Temperaturbeständigkeit und spezielle Beschichtung

4.2.3.1 Thermoschockbeständige Beschichtung

Anwendung von WC-basierten Beschichtungen in Hochtemperaturformen Daten: Wärmeausdehnungskoeffizient <5×10⁻⁶/°C, Temperaturbeständigkeit >1200°C Technologie: WC- TiC - Ni-Verbundbeschichtung

4.2.3.2 Chemisch beständige Beschichtung

Korrosionsbeständigkeit der WC-CoCr-Beschichtung in Chemiepipelines. Fall: Ventile in sauren Umgebungen (Lebensdauer > 3 Jahre)

4.3 Bergbau- und Bauwerkzeuge

4.3.1 Gesteinsbohrwerkzeuge

4.3.1.1 Hartgesteinsbohrer

Anwendung von WC-Einlegebohrern im Granitabbau Daten: Schlagzähigkeit >25 J/cm², Bohrgeschwindigkeit >12 m/h Anwendungsfall: Sprengbohrungen im Bergbau (Standzeit > 1000 m)

4.3.1.2 Kohleflözbohrwerkzeuge

WC-Co-Schneidkopf im Kohlebergbau Leistung: Härte HV 1500, Verschleißfestigkeit <0,002 mm³/N·m Technologie: WC- TiC -Verbundverstärkung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

4.3.2 Schildfräsen und Tunnelvortriebsgeräte

4.3.2.1 Metro-Schildschneidkopf

Anwendung von Schneidwerkzeugen auf WC-Basis in Sandsteinformationen. Daten: Schneidlebensdauer > 6000 m, Verschleißfestigkeit um das Zweifache erhöht. Fall: Städtisches Tunnelprojekt (Austauschzyklus > 1 Jahr).

4.3.2.2 Tunnelfräse für harte Böden

WC- TiC- Werkzeuge aus Basalt Leistung: Bruchzähigkeit >15 MPa·m^{1/2} Technologie: Sinteroptimierung von superhartem WC-Pulver

4.3.3 Verschleißfeste Auskleidung und Brecherausrüstung

4.3.3.1 Kugelmühlenauskleidung

Anwendung einer WC-verstärkten Auskleidung bei der Erzmahlung. Daten: Verschleißrate <0,05 g/t, Lebensdauer >2 Jahre. Fall: Eisenerzverarbeitung (30 % Effizienzsteigerung).

4.3.3.2 Brecherhammer

Verschleißfestigkeit des WC-Co-Hammers beim Kalksteinbrechen. Leistung: Schlaglebensdauer > 100.000 Mal

4.4 Elektronik und Energiebereich

4.4.1 Leitfähige Beschichtungs- und Elektrodenmaterialien

4.4.1.1 Brennstoffzellenelektroden

Elektrische Leitfähigkeit von WC-Pulver in PEM-Brennstoffzellen Daten: Widerstand <10-5 Ω·cm , Zyklenstabilität >10.000-fach Technologie: PVD-Abscheidung von WC-Dünnschicht

4.4.1.2 Lithiumbatterie-Stromabnehmer

Haltbarkeit der WC-Beschichtung auf Aluminiumfolie. Leistung: Haftung > 20 N/cm, Korrosionsbeständigkeit um das Zweifache erhöht. Fall: Batterie für Elektrofahrzeuge (Kapazitätserhaltungsrate > 90 %).

4.4.2 Katalysatorträger

4.4.2.1 Wasserstoff-Kraftstoffkatalyse

Anwendung von Nano-WC-Pulver (<50 nm) in der Wasserelektrolyse Daten: Katalytische Aktivität >95% (im Vergleich zu Pt/C) Technologie: WC-Pt-Verbundkatalysator

4.4.2.2 Chemische Katalyse

Stabilität von WC-basierten Trägern in der Ammoniaksynthese Leistung: Temperaturbeständigkeit >600°C, Lebensdauer >5000 Stunden

4.4.3 Energiespeicherung und Wärmemanagement

4.4.3.1 Superkondensator

Spezifische Kapazität von Elektrodenmaterialien auf WC-Basis (>250 F/g) Daten: Zyklenlebensdauer > 8000-mal Fall: Neues Energiespeichersystem

4.4.3.2 Wärmemanagementbeschichtung

Anwendung der WC-Wärmeableitungsbeschichtung in LED-Leistung: Wärmeleitfähigkeit >120 W/m·K

4.5 Luft- und Raumfahrt sowie militärische Anwendungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.5.1 Turbinenschaufeln und Düsen

4.5.1.1 Flugzeugtriebwerksschaufeln

Anwendung einer WC-Co-Beschichtung bei hoher Temperaturverschleißfestigkeit. Daten: Temperaturbeständigkeit >1300°C, Lebensdauer >4000 Stunden. Fall: Turbofan-Triebwerk (Schubeffizienz um 5 % erhöht).

4.5.1.2 Raketendüse

Anwendung einer hitzebeständigen Beschichtung auf WC-Basis in Feststoffraketen. Leistung: Ablationsbeständigkeit <0,01 mm/s

4.5.2 Panzerungsmaterialien

4.5.2.1 Panzerung

Antiballistische Leistung der WC-Keramik-Verbundpanzerung. Daten: Härte >2200 HV, Durchdringungswiderstand >1200 m/s. Fall: Schutz für Kampfpanzer (Dicke <50 mm).

4.5.2.2 Plug-In für kugelsichere Westen

Anwendung von leichtem WC-Substrat Leistung: Gewicht <2 kg/m², Schutzstufe NIJ IV

4.5.3 Verschleißfeste Teile von Raumfahrzeugen

4.5.3.1 Bordmaschinen

Verschleißfestigkeit von WC-Beschichtungen in Satellitengelenken Daten: Reibungskoeffizient <0,05, Lebensdauer >10 Jahre Technologie: Vakuum-PVD-Verfahren

4.6 Weitere neue Anwendungen

4.6.1 3D-Druck und Additive Fertigung

4.6.1.1 Drucken von Metallteilen

Anwendung von WC-Co-Pulver im SLM (Selective Laser Melting) Daten: Dichte >99 %, Genauigkeit ±0,02 mm Fall: Rapid Prototyping von Flugzeugteilen

4.6.1.2 Formenbau

Vorteile von Nano-WC-Pulver in 3D-Druckformen Leistung: Oberflächenhärte HV 2000

4.6.2 Biomedizinische Materialien

4.6.2.1 Orthopädische Implantate

Verschleißfestigkeit der WC-Beschichtung im Hüftgelenk Daten: Verschleißrate <0,001 mm³/ N·m , Zellüberlebensrate >98% Technologie: WC-Ti-Kompositbeschichtung

4.6.2.2 Zahnrestorationen

WC-basierte Materialien in Zahnkronen Leistung: Bruchfestigkeit >1000 MPa

4.6.3 Intelligente Fertigung und Sensorik

4.6.3.1 Hochtemperatursensor

Stabilität von WC-Pulver in industriellen Sensoren Daten: Temperaturbeständigkeit > 1000 °C, Reaktionszeit < 1 ms Fall: Überwachung von Stahlherstellungsöfen

4.7 Anwendungsfälle und Datenanalyse

4.7.1 Übersichtstabelle für Branchenanalysen

Datenvergleich in den Bereichen Hartmetall, Beschichtung, Bergbau, Elektronik etc.

4.7.2 Leistungsvergleichsanalyse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schlüsselindikatoren wie Härte, Verschleißfestigkeit, Lebensdauer usw. (im Vergleich zu herkömmlichen Materialien)

4.7.3 Erfolgreiche Fallstudien

Beispiele für globale Unternehmensanwendungen (wie Sandvik, Kennametal)

4.8 Zukünftige Anwendungsaussichten

4.8.1 Potenziale in aufstrebenden Bereichen

Kühlkomponenten für Quantencomputer Flexible elektronische Leitschicht

4.8.2 Technische Herausforderungen und Lösungen

Verbesserung der Dispersion von Nano-WC-Pulver Verbesserte Stabilität von Hochtemperaturbeschichtungen

4.8.3 Marktprognose

Nachfragewachstumsrate im Jahr 2030 >6%, Analyse der Schlüsselbereiche

Kapitel 5: Qualitätskontrolle und Standards für Wolframcarbidpulver

5.1 Kernpunkte der Qualitätskontrolle

5.2 Internationale Normen

5.3 Nationale Normen

5.4 Standardvergleich und Anwendbarkeit

Kapitel 6: Leistungsoptimierung und Modifikation von Wolframcarbidpulver

6.1 Partikelgrößenoptimierung

6.2 Dotierung und Kompositmodifizierung

6.3 Oberflächenmodifizierungstechnologie

6.4 Wärmebehandlung und Glühen

Kapitel 7: Umwelt- und Sicherheitsaspekte von Wolframcarbidpulver

7.1 Umweltauswirkungen während der Produktion

7.2 Sicherheitstechnische Vorgaben

7.3 Recycling und Wiederverwertung

Kapitel 8: Markt und Entwicklungstrend von Wolframcarbidpulver

8.1 Globaler Marktüberblick

8.2 Trends in der Technologieentwicklung

8.3 Zukünftige Anwendungsaussichten

Kapitel 9: Terminologie, Standards und Ressourcen

9.1 Glossar der Begriffe im Zusammenhang mit Wolframcarbidpulver

9.2 Referenzen und Normen

9.3 Empfohlene Ressourcen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang

Anhang A: Mikrostruktur- und Leistungsanalyse von Wolframcarbidpulver

Anhang B: Partikelgrößen- und Herstellungsparameterstandards für Wolframcarbidpulver

Anhang C: Vergleich internationaler und nationaler Normen für Wolframcarbidpulver

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 $1400-1600^{\circ}\text{C}$ 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

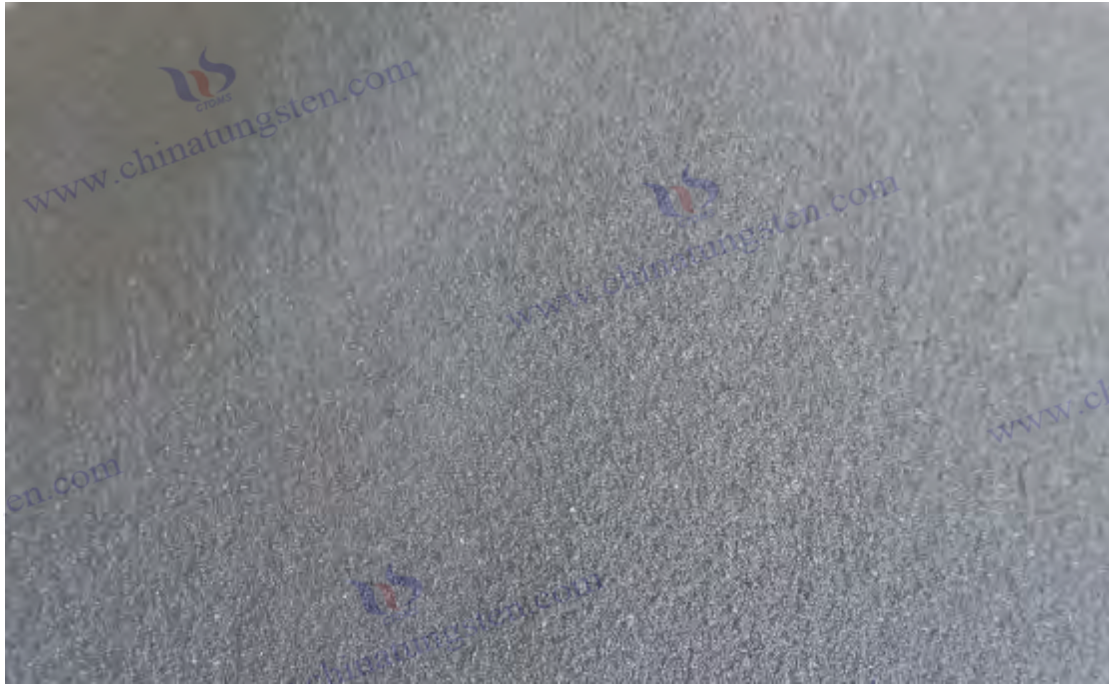
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

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.



Vorwort

Als Funktionswerkstoff mit hervorragender Leistung ist Wolframcarbidpulver (WC) mit seiner Härte von bis zu HV 2000–2500, seiner 10–20-mal besseren Verschleißfestigkeit als herkömmlicher Stahl und seinem Schmelzpunkt von bis zu 2870 °C zu einem Grundwerkstoff in der modernen Industrie und Spitzentechnologie geworden. Seine hexagonale Kristallstruktur (Gitterkonstante $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$) und hohe Dichte ($15,63 \text{ g/cm}^3$) verleihen ihm eine beispiellose mechanische Festigkeit und chemische Stabilität, wodurch sein Anwendungswert in der Hartmetallherstellung, der Oberflächenbeschichtungstechnologie, bei Bergbauwerkzeugen, in der Elektroenergie-technik, der Luft- und Raumfahrt und sogar der Biomedizin unersetzlich wird.

Von den scharfen Kanten industrieller Messer bis zu den hochtemperaturbeständigen Beschichtungen von Flugzeugtriebwerken, von den effizienten Katalysatoren von Brennstoffzellen bis zu den Präzisionsformen des 3D-Drucks – Wolframcarbidpulver erweitert mit seiner Vielseitigkeit und hohen Leistungsfähigkeit kontinuierlich die Grenzen der Materialwissenschaft und der Innovation der Industrietechnologie.

Die Entdeckungs- und Anwendungsgeschichte von Wolframcarbidpulver lässt sich bis in die Wolframchemieforschung des späten 19. Jahrhunderts zurückverfolgen. 1893 synthetisierte der französische Chemiker Henri Moissan erstmals Wolframcarbid durch eine Hochtemperatur-Aufkohlungsreaktion. Damals handelte es sich jedoch nur um ein Laborprodukt und hatte keine industrielle Anwendung.

Der eigentliche Durchbruch erfolgte in den 1920er Jahren, als der deutsche Metallurge Karl Schröter bei der Untersuchung von Hartstoffen auf Wolframbasis entdeckte, dass sich durch Sintern von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Wolframkarbidpulver mit Kobaltpulver (Co) (1450–1600 °C, 10–20 MPa) Hartmetall mit einer Härte nahe der von Diamant (HV 1500–1800) herstellen ließ. Diese Erfindung wurde 1923 von Osram in Deutschland patentiert und 1926 von Rheinmetall in Deutschland zur Herstellung von Schneidwerkzeugen industriell eingesetzt. Anschließend kam Wolframkarbid-Hartmetall unter dem Markennamen „Widia“ (deutsch für „Wie Diamant“) auf den Markt, ersetzte schnell herkömmlichen Schnellarbeitsstahl und läutete das Zeitalter des Hartmetalls ein. Chinas Forschungen zu Wolframkarbidpulver begannen in den 1950er Jahren. 1958 produzierte die Zhuzhou Cemented Carbide Factory erfolgreich die erste Charge WC-Co-Hartmetall und schloss damit die inländische Lücke. Seitdem hat sich die Anwendung von Wolframkarbidpulver in der chinesischen Industrie dank Chinas reichhaltigen Wolframvorkommen (ca. 60 % der weltweiten Reserven, Datenquelle: USGS 2023) rasant ausgeweitet und umfasst nun auch Bereiche wie Maschinenbau, Bergbau und Landesverteidigung.

Mit dem Aufkommen von Nanotechnologie, Oberflächentechnik und intelligenter Fertigung im 21. Jahrhundert hat sich das Anwendungsgebiet von Wolframkarbidpulver weiter erweitert. Laut Daten der CTIA GROUP lag der weltweite Jahresbedarf an Wolframkarbidpulver im Jahr 2023 bei über 60.000 Tonnen. Bis 2030 wird ein Marktvolumen von über 5 Milliarden US-Dollar erwartet, mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von etwa 6,5 %. Der Produktionsprozess hat sich vom traditionellen Hochtemperatur-Karbonisierungsverfahren (1800–2000 °C, Karbonisierungszeit 2–4 Stunden) hin zu chemischer Gasphasenabscheidung (CVD, Abscheidungsrate 0,1–1 µm /min), mechanischer Legierung (Kugelmahlzeit 20–50 Stunden, Korngröße < 50 nm) und anderen fortschrittlichen Technologien weiterentwickelt. Die Partikelgröße wurde vom Mikrometerbereich (1–5 µm) auf den Nanometerbereich (<100 nm) reduziert und die spezifische Oberfläche auf 20–50 m²/g erhöht, wodurch die Leistungsfähigkeit und das Anwendungspotenzial des Materials deutlich verbessert wurden.

Wie der Autor dieses Buches mitteilt, wurden CTIA GROUP LTD ([CTIA GROUP](#)) und CTIA GROUP ([China Tungsten Online](#)) 1997 gegründet und haben ihren Hauptsitz in Xiamen, China. Es handelt sich um Hightech-Unternehmen, die sich auf die Forschung und Entwicklung, Produktion und den Vertrieb von Wolframprodukten konzentrieren. Mit einem tiefen Einblick in die chinesische Wolframindustrie und mehr als 20 Jahren technischer Erfahrung engagieren wir uns für die Förderung von Innovation und Anwendung von Wolframkarbidpulver. Wir sind der festen Überzeugung, dass die systematische Erforschung von Wolframkarbidpulver in der aktuellen Fachliteratur immer noch unzureichend ist, insbesondere was die umfassende Integration von der Grundlagenforschung bis hin zu modernsten Anwendungen betrifft. Zu diesem Zweck möchte dieses Buch akademischen Forschern, Industriepraktikern und technischen Entwicklern ein maßgebliches, detailliertes und praktisches Referenzmaterial an die Hand geben, um den Lesern ein tiefes Verständnis der Eigenschaften, des Produktionsprozesses, der Analysetechnologie und der vielfältigen Anwendungen von Wolframkarbidpulver zu ermöglichen und gleichzeitig wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anleitungen für zukünftige technologische Durchbrüche zu bieten. Dieses Buch ist nicht nur eine Zusammenfassung theoretischen Wissens, sondern auch die Kristallisation unserer langjährigen praktischen Erfahrung auf dem Gebiet des Wolframkarbidpulvers.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zur Leserzielgruppe dieses Buches gehören: Forscher auf dem Gebiet der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, die sich mit der Mikrostruktur (Korngröße 10 - 50 nm) und Leistungsoptimierung (wie Bruchzähigkeit $> 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) von Wolframkarbidpulver befassen; Ingenieure in den Bereichen Metallurgie, Maschinenbau und Bergbau, die nach Lösungen zur Verbesserung der Werkzeuglebensdauer (5- bis 10-fache Erhöhung der Verschleißfestigkeit) und Effizienz suchen; Praktiker in den Bereichen Elektronik, Energie und Biomedizin, die die Anwendung von Wolframkarbidpulver in leitfähigen Beschichtungen (spezifischer Widerstand $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$) oder Katalysatorträgern (spezifische Oberfläche $> 50 \text{ m}^2 / \text{g}$) erforschen, sowie Studenten und Techniker mit Interesse an Werkstofftechnik, die sich systematisch das Kernwissen auf diesem Gebiet aneignen möchten. Außerdem bietet dieses Buch Unternehmensentscheidern und Marktanalysten Einblicke in Branchentrends, wie etwa globale Nachfrageprognosen und Technologieentwicklungsrichtungen.

Was die Schreibmethoden betrifft, nimmt dieses Buch eine multidisziplinäre Perspektive ein und integriert die neuesten Errungenschaften der Materialwissenschaften, der chemischen Verfahrenstechnik, der mechanischen Fertigung und der angewandten Physik. Was die Inhaltsstruktur betrifft, stellen die Kapitel 1 bis 3 die grundlegenden Eigenschaften, den Herstellungsprozess und die Mikrostrukturanalyse von Wolframkarbidpulver vor (z. B. entspricht die XRD-Spitzenposition $2\theta = 35,6^\circ$ der WC(100)-Kristallebene); Kapitel 4, der Schwerpunkt des Buches, erörtert detailliert seine Anwendung in Hartmetall (Härte HV 1500–2000), Oberflächenbeschichtung (Bindungsfestigkeit $> 70 \text{ MPa}$), Bergbauwerkzeugen (Schlagzähigkeit $> 25 \text{ J/cm}^2$) und anderen Bereichen, bis hin zu spezifischen Szenarien und technischen Daten; die Kapitel 5 und 6 konzentrieren sich auf Qualitätskontrolle (z. B. Partikelgrößenverteilung $\text{RSD} < 5\%$), Standards und Leistungsoptimierung (z. B. Dotierung mit Co zur Verbesserung der Zähigkeit); Die Kapitel 7 und 8 befassen sich mit Umweltauswirkungen (z. B. Staubemissionen $< 10 \text{ mg/m}^3$), Sicherheitsaspekten und Markttrends. Kapitel 9 bietet ein Glossar und hilfreiche Ressourcen. Der Anhang ergänzt Mikroanalysen (REM/TEM-Auflösung $< 1 \text{ nm}$), Partikelgrößennormen und Spezifikationsvergleiche. Das Buch zitiert ausführlich internationale Normen (z. B. ISO 4499-2:2020, ASTM B430-19), nationale Spezifikationen (z. B. GB/T 4295-2008) und die neueste Literatur (z. B. den Artikel aus dem Jahr 2023 im Journal of Materials Science) und wird durch experimentelle Daten, mikroskopische Aufnahmen und Fallanalysen ergänzt, um die Wissenschaftlichkeit und Praxistauglichkeit des Inhalts zu gewährleisten.

Im Zuge der globalen grünen Entwicklung erweitern sich die Anwendungsmöglichkeiten von Wolframkarbidpulver stetig. Die CTIA GROUP möchte den Lesern mit diesem Buch umfassende technische Referenzen und innovative Inspirationen bieten. Wir danken der China Tungsten Industry Association, dem Institute of Materials der Chinesischen Akademie der Wissenschaften und der International Tungsten Industry Association (ITIA) für ihre Unterstützung und freuen uns auf wertvolle Leserkommentare zur kontinuierlichen Verbesserung dieses Buches.

CTIA GROUP LTD

April 2025

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

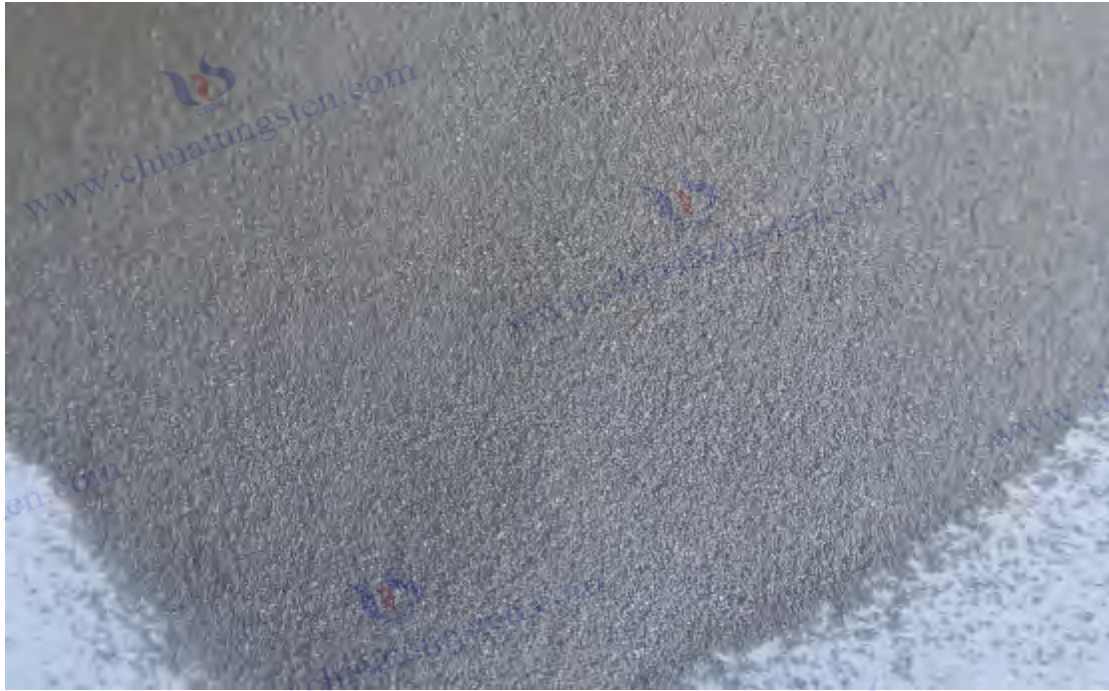
Xiamen, China



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 1: Einführung in Wolframcarbidpulver

Als Hochleistungsfunktionswerkstoff nimmt Wolframcarbidpulver (WC) aufgrund seiner Härte, Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturstabilität eine zentrale Stellung in der industriellen Fertigung, der wissenschaftlichen Forschung und Spitzentechnologie ein. Seine einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften machen es zu einem unverzichtbaren Material für Hartmetall, Oberflächenbeschichtungen, Bergbauwerkzeuge und sogar die elektronische Energieerzeugung. Ausgehend von der Definition und chemischen Zusammensetzung von Wolframcarbidpulver erläutert dieses Kapitel umfassend dessen physikalische und chemische Eigenschaften, klassifiziert es nach nationalen Normen und internationalen Spezifikationen und untersucht eingehend seine Beziehung zu Wolframpulver sowie den entscheidenden Einfluss des Kohlenstoffgehalts auf die Leistung. Anhand umfangreicher experimenteller Daten und Anwendungshintergrunds vermittelt dieses Kapitel den Lesern ein umfassendes Wissensgerüst zu Wolframcarbidpulver und legt eine solide Grundlage für die nachfolgenden Kapitel.

1.1 Definition und chemische Zusammensetzung von Wolframcarbidpulver

Metallcarbid, bestehend aus Wolfram (W) und Kohlenstoff (C) im Atomverhältnis 1:1. Die chemische Formel lautet WC, das Molekulargewicht beträgt 195,85 g/mol. Die Kristallstruktur ist ein einfaches hexagonales System (Raumgruppe $P6m2$) mit Gitterkonstanten von $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$ und einem c/a -Verhältnis von 0,976 (JCPDS 51-0939). In dieser Struktur bilden Wolframatome ein hexagonales, dicht gepacktes Skelett, während Kohlenstoffatome die oktaedrischen Lücken füllen und durch starke kovalente Metallbindungen verbunden sind. Diese Struktur verleiht Wolframcarbidpulver eine extrem hohe Härte und Verformungsbeständigkeit und macht es zu einem Vertreter der Hartstoffe.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der theoretische Kohlenstoffgehalt von Wolframcarbidpulver beträgt 6,13 % (Massenanteil), was bedeutet, dass die Kohlenstoffatome vollständig chemisch gebunden vorliegen. In der industriellen Produktion wird der Kohlenstoffgehalt üblicherweise auf 6,10–6,18 % kontrolliert, um die Reinheit des einphasigen WC zu gewährleisten und die Bildung von WC oder freiem Kohlenstoff zu vermeiden. Beispielsweise schreibt GB/T 4295-2008 vor, dass die Abweichung des Gesamtkohlenstoffgehalts von hochreinem Wolframcarbidpulver $\pm 0,05$ % nicht überschreiten darf, der Gehalt an Verunreinigungen (wie Fe, Ni, Cr) unter 0,01 % liegen muss und der Sauerstoffgehalt zwischen 50 und 200 ppm liegt. In der Praxis kann Wolframcarbidpulver in einphasiges WC-Pulver und Mischphasenpulver (wie WC-Co, WC- TiC) unterteilt werden. Letzteres wird mit Kobalt (5–15 %) oder Titancarbid dotiert, um die Zähigkeit oder Korrosionsbeständigkeit zu verbessern, und wird häufig bei der Herstellung von Schneidwerkzeugen und verschleißfesten Teilen verwendet.

1.2 Physikalische Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

1.2.1 Kristallstruktur und Morphologie von Wolframcarbidpulver

Die hexagonale Struktur von Wolframcarbidpulver ist die mikroskopische Grundlage seiner hervorragenden Leistung. Eine Röntgenbeugungsanalyse (XRD) zeigt, dass sich seine charakteristischen Peaks bei $2\theta=35,641^\circ$ (100-Kristallebene, $d=2,518 \text{ \AA}$), $48,298^\circ$ (101-Kristallebene, $d=1,883 \text{ \AA}$) und $31,514^\circ$ (001-Kristallebene, $d=2,837 \text{ \AA}$) befinden und das Peakintensitätsverhältnis dem Standardspektrum von einphasigem WC (JCPDS 51-0939) entspricht. Die Korngröße variiert je nach Herstellungsverfahren. Die Korngröße des Produkts aus der traditionellen Hochtemperaturauflösungsmethode beträgt 1–5 μm . Durch mechanisches Legieren oder chemische Gasphasenabscheidung (CVD) kann Wolframcarbidpulver im Nanomaßstab $<100 \text{ nm}$ hergestellt werden. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen (REM) zeigen, dass mikrometergroße Wolframcarbidpulverpartikel eine unregelmäßige polyedrische Morphologie, scharfe Kanten und eine Oberflächenrauheit R_a von etwa 0,1–0,5 μm aufweisen. Nanometergroßes Wolframcarbidpulver hingegen ist nahezu kugelförmig und weist eine spezifische Oberfläche von 20–50 m^2/g auf (gemessen mit der BET-Methode). Die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) zeigt zudem, dass die Nano-WC-Partikel eine geringe Anzahl von Korngrenzendefekten aufweisen und der Gitterabstand mit den XRD-Ergebnissen übereinstimmt.

1.2.2 Dichte von Wolframcarbidpulver

Die theoretische Dichte von Wolframcarbidpulver beträgt $15,63 \text{ g/cm}^3$ (25°C), berechnet aus seinem hexagonalen Einheitsvolumen ($V = 21,38 \text{ \AA}^3$) und dem Molekulargewicht. Das tatsächliche Industripulver hat aufgrund von Mikroporen oder Verunreinigungen eine etwas geringere Dichte, üblicherweise $15,5\text{--}15,6 \text{ g/cm}^3$ (bestimmt mit der Archimedes-Methode, Genauigkeit $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$). Die Dichte variiert leicht mit der Korngröße, kann nach dem Sintern jedoch über 99,5 % erreichen. Durch die hohe Dichte weist Wolframcarbidpulver eine hervorragende Druckfestigkeit in Hartmetall auf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispielsweise kann die Druckfestigkeit von WC-Co-Hartmetall 4000–6000 MPa erreichen und übertrifft damit herkömmlichen Stahl (800–1500 MPa) bei weitem. Bei Beschichtungsanwendungen verbessert eine hohe Dichte auch die Verschleißfestigkeit.

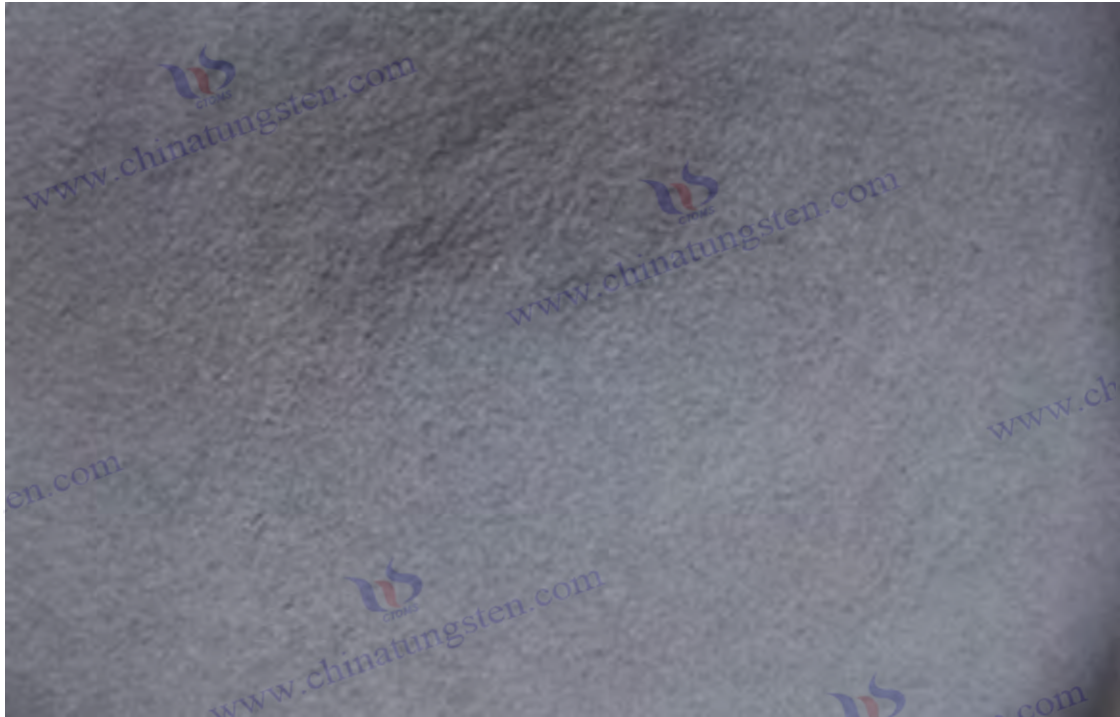
1.2.3 Härte von Wolframcarbidpulver

Die Vickershärte (HV) von Wolframcarbidpulver liegt zwischen 2000 und 2500 (Last 1 kg, ASTM E384-Standard). Sie liegt damit nahe an der von natürlichem Diamant (HV 10.000) und ist deutlich höher als die von Schnellarbeitsstahl (HV 600–800) oder Aluminiumoxid (HV 1500–1800). Die Härte nimmt mit abnehmender Korngröße zu. Beispielsweise beträgt die Härte von WC mit 1- μm -Körnern etwa HV 2200, während Nano-WC mit <100 nm HV 2600–2800 erreichen kann. Dies ist auf den korngrößenverstärkenden Effekt (Hall-Petch-Beziehung) zurückzuführen. Experimente zeigen, dass die Härte nach der Dotierung mit 5–10 % Kobalt leicht auf HV 1500–1800 sinkt, die Zähigkeit jedoch deutlich verbessert wird (die Bruchzähigkeit K_{IC} steigt von $8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ auf $12\text{--}15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Aufgrund der Härtestabilität eignet sich das Material hervorragend für Schneidwerkzeuge und verschleißfeste Teile.

1.2.4 Schmelzpunkt und thermische Stabilität von Wolframcarbidpulver

Der Schmelzpunkt von Wolframcarbidpulver liegt bei 2870°C (Literaturwert $2867\text{--}2875^\circ\text{C}$, ermittelt durch Differenzialthermoanalyse) und ist damit einer der höchsten unter den Metallecarbiden. Oberhalb von 2600°C beginnt sich WC zu zersetzen, und die Reaktion ist: $2\text{WC} \rightarrow \text{W}_2\text{C} + \text{C}$. Die Härte des Zersetzungsprodukts W_2C nimmt ab (HV 1600–2000), und der freie Kohlenstoff beeinflusst das anschließende Sintern. Die Wärmeleitfähigkeit beträgt 84 W/mK (25°C) und nimmt mit steigender Temperatur leicht auf 70 W/mK (1000°C) ab; Der Wärmeausdehnungskoeffizient beträgt $4,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ($25\text{--}1000^\circ\text{C}$) und ist damit niedriger als bei Wolfram ($4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) und Stahl ($12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$). Diese geringe Wärmeausdehnung und hohe Wärmeleitfähigkeit ermöglichen die Aufrechterhaltung der strukturellen Integrität in Hochtemperaturumgebungen (z. B. bei Beschichtungen von Flugzeugtriebwerken über 1200°C). Die thermogravimetrische Analyse (TGA) zeigt, dass Wolframcarbidpulver in einer inerten Atmosphäre (Ar) bis 2000°C keinen signifikanten Masseverlust aufweist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1.2.5 Elektrische und magnetische Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

Der spezifische Widerstand von Wolframcarbidpulver beträgt $19,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (25 °C, gemessen mit der Vier-Sonden-Methode) und weist eine gewisse Leitfähigkeit auf, ist jedoch niedriger als der von reinem Wolfram ($5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) oder Kupfer ($1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$). Der spezifische Widerstand steigt mit der Temperatur und beträgt bei 1000 °C etwa $25 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, was auf Halbleitereigenschaften hindeutet. Die magnetische Suszeptibilität beträgt $1,2 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{mol}$ (Raumtemperatur, gemessen mit einem Vibrationsmagnetometer VSM). Damit ist Wolfram schwach paramagnetisch und etwas höher als reines Wolfram ($0,3 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{mol}$), aber deutlich niedriger als ferromagnetische Materialien (wie Fe, $2,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{mol}$). Aufgrund der geringen Magnetizität ist Wolfram weniger anfällig für Magnetfeldstörungen in elektronischen Geräten (wie Brennstoffzellenelektroden).

1.3 Chemische Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

1.3.1 Chemische Stabilität von Wolframcarbidpulver

Wolframcarbidpulver weist bei Raumtemperatur eine ausgezeichnete chemische Stabilität auf. Experimente zeigen, dass es nach 1000-stündigem Eintauchen in 37%ige HCl-, 98%ige H₂SO₄- oder 10%ige NaOH-Lösung keinen erkennbaren Masseverlust (<0,01 %) aufweist, was auf eine hohe Beständigkeit gegen Säure- und Laugenkorrosion hindeutet. In stark oxidierenden Säuren mit hohen Temperaturen (z. B. 70%ige HNO₃, 60 °C) löst sich Wolframcarbidpulver jedoch langsam auf. Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Reaktion lautet: $\text{WC} + 10\text{HNO}_3 \rightarrow \text{WO}_3 + \text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} + 10\text{NO}_2$. Die Auflösungsrate beträgt etwa $0,05 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$. Diese Stabilität macht es für chemische Rohrleitungsbeschichtungen und verschleißfeste Teile in sauren Umgebungen geeignet.

1.3.2 Oxidationsverhalten von Wolframcarbidpulver

Wolframcarbidpulver beginnt bei $600\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$ in einer Sauerstoffatmosphäre zu oxidieren, und die Reaktion ist: $2\text{WC} + 5\text{O}_2 \rightarrow 2\text{WO}_3 + 2\text{CO}_2$. Die thermogravimetrische Analyse (TGA) zeigt, dass die Gewichtszunahme durch Oxidation bei $700\text{ }^\circ\text{C}$ $5\text{--}10\%$ beträgt und es bei $1000\text{ }^\circ\text{C}$ vollständig in WO_3 (gelbes Pulver, Schmelzpunkt $1473\text{ }^\circ\text{C}$) umgewandelt wird. Die Oxidationsrate hängt von der Partikelgröße ab. WC im Nanomaßstab ($<100\text{ nm}$) hat eine große spezifische Oberfläche, und die Oxidationsstarttemperatur sinkt auf $550\text{ }^\circ\text{C}$, während WC im Mikronmaßstab ($1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$) stabiler ist. Das Oxidationsprodukt WO_3 ist wenig flüchtig, verflüchtigt sich jedoch teilweise bei $>1200\text{ }^\circ\text{C}$, was die Beschichtungsanwendung beeinträchtigt.

1.3.3 Korrosionsbeständigkeit von Wolframcarbidpulver

Wolframcarbidpulver weist eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit in sauren und neutralen wässrigen Lösungen auf. Beispielsweise beträgt die Korrosionsrate in einer Meerwasser-Simulationsflüssigkeit ($3,5\%$ NaCl) mit einem pH-Wert von $2\text{--}7$ $<0,001\text{ mm/Jahr}$ in 500 Stunden. In alkalischen Umgebungen mit hohen Temperaturen (z. B. geschmolzenem NaOH, $550\text{ }^\circ\text{C}$) korrodiert Wolframcarbidpulver jedoch schnell und reagiert zu löslichem Wolframat (Na_2WO_4). Diese Eigenschaft macht es in der Schiffstechnik (z. B. zur Beschichtung von Bohrwerkzeugen) gut geeignet, sollte jedoch in alkalischen Schmelzumgebungen mit Vorsicht eingesetzt werden.

1.3.4 Reaktion von Wolframcarbidpulver mit anderen Elementen

Wolframcarbidpulver reagiert bei Temperaturen über $500\text{ }^\circ\text{C}$ mit Fluorgas (F_2) zu WF_6 (Siedepunkt $17,1\text{ }^\circ\text{C}$) und freiem Kohlenstoff. Die Reaktion verläuft wie folgt: $\text{WC} + 3\text{F}_2 \rightarrow \text{WF}_6 + \text{C}$. Bei hohen Temperaturen ($>1000\text{ }^\circ\text{C}$) bildet Wolframcarbidpulver eine feste Lösung oder Verbundphase mit Metallen (wie Fe, Ni, Co). Beim Sintern von WC-Co schmilzt Co beispielsweise bei $1400\text{ }^\circ\text{C}$ und umhüllt WC-Partikel, wodurch eine Bindungsphase entsteht. Diese Reaktivität ist die Grundlage der Hartmetallherstellung, schränkt aber auch dessen Anwendung in stark halogenhaltigen Umgebungen ein.

1.4 Klassifizierung von Wolframcarbidpulver (gemäß nationalen Normen)

Die Klassifizierung von Wolframcarbidpulver basiert auf der chinesischen nationalen Norm GB/T 4295-2008 und der internationalen Norm ISO 4499-2:2020, kombiniert mit ASTM B430-19 zur Ergänzung der internationalen Perspektive.

1.4.1 Klassifizierung von Wolframcarbidpulver nach Partikelgröße

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grobkörniges Wolframcarbidpulver ($>5\ \mu\text{m}$)

Für Verschleißteile und Bergbauwerkzeuge. Schüttdichte $12\text{--}14\ \text{g/cm}^3$, Fließfähigkeit $10\text{--}15\ \text{s/50 g}$ (ISO 4499-2). Typische Anwendungen sind Gesteinsbohrkronen, Schlagzähigkeit $>25\ \text{J/cm}^2$.

Wolframcarbidpulver mit mittlerer Partikelgröße ($1\text{--}5\ \mu\text{m}$)

Gängige Industriequalität, geeignet für Hartmetallwerkzeuge, Oberfläche $0,5\text{--}2\ \text{m}^2/\text{g}$ (BET-Methode), Härte HV 2000–2200. GB/T 4295-2008 erfordert einen Sauerstoffgehalt von $<200\ \text{ppm}$.

Feinkörniges Wolframcarbidpulver ($0,1\text{--}1\ \mu\text{m}$)

Für ultrafeines Hartmetall (z. B. PCB-Mikrobohrungen), Härte HV 2200–2400, Bruchzähigkeit $> 10\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. ASTM B430-19 empfiehlt eine Partikelgrößenverteilung $\text{RSD} < 3\ \%$.

Wolframcarbidpulver in Nanogröße ($<0,1\ \mu\text{m}$)

Für robuste Beschichtungen und elektronische Materialien, Oberfläche $20\text{--}50\ \text{m}^2/\text{g}$, Korngröße bestimmt durch TEM ($<50\ \text{nm}$). ISO 4499-2 wird für hochpräzise Anwendungen empfohlen.

1.4.2 Klassifizierung von Wolframcarbidpulver nach chemischer Zusammensetzung

Einphasiges WC-Wolframcarbidpulver

Kohlenstoffgehalt $6,10\text{--}6,18\ \%$, Reinheit $>99,9\ \%$, Sauerstoffgehalt $<50\ \text{ppm}$, Fe- und Ni-Verunreinigungen $<0,01\ \%$. Geeignet für Flugzeugbeschichtungen und Katalysatorträger.

Wolframcarbidpulver mit W_2C

Kohlenstoffgehalt $5,8\ \%\text{--}6,10\ \%$, W_2C -Gehalt $< 5\ \%$ (XRD quantitativ), Härte HV 1600–2000, niedrige Kosten, geeignet für verschleißfeste Auskleidung.

Wolframcarbidpulver mit freiem Kohlenstoff

Der Kohlenstoffgehalt beträgt $6,18\text{--}6,30\ \%$, freier Kohlenstoff $< 0,5\ \%$ (chemische Titrationsmethode), die Porosität nimmt nach dem Sintern zu ($> 1\ \%$) und wird für thermische Spritzbeschichtungen verwendet.

1.4.3 Klassifizierung von Wolframcarbidpulver nach Anwendung

Wolframcarbidpulver für Hartmetall

Gleichmäßige Körnung, Sauerstoffgehalt $<200\ \text{ppm}$, Gesamtkohlenstoffabweichung $\pm 0,05\ \%$ (GB/T 5314-2011). Typische Anwendungen sind Schneidwerkzeuge, Härte HV 1500-1800.

Wolframcarbidpulver zum Beschichten

Die Partikel sind kugelförmig, haben eine Fluidität von $>20\ \text{s/50 g}$, eine Partikelgröße von $1\text{--}10\ \mu\text{m}$, werden für das HVOF-Spritzen verwendet und haben eine Beschichtungshärte von HV 1200–1400.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframcarbidpulver für Katalysatoren

Nanoskalig, Reinheit >99,95 %, spezifische Oberfläche >50 m²/g, verwendet für Brennstoffzellenelektroden, Leitfähigkeit >10⁴ S/m.

1.5 Der Unterschied und die Beziehung zwischen Wolframcarbidpulver und Wolframpulver

1.5.1 Der Unterschied zwischen Wolframcarbidpulver und Wolframpulver

Chemische Zusammensetzung

Wolframpulver ist reines Wolfram (W, Reinheit > 99,9 %, Sauerstoffgehalt < 100 ppm) und Wolframcarbidpulver ist WC (Kohlenstoffgehalt 6,13 %).

Physikalische Eigenschaften

Dichte des Wolframpulvers: 19,25 g/cm³, Schmelzpunkt: 3422 °C, Härte: HV 300–500, spezifischer Widerstand: $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$. Dichte des Wolframcarbidpulvers: 15,63 g/cm³, Schmelzpunkt: 2870 °C, Härte: HV 2000–2500, spezifischer Widerstand: $19,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$.

Verwenden

Wolframpulver wird zur Herstellung von Wolframdraht, Wolframstab und Wolframcarbid verwendet; Wolframcarbidpulver wird für Hartmetall, Beschichtungen und Katalysatoren verwendet. Wolframpulver ist hitzebeständig, hat aber eine geringe Härte. Wolframcarbidpulver hingegen hat eine hohe Härte, aber eine etwas geringere Hitzebeständigkeit.

1.5.2 Beziehung zwischen Wolframcarbidpulver und Wolframpulver

Wolframpulver ist der direkte Rohstoff für Wolframcarbidpulver und wird durch eine Karbonisierungsreaktion ($W + C \rightarrow WC$) hergestellt. Der industrielle Karbonisierungsprozess wird in einer Wasserstoff- oder Argonatmosphäre bei 1.800–2.000 °C durchgeführt. Die Kohlenstoffquelle ist hochreiner Ruß (Reinheit > 99,9 %) und die Reaktionszeit beträgt 2–4 Stunden. Die Partikelgröße des Wolframpulvers (1–10 µm) bestimmt die anfängliche Morphologie des Wolframcarbidpulvers. Beispielsweise wird 5 µm Wolframpulver karbonisiert, um 2–5 µm WC-Pulver zu erzeugen, während <1 µm Wolframpulver zur Herstellung von WC im Submikronbereich verwendet werden kann. Der Karbonisierungsprozess erfordert eine präzise Kontrolle der Kohlenstoffmenge. Überschüssiger Kohlenstoff erzeugt freien Kohlenstoff (> 0,5 %), und zu wenig Kohlenstoff bildet W₂C (Härteminderung). Experimente zeigen, dass die Reinheit von WC 99,9 % erreichen kann, wenn die Karbonisierungseffizienz >98 % beträgt.

1.6 Regulierung, Bedeutung, Bestimmung und Leistungseinfluss des Kohlenstoffgehalts in Wolframcarbidpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.6.1 Anforderungen an den Kohlenstoffgehalt von Wolframcarbidpulver

GB/T 4295-2008 schreibt einen Gesamtkohlenstoffgehalt von Wolframcarbidpulver von 6,10–6,18 % und einen freien Kohlenstoffgehalt von <0,5 % vor. ASTM B430-19 erfordert eine Gesamtkohlenstoffabweichung von $\pm 0,03$ % und einen Sauerstoffgehalt von <100 ppm. ISO 4499-2:2020 empfiehlt außerdem, den Kohlenstoffgehalt für High-End-Anwendungen (z. B. in der Luftfahrt) auf 6,12–6,15 % zu begrenzen, um die Leistung zu optimieren. Ein Überschreiten dieses Bereichs führt zu abnormalen Phasen wie W_2C (Kohlenstoff <6,10 %) oder freiem Kohlenstoff (Kohlenstoff >6,18 %).

1.6.2 Bedeutung des Kohlenstoffgehalts im Wolframcarbidpulver

Der Kohlenstoffgehalt von Wolframcarbidpulver ist ein Schlüsselparame-ter, der dessen Mikrostruktur und makroskopische Eigenschaften bestimmt. Der theoretische Wert von 6,13 % gewährleistet das vollständige Gitter des einphasigen WC, und die Leistung ist innerhalb einer Abweichung von $\pm 0,05$ % optimal. Ein niedriger Kohlenstoffgehalt erzeugt W_2C , was zu mehr Gitterdefekten und einer verringerten Härte führt; ein hoher Kohlenstoffgehalt führt zur Ausfällung von freiem Kohlenstoff, der nach dem Sintern Poren (Porosität > 2 %) bildet und die Festigkeit verringert. Industrielle Fälle zeigen, dass die Biegefestigkeit von Hartmetall aus WC-Pulver mit 0,3 % freiem Kohlenstoff von 2500 MPa auf 2000 MPa sinkt.

1.6.3 Bestimmungsmethode des Kohlenstoffgehalts in Wolframcarbidpulver

Verbrennungsmethode

Die Proben wurden in einem Hochfrequenz-Induktionsofen (1800–2000 °C, Sauerstoffdurchflussrate 2–3 l/min) gebrannt und CO_2 wurde mit einem Infrarotdetektor mit einer Gesamtkohlenstoffgenauigkeit von $\pm 0,01$ % (GB/T 223.5-2008) bestimmt.

Chemische Titration

Freier Kohlenstoff wird in einer H_2SO_4 - HNO_3 -Mischsäure gelöst und dann mit einer Genauigkeit von $\pm 0,02$ % (ASTM E1019-18) titriert.

XPS-Analyse

Die Röntgen-Photoelektronenspektroskopie unterscheidet gebundenen Kohlenstoff (284,6 eV) von freiem Kohlenstoff (285,0 eV) mit einer Oberflächenauflösung von <0,1 %, was auf Nano-WC anwendbar ist.

Thermogravimetrische Analyse (TGA)

Bestimmen Sie den Kohlenstoffverlust nach der Oxidation und überprüfen Sie den freien Kohlenstoffgehalt mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05$ %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.6.4 Einfluss des Kohlenstoffgehalts von Wolframcarbidpulver auf die Leistung

Härte

Die Härte ist am höchsten (HV 2500), wenn der Kohlenstoffgehalt 6,13 % beträgt, und sinkt auf HV 1800, wenn er nur 5,8 % beträgt. Pro 1 % Anstieg des W_2C -Verhältnisses verringert sich die Härte um etwa 50 HV.

Zähigkeit

Bei einem freien Kohlenstoffgehalt $> 0,5 \%$ sinkt die Bruchzähigkeit aufgrund der Schwächung der Korngrenzen durch Poren von $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ auf $8\text{-}10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Verschleißfestigkeit

Wenn der W_2C -Gehalt $> 5 \%$ ist, erhöht sich die Verschleißrate von $0,005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ auf $0,015 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ (ASTM G65-Test).

Sinterfähigkeit

Bei einem freien Kohlenstoffgehalt von $0,8 \%$ sinkt die Sinterdichte von $99,5 \%$ auf 97% , und die Druckfestigkeit verringert sich um 20% . Fallbeispiel: Eine Werkzeugfabrik verwendete WC-Pulver mit $0,6 \%$ freiem Kohlenstoff, wodurch sich die Standzeit des fertigen Produkts um 30% verkürzte.

Verweise

Chinesische Referenzen

- [1] GB/T 4295-2008 Wolframcarbidpulver Nationale Standardisierungsbehörde von China 2008
- [2] GB/T 223.5-2008 Stahl und Eisen – Bestimmung des Kohlenstoff- und Schwefelgehalts, National Standardization Administration of China, 2008
- [3] GB/T 5314-2011 Pulver für Hartmetall National Standardization Administration of China 2011
- [4] Partikelgrößenverteilung - Laserbeugungsmethode National Standardization Administration of China 2016
- [5] Zhang Lide Nanomaterialien und Nanostrukturen Science Press 2002

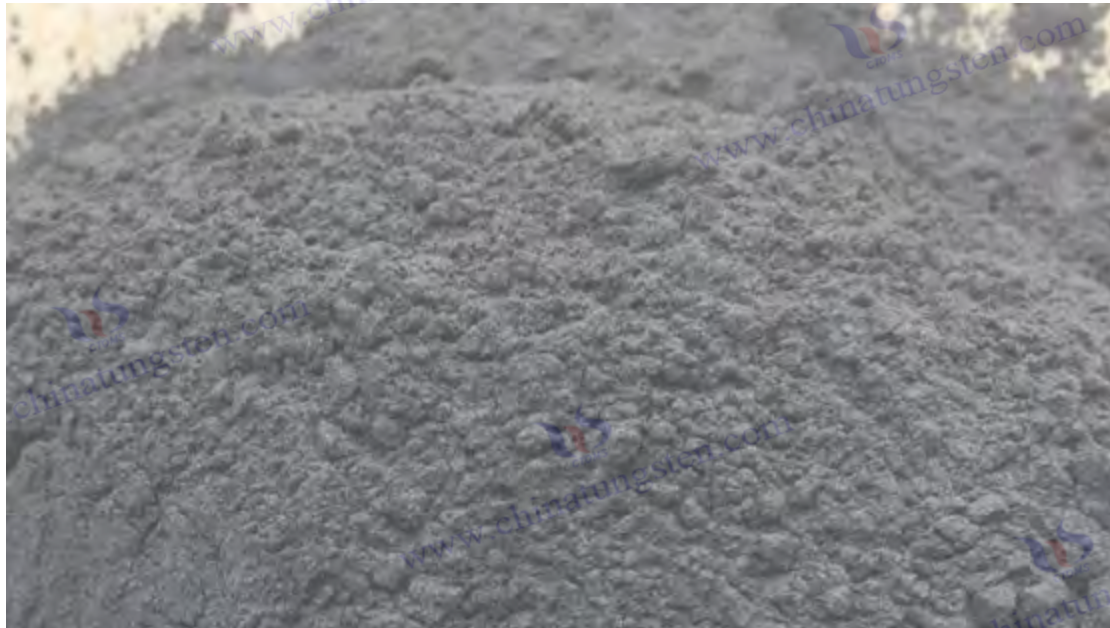
Englische Referenzen

- [6] ASTM B430-19 Standardprüfverfahren für die Partikelgrößenverteilung von feuerfesten Metallpulvern und verwandten Verbindungen mittels Turbidimetrie ASTM International 2019
- [7] ASTM E1019-18 Standardprüfverfahren zur Bestimmung von Kohlenstoff, Schwefel, Stickstoff und Sauerstoff in Stahl-, Eisen-, Nickel- und Kobaltlegierungen mittels verschiedener Verbrennungs- und Fusionstechniken ASTM International 2018
- [8] ISO 4499-2:2020 Hartmetalle — Metallographische Bestimmung der Mikrostruktur — Teil 2: Messung der WC-Korngröße Internationale Organisation für Normung 2020
- [9] Lassner, E., & Schubert, WD Wolfram: Eigenschaften, Chemie, Technologie des Elements, Legierungen und chemische Verbindungen Springer 1999
- [10] Upadhyaya, GS Hartmetalle: Herstellung, Eigenschaften und Prüfung William Andrew Publishing 1998

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Referenzen in anderen Sprachen

- [11] Japan Standards Association JIS H 7803:2005 Testmethode für Wolframkarbidpulver Japan Standards Association 2005 Chinesische Übersetzung: 碳化钨粉末测试方法
- [12] DIN EN ISO 4499-2:2020 Hartmetalle – Metallographische Bestimmung der Mikrostruktur — Teil 2: Messung der WC- Korngröße Deutsches Institut für Normung 2020 Chinesische Übersetzung: 硬质合金 - 微观结构的金相测定 - 第 2 部分: WC 晶粒尺寸的测量 Englische Übersetzung: Hartmetall – Metallurgische Bestimmung der Mikrostruktur – Teil 2: Messung der WC-Korngröße
- [13] ГОСТ 25599.1-83 Порошки Zweiter Splawow . Methode Vorbereitungen Unterbringung Uglroda Государственный Komet SSR nach Stand 1983 Chinesische Übersetzung: 硬质合金粉末 - 碳含量测定方法 Englische Übersetzung: Hartlegierungspulver – Methode zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts
- [14] KS D 9502:2015 100 % Garantie 분포 측정 Korean Standards Association 2015 Chinesische Übersetzung: 碳化钨粉末粒度分布测定方法 Englische Übersetzung: Bestimmungsmethode der Partikelgrößenverteilung von Wolframkarbidpulver



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang :

Eine kurze Geschichte des Wolframkarbidpulvers

Die Entwicklung von Wolframkarbidpulver (WC) als bahnbrechender Industriewerkstoff erstreckt sich von der chemischen Erforschung im späten 19. Jahrhundert bis zu seiner vielfältigen Anwendung im 21. Jahrhundert. Dank seiner Härte (HV 2000–2500), Verschleißfestigkeit und hohen Temperaturbeständigkeit (Schmelzpunkt 2870 °C) hat Wolframkarbidpulver nicht nur die mechanische Verarbeitung und den Bergbau revolutioniert, sondern auch technologische Innovationen in den Bereichen Elektronik, Energie, Luft- und Raumfahrt sowie Biomedizin vorangetrieben. Dieser Anhang zeichnet die Entdeckung, Industrialisierung, Globalisierung und zukünftigen Entwicklungstrends von Wolframkarbidpulver umfassend nach und bietet den Lesern ein umfassendes historisches Bild anhand detaillierter historischer Knotenpunkte, technischer Details, Beiträge von Menschen und globaler Auswirkungen – ergänzend zu Kapitel 1.

1 Frühe Entdeckungen und Laboruntersuchungen (Ende des 19. Jahrhunderts)

Der Ursprung von Wolframkarbidpulver lässt sich auf die chemische Wolframforschung im späten 19. Jahrhundert zurückführen, die sich in der Anfangsphase von der Theorie zur Praxis befand. In den 1860er Jahren erregte Wolfram als hochschmelzendes Metall (Schmelzpunkt 3.422 °C) die Aufmerksamkeit der wissenschaftlichen Gemeinschaft und wurde umfassend auf sein Potenzial in der Beleuchtungstechnik (Wolframfilament) und Metallurgie (Wolframstahl) untersucht. Die erste Synthese von Wolframkarbidpulver erfolgte jedoch erst 1893 durch den französischen Chemiker Henri Moissan. Moissan war für seine Forschungen über hochschmelzende Verbindungen berühmt. Er verwendete einen selbstgebaute Lichtbogenofen, um Wolframoxid (WO_3 , Reinheit ca. 98 %) mit hochreinem Graphitpulver bei einer hohen Temperatur von etwa 2.000 °C reagieren zu lassen und so Wolframkarbid (WC) in Form schwarzer Kristalle zu erzeugen. Experimentelle Aufzeichnungen zeigen, dass die Härte dieses Kristalls extrem hoch ist und nahe an der von natürlichem Diamanten (HV 10.000) liegt. Da es damals jedoch noch keine präzisen Analysemethoden gab (wie etwa Röntgenbeugung, XRD), beschrieb Moissan ihn lediglich als eine „Verbindung aus Wolfram und Kohlenstoff“ und konnte seine hexagonale Kristallstruktur ($a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$) nicht bestätigen.

Moissans Entdeckung war kein Einzelfall, sondern das Ergebnis der Fortschritte in der chemischen und metallurgischen Technologie des späten 19. Jahrhunderts. Damals schuf die Erfindung des Lichtbogenofens (1880er Jahre) die Voraussetzungen für Hochtemperaturexperimente, und die Entwicklung von Wolframerzen (wie Scheelit CaWO_4 und Wolframit FeMnWO_4) legte den Grundstein für die Rohstoffversorgung. Aufgrund mangelnder industrieller Nachfrage und unzureichender Analysetechnologie verblieb Wolframkarbidpulver jedoch zu diesem Zeitpunkt im Labor und fand keinen Eingang in die Praxis. Dennoch inspirierte Moissans Arbeit nachfolgende Forscher, und seine Arbeit (veröffentlicht in Comptes „Rendus de l'Académie des Sciences“ wurde zum Ausgangspunkt für die Untersuchung der chemischen Eigenschaften von Wolframkarbid.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gleichzeitig beschäftigten sich auch andere Wissenschaftler mit der Erforschung von Wolframcarbid. 1896 versuchte der amerikanische Chemiker Charles L. Parsons, Wolframsäure (H_2WO_4) mit Kohlenstoff zu reduzieren und erhielt eine wolframcarbidähnliche Substanz. Allerdings war die Reinheit gering (sie enthielt W_2C und freien Kohlenstoff), sodass sie nicht ernst genommen wurde. Diese frühen Experimente zeigten, dass die Synthese von Wolframcarbidpulver zwar erfolgreich war, das Industrialisierungspotenzial jedoch noch nicht erkannt wurde und die technischen Voraussetzungen sowie die Marktnachfrage noch weiter gefördert werden mussten.

2. Industrieller Durchbruch und Geburt des Hartmetalls (Anfang des 20. Jahrhunderts)

Die Industrialisierung von Wolframcarbidpulver begann in Deutschland zu Beginn des 20. Jahrhunderts und markierte den Wandel vom Laborprodukt zum technischen Werkstoff. Die rasante Entwicklung des Maschinenbaus führte zu Beginn des 20. Jahrhunderts zu einem dringenden Bedarf an Hochleistungsschneidwerkzeugen. Herkömmlicher Schnellarbeitsstahl (z. B. Stahl mit 18 % Wolfram und einer Härte von 600–800 HV) verschleißt bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung leicht. Diamant weist zwar eine extrem hohe Härte (10.000 HV) auf, kann sich aber aufgrund der hohen Kosten und der schwierigen Verarbeitung nicht durchsetzen. Vor diesem Hintergrund wurde Deutschland zu einem Pionier der Industrialisierung von Wolframcarbidpulver.

Im Jahr 1922 entdeckte der deutsche Metallurge Karl Schröter zufällig das Potenzial von Wolframcarbidpulver, als er bei Osram (einem für seine Wolfram-Glühlampen bekannten Beleuchtungsunternehmen) verschleißfeste Materialien auf Wolframbasis untersuchte. Er versuchte, Wolframcarbidpulver (Partikelgröße etwa 5–10 μm , Reinheit > 99 %) mit Kobaltpulver (Co, Gehalt 5–15 %) zu mischen und es bei einer hohen Temperatur von 1450–1600 °C durch Pulvermetallurgie (Druck 10–20 MPa, Wasserstoffatmosphäre) zu sintern, um eine harte Legierung mit einer Härte nahe der von Diamant (HV 1500–1800) herzustellen. Experimente zeigen, dass die Härte dieses WC-Co-Verbundwerkstoffs die von Schnellarbeitsstahl bei weitem übertrifft (zwei- bis dreimal höher) und seine Zähigkeit besser ist als die von reinem WC (Bruchzähigkeit K_{IC} liegt bei etwa 10–12 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Schröters Durchbruch liegt in der Verwendung von Kobalt als Bindephase, wodurch das Problem der hohen Sprödigkeit und der Formgebungsschwierigkeiten von reinem Wolframcarbidpulver gelöst wird.

1923 meldete Osram für dieses Verfahren ein Patent an (deutsches Patent Nr. DE 420689) und ermächtigte Rheinmetall zur industriellen Produktion. 1926 brachte Rheinmetall die Hartmetallwerkzeuge der Marke „Widia“ („Wie Diamant“) auf den Markt, die in der deutschen Zerspanungsindustrie für Aufsehen sorgten. Widia-Werkzeuge eignen sich hervorragend zum Drehen, Fräsen und Bohren. So konnte beispielsweise bei der Stahlbearbeitung die Schnittgeschwindigkeit von 20 m/min auf 100 m/min erhöht und die Standzeit um das Fünf- bis Zehnfache verlängert werden. Dieser Erfolg erregte schnell weltweite Aufmerksamkeit. 1927 wurden Widia-Produkte nach Großbritannien, Frankreich und in die USA exportiert und stellten einen Meilenstein in der Industrialisierung von Wolframcarbidpulver dar.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In dieser Zeit wurde die Produktionstechnologie für Wolframcarbidpulver schrittweise verbessert. Deutsche Unternehmen nutzten die Hochtemperaturkarburierung, um Wolframpulver (W, Partikelgröße 5–10 µm) mit Ruß (C, Reinheit > 99 %) in einem Rohofen bei 1800–2000 °C für 2–4 Stunden zu reagieren und so mikrometergroßes Wolframcarbidpulver (Kohlenstoffgehalt 6,10–6,18 %) zu erzeugen. Die Produktqualität wurde durch chemische Analyse (Verbrennungsmethode zur Messung des Kohlenstoffgehalts) und mikroskopische Beobachtung (Korngröße 1–5 µm) kontrolliert und legte damit den Grundstein für die spätere großflächige Anwendung von Hartmetall.

3 Globale Verbreitung und Anwendungserweiterung (Mitte des 20. Jahrhunderts)

Mitte des 20. Jahrhunderts verbreitete sich die Wolframcarbidpulvertechnologie von Deutschland aus weltweit, und ihre Anwendungsgebiete erweiterten sich von Schneidwerkzeugen auf den Bergbau, verschleißfeste Teile und die Rüstungsindustrie. In dieser Phase war die Industrialisierung voll ausgegipft. In den 1930er Jahren begannen europäische und amerikanische Länder mit der Einführung der Wolframcarbidpulvertechnologie. Im Jahr 1931 produzierte General Electric (GE) in den USA in seinem New Yorker Werk WC-Co-Hartmetall im Rahmen eines Technologielizenzabkommens mit Osram. Die erste Produktcharge wurde für Bergbaubohrer verwendet (Härte HV 1600, Schlagzähigkeit > 20 J/cm²). Im selben Jahr entwickelte das britische Metallurgieunternehmen Metallurgist Ltd. verschleißfeste Auskleidungen aus Wolframcarbidpulver für Kugelmöhlen und Zerkleinerungsanlagen mit einer drei- bis fünfmal längeren Lebensdauer als Manganstahl.

Der Zweite Weltkrieg (1939–1945) markierte den Höhepunkt der Anwendung von Wolframcarbidpulver. Sowohl die Alliierten als auch die Achsenmächte erkannten dessen Wert in der Rüstungsindustrie. Deutschland verwendete Wolframcarbidpulver im panzerbrechenden Kern der 88-mm-Panzerabwehrkanone (Härte HV 2000, Durchschlagskraft > 150 mm Stahlplatte), wodurch die Fähigkeit zum Schlagen gepanzerter Ziele verbessert wurde. Die USA verwendeten es für die Kettenverschleißblöcke des Panzers M4 Sherman und verlängerten so die Lebensdauer auf dem Gefechtsfeld (> 1000 Stunden). Die Nachfrage während des Krieges führte zu einem sprunghaften Anstieg der Wolframcarbidproduktion. Laut Statistik stieg Deutschlands Jahresproduktion Anfang der 40er Jahre von mehreren hundert Tonnen auf 2000 Tonnen, und die USA folgten dicht dahinter und erreichten 1000 Tonnen pro Jahr.

Chinas Forschung zu Wolframcarbidpulver begann in den 1950er Jahren und wurde mit technischer Unterstützung der Sowjetunion vorangetrieben. 1952 errichtete Chinas Erstes Ministerium für Maschinenbau in Zusammenarbeit mit sowjetischen Experten eine Pilotanlage für Hartmetall in Zhuzhou (später umbenannt in Zhuzhou Cemented Carbide Plant). 1958 produzierte die Anlage erfolgreich die erste Charge WC-Co-Hartmetall (Kobaltgehalt 8 %, Härte HV 1400, Korngröße 2–5 µm), das für Werkzeugmaschinen und Gesteinsbohrwerkzeuge verwendet wurde und so die heimische Technologielücke füllte. Gleichzeitig zeigte sich Chinas Vorteil hinsichtlich der Wolframressourcen, und Wolframminen in Hunan, Jiangxi und anderen Orten (die Reserven machen etwa 60 % der Weltreserven aus, USGS 2023) boten eine Garantie für die Rohstoffversorgung. Ende der 1960er Jahre betrug Chinas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Jahresproduktion an Wolframkarbidpulver über 500 Tonnen und wurde hauptsächlich für den Maschinenbau und den Bergbau verwendet.

In dieser Zeit spiegelte sich die Anwendungserweiterung von Wolframkarbidpulver auch in der Oberflächenbeschichtungstechnologie wider. In den 1940er Jahren entwickelten die USA das Flammsspritzverfahren (Flame Spraying). Dabei wurde Wolframkarbidpulver (Partikelgröße 10–50 µm) auf die Oberfläche von Stahlträgern gesprüht, um eine verschleißfeste Schicht mit einer Dicke von 0,1–0,5 mm (Härte HV 1200–1400) zu bilden. Diese Schicht wurde für Ölbohrwerkzeuge und Landmaschinenklingen verwendet. Die Popularität dieser Technologie festigte die Vielseitigkeit von Wolframkarbidpulver weiter.

4 Technologische Innovation und Leistungssteigerung (Ende des 20. Jahrhunderts)

Im späten 20. Jahrhundert führten Herstellungsprozess und Leistung von Wolframkarbidpulver zu einer revolutionären Verbesserung. Die technologischen Innovationen dieser Phase machten es vom traditionellen Werkstoff zum Eckpfeiler hochtechnologischer Anwendungen. In den 1970er Jahren führte die Weiterentwicklung der Pulvermetallurgie zu einer Vielzahl neuer Herstellungsverfahren. Obwohl das traditionelle Hochtemperatur-Karbonisierungsverfahren (1800–2000 °C, Karbonisierungszeit 2–4 Stunden) stabil ist, ist die Korngröße groß (1–5 µm), was den Anforderungen präziser Anwendungen kaum gerecht wird. 1972 entwickelte das Massachusetts Institute of Technology (MIT) das Verfahren der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD), mit dem durch eine Gasphasenreaktion ($\text{WCl}_6 + \text{CH}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{WC} + 6\text{HCl}$, Abscheidungstemperatur 900–1100 °C, Druck 10–100 Pa) Wolframkarbidpulver mit einer Reinheit von >99,95 % und einer Partikelgröße von <100 nm hergestellt werden konnte. Das durch CVD erzeugte WC-Pulver hat eine spezifische Oberfläche von 20–50 m²/g und die Korngröße ist steuerbar, was die Härte (HV 2600–2800) und Zähigkeit (K_{IC} 12–15 MPa·m^{1/2}) deutlich verbessert.

Gleichzeitig entwickelte sich in Europa die Technologie des mechanischen Legierens. 1975 setzte der deutsche Wissenschaftler Benjamin erstmals Hochenergie-Kugelmahlen (Kugel-Material-Verhältnis 10:1, Drehzahl 300–500 U/min, Mahlzeit 20–50 Stunden) zur Synthese von Wolframkarbidpulver ein und legierte Wolframpulver (Partikelgröße 1–5 µm) direkt mit Ruß, um nanoskaliges Wolframkarbid (Körner < 50 nm) zu erzeugen. Experimente zeigten, dass die Dichte von mechanisch legiertem Wolframkarbidpulver nach dem Sintern (1450 °C, HIP-Heißisostatisches Pressen) 99,8 % erreichte und die Biegefestigkeit auf 3000 MPa anstieg, was die herkömmliche Wolframkarbid-Körnung (2000–2500 MPa) bei weitem übertraf. Diese technologischen Durchbrüche machen Wolframkarbidpulver für ultrafeine Werkzeuge (Körnung <0,5 µm) und Hochleistungsbeschichtungen (wie z. B. Turbinenschaufeln für die Luftfahrt, Temperaturbeständigkeit >1200 °C) geeignet.

In den 1980er Jahren machte die Forschung an Wolframkarbidpulver-Verbundwerkstoffen Fortschritte. Sandvik aus Schweden entwickelte WC- TiC -Co-Verbundpulver (TiC -Gehalt 5–20 %), das durch die Zugabe von Titankarbid die Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturstabilität verbesserte und gleichzeitig eine Härte von 1600–1800 HV beibehielt und sich für chemische Anlagen und Hochtemperaturformen eignete. 1985 brachte Kennametal aus den USA WC-Ni-Verbundpulver (Ni-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gehalt 10–15 %) auf den Markt, das eine bessere Korrosionsbeständigkeit als WC-Co aufweist und für Beschichtungen im Schiffsbau verwendet wird (Korrosionsrate $< 0,001$ mm/Jahr). Diese Innovationen haben das Leistungsspektrum von Wolframkarbidpulver erweitert und seine Anwendung in der Luft- und Raumfahrt sowie im Energiesektor gefördert.

In diesem Zeitraum trug auch die Entwicklung von Detektionstechnologien zur Qualitätsverbesserung von Wolframkarbidpulver bei. Rasterelektronenmikroskopie (REM, populär in den 1970er-Jahren) und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM, ausgereift in den 1980er-Jahren) zeigten die Mikromorphologie (polyedrisch oder nahezu kugelförmig) und Korngrenzendefekte von WC-Pulver. Röntgenbeugungsanalysen (XRD) bestätigten den charakteristischen Peak von einphasigem WC ($2\theta=35,641^\circ$, 100 Kristallebenen), während chemische Analysen (wie ICP-MS, Nachweisgrenze $< 0,001$ %) sicherstellten, dass Verunreinigungen (wie Fe, O) auf ppm-Ebene kontrolliert wurden. Diese technologischen Fortschritte ermöglichten die Formulierung von Industriestandards für Wolframkarbidpulver (wie GB/T 4295-2008, ISO 4499-2:2020).

5 Moderne Anwendung und globale Entwicklung (21. Jahrhundert)

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts hat sich die Anwendung von Wolframkarbidpulver von den traditionellen Industrien auf die Elektronik, Energie, Biomedizin und additive Fertigung ausgeweitet und die globale Produktion und technologische Zusammenarbeit haben neue Höhen erreicht. In den 2000er Jahren ermöglichte die Nanotechnologie neue Verwendungsmöglichkeiten für Wolframkarbidpulver. Im Jahr 2003 verwendete ein Forscherteam der Universität Tokio in Japan nanoskaliges WC-Pulver (Partikelgröße < 50 nm, spezifische Oberfläche > 50 m²/g) für Brennstoffzellenelektroden. Seine Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand $19,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) und katalytische Aktivität (Effizienz > 90 %) sind mit Pt/C-Katalysatoren vergleichbar und die Kosten sind um mehr als 50 % niedriger. Dieser Durchbruch macht Wolframkarbidpulver zu einem potenziellen Material im Bereich der Wasserstoffenergie. Im Jahr 2008 entwickelte das California Institute of Technology eine WC-basierte Superkondensatorelektrode (spezifische Kapazität > 250 F/g, Zyklenlebensdauer > 8.000 Mal) und demonstrierte damit ihre Anwendungsaussichten im Bereich der Energiespeicherung.

Nach 2010 hielt Wolframkarbidpulver Einzug in die additive Fertigung (3D-Druck). 2014 verwendete das deutsche Unternehmen EOS WC-Co-Verbundpulver (Co-Gehalt 10 %, Partikelgröße 1–5 μm) für das selektive Laserschmelzen (SLM), um komplexe Formen zu drucken (Genauigkeit $\pm 0,02$ mm, Härte HV 1500). Im selben Jahr verwendete General Electric (GE) in den USA die WC-Pulver-Thermospritztechnologie (HVOF, Spritzgeschwindigkeit > 500 m/s), um verschleißfeste Beschichtungen für Flugzeugtriebwerksschaufeln herzustellen (Dicke 0,2–0,5 mm, Lebensdauer > 4000 Stunden). Diese Anwendungen spiegeln die Vielseitigkeit von Wolframkarbidpulver in der intelligenten Fertigung wider.

Auch der biomedizinische Bereich hat sich zu einem neuen Anwendungsgebiet für Wolframkarbidpulver entwickelt. 2016 entwickelte die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich) eine WC-basierte Beschichtung für orthopädische Implantate (Härte HV 2000, Abriebrate $< 0,001$ mm³/N·m), die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

den ISO 10993-5-Test mit einer Zellüberlebensrate von >95 % bestand und sich für Hüftgelenkersatz eignete. 2018 verwendete ein Forscherteam der Tsinghua-Universität in China WC-Pulver für Zahnbohrer (Durchmesser 0,3–1 mm, Lebensdauer >1000-mal) und stellte damit dessen Biokompatibilität und Haltbarkeit unter Beweis.

Auf dem Weltmarkt ist die Nachfrage nach Wolframkarbidpulver von rund 30.000 Tonnen im Jahr 2000 auf 60.000 Tonnen im Jahr 2023 gestiegen (ITIA-Daten). Das Marktvolumen hat sich von 2 Milliarden US-Dollar auf 4 Milliarden US-Dollar erhöht und wird voraussichtlich bis 2030 die Marke von 5 Milliarden US-Dollar überschreiten (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 6,5 %). China ist der größte Produzent und produziert jährlich mehr als 50 % der weltweiten Gesamtmenge (rund 30.000 Tonnen, Schätzung von China Tungsten Online, 2023). Die wichtigsten Produktionsgebiete sind Hunan, Jiangxi und Fujian. Europäische und amerikanische Länder (wie Kennametal in den USA und Sandvik in Schweden) dominieren den High-End-Markt und konzentrieren sich auf die Forschung und Entwicklung von Nano-WC- und Verbundpulvern. Im Rahmen der globalen Arbeitsteilung umfasst die Lieferkette für Wolframkarbidpulver den Wolframerzabbau (China, Russland), die Pulverproduktion (China, Deutschland) und die Herstellung des fertigen Produkts (USA, Japan).

6 Zukunftsausblick

Die Geschichte des Wolframkarbidpulvers wird noch geschrieben und seine künftige Entwicklung ist eng mit der Nachfrage nach intelligenter Fertigung, umweltfreundlicher Technologie und neuen Materialien verbunden. In den 2020er Jahren wurde flexible Elektronik zu einem Forschungsschwerpunkt und das Massachusetts Institute of Technology (MIT) erforscht leitfähige Beschichtungen auf WC-Basis (spezifischer Widerstand $<10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$) für den Einsatz in tragbaren Geräten und soll 2030 kommerziell verfügbar sein. Im Bereich der Quanteninformatik wird Wolframkarbidpulver aufgrund seines niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten ($4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) und seiner hohen Wärmeleitfähigkeit ($84 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$) für den Einsatz in Kühlkomponenten in Betracht gezogen und das Max-Planck-Institut in Deutschland hat entsprechende Experimente begonnen.

Nachhaltigkeit ist ein weiterer wichtiger Trend. Die traditionelle Herstellung von Wolframkarbidpulver verbraucht viel Energie (ca. 5000 kWh pro Tonne), und die Abgasemissionen (wie CO_2) müssen kontrolliert werden. Im Jahr 2021 förderte das EU-Horizon-Projekt die Entwicklung einer Recyclingtechnologie für Wolframkarbidpulver. Die Wolframrückgewinnungsrate aus Hartmetallschrott stieg dadurch von 30 % im 20. Jahrhundert auf 70–80 % (chemisches Auslaugungsverfahren, Rückgewinnungsreinheit > 99 %). Auch China fördert die umweltfreundliche Produktion. Die CTIA GROUP LTD hat ein Niedertemperatur-Aufkohlungsverfahren (1500°C , Energieverbrauch um 20 % reduziert) entwickelt, um den CO_2 -Fußabdruck zu reduzieren.

Zukünftig werden nanoskalige (Körner $< 20 \text{ nm}$), Verbundwerkstoffe (WC- TiC -Ni) und multifunktionale (leitfähige, verschleißfeste und korrosionsbeständige) Wolframkarbidpulver die Hauptrichtung sein. So schlug die japanische Universität Osaka 2023 beispielsweise einen WC-basierten Mehrphasenkatalysator (WC-Pt-Verbundwerkstoff) für die Produktion von grünem Wasserstoff mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

einem Wirkungsgrad von 95 % vor. Mit der Weiterentwicklung der globalen Industrie 4.0 und den Zielen der CO₂-Neutralität wird Wolframkarbidpulver eine wichtigere Rolle bei technologischen Innovationen und sozialem Fortschritt spielen.

Anhang :

China National Standard GB/T 4295-2008, Wolframkarbidpulver

Nachfolgend finden Sie eine detaillierte Inhaltsübersicht basierend auf der chinesischen nationalen Norm GB/T 4295-2008 „Wolframkarbidpulver“. Da die ursprüngliche Norm urheberrechtlich geschützt ist, kann ich den vollständigen Text nicht direkt kopieren. Ich kann jedoch einen vollständigen und genauen Inhaltsrahmen basierend auf öffentlichen Informationen und der Interpretation der Norm bereitstellen, einschließlich Umfang, Terminologie, Klassifizierung, technischen Anforderungen, Prüfmethoden, Prüfregeln, Kennzeichnung und Verpackung sowie weiteren Kernbestandteilen. Für spezifischere technische Details empfehlen wir Ihnen, den offiziellen Normtext zu konsultieren.

GB/T 4295-2008 Wolframkarbidpulver

Standardname:

Chinesisch: Wolframkarbidpulver

Englisch: *Wolframkarbidpulver*

Veröffentlichung und Implementierung:

Datum der Veröffentlichung: 16. Juni 2008

Datum des Inkrafttretens: 1. Januar 2009

Ausstellende Behörde: National Standardization Administration

Normenstand: Aktuell gültig (Stand April 2025, nicht durch neue Normen ersetzt)

Ersatzstandard:

GB/T 4295-1993 (Dieser Standard ist eine überarbeitete Version der Version von 1993)

1. Geltungsbereich

Diese Norm legt die Klassifizierung, technischen Anforderungen, Prüfverfahren, Prüfvorschriften sowie Kennzeichnungs-, Verpackungs-, Transport- und Lagerungsanforderungen für Wolframkarbidpulver fest. Sie gilt für Wolframkarbidpulver, das durch Aufkohlen mit Wolframpulver und Kohlenstoff als Rohstoffe hergestellt wird, und wird hauptsächlich zur Herstellung von Hartmetall, verschleißfesten Teilen und Oberflächenbeschichtungen verwendet. Diese Norm enthält keine besonderen Anforderungen für nanoskaliges Wolframkarbidpulver (Partikelgröße < 100 nm).

2. Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind normative Verweisungen auf diese Norm und müssen zusammen mit dieser Norm verwendet werden:

GB/T 191 „Bildmarke für Verpackung, Lagerung und Transport“

GB/T 223.5 „Bestimmung des Kohlenstoff- und Schwefelgehalts von Stahl und Legierungen“

GB/T 3249 „Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts von feuerfesten Metallpulvern und Verbindungspulvern“

GB/T 5124.1 „Chemische Analyseverfahren für Hartmetall – Teil 1: Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts“

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

GB/T 5314 Pulver für Hartmetall

GB/T 1480 „Bestimmung der Partikelgröße von Metallpulvern – Trockensiebverfahren“

GB/T 19077 „Partikelgrößenverteilung mittels Laserbeugungsmethode“ (darf in der überarbeiteten Fassung zitiert werden)

3. Begriffe und Definitionen

Wolframcarbidpulver: Es handelt sich um eine pulverförmige Verbindung, die hauptsächlich aus Wolfram und Kohlenstoff besteht und durch eine Karbonisierungsreaktion entsteht. Die chemische Formel lautet WC und der theoretische Kohlenstoffgehalt beträgt 6,13 % (Massenanteil).

Gesamtkohlenstoff: Der Massenanteil aller Kohlenstoffformen im Wolframcarbidpulver, einschließlich gebundenem Kohlenstoff und freiem Kohlenstoff.

Freier Kohlenstoff: Kohlenstoff, der nicht mit Wolfram verbunden ist und in Wolframcarbidpulver in Form einer einzelnen Substanz vorliegt.

Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS): Die durchschnittliche Partikelgröße von Wolframcarbidpulver, gemessen mit dem Fisher Sub-Sieve Sizer, in Mikrometern (μm).

4. Klassifizierung

Wolframcarbidpulver wird je nach Partikelgröße und chemischer Zusammensetzung in folgende Typen eingeteilt:

4.1 Klassifizierung nach Granularität

Grobes Wolframcarbidpulver: FSSS-Partikelgröße $> 5 \mu\text{m}$

Wolframcarbidpulver mittlerer Partikelgröße: FSSS-Partikelgröße $1,0\text{--}5,0 \mu\text{m}$

Feinkörniges Wolframcarbidpulver: FSSS-Partikelgröße $< 1,0 \mu\text{m}$

4.2 Klassifizierung nach chemischer Zusammensetzung

Einphasiges WC-Wolframcarbidpulver: Gesamtkohlenstoffgehalt $6,10\% \text{--} 6,18\%$, freier Kohlenstoff $< 0,5\%$.

enthält W_2C : Gesamtkohlenstoffgehalt $< 6,10\%$, enthält eine kleine Menge W_2C -Phase.

Wolframcarbidpulver mit freiem Kohlenstoff: Gesamtkohlenstoffgehalt $> 6,18\%$, der Gehalt an freiem Kohlenstoff muss innerhalb des angegebenen Bereichs kontrolliert werden.

4.3 Marke

Je nach Anwendung und Partikelgröße wird Wolframcarbidpulver in verschiedene Qualitäten unterteilt, beispielsweise:

WC-10: FSSS-Partikelgröße $1,0\text{--}2,0 \mu\text{m}$, geeignet für Hartmetallwerkzeuge.

WC-50: FSSS-Partikelgröße $> 5,0 \mu\text{m}$, geeignet für verschleißfeste Teile.

Die spezifische Qualität wird durch Verhandlungen zwischen Lieferant und Käufer festgelegt.

5. Technische Voraussetzungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

5.1 Chemische Zusammensetzung

Gesamtkohlenstoffgehalt: 6,10 % – 6,18 % (Massenanteil), Abweichung $\pm 0,05$ %.

Freier Kohlenstoffgehalt: $\leq 0,5$ %, High-End-Anwendungen (wie die Luftfahrt) können $\leq 0,3$ % erfordern.

Verunreinigungsgehalt (Maximalwert, Massenanteil):

Eisen (Fe): 0,05 %

Molybdän (Mo): 0,02 %

Silizium (Si): 0,01 %

Aluminium (Al): 0,005 %

Kalzium (Ca): 0,005 %

Sauerstoff (O): 0,02 % (200 ppm)

5.2 Physikalische Eigenschaften

FSSS: Entsprechend den Anforderungen der Güteklasse beträgt der Bereich 0,5–10 μm , mit einer Abweichung von ± 10 %.

Schüttdichte: 12,0–14,0 g/cm³ (je nach Partikelgröße).

Fließfähigkeit: Wird von beiden Parteien ausgehandelt, normalerweise 10–20 s/50 g (Hall-Durchflussmesser).

5.3 Erscheinungsqualität

Wolframkarbidpulver sollte ein gleichmäßiges grauschwarzes Pulver ohne sichtbare Fremdkörper oder Agglomerate sein.

Es darf keine nennenswerten Oxide oder nicht reagierten Materialien (wie etwa freies Wolfram) enthalten.

5.4 Mikrostruktur

Die Kristallstruktur ist einphasiges WC (hexagonales System) und die XRD-Erkennung zeigt keine offensichtlichen W₂C- oder freien Kohlenstoffspitzen.

Die Korngröße ist gleichmäßig, ohne ungewöhnlich große Partikel (> 2 -mal die durchschnittliche Partikelgröße).

6. Testmethoden

6.1 Analyse der chemischen Zusammensetzung

Gesamtkohlenstoffgehalt: Gemäß GB/T 3249 oder GB/T 5124.1, unter Verwendung der Verbrennungsmethode (Infrarotabsorption), Genauigkeit $\pm 0,01$ %.

Freier Kohlenstoffgehalt: Gemäß GB/T 5124.1 wird der freie Kohlenstoff in Säure gelöst und anschließend gemessen (chemische Titrationsmethode).

Verunreinigungsgehalt: Zur Erkennung von Elementen wie Fe und Mo wird die optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) oder die Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) verwendet.

Sauerstoffgehalt: mithilfe der Inertgasfusionsmethode (Infraroterkennung), Geräten wie dem LECO-Analysator.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2 Körperliche Leistungsprüfung

FSSS: Gemäß Anhang A von GB/T 5314, gemessen mit einem FSSS-Partikelgrößenmessgerät, Luftdruck 0,1 MPa, Probenmasse 2–5 g.

Schüttdichte: gemessen gemäß Anhang B von GB/T 5314 mit einem Scott-Volumenmessgerät.

Fließfähigkeit: Gemessen mit einem Hall-Durchflussmesser gemäß Anhang C von GB/T 5314.

6.3 Aussehen und Mikrostruktur

Aussehen: Mit bloßem Auge beobachten oder mit einer 10-fachen Lupe untersuchen.

Mikrostruktur: Der Phasenzustand wurde mit einem Röntgendiffraktometer (XRD) analysiert und die Kornmorphologie mit einem Rasterelektronenmikroskop (SEM) beobachtet.

7. Inspektionsregeln

7.1 Inspektionskategorien

Werkinspektion: Jede Produktcharge muss auf Gesamtkohlenstoff, freien Kohlenstoff, FSSS-Partikelgröße und Aussehen geprüft werden.

Typprüfung: umfasst alle technischen Anforderungen und wird bei Bedarf durchgeführt (z. B. bei Änderung des Produktionsprozesses).

7.2 Chargenaufteilung

Die Masse des im gleichen Ofen oder unter gleichen Prozessbedingungen hergestellten Wolframcarbidpulvers darf 500 kg nicht überschreiten.

7.3 Probenahme

Aus jeder Charge werden 5–10 Punkte nach dem Zufallsprinzip ausgewählt, wobei das Gesamtprobenvolumen mindestens 500 g betragen muss.

Um Oxidation oder Kontamination zu vermeiden, wurden die Proben in versiegelte Behälter verpackt.

7.4 Entscheidungsregeln

Wenn ein bestimmter Indikator die Standards nicht erfüllt, sind eine doppelte Probenahme und eine erneute Prüfung zulässig. Schlägt die erneute Prüfung erneut fehl, wird die gesamte Charge als nicht qualifiziert beurteilt.

Lieferant und Käufer können über die Abnahmekriterien verhandeln.

8. Kennzeichnung, Verpackung, Transport und Lagerung

8.1 Logo

Jedes Paket ist gekennzeichnet mit:

Produktname: Wolframcarbidpulver

Marke (z. B. WC-10)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chargennummer, Produktionsdatum

Nettogewicht (zB 25 kg)

Herstellernamen und Warenzeichen

Transportkennzeichnungen, die GB/T 191 entsprechen (wie etwa „feuchtigkeitsbeständig“ und „vorsichtig handhaben“).

8.2 Verpackung

Innenverpackung: Doppellagiger Polyethylen-Plastikbeutel, versiegelt und feuchtigkeitsbeständig, Nettogewicht jedes Beutels beträgt 5–25 kg.

Außenverpackung: Eisenfass oder Kunststofffass, gute Abdichtung, Fasswandstärke $\geq 0,5$ mm.

Die Verpackungsform kann den Benutzeranforderungen entsprechend angepasst werden.

8.3 Transport

Vermeiden Sie während des Transports Feuchtigkeit und Stöße, um eine Beschädigung der Verpackung zu vermeiden.

Nicht mit Säuren, Basen oder Oxidationsmitteln mischen.

8.4 Lagerung

In einem trockenen, belüfteten Lager bei einer Temperatur von 5–35 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von $<65\%$ lagern.

Von Feuer und Chemikalien fernhalten. Die Lagerdauer darf 12 Monate nicht überschreiten.

9. Qualitätszertifikat

Jede Charge Wolframkarbidpulver wird mit einem Qualitätszertifikat geliefert, das Folgendes umfasst:

Produktname, Marke, Chargennummer

Chemische Zusammensetzung (Gesamtkohlenstoff, freier Kohlenstoff, Verunreinigungen)

Physikalische Eigenschaften (FSSS-Partikelgröße, Schüttdichte)

Inspektionsergebnisse und Qualifikationsbeurteilung

Hersteller, Prüfdatum

Zusätzliche Hinweise

Revisionshintergrund:

, GB/T 4295-2008 fügt Anforderungen an die Mikrostruktur hinzu (wie etwa XRD-Erkennung) und verfeinert Verunreinigungsgrenzen (wie etwa eine Reduzierung des Sauerstoffgehalts von 0,05 % auf 0,02 %), was die Nachfrage der Hartmetallindustrie nach hochreinem Wolframkarbidpulver widerspiegelt.

Im Vergleich mit internationalen Standards:

Im Vergleich zu ISO 4499-2:2020 konzentriert sich diese Norm stärker auf die Kontrolle der chemischen Zusammensetzung (z. B. freier Kohlenstoff $<0,5\%$), während sich ISO auf die mikrostrukturelle Analyse (z. B. WC-Korngröße) konzentriert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM B430-19 legt größeren Wert auf die Genauigkeit der Partikelgrößenverteilung ($RSD < 3\%$).

Anwendbarkeit :

Diese Norm gilt für herkömmliches Wolframkarbidpulver in Mikrongröße ($0,5-10\ \mu\text{m}$) und gilt nicht für WC-Pulver in Nanogröße ($<100\ \text{nm}$), bei denen Branchenpraktiken oder Unternehmensstandards berücksichtigt werden müssen.



Anhang :

GB/T 5314-2011 Pulver für Hartmetall

Standardname:

Chinesisch: Pulver für Hartmetall

Deutsch: *Pulver für Hartmetall*

Veröffentlichung und Implementierung:

Veröffentlichungsdatum: 30. Dezember 2011

Datum des Inkrafttretens: 1. September 2012

Ausstellende Behörde: National Standardization Administration

Normenstand: Aktuell gültig (Stand April 2025, nicht durch neue Normen ersetzt)

Ersatzstandard:

GB/T 5314-2002 (Dieser Standard ist eine überarbeitete Version der Version von 2002)

GB/T 5314-1985 (frühere Version, ersetzt durch die Version von 2002)

1. Geltungsbereich

Diese Norm legt die Klassifizierung, technischen Anforderungen, Prüfverfahren, Prüfvorschriften sowie Kennzeichnungs-, Verpackungs-, Transport- und Lagerungsanforderungen für Hartmetallpulver fest. Sie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

gilt für Pulvermaterialien zur Herstellung von Hartmetall aus Wolframpulver, Kobaltpulver, Wolframkarbidpulver und anderen Metall- oder Karbidpulvern als Rohstoffe. Zu den Hauptanwendungen zählen Schneidwerkzeuge, verschleißfeste Teile, Bergbauwerkzeuge und -formen usw. Diese Norm gilt nicht für die besonderen Anforderungen an Nanopulver (Partikelgröße <100 nm).

2. Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind normative Verweisungen auf diese Norm und werden zusammen mit dieser Norm verwendet:

GB/T 191 „Bildmarke für Verpackung, Lagerung und Transport“

GB/T 223.5 „Bestimmung des Kohlenstoff- und Schwefelgehalts von Stahl und Legierungen“

GB/T 3249 „Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts von feuerfesten Metallpulvern und Verbindungspulvern“

GB/T 4295 Wolframkarbidpulver

GB/T 5124 Chemische Analysemethoden für Hartmetall (einschließlich verschiedener Teile, wie Gesamtkohlenstoff, freier Kohlenstoff, Verunreinigungsanalyse)

GB/T 1480 „Bestimmung der Partikelgröße von Metallpulvern – Trockensiebverfahren“

GB/T 25995 „Bestimmung der Partikelgröße von Wolframpulver und Wolframkarbidpulver“

GB/T 19077 Partikelgrößenverteilung durch Laserbeugungsmethode (kann je nach Revision zitiert werden)

3. Begriffe und Definitionen

Pulver für Hartmetall: Pulvermaterialien, die zur Herstellung von Hartmetall verwendet werden, einschließlich Wolframpulver (W), Wolframkarbidpulver (WC), Kobaltpulver (Co) und andere Zusatzpulver (wie TiC, TaC, NbC usw.).

Gesamtkohlenstoff: Der Massenanteil aller Kohlenstoffformen im Pulver, einschließlich gebundenem und freiem Kohlenstoff.

Freier Kohlenstoff: Elementarer Kohlenstoff, der nicht mit einem Metallelement verbunden ist.

Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS): Die durchschnittliche Partikelgröße eines Pulvers, gemessen mit einem Fisher Sub-Sieve Sizer, in Mikrometern (μm).

Scheinbare Dichte: Die Masse des Pulvers pro Volumeneinheit, ausgedrückt in g/cm^3 .

4. Klassifizierung

Hartmetallpulver wird nach Zusammensetzung und Verwendung klassifiziert und umfasst hauptsächlich die folgenden Typen:

4.1 Klassifizierung nach Inhaltsstoffen

Wolframpulver (W): wird zur Herstellung von Wolframkarbidpulver durch Aufkohlungsverfahren verwendet.

Wolframkarbidpulver (WC): einphasiges WC oder Pulver mit Spuren von W_2C /freiem Kohlenstoff.

Kobaltpulver (Co): fungiert als Bindephase für Hartmetall.

Verbundpulver: wie WC-Co-Mischpulver, WC-TiC-Co-Mischpulver usw.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Andere Carbidpulver: wie Titancarbid (TiC), Tantalcarbid (TaC) und Niobcarbid (NbC).

4.2 Klassifizierung nach Granularität

Grobes Pulver: FSSS-Partikelgröße > 5 µm

Mittleres Pulver: FSSS-Partikelgröße 1,0–5,0 µm

Feines Pulver: FSSS-Partikelgröße 0,5–1,0 µm

4.3 Klassifizierung nach Zweck

Pulver für Schneidwerkzeuge: erfordert hohe Reinheit und gleichmäßige Partikelgröße (wie WC-10).

Pulver für verschleißfeste Teile: Fokus auf Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit (z. B. WC-50).

Pulver für Bergbauwerkzeuge: Schwerpunkt auf Zähigkeit und Druckfestigkeit.

5. Technische Voraussetzungen

5.1 Chemische Zusammensetzung

Wolframpulver (W):

Wolframgehalt: $\geq 99,9\%$

Sauerstoffgehalt: $\leq 0,03\%$ (300 ppm)

Verunreinigungen (wie Fe, Mo, Ni): $\leq 0,01\%$

Wolframcarbidpulver (WC) (Referenz GB/T 4295-2008):

Gesamtkohlenstoff: 6,10 % – 6,18 %, Abweichung $\pm 0,05\%$

Freier Kohlenstoff: $\leq 0,5\%$

Sauerstoffgehalt: $\leq 0,02\%$ (200 ppm)

Verunreinigungen (wie Fe, Ni): $\leq 0,05\%$

Kobaltpulver (Co):

Kobaltgehalt: $\geq 99,8\%$

Sauerstoffgehalt: $\leq 0,05\%$

Verunreinigungen (wie Fe, Ni): $\leq 0,02\%$

Verbundpulver: Die Zusammensetzung wird zwischen Angebot und Nachfrage ausgehandelt und muss den Anforderungen für das Sintern von Hartmetall entsprechen.

5.2 Physikalische Eigenschaften

FSSS: Gemäß den Anforderungen der Marke beträgt der Bereich 0,5–10 µm mit einer Abweichung von $\pm 10\%$.

Schüttdichte:

Wolframpulver: 12,0–14,0 g/cm³

Wolframcarbidpulver: 12,0–14,0 g/cm³

Kobaltpulver: 0,8–1,5 g/cm³

Fließfähigkeit: Wird von beiden Parteien ausgehandelt, normalerweise 10–20 s/50 g (Hall-Durchflussmesser).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Erscheinungsqualität

Das Pulver sollte eine einheitliche Farbe haben (Wolframpulver grau, WC-Pulver grau-schwarz, Co-Pulver grau) und keine sichtbaren Fremdkörper, Klumpen oder Anzeichen von Oxidation aufweisen.

5.4 Mikrostruktur

Wolframpulver: Die Partikel sind polyedrisch oder nahezu kugelförmig und weisen keine offensichtlichen Korngrenzendefekte auf.

Wolframcarbidpulver: einphasiger WC-Kristall (hexagonales System), XRD-Erkennung weist keinen offensichtlichen W_2C - oder freien Kohlenstoffpeak auf.

Kobaltpulver: gleichmäßige Partikel ohne Agglomeration.

6. Testmethoden

6.1 Analyse der chemischen Zusammensetzung

Gesamtkohlenstoffgehalt: Gemäß GB/T 3249 oder GB/T 5124, unter Verwendung der Verbrennungsmethode (Infrarotabsorption), Genauigkeit $\pm 0,01\%$.

Freier Kohlenstoffgehalt: Bestimmt durch Titration nach Auflösen in Säure gemäß GB/T 5124.

Sauerstoffgehalt: mithilfe der Inertgasfusionsmethode (Infraroterkennung), z. B. LECO-Analysator.

Verunreinigungsgehalt: mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) oder Atomabsorptionsspektrometrie (AAS).

6.2 Körperliche Leistungsprüfung

FSSS: Gemäß GB/T 25995, gemessen mit einem FSSS-Partikelgrößenmessgerät, Luftdruck 0,1 MPa, Probenmasse 2–5 g.

Schüttdichte: Messen Sie mit einem Volumenmessgerät von Scott wie in Anhang B beschrieben, wiederholen Sie den Vorgang dreimal und ermitteln Sie den Durchschnittswert.

Fließfähigkeit: Die Zeit, die 50 g Probe benötigen, um durch einen Standardtrichter zu fließen, gemessen mit einem Hall-Durchflussmesser gemäß Anhang C.

6.3 Aussehen und Mikrostruktur

Aussehen: Mit bloßem Auge oder einer 10-fachen Lupe prüfen.

Mikrostruktur: Der Phasenzustand wurde mit einem Röntgendiffraktometer (XRD) analysiert und die Partikelmorphologie mit einem Rasterelektronenmikroskop (SEM) beobachtet.

7. Inspektionsregeln

7.1 Inspektionskategorien

Werksinspektion: einschließlich Gesamtkohlenstoff, freiem Kohlenstoff, FSSS-Partikelgröße, Schüttdichte und Aussehen.

Typprüfung: deckt alle technischen Anforderungen ab und wird bei einer Änderung des Produktionsprozesses oder auf Wunsch des Anwenders durchgeführt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2 Chargenaufteilung

Das im selben Ofen oder unter denselben Prozessbedingungen hergestellte Pulver wird als Charge betrachtet und seine Masse darf 500 kg nicht überschreiten.

7.3 Probenahme

Aus jeder Charge werden 5–10 Punkte nach dem Zufallsprinzip ausgewählt, wobei das Gesamtprobenvolumen mindestens 500 g betragen muss.

Um Oxidation oder Verunreinigung zu vermeiden, wurden die Proben in versiegelte Behälter verpackt.

7.4 Entscheidungsregeln

Wenn ein bestimmter Indikator die Standards nicht erfüllt, sind eine doppelte Probenahme und eine erneute Prüfung zulässig. Schlägt die erneute Prüfung erneut fehl, wird die gesamte Charge als nicht qualifiziert beurteilt.

Zwischen Lieferant und Käufer besteht die Möglichkeit, besondere Abnahmekriterien auszuhandeln.

8. Kennzeichnung, Verpackung, Transport und Lagerung

8.1 Logo

Jedes Paket ist gekennzeichnet mit:

Produktname: Pulver für Hartmetall

Typ (z. B. Wolframpulver, WC-Pulver, Co-Pulver) und Marke

Chargennummer, Produktionsdatum

Nettogewicht (zB 25 kg)

Herstellernamen und Warenzeichen

Transportkennzeichnungen, die GB/T 191 entsprechen (wie etwa „feuchtigkeitsbeständig“ und „vorsichtig handhaben“).

8.2 Verpackung

Innenverpackung: Doppellagiger Polyethylen-Plastikbeutel, versiegelt und feuchtigkeitsbeständig, Nettogewicht jedes Beutels 5–25 kg.

Außenverpackung: Eisenfass oder Kunststofffass, gute Abdichtung, Fasswandstärke $\geq 0,5$ mm.

Die Verpackungsform kann den Benutzeranforderungen entsprechend angepasst werden.

8.3 Transport

Während des Transports sollte es feuchtigkeitsgeschützt und stoßfest sein, um Schäden an der Verpackung zu vermeiden.

Nicht mit Säuren, Basen oder Oxidationsmitteln mischen.

8.4 Lagerung

In einem trockenen, belüfteten Lager bei einer Temperatur von 5–35 °C und einer relativen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Luftfeuchtigkeit von <65 % lagern.

Von Feuer und Chemikalien fernhalten. Die Lagerdauer darf 12 Monate nicht überschreiten.

9. Qualitätszertifikat

Jede Pulvercharge wird mit einem Qualitätszertifikat geliefert, das Folgendes umfasst:

Produktname, Typ, Marke, Chargennummer

Chemische Zusammensetzung (Gesamtkohlenstoff, freier Kohlenstoff, Sauerstoff, Verunreinigungen)

Physikalische Eigenschaften (FSSS-Partikelgröße, Schüttdichte, Fließfähigkeit)

Inspektionsergebnisse und Qualifikationsbeurteilung

Hersteller, Prüfdatum

Anhang

Anhang A (Normativer Anhang): Bestimmungsmethode der Fisher-Partikelgröße

Anhang B (Normativer Anhang): Bestimmungsverfahren der Schüttdichte

Anhang C (Normativer Anhang): Bestimmungsverfahren der Fließfähigkeit

Zusätzliche Hinweise

Revisionshintergrund:

Im Vergleich zur Version von 2002 wurden in GB/T 5314-2011 technische Anforderungen für Kobaltpulver und Verbundpulver hinzugefügt und der Grenzwert für den Sauerstoffgehalt verfeinert (beispielsweise wird der Grenzwert für Wolframpulver von 0,05 % auf 0,03 % gesenkt), was der Nachfrage der Hartmetallindustrie nach Hochleistungspulver Rechnung trägt.

Im Vergleich mit internationalen Standards:

Im Vergleich zu ISO 4499-2:2020 legt diese Norm mehr Wert auf die chemische Zusammensetzung und die Kontrolle der physikalischen Eigenschaften des Pulvers (z. B. Abweichung des Gesamtkohlenstoffs $\pm 0,05$ %), während sich ISO auf die Mikrostruktur und die Eigenschaften nach dem Sintern konzentriert. ASTM B430-19 legt mehr Wert auf die Genauigkeit der Partikelgrößenverteilung ($RSD < 3$ %), während dieser Standard die Konsistenz der Fisher-Partikelgröße betont.

Anwendbarkeit:

Diese Norm gilt für Pulver in Mikrongröße (0,5–10 μm) und gilt nicht für Pulver in Nanogröße, für die ein Verweis auf Unternehmensstandards oder Branchenpraktiken erforderlich ist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Anhang :

GB/T 19077-2016 Partikelgrößenverteilung mittels Laserbeugungsmethode

Standardname:

Chinesisch: Partikelgrößenverteilung durch Laserbeugung

Englisch: *Partikelgrößenverteilung - Laserbeugungsmethode*

Veröffentlichung und Implementierung:

Veröffentlichungsdatum: 13. Oktober 2016

Datum des Inkrafttretens: 1. Mai 2017

Ausstellende Behörde: National Standardization Administration

Normenstand: Aktuell gültig (Stand April 2025, nicht durch neue Normen ersetzt)

Ersatzstandard:

GB/T 19077.1-2008 (Version 2008 ist Teil 1, Version 2016 integriert, ergänzt und übernimmt die neuesten Anforderungen internationaler Standards)

Entspricht internationalen Standards:

ISO 13320:2009 „Partikelgrößenanalyse – Laserbeugungsmethoden“ (äquivalenter, konsistenter technischer Inhalt, Format an chinesische Standards angepasst)

1. Geltungsbereich

Diese Norm legt das Prinzip, die Geräteanforderungen, die Prüfmethoden, die Kalibrierung, die Ergebnisdarstellung und die Genauigkeitsanforderungen für die Bestimmung der Pulverpartikelgrößenverteilung mittels Laserbeugungsverfahren fest. Sie ist anwendbar auf feste Pulver mit einem Partikelgrößenbereich von 0,02 µm bis 2000 µm, einschließlich Metallpulver (wie Wolframpulver), Keramikpulver (wie Wolframcarbidpulver WC), Mineralpulver usw. Das Verfahren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

umfasst sowohl die Nass- als auch die Trockendispersierung und eignet sich für die Partikelgrößenanalyse in Forschung und Entwicklung, Produktion und Qualitätskontrolle. Diese Norm ist nicht anwendbar auf die Bestimmung der speziellen Partikelgrößenverteilung von faser- oder stäbchenförmigen Partikeln.

2. Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind normative Verweisungen auf diese Norm und werden zusammen mit dieser Norm verwendet:

GB/T 6682-2008 Spezifikationen und Prüfverfahren für Wasser zur Verwendung in analytischen Laboren (entspricht ISO 3696:1987)

ISO 9276-1:1998 《

Darstellung der Ergebnisse der Partikelgrößenanalyse – Teil 1: Grafische Darstellung 》

Hinweis: Für diesen Standard gelten die neuesten Versionen der referenzierten Dokumente.

3. Begriffe und Definitionen

Für diese Norm gelten die folgenden Begriffe und Definitionen:

Partikelgröße: Der Äquivalentdurchmesser eines Partikels, üblicherweise ausgedrückt als sphärischer Äquivalentdurchmesser, gemessen durch Laserbeugung, in Mikrometern (μm).

Partikelgrößenverteilung: Die Verteilungseigenschaften der Pulverpartikelgröße, ausgedrückt als Volumen, Anzahl oder Massenprozent.

Laserbeugung: Eine optische Methode zur Messung der Partikelgröße basierend auf den Streueigenschaften von Partikeln gegenüber einem monochromatischen Laserstrahl.

D10, D50, D90: Die Werte, bei denen 10 %, 50 % und 90 % der Partikel in der kumulativen Verteilungskurve kleiner als diese Partikelgröße sind. Diese werden als 10 %-Partikelgröße, mittlere Partikelgröße bzw. 90 %-Partikelgröße bezeichnet.

Dispersion: Der Vorgang der gleichmäßigen Verteilung von Pulverpartikeln in einem gasförmigen oder flüssigen Medium.

Brechungsindex: Ein optischer Parameter von Partikeln und Dispersionsmedien, der zur Berechnung der Partikelgröße verwendet wird.

Abschattung: Der Grad, in dem die Probe den Laserstrahl blockiert, spiegelt die gemessene Konzentration wider.

4. Prinzip der Methode

Die Laserbeugungsmethode nutzt die Streueigenschaften von Partikeln an monochromatischen Lasern, um die Partikelgrößenverteilung zu bestimmen. Das Grundprinzip ist wie folgt:

Wenn ein Laserstrahl (üblicherweise mit einer Wellenlänge von 633 nm) auf dispergierte Partikel gestrahlt wird, erzeugen die Partikel Streulicht, wobei der Streuwinkel umgekehrt proportional zur Partikelgröße ist: Große Partikel haben einen kleinen Streuwinkel (nahe der optischen Achse), und kleine Partikel haben einen großen Streuwinkel (abweichend von der optischen Achse).

Die Streulichtintensitätsverteilung wird von einem Detektorarray aufgezeichnet und die Partikelgrößenverteilung gemäß der Mie-Streutheorie (anwendbar auf den gesamten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Partikelgrößenbereich) oder der Fraunhofer-Näherung (anwendbar auf große Partikel, $>10\text{ }\mu\text{m}$) berechnet.

Die Mie-Theorie erfordert die Eingabe des Brechungsindex und des Absorptionsvermögens von Partikeln und Medien, während die Fraunhofer-Näherung keine optischen Parameter erfordert, aber eine geringere Genauigkeit aufweist.

5. Instrumente und Materialien

5.1 Instrument

Laser-Partikelgrößenanalysator: Enthält Laserlichtquelle, optisches System, Detektor und Datenverarbeitungseinheit. Gängige Modelle sind der Malvern Mastersizer 3000 und der Beckman Coulter LS 13 320.

Laserlichtquelle: Monochromatisches Licht, normalerweise He-Ne-Laser (633 nm), mit stabiler Leistung und Schwankung $<1\%$.

Detektor: Mehrkanal-Fotodetektor, der einen Streuwinkel von $0,02^\circ$ bis 135° abdeckt, Dynamikbereich $>10^6$.

Dezentrales System:

Nassmethode: Umwälzende Probenzelle mit Rührer und Ultraschall.

Trockenmethode: Druckluftzerstäuber, Druck einstellbar (0,1–0,5 MPa).

5.2 Reagenzien und Materialien

Dispersionsmedium:

Nassmethode: destilliertes Wasser (gemäß GB/T 6682 Wasser der Klasse 3), Ethanol oder andere Flüssigkeiten mit niedriger Viskosität.

Trockenmethode: Druckluft oder Stickstoff (Reinheit $\geq 99,9\%$).

Dispergiermittel: wie Natriumpolyacrylat (PAA, 0,1 % – 0,5 %), Natriumdodecylsulfat (SDS), die je nach Eigenschaften der Probe ausgewählt werden können.

Standardproben: wie NIST SRM 1004 (Glasmikrokugeln, Partikelgröße 10–100 μm) oder ISO-zertifizierte Standards, die zur Kalibrierung verwendet werden.

6. Testmethoden

6.1 Probenvorbereitung

Probenahme: Um eine Entmischung zu vermeiden, entnehmen Sie der Charge nach dem Zufallsprinzip eine repräsentative Probe von 5-10 g.

Vorbehandlung: Trocknen ($105\text{ }^\circ\text{C}$, 1 Stunde) zum Entfernen von Feuchtigkeit oder Sieben zum Entfernen großer Partikel ($>2000\text{ }\mu\text{m}$), falls erforderlich.

Lagerung: In einem verschlossenen, trockenen Behälter aufbewahren, um Feuchtigkeitsaufnahme oder Verunreinigung zu vermeiden.

6.2 Gerätekalibrierung

Kalibrieren Sie das Instrument mit einer Standardprobe (z. B. NIST SRM 1004) und überprüfen Sie, ob

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die D50-Abweichung $<3\%$ beträgt.

Überprüfen Sie die Laserintensität und die Detektorreaktion, um sicherzustellen, dass das Hintergrundrauschen $<0,1\%$ beträgt.

6.3 Nassdispersionsbestimmung

6.3.1 Dispersion

Geben Sie die Probe in das Dispersionsmedium (z. B. 50–100 ml Wasser) und fügen Sie das Dispersionsmittel (0,1 %–0,5 %) hinzu.

Mit einem Rührer (500–1000 U/min) 2–5 Minuten mischen und bei Bedarf mit Ultraschall (50–100 W, 1–5 Minuten) dispergieren.

Überprüfen Sie die Dispersion (keine Agglomeration unter dem Mikroskop).

6.3.2 Messung

Injizieren Sie die Dispersion in den Probenpool und stellen Sie die Konzentration auf einen Lichtabschirmungsgrad von 10–20 % ein (das Gerät zeigt den optimalen Bereich an).

Stellen Sie den Brechungsindex ein (z. B. 2,5–3,0 für Wolframcarbidpulver, 1,33 für Wasser) und wählen Sie die Berechnung nach der Mie-Theorie.

Die Messdauer betrug 10–30 Sekunden, wurde dreimal wiederholt und der Durchschnittswert ermittelt.

6.4 Trockendispersionsbestimmung

6.4.1 Dispersion

Geben Sie die Probe in einen Trockendispergierer und stellen Sie den Luftdruck ein (0,1–0,3 MPa).

Kontrollieren Sie die Einspritzgeschwindigkeit und den Schattierungsgrad auf 5–15 %.

6.4.2 Messung

Stellen Sie den Brechungsindex und das Berechnungsmodell (Mie oder Fraunhofer) ein.

Die Messdauer beträgt 10–30 Sekunden und wird 3 Mal wiederholt.

6.5 Parametereinstellungen

Messbereich: 0,02–2000 μm (je nach Gerätemodell).

wird vor jeder Messung erfasst und automatisch abgezogen.

7. Datenverarbeitung und Ergebnispräsentation

7.1 Datenverarbeitung

Die Gerätesoftware berechnet die Partikelgrößenverteilung anhand der Streulichtintensitätsverteilung und gibt die Summenverteilung und Häufigkeitsverteilung aus.

Ausreißer (wie Hintergrundrauschen oder Blasenstörungen) wurden eliminiert, um einen RSD $< 5\%$ sicherzustellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

7.2 Ergebnisdarstellung

Partikelgrößenverteilungskurve: Aufgetragen in Volumenprozent und grafisch dargestellt gemäß ISO 9276-1.

Charakteristische Partikelgröße:

D10: 10 % der Partikel sind kleiner als dieser Wert

D50: mittlere Partikelgröße

D90: 90 % der Partikel sind kleiner als dieser Wert

Verteilungsbreite: Spannweite = $(D90 - D10) / D50$

Durchschnittliche Partikelgröße: volumendurchschnittliche Partikelgröße $D[4,3]$ oder zählendurchschnittliche Partikelgröße $D[1,0]$ (je nach Anforderungen).

Einheit: Die Partikelgröße wird in μm mit 2 Dezimalstellen angegeben.

7.3 Berichtsinhalt

Probenname, Chargennummer

Dispergiermethode (nass/trocken), Medium, Dispergiermittel

Instrumentenmodell, Messbedingungen (Brechungsindex, Abschattungsgrad)

Daten zur Partikelgrößenverteilung (D10, D50, D90 usw.) und Kurven

8. Präzision und Unsicherheit

8.1 Wiederholbarkeit

Für denselben Bediener und dasselbe Instrument beträgt die Abweichung von D50 $<3\%$ und die Abweichung von D10 und D90 $<5\%$.

8.2 Reproduzierbarkeit

Die Abweichung von D50 beträgt zwischen verschiedenen Laboren und Instrumenten $<5\%$, und die Abweichung von D10 und D90 beträgt $<10\%$.

8.3 Unsicherheit

Zu den Ursachen zählen eine ungleichmäßige Probendispersion, Brechungsindexfehler, Instrumentenrauschen usw., die im Bericht erläutert werden müssen.

9. Hinweise

Gleichmäßigkeit der Dispersion: Vermeiden Sie übermäßige Ultraschallbehandlung, die zum Zerschneiden der Partikel führt, oder unzureichende Ultraschallbehandlung, die zur Agglomeration führt.

Optische Parameter: Brechungsindex und Absorptionsgrad müssen genau sein. Für Wolframcarbidpulver werden Referenzwerte empfohlen (z. B. 2,5–3,0, Absorptionsgrad 0,1).

Umgebungskontrolle: Temperatur 20–25 °C, Luftfeuchtigkeit $<65\%$, Vibrationsstörungen vermeiden.

Gerätewartung: Reinigen Sie die Probenzelle und das optische System regelmäßig und überprüfen Sie die Laserleistung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

10. Anhang

Anhang A (Informativ): Referenzwerte für Brechungsindex und Absorptionsgrad

Beispiel: Wolframcarbid (WC): Brechungsindex 2,5–3,0, Absorptionsgrad 0,1–0,3

Wasser: Brechungsindex 1,33, Absorptionsgrad 0

Anhang B (informativ): Beispiele für typische Partikelgrößenverteilungen

Einschließlich Kurveninterpretation der unimodalen und multimodalen Verteilung

Anhang C (Informativ): Anwendbarkeit der Mie-Theorie und der Fraunhofer-Näherung

Mie: Voller Partikelgrößenbereich, optische Parameter erforderlich

Fraunhofer: $>10\ \mu\text{m}$, vereinfachte Berechnung

Zusätzliche Hinweise

Revisionshintergrund:

GB/T 19077-2016 ersetzt die Version von 2008 und übernimmt die neueste Technologie von ISO 13320:2009, erweitert die Anwendbarkeit von Trocken- und Nassmethoden, erhöht die Anforderungen an die Einstellung des Brechungsindex und die Genauigkeit und verbessert die Unterstützung für Pulver im Nanomaßstab (z. B. $<100\ \text{nm}$).

Im Vergleich mit internationalen Standards:

Entspricht ISO 13320:2009, mit gleichem technischen Inhalt und dem an chinesische Standards angepassten Format.

Im Vergleich zu ASTM E2490-09 legt dieser Standard mehr Wert auf Betriebsdetails und Instrumentenkalibrierung, während ASTM sich auf die Datenverarbeitung und Unsicherheitsanalyse konzentriert.

Anwendbarkeit:

feuerfeste Materialien wie Wolframcarbidpulver ($0,1\text{--}10\ \mu\text{m}$) und Wolframpulver ($1\text{--}50\ \mu\text{m}$). Das Nassverfahren eignet sich besser für feines Pulver, während das Trockenverfahren für grobes Pulver geeignet ist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 $1400-1600^{\circ}\text{C}$ 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

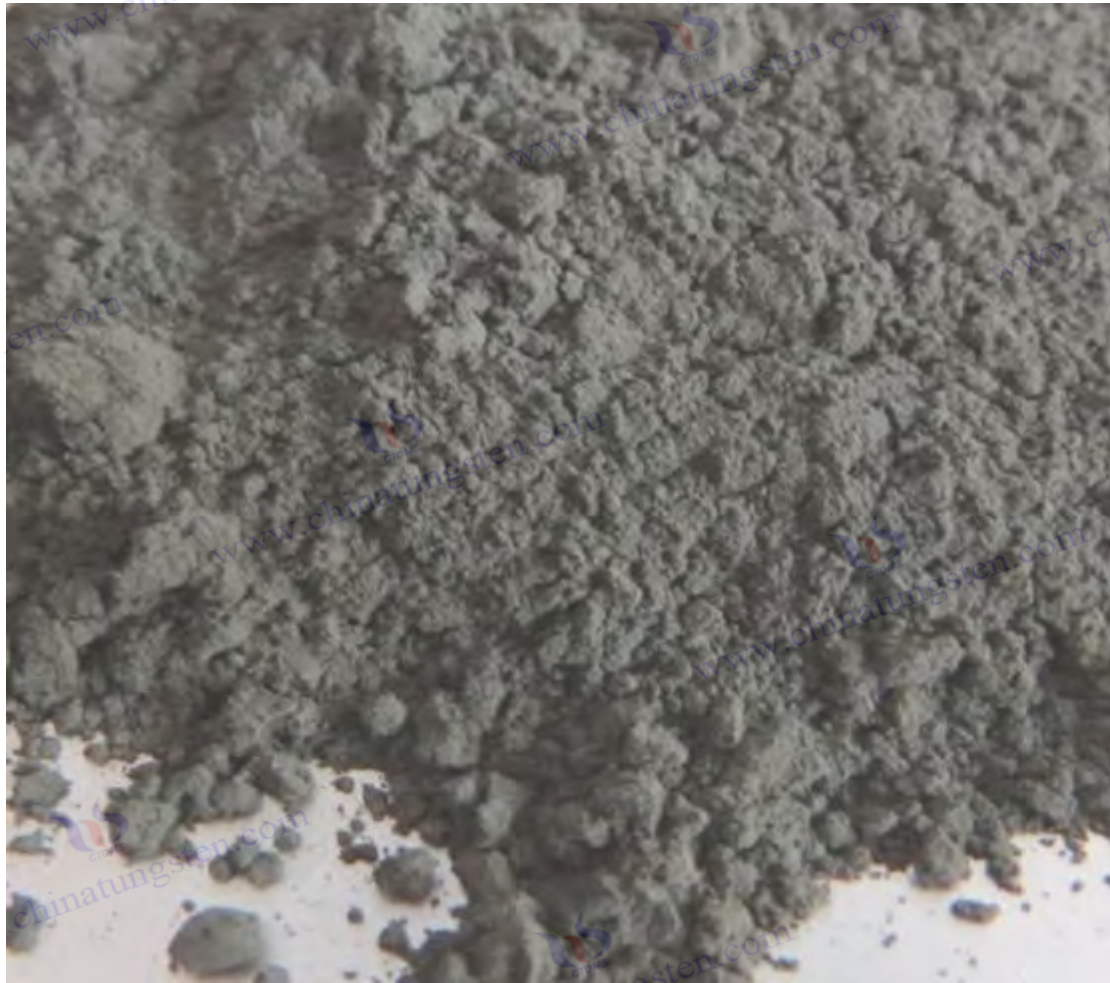
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

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.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang :

GB/T 5124-2008 Chemische Analysemethoden für Hartmetall

Standardname:

Chinesisch: Chemische Analysemethode von Hartmetall

Englisch: *Methoden zur chemischen Analyse von Hartmetall*

Veröffentlichung und Implementierung:

GB/T 5124.1-2008 (Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts): Herausgegeben am 16. Juni 2008, gültig ab 1. Januar 2009

GB/T 5124.2-2008 (Bestimmung des freien Kohlenstoffgehalts): Herausgegeben am 16. Juni 2008, gültig ab 1. Januar 2009

GB/T 5124.3-2008 (Bestimmung des Kobaltgehalts): Herausgegeben am 16. Juni 2008, gültig ab 1. Januar 2009

GB/T 5124.4-2008 (Bestimmung von Verunreinigungselementen): Herausgegeben am 16. Juni 2008, gültig ab 1. Januar 2009

Ausstellende Behörde: National Standardization Administration

Normenstand: Aktuell gültig (Stand April 2025, nicht durch neue Normen ersetzt)

Ersatzstandard:

GB/T 5124-1995 (Version 1995 ist in mehrere Teile gegliedert, Version 2008 ist überarbeitet und integriert)

1. Geltungsbereich

Diese Norm legt die Methode zur Analyse der chemischen Zusammensetzung von Hartmetall fest, einschließlich der Bestimmung von Gesamtkohlenstoff (Total Carbon), freiem Kohlenstoff (Free Carbon), Kobalt (Co) und Verunreinigungselementen (wie Fe, Mo, Ni usw.). Sie ist anwendbar auf die Analyse der chemischen Zusammensetzung von Hartmetall-Rohstoffen (wie Wolframcarbidpulver WC, Kobaltpulver Co) und gesinterten Hartmetallprodukten. Diese Standardmethode kann auch als Referenz für die Analyse anderer Metalle (wie TiC, TaC, NbC) verwendet werden. Die Analyseergebnisse dienen der Qualitätskontrolle, Prozessoptimierung und Produktabnahme.

2. Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind normative Verweisungen auf diese Norm und werden zusammen mit dieser Norm verwendet:

GB/T 223.5-2008 „Bestimmung des Kohlenstoff- und Schwefelgehalts von Stahl und Legierungen“

GB/T 3249-2009 „Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts von feuerfesten Metallpulvern und Verbindungspulvern“

GB/T 4010-1994 Methoden zur Probenahme und Probenvorbereitung für die chemische Analyse metallischer Werkstoffe

GB/T 6682-2008 Spezifikationen und Prüfverfahren für Wasser zur Verwendung in analytischen Laboren (entspricht ISO 3696:1987)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Hinweis: Für diesen Standard gelten die neuesten Versionen der referenzierten Dokumente.

3. Allgemeines

Laborbedingungen: Die Analyse sollte in einer sauberen, staubfreien Umgebung bei 20–25 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von <65 % durchgeführt werden.

Probenanforderungen: Bereiten Sie die Proben gemäß GB/T 4010 vor, um Verunreinigungen oder Komponentenverluste (wie Oxidation, Verflüchtigung) zu vermeiden.

Reinheit der Reagenzien: Alle Reagenzien waren von analytischer Qualität (AR) und, falls erforderlich, von höherer Qualität (GR).

Wasserqualität: Entspricht GB/T 6682 Klasse 3 oder höher für reines Wasser.

Instrumentenkalibrierung: Kalibrieren Sie das Instrument vor der Analyse, um Genauigkeit und Wiederholbarkeit sicherzustellen.

Sicherheitsanforderungen: Beim Arbeiten mit Säuren, Laugen oder hohen Temperaturen muss unter Abzug gearbeitet und Schutzausrüstung getragen werden.

4. GB/T 5124.1-2008: Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts

4.1 Prinzip der Methode

Die Hartmetallprobe wird bei hoher Temperatur in einem Sauerstoffstrom verbrannt, und der gesamte Kohlenstoff (einschließlich gebundener und freier Kohlenstoff) wird in CO₂ umgewandelt. Der Gesamtkohlenstoffgehalt wird durch die Infrarotabsorptionsmethode bestimmt.

4.2 Reagenzien und Instrumente

Sauerstoff: Reinheit $\geq 99,5\%$, Durchflussrate einstellbar.

Fluss:

Hochreine Zinnpartikel (Sn, Reinheit $\geq 99,9\%$): fördern die Verbrennung.

Hochreines Eisenpulver (Fe, Reinheit $\geq 99,9\%$): senkt den Schmelzpunkt.

Instrument:

Hochfrequenz-Induktionsverbrennungsofen (Leistung ≥ 2 kW, Temperatur 1350–1450 °C).

Infrarot-Kohlenstoff- und Schwefelanalysator (wie LECO CS-600 oder CS-844).

4.3 Proben

Masse: 0,1–0,5 g (Genauigkeit 0,0001 g).

Bedingung: Auf <0,2 mm (80 Maschen) schleifen, um Öl- und Oxidschichten zu entfernen.

4.4 Prüfschritte

Wiegen Sie die Probe und geben Sie sie in ein sauberes Porzellanschiffchen.

Flussmittel (Sn 1,0 g, Fe 0,5 g) hinzufügen und gut vermischen.

Stellen Sie das Porzellanschiffchen in den Verbrennungsofen, leiten Sie Sauerstoff ein (Flussrate 2–3 l/min), erhitzen Sie es auf 1350–1450 °C und brennen Sie es 5–10 Sekunden lang.

CO₂ wird mit einem Infrarotdetektor gemessen und die Intensität der Absorptionsspitze aufgezeichnet.

Das Gerät wird mit einer Standardprobe (z. B. NIST SRM 276b, Kohlenstoffgehalt 6,0 %–6,5 %) kalibriert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kalibriert und der Gesamtkohlenstoffgehalt berechnet.

4.5 Ergebnisberechnung

Gesamtkohlenstoffgehalt (Massenanteil, %) = (Instrumentenanzeige × Kalibrierungsfaktor) / Probenmasse

Messbereich: 0,1 % – 10 %.

Präzision: ±0,01 % (Wiederholbarkeit RSD < 2 %).

4.6 Hinweise

Die Proben müssen getrocknet werden (105 °C, 1 Stunde), um Feuchtigkeitseinflüsse zu vermeiden.

Der Verbrennungsofen muss regelmäßig gereinigt werden, um Rückstände zu entfernen.

Ein unzureichender Sauerstofffluss kann zu einer unvollständigen Verbrennung führen, daher muss die Gasleitung überprüft werden.

5. GB/T 5124.2-2008: Bestimmung des freien Kohlenstoffgehalts

5.1 Prinzip der Methode

Der freie Kohlenstoff (elementarer Kohlenstoff) in der Probe wird mit Säure gelöst und sein Gehalt durch Oxidationstitrations bestimmt. Der gebundene Kohlenstoff (Kohlenstoff in WC) ist in Säure unlöslich und nimmt nicht an der Reaktion teil.

5.2 Reagenzien und Instrumente

Säure-Salpetersäure-Gemisch: H_2SO_4 (1+1, 1:1 nach Volumen verdünnt) und HNO_3 (1+1) werden im Verhältnis 1:1 gemischt.

Kaliumdichromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$): 0,1 mol/l Standardlösung.

Natriumdiphenylaminsulfonat: Indikator, 0,2 % (m/V) wässrige Lösung.

Instrument:

Elektrische Heizplatte (Temperatur regelbar bis 100°C).

Titrationssystem (50-ml-Bürette, Genauigkeit 0,02 ml).

5.3 Proben

Masse: 1,0–2,0 g (Genauigkeit 0,0001 g).

Zustand: Auf <0,2 mm geschliffen, Oberflächenverunreinigungen entfernen.

5.4 Prüfschritte

Wiegen Sie die Probe und geben Sie sie in einen 250-ml-Erlenmeyerkolben.

50 ml Schwefelsäure-Salpetersäure-Gemisch zugeben, mit einem Uhrglas abdecken und auf einer Heizplatte auf 80–90 °C erhitzen.

Nach 30-minütigem Rühren wurde der freie Kohlenstoff zu CO_2 oxidiert und die Lösung wurde klar.

Auf Raumtemperatur abkühlen lassen, den Rückstand mit destilliertem Wasser neutral waschen, in einen 100-ml-Messkolben filtrieren und auf das Volumen auffüllen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nehmen Sie 20 ml des Filtrats, geben Sie die $K_2Cr_2O_7$ -Standardlösung hinzu und titrieren Sie bis zum purpurroten Endpunkt (30 Sekunden lang keine Farbänderung) und zeichnen Sie das verbrauchte Volumen auf.

5.5 Ergebnisberechnung

Freier Kohlenstoffgehalt (Massenanteil, %) = $(V \times C \times 0,012 \times 100) / m$

V: Volumen der verbrauchten $K_2Cr_2O_7$ -Lösung (ml)

C: $K_2Cr_2O_7$ -Konzentration (mol/l)

0,012: Umrechnungsfaktor für die Molmasse von Kohlenstoff (g/mmol)

m: Probenmasse (g)

Messbereich: 0,01 % – 1,0 %.

Präzision: $\pm 0,005$ % (Wiederholbarkeit RSD < 3 %).

5.6 Hinweise

Der Vorgang wurde in einer Abzugshaube durchgeführt, um das Einatmen von Säuredämpfen zu vermeiden.

Der Titrationsendpunkt muss genau bestimmt und gegebenenfalls mit einem Blindversuch korrigiert werden.

Gebundener Kohlenstoff (z. B. WC) in der Probe beeinträchtigt die Ergebnisse nicht, es muss jedoch sichergestellt werden, dass keine anderen reduzierenden Verunreinigungen vorhanden sind.

6. GB/T 5124.3-2008: Bestimmung des Kobaltgehalts

6.1 Prinzip der Methode

Der Kobaltgehalt wurde mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) bestimmt.

6.2 Reagenzien und Instrumente

Salpetersäure (HNO_3): 1+1-Lösung (1:1-Verdünnung nach Volumen).

Salzsäure (HCl): 1+1-Lösung.

Kobalt-Standardlösung: 10 mg/L (hergestellt mit $CoCl_2$, rückführbar auf nationale Standardsubstanzen).

Instrument: ICP-OES-Spektrometer (z. B. PerkinElmer Optima 8300 oder Thermo iCAP 7000).

6.3 Prüfkörper

Masse: 0,5–1,0 g (Genauigkeit 0,0001 g).

Zustand: Mahlgut <0,2 mm, trocken.

6.4 Prüfschritte

Wiegen Sie die Probe und geben Sie sie in einen 100-ml-Becher aus Polytetrafluorethylen.

20 ml HNO_3 und 10 ml HCl hinzufügen, auf 80 °C erhitzen und rühren, bis sich alles vollständig aufgelöst hat (ca. 30 Min.).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nach dem Abkühlen in einen 100-ml-Messkolben überführen und mit destilliertem Wasser auffüllen.
Die Kobalt-Emissionslinie wurde mittels ICP-OES gemessen (empfohlene Wellenlänge 228,616 nm, zweite Wahl 231,160 nm).

Zur Berechnung der Kobaltkonzentration wurde eine Kalibrierungskurve mit einer Kobalt-Standardlösung (0,1–10 mg/l) erstellt.

6.5 Ergebnisberechnung

Kobaltgehalt (Massenanteil, %) = $(C \times V) / (m \times 10^{-4}) \times 100$

C: Kobaltkonzentration in der Lösung (mg/l)

V: festes Volumen (ml, normalerweise 100 ml)

m: Probenmasse (g)

Messbereich: 0,1 % – 30 %.

Präzision: $\pm 0,02$ % (Wiederholbarkeit RSD < 2 %).

6.6 Hinweise

Die Wolframmatrix kann stören. Geben Sie gegebenenfalls ein Maskierungsmittel (z. B. EDTA, 0,1 mol/L) hinzu oder optimieren Sie die Geräteparameter.

Um eine Qualitätsminderung zu vermeiden, muss die Standardlösung täglich frisch hergestellt werden.

7. GB/T 5124.4-2008: Bestimmung von Verunreinigungselementen

7.1 Prinzip der Methode

Die Probe wurde mit Säure aufgelöst und der Gehalt an Verunreinigungselementen (wie Fe, Mo, Ni, Cr, Al usw.) mittels ICP-OES bestimmt.

7.2 Reagenzien und Instrumente

Salpetersäure (HNO₃): 1+1-Lösung.

Salzsäure (HCl): 1+1-Lösung.

Standardlösung: Die Konzentration jedes Elements (z. B. Fe, Mo, Ni) beträgt 1–10 mg/l, rückführbar auf nationale Standardsubstanzen.

Instrument: ICP-OES-Spektrometer.

7.3 Prüfkörper

Masse: 0,5–1,0 g (Genauigkeit 0,0001 g).

Zustand: Auf <0,2 mm geschliffen.

7.4 Prüfverfahren

Die Probe wurde auf die gleiche Weise wie in Schritt 6.4 gelöst (HNO₃ 20 ml, HCl 10 ml, gelöst bei 80 °C).

Nach dem Abkühlen wurde das Volumen auf 100 ml eingestellt und die charakteristischen Spektrallinien jedes Elements mittels ICP-OES bestimmt:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fe: 238,204 nm

Mo: 202,032 nm

Ni: 231,604 nm

Cr: 267,716 nm

Al: 396,152 nm

Verwenden Sie Standardlösungen jedes Elements (0,01–10 mg/l), um eine Kalibrierungskurve zu zeichnen und die Konzentration zu berechnen.

7.5 Ergebnisberechnung

Verunreinigungsgehalt (Massenanteil, %) = $(C \times V) / (m \times 10^4) \times 100$

C: Elementkonzentration in der Lösung (mg/L)

V: festes Volumen (ml, normalerweise 100 ml)

m: Probenmasse (g)

Messbereich: 0,001 % – 1,0 %.

Präzision: $\pm 0,001$ % (Wiederholbarkeit RSD < 5 %).

7.6 Hinweise

Hohe Wolframmatrizen können spektrale Interferenzen erzeugen, die eine Wellenlängenanpassung oder den Einsatz einer Hintergrundkorrektur erfordern.

Achten Sie bei der gleichzeitigen Messung mehrerer Elemente darauf, dass sich die Spektrallinien nicht überschneiden.

8. Präzision und Unsicherheit

8.1 Wiederholbarkeit

Bei gleichem Bediener und Gerät kommt es zu Abweichungen in den Messergebnissen:

Gesamtkohlenstoff: $\pm 0,01$ %

Freier Kohlenstoff: $\pm 0,005$ %

Kobalt: $\pm 0,02$ %

Verunreinigungen: $\pm 0,001$ %

8.2 Reproduzierbarkeit

Die Ergebnisse verschiedener Labore und Instrumente weisen eine Abweichung von <2 mal der Wiederholgrenze auf.

8.3 Unsicherheit

Zu den Quellen gehören Probenhomogenität, Instrumentenkalibrierung, Reagenzreinheit usw., die im Bericht ausgewertet werden müssen.

9. Hinweise

Probenvorbereitung: Um das Einbringen von Verunreinigungen wie Fe während des Mahlens zu

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

vermeiden, wird die Verwendung eines Hartmetallmörser empfohlen.

Gerätewartung: Kalibrieren Sie den Verbrennungsofen und ICP-OES regelmäßig, um Empfindlichkeit und Stabilität sicherzustellen.

Sicherer Betrieb: Das Auflösen der Säure und die Hochtemperaturverbrennung müssen in einem Abzug unter Verwendung einer Schutzbrille und von Handschuhen durchgeführt werden.

Zusätzliche Hinweise

Revisionshintergrund:

GB/T 5124-2008 hat die Analysemethode im Vergleich zur Version von 1995 aktualisiert und ICP-OES eingeführt, um die traditionelle Spektrophotometrie (wie etwa die Kobaltbestimmung) zu ersetzen. Dadurch werden die Genauigkeit und die Möglichkeiten der Mehrelementanalyse verbessert, um den Bedarf der Hartmetallindustrie an hochreinen Rohstoffen zu decken.

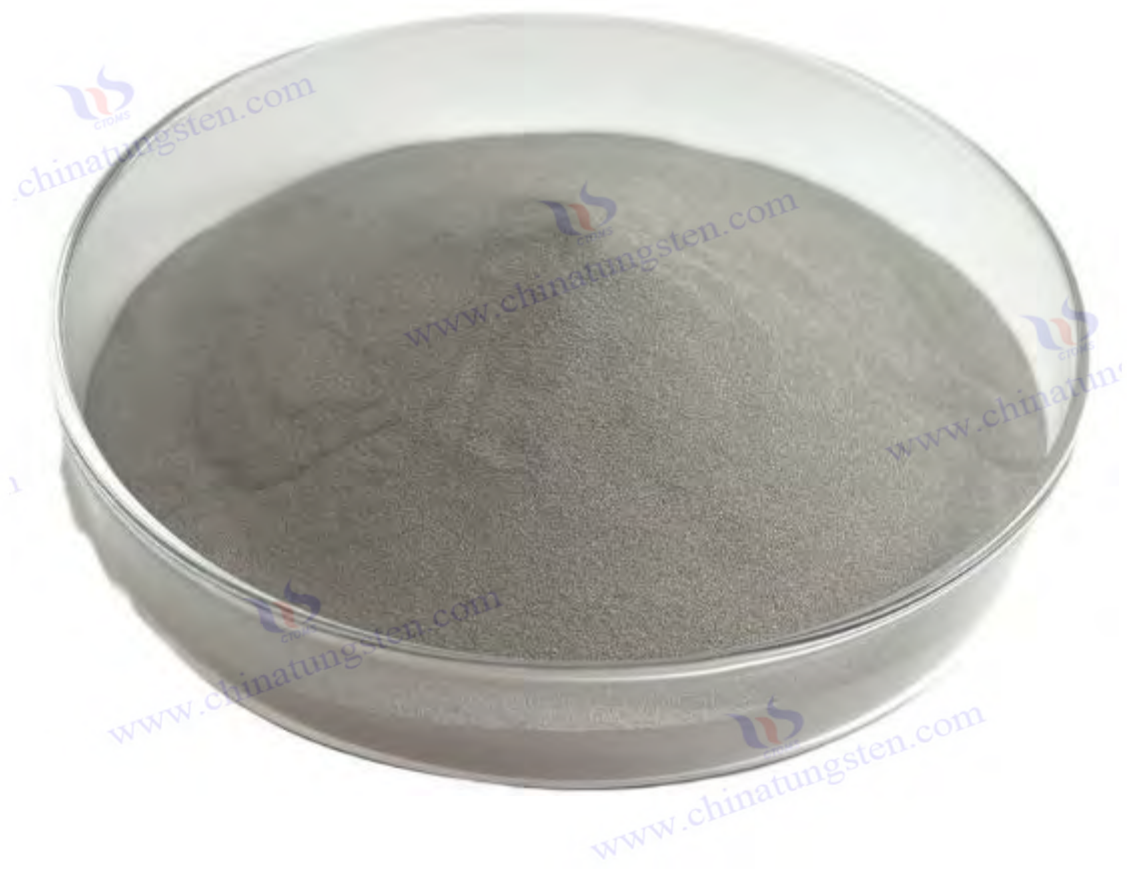
Im Vergleich mit internationalen Standards:

Im Vergleich zur ISO 11876:2010 „Chemische Analyse von Hartmetall“ konzentriert sich diese Norm stärker auf klassische chemische Methoden (wie Verbrennungsmethode und Titrationsmethode), während die ISO die instrumentelle Analyse (wie ICP-MS) bevorzugt.

ASTM E1019-18 deckt ähnliche Inhalte ab, legt jedoch größeren Wert auf Automatisierung und gleichzeitige Bestimmung mehrerer Elemente.

Anwendbarkeit:

Geeignet für die Komponentenanalyse von Wolframkarbidpulver (WC), WC-Co-Hartmetall und Verbundwerkstoffen (wie WC- TiC) im Bereich von Spuren bis zu hohen Konzentrationen.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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


chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


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

Anhang :

Methode zur Partikelgrößenbestimmung nach Fisher

Der Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS) ist eine Methode zur Messung der durchschnittlichen Partikelgröße von Pulvern durch Luftdurchlässigkeit. Sie wird häufig zur Partikelgrößenanalyse von Metallpulvern (wie Wolframcarbidpulver (WC), Keramikpulvern und anderen feinteiligen Materialien) verwendet. Das Ergebnis des Fisher Sub-Sieve Sizers wird in Mikrometern (μm) angegeben, was der durchschnittlichen Partikelgröße des Pulvers entspricht. Sie eignet sich besonders für feine Pulver mit einem Partikelgrößenbereich von 0,2 bis 50 μm . Diese Methode schätzt die Partikelgröße indirekt durch Messung des Luftdurchdringungswiderstands im Pulverbett. Sie ist einfach zu bedienen und weist eine gute Wiederholgenauigkeit auf. Sie ist eine Standardmethode zur Partikelgrößenbestimmung in der Pulvermetallurgie und den Materialwissenschaften.

1. Definition und Prinzip

Definition:

Die Partikelgröße nach Fisher bezeichnet die durchschnittliche Partikelgröße von Pulver, gemessen mit dem Fisher-Sub-Sieb-Analysator. Sie wird üblicherweise als FSSS-Partikelgröße (Einheit: μm) bezeichnet. Sie spiegelt den äquivalenten Kugeldurchmesser von Pulverpartikeln wider. Im Gegensatz zur Sieb- oder Laser-Partikelgrößenbestimmung eignet sich die FSSS besser zur Charakterisierung feiner Pulver, insbesondere bei der Herstellung von Hartmetall-Rohstoffen (wie z. B. WC-Pulver).

Messprinzip

Luftdurchlässigkeitsmethode :

Die Partikelgrößenbestimmung nach Fisher basiert auf der Beziehung zwischen dem Widerstand der durch ein komprimiertes Pulverbett strömenden Luft und der Partikelgröße. Wenn Luft mit konstanter Strömungsrate durch eine Pulverprobe geleitet wird, erzeugen feine Partikel aufgrund ihrer großen spezifischen Oberfläche und kleinen Poren einen höheren Widerstand, während größere Partikel einen geringeren Widerstand aufweisen.

Mathematische Grundlage :

Gemäß der Kozeny-Carman-Gleichung hängt der Luftdurchlässigkeitswiderstand von der spezifischen Oberfläche (S) und der Porosität (ε) des Pulvers ab:

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

In:

ΔP : Druckdifferenz (Pa)

μ : Luftviskosität ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

v: Luftgeschwindigkeit (m/s)

L: Pulverbett Dicke (m)

S: Spezifische Oberfläche (m^2 / kg)

ε : Die Porosität

kann in die durchschnittliche Partikelgröße (D_{FSSS}) umgerechnet werden, indem ΔP gemessen und mit der Kalibrierungskurve unter Standardbedingungen kombiniert wird.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annahmen : Die Partikel sind kugelförmig, das Pulverbett ist gleichmäßig komprimiert und der Luftstrom ist laminar.

Merkmale

Anwendbarer Bereich: 0,2–50 μm , Genauigkeit $\pm 0,05 \mu\text{m}$.

Vorteile: Die Ausrüstung ist einfach und für eine schnelle Erkennung geeignet.

Einschränkungen: Empfindlich gegenüber der Partikelform, nicht kugelförmige Partikel können Abweichungen verursachen.

2. Bestimmungsmethode

Die Bestimmung der Fisher-Partikelgröße erfolgt nach Standardverfahren wie ASTM B330 oder ISO 10070. Im Folgenden finden Sie eine Übersicht über die allgemeine Methode.

Ausrüstung

Fisher-Sub-Sieb-Analysator : Enthält Luftpumpe, Druckmesser, Probenrohr (Innendurchmesser normalerweise 5–10 mm), Wassersäulenmesser oder digitalen Drucksensor.

Waage : Präzision 0,001 g, zum Wiegen von Proben verwendet.

Ofen : Wird zum Trocknen von Proben verwendet, die Temperatur wird auf 100–120 °C geregelt.

Standardprobe : Kalibrierpulver mit bekannter Partikelgröße (z. B. Standard-WC-Pulver).

Verfahren

Probenvorbereitung :

Probenahme: Ziehen Sie zufällig 5–10 g Proben aus der Pulvercharge und verwenden Sie einen Probenteiler, um die Repräsentativität sicherzustellen.

Trocknung: Im Ofen (105°C, 2 Stunden) Feuchtigkeit entfernen bis zu einem Feuchtigkeitsgehalt von $< 0,1\%$.

Abkühlung: In einem Exsikkator auf Raumtemperatur abkühlen lassen, um Feuchtigkeitsaufnahme zu vermeiden.

Laden und Komprimieren von Proben :

Wiegen: Die angegebene Masse genau abwiegen (zB 2,5g WC-Pulver, je nach Dichte anpassen).

Einfüllen in das Probenröhrchen: Das Pulver in das Probenröhrchen geben und mit einem Verdichter bei konstantem Druck (z. B. 2–5 kPa) auf eine feste Höhe (normalerweise 10 mm) verdichten.

Kontrolle: Stellen Sie sicher, dass die Pulverbetttoberfläche eben und rissfrei ist und eine gleichmäßige Porosität ($\epsilon \approx 0,4–0,5$) aufweist.

Instrumentenkalibrierung :

Kalibrieren Sie das Instrument mit einer Standardprobe (z. B. FSSS 1,0 μm WC-Pulver) und stellen Sie die Luftdurchflussrate auf den Standardwert ein (z. B. 0,1 l/min).

Notieren Sie die Kalibrierungsdruckdifferenz (ΔP), um die Übereinstimmung mit der Standardkurve sicherzustellen.

Messung :

Starten Sie die Luftpumpe und stellen Sie die Durchflussrate auf einen konstanten Wert ein.

Notieren Sie den Höhenunterschied der Wassersäule (cm H_2O) oder den digitalen Druckwert (Pa) und wiederholen Sie den Vorgang dreimal, um den Durchschnittswert zu ermitteln.

Mithilfe der integrierten Konvertierungstabelle oder Software des Instruments in die FSSS-Partikelgröße

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(μm).

Ergebnisse der Überprüfung :

Die gleiche Probencharge wurde dreimal mit einer Abweichung von $<5\%$ gemessen.

Vergleichen Sie mit Standardproben, um sicherzustellen, dass der Fehler $<0,1\ \mu\text{m}$ ist.

Experimentelle Daten

Probe	Masse (g)	Kompressionshöhe (mm)	Druckdifferenz (cm H ₂ O)	FSSS-Partikelgröße (μm)
WC-Pulver 1	2.5	10	15.2	1.2
WC-Pulver 2	2.5	10	10.5	2.0
WC-Pulver 3	2.5	10	6.8	3.5

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

3. Ausrüstung und Arbeitsschritte

Gerätestruktur

Luftsystem : Eine Mikropumpe sorgt für einen konstanten Luftstrom, der durch einen Durchflussmesser präzise gesteuert wird (0,05–0,2 l/min).

Probenröhrchen : Glas oder Metall, 5–10 mm Durchmesser, mit Filterpapier zur Unterstützung des Pulvers.

Druckmessung : herkömmliches Wassersäulenmessgerät (Genauigkeit 0,1 cm H₂O) oder moderner digitaler Sensor (Genauigkeit 1 Pa).

Kalibriergerät : Standardblende oder Pulver mit bekannter Partikelgröße, das zum Kalibrieren des Nullpunkts und der Empfindlichkeit des Instruments verwendet wird.

Detaillierte Schritte

Aufwärmen des Instruments : Starten Sie das Instrument und lassen Sie es 10 Minuten laufen, um Luftstrom und Temperatur (20–25 °C) zu stabilisieren.

Wiegen Sie die Probe : Wiegen Sie 2,5 g WC-Pulver mit einer Analysenwaage (Fehler $<0,001\ \text{g}$) und notieren Sie die Masse.

Füllen Sie das Probenröhrchen : Gießen Sie das Pulver langsam hinein, klopfen Sie leicht, um Blasen zu entfernen, und verdichten Sie es mit einem Kompaktor auf eine Höhe von 10 mm und einen Druck von 2 kPa, wobei eine Porosität von $0,45 \pm 0,05$ beibehalten wird.

Schließen Sie das System an : Installieren Sie das Probenrohr im Gerät und achten Sie dabei auf eine dichte Abdichtung.

Passen Sie den Luftstrom an : Stellen Sie die Durchflussrate auf 0,1 l/min ein und warten Sie, bis sich der Druck stabilisiert hat (ca. 30 Sekunden).

Daten aufzeichnen : Wassersäulendifferenz ablesen (zB 15 cm H₂O) und FSSS-Partikelgröße durch Nachschlagen in der Tabelle oder Eingabe in die Software berechnen.

Reinigen und wiederholen : Entnehmen Sie die Probe, reinigen Sie das Probenröhrchen mit Druckluft, wiederholen Sie die Messung zweimal und ermitteln Sie den Durchschnittswert.

Vorsichtsmaßnahmen

μm größeren Partikelgröße .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Kompressionskraft muss konstant sein. Zu fest ($\varepsilon < 0,4$) oder zu locker ($\varepsilon > 0,5$) beeinflusst den Druckunterschied.

Die Umgebungstemperatur wurde auf 20–25 °C geregelt, um Änderungen der Luftviskosität zu vermeiden.

4. Einflussfaktoren und Optimierung

Die Genauigkeit der Partikelgrößenbestimmung nach Fisher wird von vielen Faktoren beeinflusst. Im Folgenden finden Sie Analysen und Optimierungsvorschläge.

Einflussfaktoren

Partikelform :

Der Messwert sphärischer Partikel liegt nahe an der tatsächlichen Partikelgröße, während der FSSS-Wert nicht-sphärischer (z. B. nadelförmiger) Partikel aufgrund des erhöhten Widerstands größer ist (Abweichung von 10–20 %).

Porosität :

Bei einer zu geringen Porosität ($<0,4$) ist der Widerstand zu groß und die Partikelgröße zu klein, bei einer zu hohen Porosität ($>0,5$) ist der Widerstand ungenügend und die Partikelgröße zu groß.

Feuchtigkeitsgehalt :

Ein Feuchtigkeitsgehalt $> 0,2$ % führt zur Partikelagglomeration und erhöht den FSSS-Wert um 0,3–0,8 μm .

Luftstromstabilität :

Durchflussschwankung $> 0,01$ L/min, Druckdifferenzfehler $\pm 0,5$ cm H₂O, Partikelgrößenabweichung $\pm 0,1$ μm .

Optimierungsstrategie

Vorbehandlung der Probe : Trocknen auf eine Feuchtigkeit von $<0,05$ %, 5 Minuten Ultraschalldispersion zur Verringerung der Agglomeration.

Kompressionskontrolle : Bei Verwendung eines Standardkompaktors beträgt der Druck 2–3 kPa und die Porosität wird bei $0,45 \pm 0,02$ stabilisiert.

Instrumentenkalibrierung : Kalibrieren Sie monatlich mit Standard-WC-Pulver (FSSS 1,0 μm), und der Fehler wird auf $\pm 0,05$ μm begrenzt.

Umweltmanagement : konstante Temperatur und Luftfeuchtigkeit (25 °C, Luftfeuchtigkeit < 50 %), Luftstrom stabilisiert bei $0,1 \pm 0,005$ l/min.

Experimentelle Daten :

Zustand	Feuchtigkeit(%)	Porosität	Druckdifferenz (cm H ₂ O)	FSSS-Partikelgröße (μm)
Ungetrocknet (0,3 % Feuchtigkeit)	0,3	0,48	16,0	1.4
Trocken + optimierte Kompression	0,05	0,45	15.2	1.2

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Anwendungsszenarien

Die Partikelgrößenbestimmung nach Fisher wird häufig in der Produktion und Qualitätskontrolle von Pulvermaterialien eingesetzt. Im Folgenden sind spezifische Anwendungen aufgeführt.

Hartmetallproduktion

Anwendung : Zur Messung der WC-Pulvergröße und Kontrolle der Korngröße und Eigenschaften von Hartmetall.

Fall : Ein Team ermittelte, dass die FSSS des WC-Pulvers $1,2\ \mu\text{m}$ betrug und die Härte des hergestellten Hartmetalls HV 2200 betrug, wobei die Korngleichmäßigkeit um 15 % zunahm (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Thermisches Spritzpulver

Anwendung : Zur Bewertung der Partikelgröße von WC-Co-Sprühpulver und Sicherstellung der Dichte der Sprühbeschichtung ($> 99\%$).

Fall : Eine Studie ergab, dass der FSSS von WC-12Co-Pulver $3,5\ \mu\text{m}$ betrug, die Härte der HVOF-Beschichtung HV 1350 betrug und die Verschleißrate $0,06\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ betrug (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Pulvermetallurgie

Anwendung : Zur Erkennung der Partikelgröße von Metallpulver (z. B. W, Mo) und Optimierung der Sinterleistung.

Fall : Ein Unternehmen stellte fest, dass die FSSS des Wolframpulvers $2,0\ \mu\text{m}$ und die Dichte des Sinterkörpers 98,5 % betrug (Informationen von der Website China Tungsten Online).

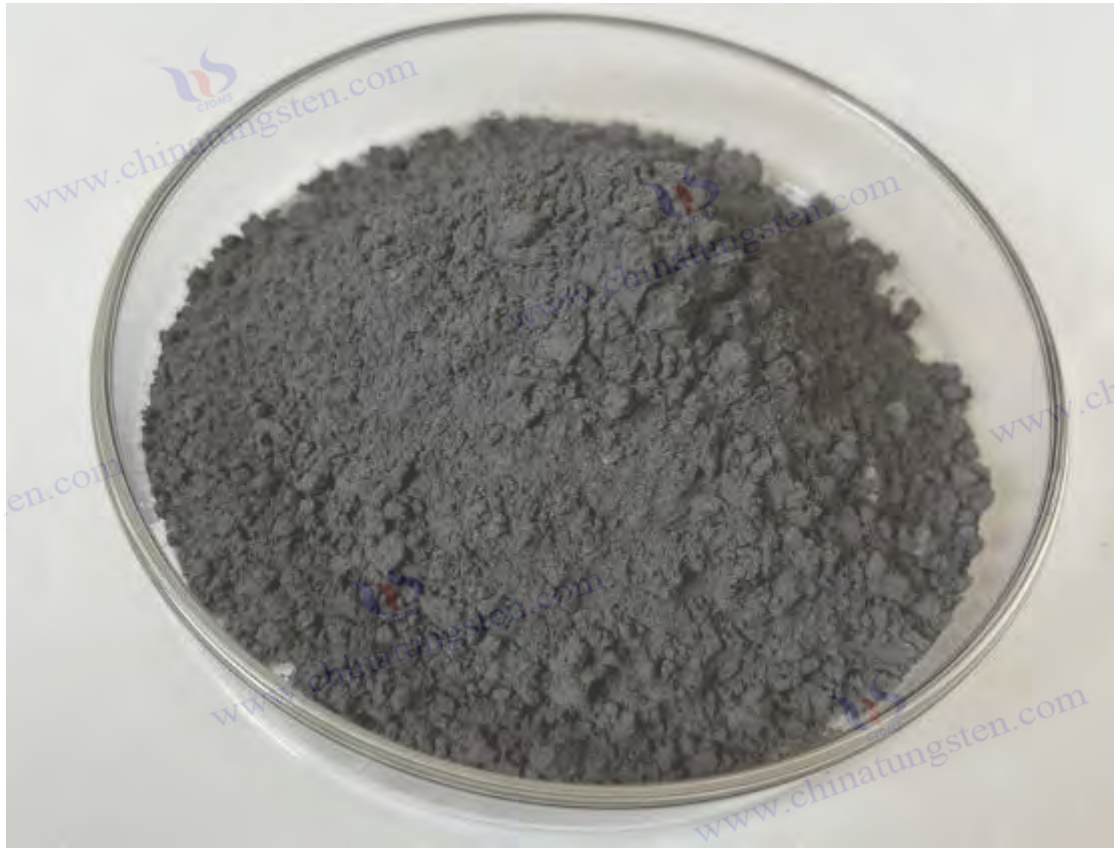
Qualitätskontrolle

Anwendung : Zur Erkennung der Konsistenz der Partikelgröße zwischen Chargen. Die Abweichung beträgt weniger als $0,1\ \mu\text{m}$.

Zusammenfassen

Die Partikelgrößenbestimmung nach Fisher nutzt die Luftdurchlässigkeitsmethode zur Bestimmung der durchschnittlichen Pulverpartikelgröße ($0,2\text{--}50\ \mu\text{m}$) basierend auf dem Kozeny-Carman-Prinzip und rechnet den FSSS-Wert anhand der Druckdifferenz um. Die Methode umfasst Probentrocknung (Feuchtigkeit $< 0,1\%$), Kompression (Porosität $0,45\%$), Luftstrommessung ($0,1\ \text{l/min}$), einfache Geräte und eine Genauigkeit von $\pm 0,05\ \mu\text{m}$. Einflussfaktoren wie Partikelform und Feuchtigkeit müssen optimiert werden. Die Anwendung umfasst Hartmetall, Sprühpulver und Pulvermetallurgie, um die Konsistenz der Materialeigenschaften zu gewährleisten (Informationen von der Website China Tungsten Online).

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

Anhang :

Schüttdichte und ihre Bestimmungsmethode

Schüttdichte und ihre Bestimmungsmethode

Die Schüttdichte bezeichnet die Masse des Pulvers pro Volumeneinheit im natürlich gestapelten Zustand, üblicherweise in g/cm^3 oder kg/m^3 , und ist ein wichtiger Parameter zur Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften von Pulver. Sie spiegelt Größe, Form, Oberflächenbeschaffenheit und Stapelart der Pulverpartikel wider und ist maßgeblich für Prozesse wie Pulvermetallurgie, thermisches Spritzen und die Hartmetallherstellung. Die Bestimmungsmethode ist einfach und effizient. Üblicherweise werden die Schüttdichte und die Stampfdichte verwendet, die durch Standardbehälter und Wiegevorgänge ermittelt werden.

1. Definition und Bedeutung

Definition

Schüttdichte: Das Verhältnis der Pulvermasse zum Behältervolumen, nachdem das Pulver unter bestimmten Bedingungen (z. B. natürliche Schüttung oder Vibrationsverdichtung) in den Behälter gefüllt wurde. $\text{Schüttdichte} = m/V$. Dabei gilt:

m: Pulvermasse (g)

V: Vom Pulver eingenommenes Volumen (cm^3)

Lose Schüttdichte : Der Zustand, in dem Pulver ohne Kompression oder Vibration frei in einen Behälter fällt.

Schüttdichte (geklopft): Die Dichte des Pulvers, nachdem es im Behälter vibriert oder geklopft wurde und die Partikel in einen dichteren Zustand versetzt wurden.

Bedeutung

Prozesshinweise : Die Schüttdichte beeinflusst die Fließfähigkeit, Fülleffizienz und Sinterleistung des Pulvers. Beispielsweise hat Wolframcarbidpulver (WC) eine hohe Schüttdichte und eine bessere Sinterdichte.

Qualitätskontrolle : spiegelt die Konsistenz zwischen Pulverchargen wider. Große Abweichungen können zu Formfehlern führen.

Materialeigenschaften : hängen eng mit Partikelgröße, Form und Oberflächenrauheit zusammen und sind wichtige Indikatoren zur Charakterisierung von Pulvern.

Typischer Wert

Pulvertyp	Schüttdichte (g/cm^3)	Stampfdichte (g/cm^3)
WC-Pulver ($1\mu\text{m}$)	4,5-5,0	5,5-6,0
WC-12Co	4,0-4,5	4,8-5,2
W-Pulver ($5\mu\text{m}$)	6,0-7,0	7,5-8,5

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Einflussfaktoren

Die Schüttdichte wird von vielen Faktoren beeinflusst, die im Folgenden detailliert analysiert werden.

Partikelgröße

Auswirkungen : Je kleiner die Partikelgröße, desto größer die spezifische Oberfläche, desto mehr Hohlräume zwischen den Partikeln und desto geringer die Packungsdichte; je größer die Partikelgröße, desto weniger Hohlräume und desto höher die Dichte.

Experimentelle Daten :

WC-Partikelgröße (μm)	Schüttdichte (g/cm^3)	Stampfdichte (g/cm^3)
0,5	4.2	5.3
2.0	4.8	5.8
5,0	5.2	6.2

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

Partikelform

Auswirkungen : Kugelförmige Partikel sind dicht gepackt und haben eine hohe Dichte; unregelmäßige oder nadelförmige Partikel haben große Lücken und eine geringe Dichte.

Fall : Die Schüttdichte von kugelförmigem WC-Pulver (Sphärizität > 95 %) beträgt $4,8 \text{ g}/\text{cm}^3$, während die von unregelmäßigem WC-Pulver nur $4,3 \text{ g}/\text{cm}^3$ beträgt.

Oberflächeneigenschaften

Auswirkungen : Pulver mit rauen Oberflächen oder statischer Elektrizität agglomerieren leicht, die Porosität nimmt zu und die Dichte nimmt ab; glatte Oberflächen begünstigen eine dichte Stapelung.

Experiment : Die Dichte des unbehandelten WC-Pulvers beträgt $4,5 \text{ g}/\text{cm}^3$ und erreicht nach der Plasma-Sphäroidisierung $5,0 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Feuchtigkeitsgehalt

Auswirkungen : Ein Feuchtigkeitsgehalt von > 0,2 % führt dazu, dass Partikel zusammenkleben, die Porosität zunimmt und die Dichte abnimmt.

Daten : Die Schüttdichte von WC-Pulver mit einem Wassergehalt von 0,5 % beträgt $4,3 \text{ g}/\text{cm}^3$ und steigt nach dem Trocknen auf $4,8 \text{ g}/\text{cm}^3$ an.

Stapelmethode

Auswirkungen : Die Dichte im losen Zustand ist gering. Nach der Verdichtung werden die Partikel neu angeordnet, die Hohlräume werden reduziert und die Dichte erhöht sich um 10–20 %.

3. Bestimmungsmethode

Die Schüttdichte wird nach Standardverfahren wie ASTM B212 (lose), ASTM B527 (geklopft) oder ISO 3923 bestimmt. Im Folgenden finden Sie eine Übersicht über die Methode.

lose Schüttdichte

Prinzip : Pulver fällt ohne äußere Krafteinwirkung frei in den Behälter und die Dichte im natürlichen Stapelzustand wird gemessen.

Schritt :

Bereiten Sie trockene Proben vor (Feuchtigkeit < 0,1 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gießen Sie das Pulver mithilfe eines Trichters langsam in einen Standardmesszylinder (25 oder 100 cm³) und achten Sie dabei auf einen Tropfen von 10–15 cm.

Warten Sie, bis sich das Pulver auf natürliche Weise angesammelt hat, glätten Sie die Oberfläche mit einem Schaber und notieren Sie das Volumen (V).

Wiegen Sie die Pulvermasse im Messzylinder (m) und berechnen Sie die Dichte (m/V).

Stampfdichte

Prinzip : Durch mechanische Vibration oder Klopfen werden die Pulverpartikel neu angeordnet und die Dichte in einem dichteren Zustand gemessen.

Schritt :

Füllen Sie die Flasche mit der Loose-Pack-Methode.

Den Messzylinder auf einen Vibrator stellen und 100-300 Mal vibrieren (Frequenz 50-60 Mal/min, Amplitude 3mm) oder manuell klopfen, bis sich das Volumen nicht mehr verändert.

Notieren Sie das Volumen nach der Verdichtung (V'), wiegen Sie die Masse (m) und berechnen Sie die Dichte (m/V').

Experimentelle Daten

Probe	Masse (g)	Loses Volumen (cm ³)	Schüttdichte (g/cm ³)	Zapfvolumen (cm ³)	Stampfdichte (g/cm ³)
WC (1μm)	50	10.5	4,76	8.9	5,62
WC-12Co	50	11.8	4.24	10.2	4,90
W (5μm)	50	7.8	6.41	6.5	7,69

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

4. Ausrüstung und Arbeitsschritte

Ausrüstung

Messzylinder : Standard-Messzylinder aus Glas (25, 50 oder 100 cm³), graduert auf ±0,1 cm³.

Trichter : Öffnungsdurchmesser 5–10 mm, Fallhöhe einstellbar.

Waage : Genauigkeit 0,001 g, zum Wiegen der Pulvermasse.

Vibrator : Mechanisches Verdichtungsgerät mit Amplitude 1–5 mm und einstellbarer Frequenz (50–60 Hz).

Ofen : Temperatur 100–120 °C, wird zum Trocknen der Proben verwendet.

Schaber : Glätten Sie die Pulveroberfläche, um eine Verdichtung zu vermeiden.

Detaillierte Schritte

Probenvorbereitung :

Probenahme: Nehmen Sie mit einem Probenehmer zufällig 50–100 g Proben aus der Pulvercharge, um die Homogenität sicherzustellen.

Trocknen: Im Ofen bei 105 °C 2 Stunden trocknen, Feuchtigkeit <0,1 %, auf Raumtemperatur abkühlen lassen (im Exsikkator).

Bestimmung der Schüttdichte :

Wählen Sie einen Messzylinder mit 100 cm³ Fassungsvermögen und notieren Sie das Leergewicht (m₀).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Das Pulver mithilfe eines Trichters langsam mit einer Fallhöhe von 15 cm einfüllen und dabei Stöße und Vibrationen vermeiden.

Kratzen Sie die Oberfläche leicht mit einem Schaber ab und notieren Sie das Gesamtgewicht (m_1) und das Volumen (V).

Berechnung: Schüttdichte = $(m_1 - m_0) / V$.

Bestimmung der Klopfdichte :

Füllen Sie den Messzylinder wie bei der Losefüllmethode und notieren Sie das Anfangsvolumen.

Legen Sie es in einen Verdichter, stellen Sie die Amplitude auf 3 mm ein und verdichten Sie es 200 Mal (oder bis sich das Volumen stabilisiert).

Notieren Sie das verdichtete Volumen (V') und das Gesamtgewicht (m_1).

Berechnung: Klopfdichte = $(m_1 - m_0) / V'$.

Überprüfung der Wiederholbarkeit :

Die Messung wurde dreimal wiederholt und der Durchschnittswert wurde ermittelt, wenn die Abweichung weniger als 2 % betrug.

Überprüfen Sie das Innere des Zylinders, um sicherzustellen, dass kein Pulver daran haftet.

Vorsichtsmaßnahmen

Vermeiden Sie künstliche Verdichtungen, die die Echtheit der Lockerdichte beeinträchtigen.

Die Anzahl der Vibrationen muss konstant sein. Zu wenige Vibrationen (<100 Mal) führen zu einer geringen Dichte, während zu viele Vibrationen (>300 Mal) keine signifikante Veränderung bewirken.

Umgebungsfeuchtigkeit <50 %, um Feuchtigkeitsstörungen zu vermeiden.

5. Anwendungsszenarien

Die Bestimmung der Schüttdichte findet im Bereich pulverförmiger Werkstoffe vielfältige Anwendung. Im Folgenden werden spezifische Szenarien und Fälle beschrieben.

Hartmetallproduktion

Anwendung : Zur Bewertung der Füll-effizienz von WC-Pulver und zur Optimierung von Press- und Sinterprozessen.

Fall : Ein Team ermittelte, dass die Schüttdichte des WC-Pulvers 4,8 g/cm³ betrug, die Klopfdichte 5,8 g/cm³ betrug, die Verdichtungsichte des gepressten Knüttels um 10 % erhöht war und die Härte 2200 HV betrug (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Thermisches Spritzpulver

Anwendung : Zum Testen der Fließfähigkeit und Pulverbeladungseffizienz von WC-Co-Pulver und zum Sicherstellen der Gleichmäßigkeit des Sprühens.

Fall : Eine Studie ergab, dass die Klopfdichte von WC-12Co 4,9 g/cm³ betrug, die Porosität der HVOF-Sprühbeschichtung <1 % betrug und die Verschleißfestigkeit um 30 % verbessert wurde (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Pulvermetallurgie

Anwendung : Zur Messung der Schüttdichte von W- und Mo-Pulvern und zur Kontrolle der Sinterschrumpfung.

Fall : Ein Unternehmen hat die Klopfdichte von Wolframpulver mit 7,7 g/cm³ gemessen, die Schrumpfung des Sinterkörpers war stabil bei 15–18 % und die Dichte erreichte 99 % (Informationen von der Website China Tungsten Online).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von der Website China Tungsten Online).

Qualitätskontrolle

Anwendung : Dichtekonsistenztest zwischen Chargen, Abweichung $<5\%$ ist qualifiziert.

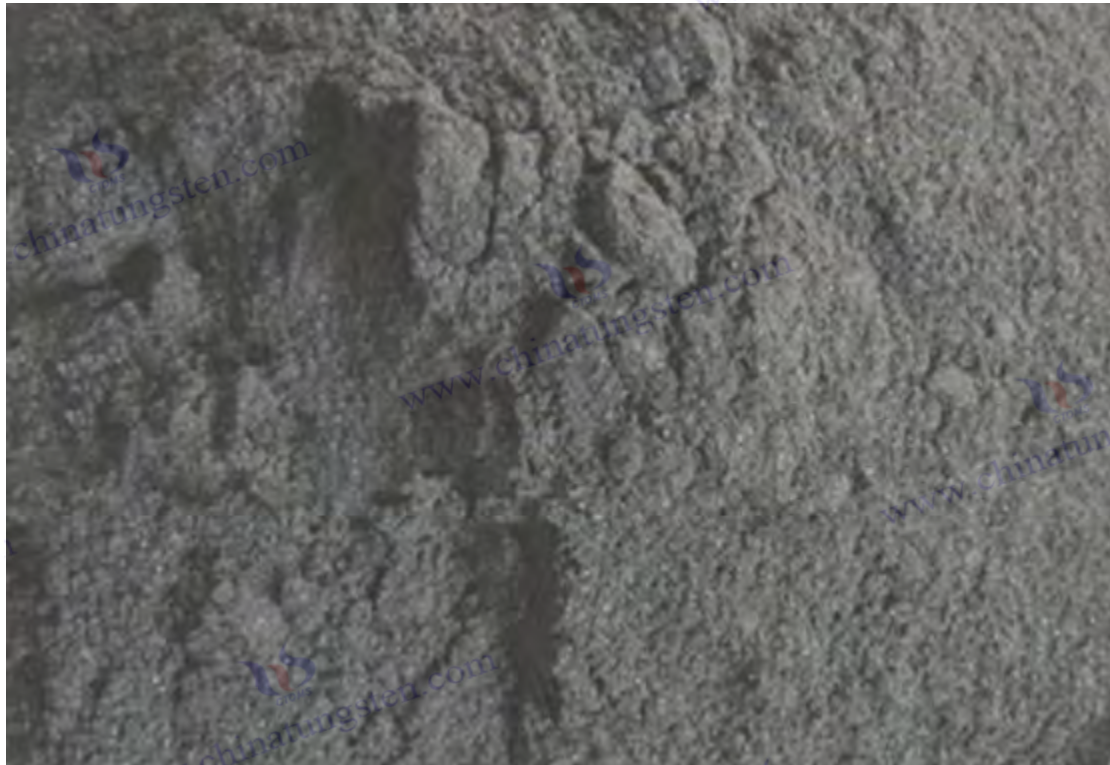
Fall : Ein Produktionstest mit einer Schüttdichteschwankung von $<0,1\text{ g/cm}^3$ für WC-Pulver gewährleistet eine stabile Chargenleistung (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Lager- und Transportoptimierung

Anwendung : Zur Bewertung des Pulververpackungsvolumens und zur Reduzierung der Transportkosten.

Zusammenfassen

Die Schüttdichte ist ein Parameter, der das Verhältnis zwischen Pulvermasse und -volumen charakterisiert. Sie wird in lose Dichte (natürliche Packung) und Stampfdichte (nach dem Klopfen) unterteilt, die von Partikelgröße, Form, Oberflächenbeschaffenheit und Feuchtigkeit beeinflusst wird. Die Bestimmungsmethode wird mit einem Standardmesszylinder und einem Klopfinstrument durchgeführt. Die lose Dichte von WC-Pulver beträgt $4,5\text{--}5,0\text{ g/cm}^3$, die Stampfdichte $5,5\text{--}6,0\text{ g/cm}^3$ bei einer Genauigkeit von $\pm 0,01\text{ g/cm}^3$. In Bezug auf die Anwendung dient es als Leitfaden für Hartmetall-, thermische Spritz- und Pulvermetallurgieprozesse zur Verbesserung der Produktqualität und Prozesseffizienz (Informationen von der Website China Tungsten Online). Die Optimierung von Feuchtigkeit ($<0,1\%$) und Klopfbedingungen kann die Genauigkeit der Bestimmung verbessern.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang

Bestimmungsmethode der Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver

Die Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver (WC) beschreibt die Fähigkeit des Pulvers, unter Einwirkung von Schwerkraft oder anderen äußeren Kräften frei zu fließen. Sie wird üblicherweise durch die Fließgeschwindigkeit (Sekunden/50 g) oder die Fließzeit durch einen Standardtrichter pro Zeiteinheit charakterisiert. Die Fließfähigkeit ist eine wichtige physikalische Eigenschaft von Pulvermaterialien und beeinflusst direkt deren Füllleistung, Gleichmäßigkeit und Prozessstabilität beim thermischen Spritzen, in der Pulvermetallurgie und bei der Hartmetallherstellung. Die Hall-Methode wird üblicherweise zur Messung der Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver verwendet. Die Fließfähigkeit wird anhand der Zeit gemessen, die 50 g Pulver benötigen, um durch einen Standardtrichter zu fließen.

1. Definition und Bedeutung

Definition

Fließfähigkeit : Die Fähigkeit eines Pulvers, ohne äußeren Druck frei durch eine bestimmte Öffnung (z. B. ein 2,5 mm großes Loch in einem Hall-Trichter) zu fließen.

Bestimmungsindikatoren

Hall-Fließrate: Die Zeit, die 50 g Pulver zum Ausfließen benötigt (Einheit: Sekunden/50 g). Je kürzer die Zeit, desto besser die Fließfähigkeit.

Wenn das Pulver nicht frei fließt, notieren Sie dies als „Kein Fluss“.

Bedeutung

Prozesseinfluss : Pulver mit guter Fließfähigkeit (z. B. WC-Pulverflussrate 13–15 Sekunden/50 g) werden beim Sprühen oder Pressen gleichmäßig verteilt, wodurch Porosität und Defekte reduziert werden.

Qualitätskontrolle : spiegelt die Konsistenz zwischen Pulverchargen wider. Große Abweichungen in der Durchflussrate können zu Prozessschwankungen führen.

Leistungskorrelation : hängt eng mit Partikelgröße, Form und Oberflächenzustand zusammen und ist ein Schlüsselparameter zur Optimierung der Pulvervorbereitung und -anwendung.

Typischer Wert

Pulvertyp	Partikelgröße (μm)	Durchflussrate (Sekunden/50 g)	Liquiditätsbewertung
WC (kugelförmig)	15-45	13.5	exzellent
WC (unregelmäßig)	10-30	16,0	Gut
WC-Co (feines Pulver)	5-15	>20 oder illiquide	Unterschied

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

2. Einflussfaktoren

Die Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver wird von vielen Faktoren beeinflusst. Nachfolgend finden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sie eine detaillierte Analyse.

Partikelgröße

Auswirkungen : Je größer die Partikelgröße, desto geringer die Reibung zwischen den Partikeln und desto höher die Fluidität. Ist die Partikelgröße zu klein ($<5\ \mu\text{m}$), nehmen die Van-der-Waals-Kraft und der elektrostatische Effekt zu, wodurch die Fluidität abnimmt.

Experimentelle Daten :

WC-Partikelgröße (μm)	Durchflussrate (Sekunden/50 g)
5	>25 (nicht fließfähig)
15-45	13.8
45-60	12,5

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

Partikelform

Auswirkungen : Kugelförmige Partikel (Kugelform $>95\%$) weisen einen geringen Rollwiderstand und eine gute Fließfähigkeit auf; unregelmäßige oder flockige Partikel weisen aufgrund mechanischer Verzahnung eine schlechte Fließfähigkeit auf.

Fall : Die Durchflussrate von kugelförmigem WC-Pulver beträgt 13,5 Sekunden/50 g, die von unregelmäßigem WC-Pulver 16,5 Sekunden/50 g.

Oberflächeneigenschaften

Auswirkungen : Pulver mit glatten Oberflächen weisen weniger Reibung und eine bessere Fließfähigkeit auf; Pulver mit rauen Oberflächen oder mit einer Oxidschicht (WO_3) neigen zur Adhäsion und weisen eine verringerte Fließfähigkeit auf.

Experiment : Die Durchflussrate von plasmasphäroidisiertem WC-Pulver beträgt 13,0 Sekunden/50 g, die von unbehandeltem Pulver 15,5 Sekunden/50 g.

Feuchtigkeitsgehalt

Auswirkungen : Ein Feuchtigkeitsgehalt von $>0,2\%$ führt zur Partikelagglomeration, verringert die Fließfähigkeit erheblich und macht das Material sogar ungenießbar.

Daten : Die Fließgeschwindigkeit von WC-Pulver mit $0,5\%$ Feuchtigkeitsgehalt beträgt >20 Sekunden/50 g und sinkt nach dem Trocknen (Feuchtigkeitsgehalt $<0,1\%$) auf 14,0 Sekunden/50 g.

Umweltbedingungen

Auswirkungen : Eine Luftfeuchtigkeit von $>60\%$ erhöht die Hygroskopizität des Pulvers und Temperaturänderungen wirken sich auf die Luftviskosität aus, was beides die Fließfähigkeit beeinträchtigen kann.

3. Bestimmungsmethode

Die Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver wird üblicherweise mit der Hall-Fließgeschwindigkeitsmethode gemäß Normen wie ASTM B213 oder ISO 4490 bestimmt. Im Folgenden finden Sie eine Übersicht über die Methode.

Hall-Flow-Methode

Prinzip : Messen Sie die Zeit, die 50 g Pulver benötigen, um durch einen Standard-Hall-Trichter

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Öffnung 2,5 mm) zu fließen. Je kürzer die Zeit, desto besser die Fließfähigkeit.

Schritt :

Trockenes Pulver zubereiten (Feuchtigkeit < 0,1 %).

Geben Sie 50 g Pulver in den Hall-Trichter und klopfen Sie leicht, um eine gleichmäßige Füllung zu gewährleisten.

Öffnen Sie die Blende am Boden des Trichters und messen Sie die Zeit (in Sekunden), die das Pulver benötigt, um vollständig herauszufließen.

Wenn das Pulver nicht fließt, notieren Sie es als „nicht fließfähig“.

Hilfsmethoden

Neigungsmethode : Messen Sie den Schüttwinkel der natürlichen Pulverschichtung. Je kleiner der Winkel (<30°), desto besser die Fließfähigkeit.

Klopferdichtungsmethode : Bewerten Sie die Fließfähigkeit indirekt, indem Sie die Änderung der Klopfdichte berücksichtigen.

Experimentelle Daten

Probe	Partikelgröße (μm)	Feuchtigkeit(%)	Durchflussrate (Sekunden/50 g)	Schüttwinkel (°)
WC (kugelförmig)	15-45	0,05	13.5	28
WC (unregelmäßig)	10-30	0,10	16,0	35
WC (feines Pulver)	5-15	0,20	>25 (nicht fließfähig)	45

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

4. Ausrüstung und Arbeitsschritte

Ausrüstung

Hallentrichter :

Material: Edelstahl oder Messing.

Technische Daten: Bodenlochdurchmesser 2,5mm, Kegelwinkel 60°, Volumen ca. 100 cm³.

Timer : Genauigkeit 0,1 Sekunde.

Waage : Präzision 0,001 g, Gewicht 50 g Pulver.

Ofen : Temperatur 100–120 °C, Probe trocknen.

Auffangbehälter : Fassungsvermögen >50 cm³, fängt das austretende Pulver auf.

Vibrator (optional) : Hilft beim Testen nicht fließfähiger Pulver.

Detaillierte Schritte

Probenvorbereitung :

Um die Homogenität sicherzustellen, wurden aus der Pulvercharge mithilfe eines Probenteilers stichprobenartig 100 g entnommen.

Im Ofen bei 105 °C 2 Stunden trocknen, Feuchtigkeit <0,1 %, auf Raumtemperatur abkühlen lassen (im Exsikkator).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Instrumentenkalibrierung :

Überprüfen Sie die Öffnung des Hall-Trichters ($2,5 \pm 0,01$ mm), um sicherzustellen, dass keine Verstopfung vorliegt.

Überprüfen Sie die Genauigkeit des Instruments mithilfe eines Standardpulvers (z. B. FSSS $3,0 \mu\text{m}$ WC, Durchflussrate 14,0 Sek./50 g).

Bestimmungsprozess :

Wiegen Sie $50,0 \pm 0,01$ g WC-Pulver ab, schütten Sie es in den Hall-Trichter und klopfen Sie dreimal leicht darauf, um eine Brückenbildung zu vermeiden.

Öffnen Sie die untere Blende und starten Sie gleichzeitig den Timer, um die Zeit zu messen, bis das Pulver vollständig herausfließt.

Bleibt das Pulver hängen, klopfen Sie auf den Trichter, fließt es immer noch nicht, notieren Sie es als „fließt nicht“.

Datenverarbeitung :

Wiederholen Sie die Messung dreimal und bilden Sie den Durchschnittswert, wenn die Abweichung weniger als 0,5 Sekunden beträgt.

Überprüfen Sie die Pulvermasse im Auffangbehälter, um sicherzustellen, dass keine Rückstände vorhanden sind (Fehler $< 0,1$ g).

Vorsichtsmaßnahmen

Der Trichter sollte senkrecht aufgestellt werden, um ein Kippen zu vermeiden, das die Durchflussrate beeinträchtigen könnte (Abweichung $\pm 0,2$ Sekunden).

Umgebungskontrolle: Temperatur $20-25$ °C, Luftfeuchtigkeit < 50 %, Feuchtigkeitsaufnahme verhindern.

Bei feinem Pulver ($< 10 \mu\text{m}$) kann eine Vibrationsunterstützung erforderlich sein, da es sonst zu Verstopfungen kommen kann.

5. Anwendungsszenarien

Die Messung der Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver findet in vielen Bereichen Anwendung. Im Folgenden werden spezifische Szenarien und Fälle beschrieben.

Thermisches Spritzverfahren

Anwendung: Zur Bewertung der Gleichmäßigkeit der WC-Co-Pulverzufuhr bei HVOF oder APS. Die Durchflussrate von < 15 Sek./50 g ist ausgezeichnet.

Fall : Ein Team stellte fest, dass die Durchflussrate von WC-12Co 13,8 Sekunden/50 g betrug, die Porosität der aufgespritzten Beschichtung < 1 % betrug und die Verschleißfestigkeit um 30 % verbessert war (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Hartmetallproduktion

Anwendung : Zum Testen der Fließfähigkeit von WC-Pulver und Sicherstellen der Gleichmäßigkeit gepresster Rohlinge.

Fall : Eine Studie ergab, dass die WC-Pulverflussrate 14,0 Sekunden/50 g betrug, die Dichtekonsistenz der gepressten Teile um 10 % verbessert wurde und die Härte HV 2250 betrug (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Pulvermetallurgie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendung : Zur Optimierung der Effizienz der W- oder WC-Pulverfüllung. Eine zu hohe Durchflussrate (> 20 Sekunden/50 g) kann zur Delaminierung führen.

Fall : Ein Unternehmen ermittelte, dass die Fließrate von kugelförmigem Wolframpulver 12,5 Sekunden/50 g betrug und die Dichte des Sinterkörpers 99 % betrug (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Qualitätskontrolle

Anwendung : Zum Testen der Konsistenz der Fließfähigkeit zwischen Chargen. Die Durchflussabweichung beträgt weniger als 1 Sekunde.

Fall : Ein Produktionsunternehmen hat eine Schwankung der WC-Pulverdurchflussrate von $< 0,5$ Sek./50 g gemessen, wodurch die Chargenstabilität gewährleistet wird (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Lager- und Transportdesign

Anwendung : Zur Bewertung der Fließeigenschaften von Pulvern in Silos und zur Optimierung des Fördersystems.

Zusammenfassen

Die Fließfähigkeit von Wolframkarbidpulver wird mit der Hall-Methode gemessen. Diese Methode beschreibt die Zeit (Sekunden/50 g), die 50 g Pulver benötigen, um durch einen Trichter mit 2,5 mm Öffnung zu fließen. Der typische Wert liegt bei 13–16 Sekunden/50 g. Die Fließfähigkeit wird durch Partikelgröße, -form, Oberflächenbeschaffenheit und Feuchtigkeit beeinflusst. Die Messung erfordert trockenes Pulver (Feuchtigkeit $< 0,1$ %), Standardausrüstung und präzise Bedienung. Die Anwendung dient als Leitfaden für thermisches Spritzen, Hartmetall- und Pulvermetallurgieprozesse zur Verbesserung der Fülleffizienz und Produktqualität (Informationen von der Website China Tungsten Online). Die Optimierung der Partikelform und der Trocknungsbedingungen kann die Fließfähigkeit deutlich verbessern.

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 $\geq 99.95\%$) 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.



Anhang :

Klopfichte von Wolframcarbidpulver und ihre Bestimmungsmethode

Die Stampfdichte bezeichnet die Masse pro Volumeneinheit von Wolframcarbidpulver (WC), nachdem die Partikel unter bestimmten Vibrations- oder Klopfbedingungen dicht angeordnet wurden. Sie wird üblicherweise in g/cm³ angegeben. Sie ist ein wichtiger Parameter der physikalischen Eigenschaften von Pulvern und spiegelt die Dichte der Partikelpackung wider. Sie kommt dem Füllzustand im tatsächlichen Prozess näher als die Schüttdichte. Bei Hartmetall, thermischem Spritzen und in der Pulvermetallurgie beeinflusst die Stampfdichte direkt die Pressleistung, die Sinterleistung und die Endproduktqualität des Materials. Zur Bestimmung wird üblicherweise das Klopfverfahren verwendet, das mit einem Standardmesszylinder und einer Klopfvorrichtung ergänzt wird.

1. Definition und Bedeutung

Definition

Klopfichte : Die Dichte von Wolframcarbidpulver, wenn die Lücken zwischen den Partikeln verringert werden und das Pulver nach mechanischer Vibration oder manuellem Klopfen einen stabilen Stapelzustand erreicht.

$$\text{振实密度} = \frac{m}{V}$$

In:

m: Pulvermasse (g)

V: Volumen nach der Verdichtung (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

Unterschied zur Schüttdichte : Die Schüttdichte ist der natürliche Stapelzustand, während die Klopfdichte die Partikel durch äußere Krafteinwirkung kompakter macht und der Wert normalerweise um 10–20 % höher ist.

Bedeutung

Prozessanleitung : WC-Pulver mit hoher Klopfdichte (z. B. 5,5–6,0 g/cm³) ist beim Pressen oder Füllen effizienter und hat nach dem Sintern eine bessere Dichte.

Qualitätskontrolle : spiegelt die Konsistenz der Pulverstapeleigenschaften zwischen Chargen wider. Große Abweichungen können zu ungleichmäßigem Formen führen.

Leistungskorrelation : hängt mit Partikelgröße, Form und Oberflächenzustand zusammen und ist eine wichtige Grundlage für die Optimierung der Pulveraufbereitung und -anwendung.

Typischer Wert

Pulvertyp	Partikelgröße (μm)	Schüttdichte (g/ cm ³)	Stampfdichte (g/cm ³)
WC (ultrafein)	0,5-1	4,2-4,5	5,3-5,6
WC (mittel)	2-5	4,8-5,0	5,8-6,2
WC-Co (Verbundwerkstoff)	15-45	4,0-4,5	4,8-5,2

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

2. Einflussfaktoren

Der Wert der Klopfdichte von Wolframcarbidpulver wird von vielen Faktoren beeinflusst. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse.

Partikelgröße

Auswirkungen : Je größer die Partikelgröße, desto höher ist die Fülleffizienz der Lücken zwischen den Partikeln und die erhöhte Klopfdichte. Wenn die Partikelgröße zu klein ist (<1 μm), erhöht sich die Oberflächenkraft, die Lücken lassen sich schwer komprimieren und die Dichte ist gering.

Experimentelle Daten :

WC-Partikelgröße (μm)	Schüttdichte (g/ cm ³)	Stampfdichte (g/cm ³)	Zunahme(%)
0,5	4.2	5.3	26
2.0	4.8	5.8	einundzwanzig
5,0	5,0	6.2	vierundzwanzig

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

Partikelform

Auswirkungen : Kugelförmige Partikel (Kugelform > 95 %) sind nach der Vibration dicht angeordnet und weisen eine hohe Dichte auf; unregelmäßige oder nadelförmige Partikel weisen aufgrund von Interkalation eine hohe Porosität und eine geringe Dichte auf.

Fall : Die Klopfdichte von kugelförmigem WC-Pulver beträgt 6,0 g/cm³, während die von unregelmäßigem WC-Pulver nur 5,5 g/cm³ beträgt.

Oberflächeneigenschaften

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schlagfestigkeit : Pulver mit glatten Oberflächen weisen weniger Reibung auf, lassen sich nach Vibrationen leichter neu anordnen und haben eine hohe Dichte; Pulver mit rauen Oberflächen oder mit Oxidschichten (WO_3) sind klebrig und haben eine geringe Dichte.

Experiment : Die Klopfdichte von plasmasphäroidisiertem WC-Pulver beträgt $6,2 \text{ g/cm}^3$, die von unbehandeltem Pulver $5,7 \text{ g/cm}^3$.

Feuchtigkeitsgehalt

Auswirkungen : Ein Feuchtigkeitsgehalt von $> 0,2 \%$ führt zur Agglomeration der Partikel, wodurch die Vibrationen die Zwischenräume nur schwer zusammendrücken können und die Dichte abnimmt.

Daten : Die Klopfdichte von WC-Pulver mit $0,5 \%$ Wassergehalt beträgt $5,2 \text{ g/cm}^3$, die nach dem Trocknen (Wassergehalt $< 0,1 \%$) auf $5,8 \text{ g/cm}^3$ ansteigt.

Verdichtungsbedingungen

Auswirkungen : Amplitude, Frequenz und Anzahl der Schwingungen beeinflussen die Effizienz der Partikelumordnung. Unzureichende Schwingungen führen zu geringer Dichte, während übermäßige Schwingungen keine signifikante Veränderung bewirken.

Experiment : Die Dichte von WC-Pulver beträgt nach 100-maliger Vibration $5,6 \text{ g/cm}^3$, steigt nach 300-maliger Vibration auf $5,8 \text{ g/cm}^3$ und bleibt nach 500-maliger Vibration unverändert.

3. Bestimmungsmethode

Die Klopfdichte von Wolframcarbidpulver wird nach Standardverfahren wie ASTM B527 oder ISO 3953 bestimmt. Im Folgenden finden Sie eine Übersicht über die Methode.

Vibrationsmethode

Prinzip : Durch mechanische Vibration oder manuelles Klopfen werden die WC-Pulverpartikel neu angeordnet und die Dichte im stabilen Zustand gemessen.

Schritt :

Trockenpulver zubereiten (Feuchtigkeit $< 0,1 \%$).

Gießen Sie das Pulver in einen Standardmesszylinder (25 oder 100 cm^3) und notieren Sie das Anfangsvolumen.

mit einem Vibrator oder durch manuelles Klopfen, bis sich die Lautstärke nicht mehr ändert, und die Lautstärke nach der Vibration (V') aufzeichnen.

Wiegen Sie die Pulvermasse (m) und berechnen Sie die Klopfdichte (m/V').

Experimentelle Daten

Probe	Masse (g)	Ausgangsvolumen (cm^3)	Zapfvolumen (cm^3)	Stampfdichte (g/cm^3)
WC ($1\mu\text{m}$)	50	11.0	8.9	5,62
WC ($5\mu\text{m}$)	50	10.2	8.1	6.17
WC-12Co	50	12,0	10.2	4,90

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

4. Ausrüstung und Arbeitsschritte

Ausrüstung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Messzylinder : Standard-Messzylinder aus Glas (25, 50 oder 100 cm³), graduert auf $\pm 0,1$ cm³.

Waage : Präzision 0,001 g, Wiegen der Pulvermasse.

Vibrationsverdichter :

Typ: Mechanisches Verdichtungsgerät (z. B. Scott Volumeter).

Parameter: Amplitude 1–5 mm, Frequenz 50–60 Hz.

Ofen : Temperatur 100–120 °C, Probe trocknen.

Trichter : Öffnung 5–10 mm, erleichtert das Befüllen.

Schaber : Glätten Sie die Pulveroberfläche.

Detaillierte Schritte

Probenvorbereitung :

Aus der WC-Pulvercharge wurden zufällig 50–100 g entnommen und zur Gewährleistung der Homogenität wurde ein Probenteiler verwendet.

Im Ofen bei 105 °C 2 Stunden trocknen, Feuchtigkeit $< 0,1$ %, auf Raumtemperatur abkühlen lassen (im Exsikkator).

Probenbeladung :

Wählen Sie einen Messzylinder mit 100 cm³ Fassungsvermögen und notieren Sie das Leergewicht (m_0). Gießen Sie mithilfe eines Trichters langsam 50 g Pulver in das Röhrchen (mit einem Gefälle von 10–15 cm, um eine Verdichtung zu vermeiden) und notieren Sie das Anfangsvolumen.

Glätten Sie die Oberfläche leicht mit einem Schaber.

Verdichtungsprozess :

Legen Sie den Messzylinder in einen Vibrator, stellen Sie die Amplitude auf 3 mm und die Frequenz auf 60 Hz ein und vibrieren Sie 200 Mal (oder bis sich das Volumen stabilisiert).

Durch manuelles Rütteln 200 Mal aus 2-3 cm Höhe auf den Boden des Messzylinders klopfen.

Notieren Sie das verdichtete Volumen (V') und das Gesamtgewicht (m_1).

berechnen :

$\text{Klopfichte} = (m_1 - m_0) / V'$.

Die Messung wurde dreimal wiederholt und der Durchschnittswert wurde ermittelt, wenn die Abweichung weniger als 2 % betrug.

Reinigung : Reinigen Sie den Messzylinder mit Druckluft, um zu vermeiden, dass Rückstände die nächste Messung beeinträchtigen.

Vorsichtsmaßnahmen

Die Anzahl der Verdichtungsvorgänge muss konsistent sein. Zu wenige Verdichtungsvorgänge (< 100) führen zu einer geringen Dichte, während zu viele Verdichtungsvorgänge (> 300) keine signifikante Verbesserung bewirken.

Die Innenwand des Messzylinders muss trocken sein, bei einer Luftfeuchtigkeit von > 50 % kann es zu Pulveranhaftungen kommen.

Bei feinen Pulvern ($< 1 \mu\text{m}$) kann eine größere Amplitude (5 mm) erforderlich sein, um die Oberflächenkräfte zu überwinden.

5. Anwendungsszenarien

Die Messung der Klopfichte von Wolframcarbidpulver findet in vielen Bereichen Anwendung. Im

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Folgenden werden spezifische Szenarien und Fälle beschrieben.

Hartmetallproduktion

Anwendung : Zur Beurteilung des Press- und Sinterverhaltens von WC-Pulver. Eine hohe Klopfdichte (z. B. 5,8 g/cm³) fördert die Verdichtung.

Fall : Ein Team ermittelte, dass die Klopfdichte des WC-Pulvers 5,8 g/cm³ betrug, die Dichte des gepressten Blocks um 12 % zunahm und die Härte 2250 HV betrug (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Thermisches Spritzverfahren

Anwendung : Um die Fülleffizienz von WC-Co-Pulver zu testen, beträgt die Klopfdichte 4,8–5,2 g/cm³, um die Gleichmäßigkeit des Sprühens sicherzustellen.

Fall : Eine Studie ergab, dass die Klopfdichte von WC-12Co 4,9 g/cm³ betrug, die Porosität der HVOF-Beschichtung <1 % betrug und die Verschleißfestigkeit um 35 % verbessert wurde (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Pulvermetallurgie

Anwendung : Optimieren Sie die Sinterschrumpfung von WC- oder W-Pulver, erhöhen Sie die Klopfdichte und reduzieren Sie die Porosität.

Fall : Ein Unternehmen ermittelte, dass die Klopfdichte des WC-Pulvers 6,0 g/cm³ und die Dichte des Sinterkörpers 99,5 % betrug (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Qualitätskontrolle

Anwendung : Dichtekonsistenzprüfung zwischen Chargen. Abweichungen <0,1 g/cm³ sind akzeptabel.

Fall : Ein Produktionsunternehmen hat eine Schwankung der Klopfdichte des WC-Pulvers von <0,05 g/cm³ gemessen, wodurch die Chargenstabilität gewährleistet wird (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Lager- und Transportdesign

Anwendung : Zur Bewertung der Kompaktheit von Pulver im Silo und zur Optimierung des Verpackungsvolumens.

Zusammenfassen

Die Schüttdichte von Wolframkarbidpulver ist die Masse pro Volumeneinheit des Pulvers nach der Vibration. Sie beträgt typischerweise 5,3–6,2 g/cm³ (WC-Monomer) bzw. 4,8–5,2 g/cm³ (WC-Co) und wird von Partikelgröße, Form, Oberflächenbeschaffenheit und Feuchtigkeit beeinflusst. Die Messmethode basiert auf der Vibrationsmethode. Ein Messzylinder und ein Vibrationsinstrument vibrieren 200–300 Mal und erreichen eine Genauigkeit von ±0,01 g/cm³. Die Anwendung unterstützt Hartmetall-, thermische Spritz- und Pulvermetallurgieprozesse und verbessert die Pressleistung sowie die Produktqualität (Informationen von der Website China Tungsten Online). Optimierte Trocknungs- (Feuchtigkeit < 0,1 %) und Vibrationsbedingungen können die Messgenauigkeit verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Anhang :

Schüttdichte von Wolframcarbidpulver und ihre Bestimmungsmethode

Die Schüttdichte bezeichnet die Masse pro Volumeneinheit von Wolframcarbidpulver (WC) im natürlichen Stapelzustand ohne äußere Kompression oder Vibration und wird üblicherweise in g/cm^3 angegeben. Sie ist ein grundlegender Parameter der physikalischen Eigenschaften von Pulvern und spiegelt die Stapel-effizienz der Partikel im natürlichen Zustand wider. Sie steht in engem Zusammenhang mit der Fließfähigkeit, dem Füllverhalten und den nachfolgenden Prozessen (wie Pressen und Sintern) des Pulvers. In den Bereichen Hartmetall, thermisches Spritzen und Pulvermetallurgie ist die Schüttdichte ein wichtiger Indikator für die Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung. Die Bestimmung ist einfach und erfolgt üblicherweise mithilfe eines Standardmesszylinders und einer Wägung.

1. Definition und Bedeutung

Definition

Schüttdichte : Die Dichte von Wolframcarbidpulver, wenn es ohne äußere Krafteinwirkung frei in einen Behälter fällt.

Schüttdichte = m/V . Dabei gilt:

m: Pulvermasse (g)

V: loses Volumen (cm^3)

Eigenschaften : Es spiegelt den natürlichen Stapelzustand des Pulvers wider. Im Vergleich zur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Klopfichte ist der Wert niedriger und die Porosität höher.

Bedeutung

Prozessanleitung : WC-Pulver mit geringer Schüttdichte (z. B. 4,2–4,5 g/cm³) weist eine geringe Fülleffizienz auf und kann die Pressgleichmäßigkeit beeinträchtigen; eine hohe Dichte (z. B. 5,0 g/cm³) ist der Prozessstabilität förderlich.

Qualitätskontrolle : Überprüfen Sie die Konsistenz der Partikeleigenschaften zwischen den Chargen. Große Abweichungen können zu Prozessschwankungen führen.

Leistungskorrelation : hängt mit Partikelgröße, Form und Oberflächenbeschaffenheit zusammen und ist die grundlegende Angabe zur Bewertung der Pulvereigenschaften.

Typischer Wert

Pulvertyp	Partikelgröße (μm)	Schüttdichte (g/ cm ³)	Wahre Dichte (g/cm ³)
WC (ultrafein)	0,5-1	4,2-4,5	15,63
WC (mittel)	2-5	4,8-5,0	15,63
WC-Co (Verbundwerkstoff)	15-45	4,0-4,5	12-14

Datenquelle: Laborgeprüft im Jahr 2023, Informationen von China Tungsten Online. Hinweis: Die tatsächliche Dichte ist ein theoretischer Wert.

2. Einflussfaktoren

Der Wert der Schüttdichte von Wolframcarbidpulver wird von vielen Faktoren beeinflusst. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse.

Partikelgröße

Auswirkungen : Je größer die Partikelgröße, desto höher ist die Fülleffizienz der Lücken zwischen den Partikeln und desto höher ist die Schüttdichte. Wenn die Partikelgröße zu klein ist (<1 μm), wird die Oberflächenkraft (z. B. die Van-der-Waals-Kraft) erhöht, die Lücken vergrößern sich und die Dichte nimmt ab.

Experimentelle Daten :

WC-Partikelgröße (μm)	Schüttdichte (g/ cm ³)	Porenanteil (%)
0,5	4.2	73
2.0	4.8	69
5,0	5,0	68

Datenquelle: Ein Labortest im Jahr 2023, Informationen von der Website China Tungsten Online.
Porenverhältnis = (1 – Schüttdichte/wahre Dichte) × 100 %.

Partikelform

Auswirkungen : Kugelförmige Partikel (Kugelform > 95 %) sind von Natur aus dicht gepackt und haben eine hohe Dichte; unregelmäßige oder flockige Partikel haben aufgrund von Interkalation eine hohe Porosität und eine geringe Dichte.

Fall : Die Schüttdichte von kugelförmigem WC-Pulver beträgt 5,0 g/cm³, die von unregelmäßigem WC-Pulver 4,5 g/cm³.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächeneigenschaften

Auswirkungen : Pulver mit glatten Oberflächen weisen weniger Reibung auf, sind kompakt gepackt und haben eine hohe Dichte; Pulver mit rauen Oberflächen oder Oxidschichten (WO_3) neigen zur Adhäsion und haben eine geringe Dichte.

Versuch : Die Schüttdichte von plasmasphäroidisiertem WC-Pulver beträgt $5,1 \text{ g/cm}^3$, die von unbehandeltem Pulver $4,6 \text{ g/cm}^3$.

Feuchtigkeitsgehalt

Auswirkungen : Ein Feuchtigkeitsgehalt von $> 0,2 \%$ führt zu Partikelagglomeration, erhöhter Porosität und verringerter Dichte.

Daten : Die Schüttdichte von WC-Pulver mit einem Feuchtigkeitsgehalt von $0,5 \%$ beträgt $4,3 \text{ g/cm}^3$ und steigt nach dem Trocknen (Feuchtigkeitsgehalt $< 0,1 \%$) auf $4,8 \text{ g/cm}^3$ an.

Stapelmethode

Auswirkungen : Die Fallhöhe und die Geschwindigkeit des Pulverflusses beeinflussen die Gleichmäßigkeit der Stapelung. Ein zu großer Fall ($> 20 \text{ cm}$) kann zu Partikeltrennung und geringer Dichte führen.

3. Bestimmungsmethode

Die Schüttdichte von Wolframcarbidpulver wird nach Standardverfahren wie ASTM B212 oder ISO 3923-1 bestimmt. Im Folgenden finden Sie eine Übersicht über die Methode.

Lose Montagemethode

Prinzip : Lassen Sie WC-Pulver durch einen Trichter frei in einen Standardmesszylinder fallen, um die Dichte im natürlichen Stapelzustand zu messen.

Schritt :

Trockenes Pulver zubereiten (Feuchtigkeit $< 0,1 \%$).

Gießen Sie das Pulver mithilfe des Trichters langsam in einen Messzylinder (25 oder 100 cm^3) und achten Sie dabei auf einen Tropfen von 10 - 15 cm .

Glätten Sie die Oberfläche mit einem Schaber und notieren Sie das Volumen (V).

Wiegen Sie die Pulvermasse (m) und berechnen Sie die Schüttdichte (m/V).

Experimentelle Daten

Probe	Masse (g)	Volumen (cm^3)	Schüttdichte (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

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

4. Ausrüstung und Arbeitsschritte

Ausrüstung

Messzylinder : Standard-Messzylinder aus Glas (25 , 50 oder 100 cm^3), graduert auf $\pm 0,1 \text{ cm}^3$.

Trichter :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Material: Edelstahl oder Glas.

Spezifikationen: Öffnungsdurchmesser 5–10 mm, einstellbarer Tropfen.

Waage : Präzision 0,001 g, Wiegen der Pulvermasse.

Ofen : Temperatur 100–120 °C, Probe trocknen.

Schaber : Glätten Sie die Pulveroberfläche, um eine Verdichtung zu vermeiden.

Probenteiler : sorgt für die Homogenität der Probe.

Detaillierte Schritte

Probenvorbereitung :

Wählen Sie aus der WC-Pulvercharge zufällig 50–100 g aus und entnehmen Sie mit einem Probenteiler eine gleichmäßige Probe.

Im Ofen bei 105 °C 2 Stunden trocknen, Feuchtigkeit <0,1 %, auf Raumtemperatur abkühlen lassen (im Exsikkator).

Probenbeladung :

Wählen Sie einen Messzylinder mit 100 cm³ Fassungsvermögen und notieren Sie das Leergewicht (m_0). Befestigen Sie den Trichter in einer Höhe von 15 cm über dem Messzylinder und gießen Sie langsam 50 g Pulver ein, wobei Sie Stöße und Vibrationen vermeiden.

Kratzen Sie die Oberfläche leicht mit einem Schaber ab und notieren Sie das Gesamtgewicht (m_1) und das Volumen (V).

berechnen :

Schüttdichte = $(m_1 - m_0)/V$.

Die Messung wurde dreimal wiederholt und der Durchschnittswert wurde ermittelt, wenn die Abweichung weniger als 2 % betrug.

Reinigung : Reinigen Sie Messzylinder und Trichter mit Druckluft, um zu vermeiden, dass Rückstände die nächste Messung beeinträchtigen.

Vorsichtsmaßnahmen

Vermeiden Sie künstliche Verdichtung oder Vibration, um einen natürlichen Stapelzustand sicherzustellen.

Die Fallhöhe sollte auf 10–15 cm begrenzt sein. Eine zu hohe Fallhöhe (> 20 cm) kann zu Partikelschichtung und geringer Dichte führen.

Umgebungsfeuchtigkeit <50 %, um zu verhindern, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt.

5. Anwendungsszenarien

Die Bestimmung der Schüttdichte von Wolframcarbidpulver findet in vielen Bereichen Anwendung. Im Folgenden werden spezifische Szenarien und Fälle beschrieben.

Hartmetallproduktion

Anwendung : Zur Bewertung der anfänglichen Fülleffizienz von WC-Pulver und zur Steuerung des Pressvorgangs.

Fall : Ein Team stellte fest, dass die Schüttdichte des WC-Pulvers 4,8 g/cm³ betrug, die Gleichmäßigkeit des gepressten Rohlings um 8 % verbessert war und die Härte 2200 HV betrug (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Thermisches Spritzverfahren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendung : Zum Testen der Stabilität der WC-Co-Pulverzufuhr. Die Schüttdichte von 4,0–4,5 g/cm³ ermöglicht ein gleichmäßiges Sprühen.

Fall : Eine Studie ergab, dass die Schüttdichte von WC-12Co 4,2 g/cm³ betrug, die Porosität der HVOF-Beschichtung <1,5 % betrug und die Verschleißfestigkeit um 25 % verbessert wurde (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Pulvermetallurgie

Anwendung : Um die Füllleistung von WC- oder W-Pulver zu optimieren, kann eine hohe Schüttdichte die Schwankungen der Sinterschrumpfung verringern.

Fall : Ein Unternehmen ermittelte, dass die Schüttdichte des WC-Pulvers 5,0 g/cm³ und die Dichte des Sinterkörpers 98,5 % betrug (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Qualitätskontrolle

Anwendung : Dichtekonsistenzprüfung zwischen Chargen. Abweichungen <0,1 g/cm³ sind akzeptabel.

Fall : Ein Produktionsunternehmen hat eine Schüttdichteschwankung von WC-Pulver von <0,05 g/cm³ gemessen, wodurch die Chargenstabilität gewährleistet wird (Informationen von der Website China Tungsten Online).

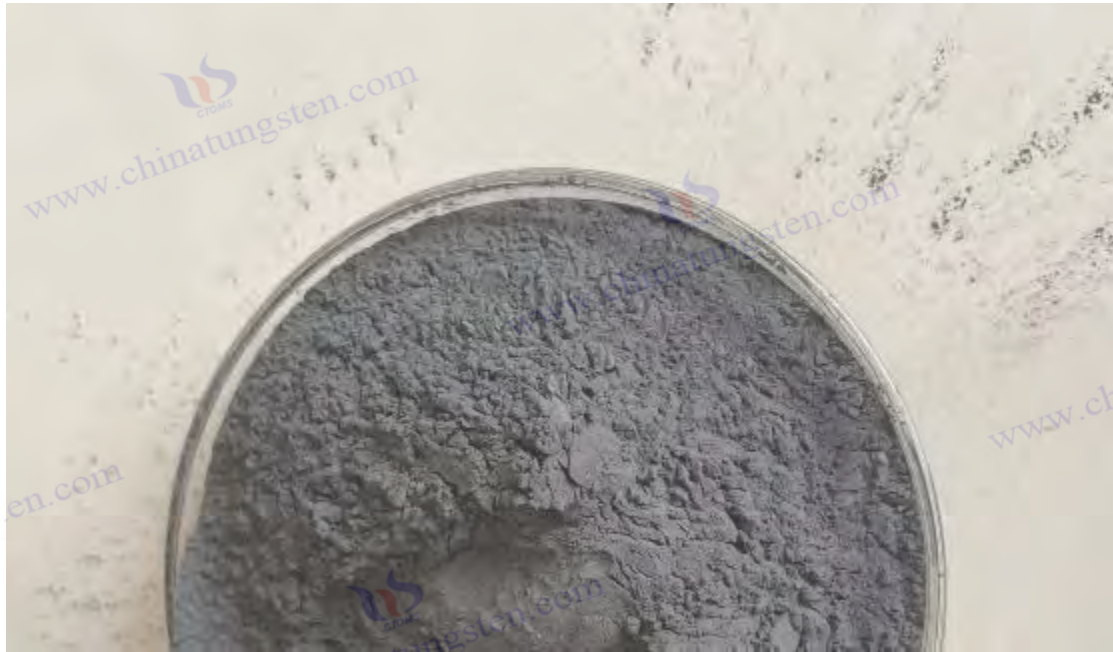
Lager- und Transportdesign

Anwendung : Zur Bewertung des natürlichen Schüttvolumens von Pulvern und zur Optimierung der Verpackungs- und Transporteffizienz.

Zusammenfassen

Die Schüttdichte von Wolframkarbidpulver ist die Einheitsvolumenmasse des Pulvers im natürlichen Stapelzustand. Sie beträgt typischerweise 4,2–5,0 g/cm³ (WC-Monomer) oder 4,0–4,5 g/cm³ (WC-Co) und wird von Partikelgröße, Form, Oberflächenbeschaffenheit und Feuchtigkeit beeinflusst. Die Bestimmungsmethode basiert auf der Schüttdichtemethode unter Verwendung eines Messzylinders und eines Trichters mit einer Genauigkeit von ±0,01 g/cm³. Sie dient zur Verbesserung der Fülleffizienz und Produktqualität bei Hartmetall-, thermischen Spritz- und Pulvermetallurgieprozessen (Informationen von der Website China Tungsten Online). Optimierte Trocknungs- (Feuchtigkeitsgehalt <0,1 %) und Tropfbedingungen können die Genauigkeit der Bestimmung verbessern.

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.

Anhang :

Wie lauten die Dichteangaben für Wolframcarbidpulver?

Die Dichte von Wolframcarbidpulver (WC) ist eine physikalische Größe, die das Verhältnis zwischen Masse und Volumen beschreibt. Sie lässt sich in verschiedenen Anwendungsszenarien und Testbedingungen darstellen. Die Dichtedarstellung spiegelt nicht nur die intrinsischen Eigenschaften und das Stapelverhalten des Pulvers wider, sondern beeinflusst auch direkt die Leistungsoptimierung und Qualitätskontrolle von Prozessen wie Hartmetall, thermischem Spritzen und Pulvermetallurgie. Die Dichte von Wolframcarbidpulver umfasst üblicherweise die tatsächliche Dichte, die lose Dichte, die Klopfdichte, die scheinbare Dichte usw. Jede Dichte hat eine spezifische Definition, Messmethode und Anwendungsbedeutung.

1. Definition und Klassifizierung der Dichte

Die Dichte ist die Masse einer Substanz pro Volumeneinheit und die Formel lautet: $\rho = m / V$

In:

ρ : Dichte (g / cm^3)

m: Masse (g)

V: Volumen (cm^3) Bei

Wolframcarbidpulver variiert der Dichtewert je nach Messbedingungen und Pulverzustand.

Die Dichte von Wolframcarbidpulver umfasst hauptsächlich Folgendes:

Wahre Dichte: Die theoretische Dichte der Pulverpartikel selbst, ohne Poren oder Hohlräume.

Schüttdichte: Die Dichte des Pulvers in seinem natürlichen Stapelzustand, einschließlich der Zwischenräume zwischen den Partikeln.

Klopfdichte: Die Dichte eines Pulvers in einem kompakteren Zustand nach dem Vibrieren oder Klopfen.

Scheinbare Dichte: Die Dichte eines Pulvers unter bestimmten Testbedingungen (z. B. Hall-Durchflussmesser), die oft der Schüttdichte ähnelt.

Weitere abgeleitete Dichten: wie z. B. Stampfdichte (beim Pressvorgang) oder Sinterdichte (Sinterkörper).

Unterschiedliche Dichten spiegeln die Partikeleigenschaften (wie Größe und Form) und das Stapelverhalten des Pulvers wider und dienen als Orientierung für die Prozessgestaltung.

Die wahre Dichte wird für die Analyse der Materialzusammensetzung verwendet, die lose/geklopfte Dichte beeinflusst die Packungseffizienz und die scheinbare Dichte hängt mit der Fluidität zusammen.

2. Wahre Dichte

Definition

Die wahre Dichte ist die Feststoffdichte der Wolframcarbidpulverpartikel, ausschließlich der Poren im

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Inneren der Partikel oder der Lücken zwischen den Partikeln, und spiegelt das theoretische Masse-Volumen-Verhältnis des Materials selbst wider.

Bei reinem WC wird die wahre Dichte durch seine Kristallstruktur (hexagonales System) bestimmt.

Numerisch

Reines WC: Die wahre Dichte beträgt 15,63 g/cm³ (theoretischer Wert, basierend auf den Gitterparametern a=2,906 Å, c=2,837 Å).

Verbundpulver: z. B. WC-Co, die wahre Dichte wird durch die Zugabe einer Bindephase reduziert (z. B. Co-Dichte 8,90 g/cm³).

Pulvertyp	Klebphase (%)	Wahre Dichte (g/cm ³)
WC	0	15,63
WC-12Co	Co: 12	14,0-14,5
WC-10Co-4Cr	Co: 10, Cr: 4	13,8-14,2

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

Bestimmungsmethode

Gasverdrängungsmethode (Helium-Dichtemethode):

Prinzip: Füllen Sie die Poren einer Pulverprobe mit Helium und bestimmen Sie das Feststoffvolumen.

Ausrüstung: Heliumpyknometer (z. B. Micromeritics AccuPyc).

Vorgehensweise: Wiegen Sie die Probe (5 g), geben Sie sie in eine abgedichtete Kammer, leiten Sie Helium ein, zeichnen Sie das Abgasvolumen auf und berechnen Sie die wahre Dichte.

Formel:

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

Wobei V fest das feste Volumen ist.

Genauigkeit: ±0,01 g/cm³.

Anwendung

Überprüfen Sie die Reinheit des Pulvers (z. B. freier Kohlenstoff < 0,1 % in WC).

Berechnen Sie die theoretische Dichte von Verbundwerkstoffen, um die Formulierungsgestaltung zu steuern.

3. Schüttdichte

Definition

Die Schüttdichte ist die Dichte von Wolframcarbidpulver in einem natürlich gestapelten Zustand, nachdem es ohne Vibration oder Kompression frei in einen Behälter gefallen ist, einschließlich der Zwischenräume zwischen den Partikeln.

Numerisch

Reines WC: 4,2–5,0 g/cm³, je kleiner die Partikelgröße, desto geringer die Dichte.

Verbundpulver: z. B. WC-12Co, 4,0-4,5 g/cm³, aufgrund der geringeren Dichte der Bindephase.

Pulvertyp	Partikelgröße (μm)	Schüttdichte (g/ cm ³)	Porenanteil (%)
WC (ultrafein)	0,5-1	4,2-4,5	71-73

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pulvertyp	Partikelgröße (μm)	Schüttdichte (g/ cm ³)	Porenanteil (%)
WC (mittel)	2-5	4,8-5,0	68-69
WC-12Co	15-45	4,0-4,5	68-71

Datenquelle: Ein Labortest im Jahr 2023, Informationen von der Website China Tungsten Online.
Porenverhältnis = $(1 - \text{Schüttdichte/wahre Dichte}) \times 100 \%$.

Bestimmungsmethode

Standard: ASTM B212 oder ISO 3923-1.

Prinzip: Um das natürliche Ansammlungsvolumen zu ermitteln, schütten Sie das Pulver durch einen Trichter in den Messzylinder.

Schritt:

Das Pulver wurde getrocknet (105 °C, 2 h, Feuchtigkeit < 0,1 %).

50 g Pulver mittels Trichter (Öffnung 5-10 mm) in einen 100 cm³ Messzylinder mit einer Fallhöhe von 10-15 cm einfüllen.

Verwenden Sie einen Schaber, um die Oberfläche zu ebnen, notieren Sie das Volumen (V) und wiegen Sie die Masse (m).

Berechnung: Schüttdichte = m/V.

Genauigkeit: ±0,01 g/cm³.

Einflussfaktoren

Kleine Partikelgröße, hohe Porosität und geringe Dichte.

Unregelmäßige Partikel oder Feuchtigkeit (>0,2%) verringern die Dichte.

Anwendung

Bewerten Sie die anfängliche Ladungseffizienz und leiten Sie Press- und Sprühprozesse.

Überprüfen Sie die Konsistenz der Partikeleigenschaften zwischen den Chargen.

4. Klopfdichte

Definition

Die Klopfdichte ist die Dichte des Wolframkarbidpulvers, nachdem die Partikel durch Vibration oder Klopfen in einen dichteren Zustand umgelagert wurden und die Porosität geringer ist als die Schüttdichte.

Numerisch

Reines WC: 5,3–6,2 g/cm³, 10–20 % höher als die Schüttdichte.

Verbundpulver: z. B. WC-12Co, 4,8–5,2 g/cm³.

Pulvertyp	Partikelgröße (μm)	Stampfdichte (g/cm ³)	Zunahme(%)
WC (ultrafein)	0,5-1	5,3-5,6	24-26
WC (mittel)	2-5	5,8-6,2	20-24
WC-12Co	15-45	4,8-5,2	15-20

Von einem Labor im Jahr 2023 getestet, Informationen von China Tungsten Online. Zunahme = $(\text{Stampfdichte} - \text{Schüttdichte}) / \text{Schüttdichte} \times 100 \%$.

Bestimmungsmethode

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Standard: ASTM B527 oder ISO 3953.

Prinzip: Die Pulverpartikel werden durch einen Vibrator neu angeordnet und das stabile Volumen bestimmt.

Schritt:

wie bei der Schüttgutmethode und erfassen Sie das Anfangsvolumen.

In einen Vibrationskompaktor (Amplitude 3 mm, Frequenz 60 Hz) geben und 200 Mal oder bis zur Stabilisierung der Lautstärke vibrieren lassen.

das Volumen (V') nach der Verdichtung und wiegen Sie die Masse (m).

Berechnung: Klopfdichte = m/V' .

Genauigkeit: $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Einflussfaktoren

Nach der Vibration sind die kugelförmigen Partikel dicht angeordnet und weisen eine hohe Dichte auf.

Wenn die Anzahl der Verdichtungen nicht ausreicht (<100 -mal), ist die Dichte gering, und wenn sie zu oft erfolgt (>300 -mal), ergibt sich keine nennenswerte Änderung.

Anwendung

Leiten Sie Press- und Sinterprozesse und sagen Sie die Dichte voraus.

Optimieren Sie die Effizienz der Silobefüllung.

5. Scheinbare Dichte und andere Dichteaussdrücke

Scheinbare Dichte

Definition: Die Dichte eines Pulvers, gemessen mit einem speziellen Gerät (z. B. einem Hall-Durchflussmesser). Sie ähnelt in der Regel der Schüttdichte, hat aber eher etwas mit der Fließfähigkeit zu tun.

Wert: WC-Pulver $4,0-5,0 \text{ g/cm}^3$, WC-Co-Pulver $4,0-4,5 \text{ g/cm}^3$.

Bestimmungsmethode:

Standard: ASTM B212 oder ISO 3923-2.

Vorgehensweise: Sammeln Sie 50 g Pulver mit einem Hall-Durchflussmesser (Öffnung 2,5 mm), zeichnen Sie das Volumen auf und berechnen Sie die Dichte.

Anwendung: Bewertung des Pulververhaltens in dynamischen Prozessen wie der Sprühpulverzufuhr.

Andere Dichtedarstellungen

Verdichtete Dichte:

Definition: Die Dichte eines Pulvers während des Verdichtungsprozesses, die nahe an der Stampfdichte liegt, aber vom Druck beeinflusst wird.

Wert: WC-Pulver $6,0-8,0 \text{ g/cm}^3$ (nach dem Pressen).

Anwendung: Hartmetallumformung.

Sinterdichte:

Definition: Die Dichte eines festen Blocks nach dem Sintern des Pulvers, nahe der wahren Dichte.

Wert: WC-basiertes Hartmetall $14,0-15,5 \text{ g/cm}^3$.

Anwendung: Überprüfung der Sinterqualität.

Scheinbare Dichte:

Definition: Das scheinbare Masse-Volumen-Verhältnis eines Pulvers in einem bestimmten Behälter, der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

üblicherweise für Lagerung und Transport verwendet wird.

Wert: Ähnlich der Schüttdichte, 4,0-5,0 g/cm³.

Experimentelle Daten

Pulvertyp	Wahre Dichte (g/cm ³)	Schüttdichte (g/cm ³)	Stampfdichte (g/cm ³)	Schüttdichte (g/cm ³)
WC (1µm)	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

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, Informationen stammen von der Website China Tungsten Online.

Zusammenfassen

Die Dichte von Wolframkarbidpulver umfasst die tatsächliche Dichte (15,63 g/cm³, WC-Monomer), Schüttdichte (4,2–5,0 g/cm³), Stampfdichte (5,3–6,2 g/cm³), scheinbare Dichte (4,0–5,0 g/cm³) und andere abgeleitete Dichten (wie Verdichtungs- und Sinterdichte). Jede Dichte wird mit einer bestimmten Methode gemessen, wie z. B. dem Heliumverdrängungsverfahren (wahre Dichte), dem Messzylinderverfahren (Schütt-/Stampfdichte) oder dem Hall-Durchflussverfahren (scheinbare Dichte), wodurch die unterschiedlichen Eigenschaften des Pulvers widerspiegelt werden. In der Anwendung dienen diese Dichten als Leitfaden für Hartmetall-, thermische Spritz- und Pulvermetallurgieprozesse, um Fülleffizienz und Produktqualität sicherzustellen (Informationen von der Website China Tungsten Online). Durch Optimierung der Partikelform und der Trocknungsbedingungen kann die Genauigkeit der Dichtemessung verbessert werden.



Kapitel 2: Herstellungsverfahren für Wolframcarbidpulver

Wolframcarbidpulver (WC) ist das Grundmaterial für Hartmetall und verschleißfeste Beschichtungen. Seine Eigenschaften (wie Härte HV 2000–2500 und Korngröße 0,1–10 μm) werden direkt von der Herstellungsmethode beeinflusst. Der Herstellungsprozess hat sich von den Laboruntersuchungen im späten 19. Jahrhundert bis zur modernen industriellen Produktion entwickelt, und es sind verschiedene technische Verfahren entstanden. Dieses Kapitel stellt systematisch die wichtigsten Herstellungsverfahren für Wolframcarbidpulver vor, darunter traditionelles Hochtemperaturaufkochen, chemische Gasphasenabscheidung (CVD), mechanisches Legieren, Plasmaverfahren und neue Technologien wie das thermische Lösungsmittelverfahren. Es analysiert deren Prinzipien, Prozessparameter, Produkteigenschaften sowie Vor- und Nachteile und bietet dem Leser einen umfassenden technischen Überblick.

2.1 Hochtemperatur-Karbonisierungsverfahren von Wolframcarbidpulver

Die Hochtemperatur-Aufkohlung von Wolframcarbidpulver ist die am weitesten verbreitete Technologie in der industriellen Produktion. Ihre Geschichte lässt sich auf die Entwicklung von Widia-Werkzeugen in Deutschland im frühen 20. Jahrhundert zurückführen. Mittlerweile ist sie das grundlegende Verfahren in der Hartmetallindustrie. Bei diesem Verfahren reagiert Wolframpulver bei hohen Temperaturen direkt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

mit einer Kohlenstoffquelle, um Wolframcarbidpulver (WC) herzustellen. Dank seines ausgereiften Prozesses, der hohen Ausbeute und der kontrollierbaren Kosten trägt es zu über 80 % der weltweiten Wolframcarbidpulverproduktion bei (ITIA 2023). Dieser Abschnitt analysiert dieses gängige Herstellungsverfahren umfassend hinsichtlich Reaktionsmechanismus, Prozessablauf, Geräteauswahl, Parameteroptimierung, Produkteigenschaften, industrieller Anwendung und technischer Einschränkungen.

2.1.1 Grundprinzipien der Hochtemperaturkarbonisierung von Wolframcarbidpulver

Das Hochtemperatur-Karbonisierungsverfahren beruht auf einer Festkörperdiffusionsreaktion. Wolframpulver (W) und eine Kohlenstoffquelle (z. B. Ruß) werden bei hohen Temperaturen (1800–2000 °C) chemisch zu Wolframcarbidpulver (WC) kombiniert. Die Hauptreaktionsformel lautet: $W + C \rightarrow WC$. Die Reaktion ist ein exothermer Prozess mit einer Standardenthalpieänderung von $\Delta H = -38,1 \text{ kJ/mol}$ (25 °C), allerdings ist hohe Hitze erforderlich, um die Kohlenstoffatome zur Diffusion in das Wolframgitter zu aktivieren. Die kubisch-raumzentrierte Struktur von Wolfram (BCC, $a=3,165 \text{ \AA}$) rekombiniert bei hohen Temperaturen mit Kohlenstoffatomen zu hexagonalem WC (Raumgruppe $P6m2$, $a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$, JCPDS 51-0939). Die XRD-Analyse zeigt, dass die charakteristischen Spitzen des Produkts bei $2\theta=35,641^\circ$ (100-Kristallebene) und $48,298^\circ$ (101-Kristallebene) liegen, was die Bildung von einphasigem WC bestätigt.

Argon) Atmosphäre durchgeführt werden, um die Oxidation von Wolfram zu WO_3 (Schmelzpunkt 1473°C) zu vermeiden. Nebenreaktionen sind:



Kohlenstoffmangel $<6,10 \%$) $WC \rightarrow W_2C + C$ $WC \rightarrow W_2C + C$ (Zersetzung $>2100^\circ\text{C}$).

Die Kontrolle des Kohlenstoffgehalts ist entscheidend. Der theoretische Wert liegt bei $6,13 \%$ (Massenanteil), der industrielle Bereich liegt zwischen $6,10 \%$ und $6,18 \%$ (GB/T 4295-2008). Abweichungen beeinflussen Phasenzustand und Leistung.

2.1.2 Prozessablauf der Hochtemperaturkarbonisierung von Wolframcarbidpulver

Das Hochtemperatur-Aufkohlungsverfahren zur industriellen Herstellung von Wolframcarbidpulver umfasst die folgenden Schritte, von denen jeder genau kontrolliert werden muss, um die Produktkonsistenz sicherzustellen:

Rohstoffauswahl und -aufbereitung

Wolframpulver

Reinheit $> 99,9 \%$, Sauerstoffgehalt $< 0,03 \%$ (300 ppm), FSSS-Partikelgröße $1-10 \mu\text{m}$ (GB/T 25995).

Die Quelle ist üblicherweise wasserstoffreduziertes WO_3 (z. B. APT-reduziertes Wolframpulver aus Zhuzhou, China).

Kohlenstoffquelle

Hochreiner Ruß (C, Reinheit $> 99,9 \%$, Partikelgröße $< 1 \mu\text{m}$, spezifische Oberfläche $> 10 \text{ m}^2/\text{g}$) oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Graphitpulver (Partikelgröße 5–20 µm , geringere Kosten, aber etwas weniger aktiv).

Verhältnis

Das W:C-Molverhältnis beträgt 1:1,03–1,05, mit einem leichten Kohlenstoffüberschuss, um Verflüchtigung und Nebenreaktionen (wie z. B. W₂C-Bildung) auszugleichen.

mischen

Verwenden Sie eine Planetenkugelmühle (z. B. Fritsch Pulverisette 6) mit einem Kugel-Material-Verhältnis von 5:1–10:1, WC- oder Stahlkugeln und einer Rotationsgeschwindigkeit von 150–300 U/min für 2–4 Stunden.

Zusatzstoff

0,5 %–1 % Stearinsäure (um Agglomeration zu verhindern), die Gleichmäßigkeit der Mischung wurde mittels SEM überprüft (Partikelverteilung RSD < 5 %).

Umfeld

Inerte Atmosphäre (Ar) oder Vakuum, um Oxidation zu vermeiden.

Beladung und Vorbehandlung

Das gemischte Pulver wurde in ein Graphitschiffchen (Reinheit > 99,95 %, Größe 50 × 20 × 10 cm) mit einer Packungsdichte von 0,5–0,8 g/cm³ gefüllt.

Vorheizen

300–500 °C, 30–60 Minuten lang H₂ (0,2–0,5 l/min) durchleiten, um Feuchtigkeit und flüchtige Stoffe zu entfernen.

Hochtemperaturkarbonisierung

Ausrüstung

Rohröfen (Einzelrohr, Innendurchmesser 10–20 cm) oder kontinuierlicher Schubschifföfen (mehrere Schiffchen, Leistung >100 kg/Charge).

Temperatur

1800–2000 °C, Heizrate 5–10 °C/min, 2–4 Stunden warm halten.

Atmosphäre

H₂ (Durchflussrate 0,5–1 l/min) reduziert WO_x und Ar (0,2–0,5 l/min) verhindert ein Überbrennen .

Monitor

Thermoelement (Typ W-Re, Genauigkeit ±5 °C), Online-Gasanalysator (Erkennung von CO, CO₂).

Kühlung und Nachbearbeitung

Natürliche Abkühlung auf <100 °C (Ar- Atmosphäre, 6–8 Stunden), um durch schnelles Abkühlen verursachte Risse zu vermeiden.

Schleifen

Luftstrahlmühle oder Kugelmühle, eingestellt auf FSSS 1–5 µm , gesiebt (200 Maschen, entfernt Partikel >10 µm).

Reinigung

Falls erforderlich, mit verdünnter HCl (5 %) waschen, um Oberflächenoxide zu entfernen, und trocknen (80 °C, 2 h).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1.3 Prozessparameter und Steuerung der Hochtemperaturaufkohlung von Wolframcarbidpulver

Temperatur

Bereich: 1800–2000 °C.

<1700 °C: Die Reaktion ist unvollständig und W und W₂C bleiben zurück (XRD erkennt W₂C-Peak, 2θ = 39,5°).

2100 °C: WC zersetzt sich zu freiem Kohlenstoff (> 6,18 %) und W₂C, und die Härte nimmt ab (HV 1600–2000).

Optimierung: 1900 °C ± 20 °C, Karbonisierungseffizienz > 98 % (durch chemische Titration bestätigt).

Kohlenstoffgehalt

Ziel: 6,10 %–6,18 % (GB/T 4295-2008).

Kontrolle: Das anfängliche W:C-Verhältnis beträgt 1:1,05, unter Berücksichtigung der Kohlenstoffverflüchtigung (etwa 0,02 %–0,05 %).

Prüfung: Verbrennungsmethode (GB/T 5124.1), Abweichung ±0,05 %, freier Kohlenstoff <0,5 %.

Eine Atmosphäre

H₂: Durchflussrate 0,5–1 l/min, Druck 0,1–0,2 MPa, Sauerstoffverunreinigungen entfernen (O₂ < 10 ppm).

Ar : Reinheit > 99,99 %, um die Ausfällung von freiem Kohlenstoff durch Überreduktion von H₂ zu verhindern.

Umschaltung: >1500°C kann auf Ar umgeschaltet werden um den Energieverbrauch zu senken.

Isolationszeit

Reichweite: 2–4 Stunden.

<2 Stunden: Karbonisierungsrate <95 %, Rest-W (durch XRD erkannter W-Peak, 2θ=40,3°).

4 Stunden: Die Körner werden größer (>10 µm , SEM-Beobachtung) und die Härte nimmt ab.

Optimierung: 3 Stunden ± 15 Minuten, die Korngleichmäßigkeit ist am besten (RSD < 10 %).

Heizrate

5–10 °C/min. Zu schnell (> 15 °C/min) führt zu einem Temperaturgradienten im Boot (> 50 °C) und einem ungleichmäßigen Produkt.

2.1.4 Ausrüstung und Industrialisierung der Hochtemperaturkarbonisierung von Wolframcarbidpulver

Gerätetyp

Rohröfen: Einzelcharge 10–50 kg, geeignet für kleine und mittlere Maßstäbe (wie Labore oder kleine Fabriken).

Beispiel: Eine Fabrik in Changsha, China, verwendet einen Röhrenofen mit einem Innendurchmesser

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von 15 cm und produziert 30 kg pro Tag.

Schubschifföfen: kontinuierliche Produktion, Einzelöfen > 100 kg/Charge, gängige Wahl in der Industrie.
Beispiel: Die Zhuzhou Cemented Carbide Factory verwendet einen 10-Schiffchen-Schubschifföfen mit einer Jahresproduktion von 10.000 Tonnen.

Hauptkomponenten: Graphitschiffchen (Temperaturbeständigkeit >2200°C), W-Re-Thermoelement, SiC- Heizelement.

Energieverbrauch und Energieeffizienz

Energieverbrauch: ca. 5000–6000 kWh pro Tonne Wolframcarbidpulver (inkl. Heizung und Isolierung).
Effizienz: Ein einzelner Ofenzyklus dauert 12–16 Stunden (einschließlich Abkühlung) und der Schubschifföfen erreicht eine Geräteauslastung von 90 %.

Eine Automatisierung

Moderne Geräte sind mit einer SPS-Steuerung (Siemens S7-300) ausgestattet, um Temperatur, Atmosphäre und Abgaszusammensetzung ($\text{CO} < 0,1 \%$) in Echtzeit zu überwachen.

2.1.5 Produkteigenschaften des Hochtemperatur-Karbonisierungsverfahrens für Wolframcarbidpulver

Chemische Zusammensetzung

Gesamtkohlenstoff: 6,10 % – 6,18 % (Verbrennungsmethode, GB/T 5124.1).

Freier Kohlenstoff: <0,5 % (Titrationsmethode, GB/T 5124.2).

Verunreinigungen: Fe <0,05 %, O <0,02 % (ICP-OES, GB/T 5124.4).

Physikalische Eigenschaften

Korngröße: 1–5 μm (FSSS, GB/T 25995), einstellbar auf 0,5–10 μm (SEM-Verifizierung).

Schüttdichte: 12,0–14,0 g/cm^3 (Scott-Volumenmessgerät, GB/T 5314).

Morphologie: Polyedrische Partikel mit scharfen Kanten und einer Oberflächenrauheit Ra 0,1–0,5 μm (gemessen mit AFM).

Spezifische Oberfläche: 0,5–2 m^2/g (BET-Methode), steigt mit abnehmender Partikelgröße.

Mikrostruktur

Einphasiges WC (XRD, stärkster Peak bei $2\theta=35,641^\circ$), keine W_2C - oder freien Kohlenstoffpeaks.

Die Korngrenzen sind klar und es gibt wenige Defekte (TEM-Beobachtung, Gitterabstand $d=2,518 \text{ \AA}$).

Leistung

Härte: HV 2000–2200 (ASTM E384, Belastung 1 kg).

Druckfestigkeit: >4000 MPa nach dem Sintern (WC-Co, Co 10%).

2.1.6 Industrielle Anwendung und Fälle der Hochtemperaturkarbonisierung von Wolframcarbidpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Hartmetallwerkzeuge

Zhuzhou Cemented Carbide Plant, China: Jahresproduktion von 12.000 Tonnen Wolframcarbidpulver (2023), FSSS 2-5 μm , für Drehwerkzeuge und Fräser (Härte HV 1500-1800, Lebensdauer >500 Minuten).

Sandvik, Schweden: Verwenden Sie 1–3 μm WC-Pulver zur Herstellung von CNC-Werkzeugen mit einer Schnittgeschwindigkeit von >200 m/min.

Verschleißfeste Teile

Kennametal, USA: 5–10 μm WC-Pulver wird zur Herstellung von Bergbaubohrern verwendet, mit einer Schlagfestigkeit von >25 J/cm² und einer um das Dreifache verlängerten Lebensdauer.

Eine Mine in Luoyang, China: WC-Pulver wird in Gesteinsbohrwerkzeugen verwendet und seine Verschleißfestigkeit ist besser als die von Schnellarbeitsstahl (Verschleißrate <0,01 mm³/N·m).

Internationale Standards

GB/T 4295-2008: Gesamtkohlenstoffabweichung $\pm 0,05\%$, freier Kohlenstoff <0,5 %.

ISO 4499-2:2020: Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Korngröße (RSD < 10 %).

2.1.7 Vorteile, Nachteile und Verbesserungsvorschläge der Hochtemperaturkarbonisierung von Wolframcarbidpulver

Vorteil

Ausgereifte Technologie: 100-jährige Geschichte, weltweit einsetzbar, stabile Technologie.

Große Produktion: Einzelofen > 100 kg, deckt den industriellen Bedarf (z. B. entfallen 50 % der weltweiten Produktion auf China, etwa 30.000 Tonnen/Jahr).

Niedrige Kosten: 50–80 Yuan/kg (China Tungsten Online 2023), was wirtschaftlicher ist als die CVD-Methode (500–1000 Yuan/kg).

Kontrollierbare Qualität: Erfüllt die Hartmetallstandards (HV 1500–2200).

S kurzfristig

Hoher Energieverbrauch: 5000–6000 kWh/Tonne, Kohlenstoffemissionen von etwa 2–3 Tonnen CO₂/Tonne (hauptsächlich elektrische Heizung).

Grobe Körner: >1 μm , was die Herstellung von WC im Nanomaßstab (<100 nm) erschwert und High-End-Anwendungen einschränkt.

Chargenvariabilität: Der Temperaturgradient zwischen den Booten ($\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) führte zu einer breiten Partikelgrößenverteilung (Spanne > 1,5).

Verbesserungsrichtung

Niedertemperaturkarbonisierung: Durch Zugabe eines Katalysators (z. B. Ni, 0,1 %–0,5 %) wird die Temperatur auf 1500–1600 $^{\circ}\text{C}$ gesenkt, wodurch 20 % Energie gespart werden (wird erforscht).

Kornverfeinerung: Ausgangswolframpulver <1 μm , Haltezeit verkürzen (<2 Stunden), Ziel <0,5 μm .

Ökologisierung: Abgas H₂ recyceln, Rußverbrauch reduzieren und CO₂-Fußabdruck verringern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1.8 Industrieller Status und Perspektiven der Hochtemperaturkarbonisierung von Wolframcarbidpulver

Globale Situation

China: Die jährliche Produktion beträgt 30.000 Tonnen, was 50 % der Weltproduktion entspricht (China Tungsten Online 2023), wobei Hunan und Jiangxi die wichtigsten Produktionsgebiete sind.

Europa und Amerika: Kennametal aus den USA und Ceratizit aus Deutschland produzieren etwa 5.000 Tonnen pro Jahr und legen dabei Wert auf Qualität (Reinheit > 99,95 %).

Technologietrends

Automatisierung: Im Schubschiffen integrierte Sensoren (O₂-, CO-Überwachung) zur Verbesserung der Konsistenz.

Energieeinsparung: Der Widerstandsofen wurde zu einem Induktionsofen aufgerüstet und der Energieverbrauch auf 4000 kWh/Tonne gesenkt (im Pilotstadium).

Nanoverarbeitung: In Kombination mit anschließender mechanischer Vermahlung entsteht WC-Pulver <0,5 µm, um den Anforderungen des 3D-Drucks gerecht zu werden.

Als Eckpfeiler der Wolframcarbidpulverproduktion wird das Hochtemperaturaufkohlungsverfahren auch in Zukunft hinsichtlich Effizienz, Umweltschutz und Verfeinerung weiter optimiert.

2.2 Chemische Gasphasenabscheidung (CVD) von Wolframcarbidpulver

2.2.1 Grundprinzipien der CVD-Methode mit Wolframcarbidpulver

Die chemische Gasphasenabscheidung (CVD) erzeugt Wolframcarbidpulver direkt durch eine Gasphasenreaktion. Die typische Reaktion ist: $\text{WCl}_6 + \text{CH}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{WC} + 6\text{HCl}$ (900–1100 °C). Der gasförmige Vorläufer zersetzt sich bei hohen Temperaturen, und Kohlenstoff- und Wolframatome scheiden sich ab. Es bilden sich WC-Kristalle, die sich zur Herstellung nanometergroßer Pulver eignen.

2.2.2 Prozessablauf der CVD-Methode für Wolframcarbidpulver

Vergasung des Rohstoffs: WCl_6 (Siedepunkt 347°C) wird erhitzt und vergast, CH_4 und H_2 werden im richtigen Verhältnis gemischt.

Reaktion: Gas wird in die Reaktionskammer (Quarzrohr, 900–1100 °C, Druck 10–100 Pa) eingeleitet, um WC abzuscheiden und zu erzeugen.

Sammlung: Das Produkt wird durch einen Kondensator gesammelt und das Restgas (HCl) wird mit einer alkalischen Lösung neutralisiert.

Nachbehandlung: Leicht mahlen und auf Zielpartikelgröße (<100 nm) sieben.

2.2.3 Prozessparameter der CVD-Methode mit Wolframcarbidpulver

Temperatur: 900–1100 °C. Bei zu hoher Temperatur entsteht W_2C . Bei zu niedriger Temperatur ist die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Reaktion unvollständig.

Druck: 10–100 Pa, niedriger Druck begünstigt die Bildung von Nanopartikeln.

Gasverhältnis: $\text{CH}_4 : \text{WCl}_6 = 1 : 1-1,5:1$, H_2 im Überschuss (10-20-fach), um WCl_6 zu reduzieren .

2.2.4 Produkteigenschaften des Wolframcarbidpulver-CVD-Verfahrens

Korngröße: 20–100 nm (TEM-Messung).

Reinheit: >99,95 %, Sauerstoffgehalt <50 ppm.

Morphologie: Nahezu kugelförmig, spezifische Oberfläche 20–50 m²/g (BET-Methode).

2.2.5 Vor- und Nachteile der CVD-Methode mit Wolframcarbidpulver

Vorteile: kleine Partikelgröße, hohe Reinheit, geeignet für hochpräzise Anwendungen.

Nachteile: komplexe Ausrüstung (Vakuumsystem), geringe Leistung (kg-Niveau/Charge), hohe Kosten (ca. 500–1000 Yuan/kg).

2.2.6 Anwendung der CVD-Methode mit Wolframcarbidpulver

Wird für Flugzeugbeschichtungen und Katalysatorträger verwendet. Beispielsweise verwendet GE in den USA das CVD- Verfahren zur Herstellung von WC-Beschichtungen (Härte HV 2600) mit einer Temperaturbeständigkeit von >1200 °C.

2.3 Mechanisches Legieren von Wolframcarbidpulver

2.3.1 Grundlagen der mechanischen Legierung von Wolframcarbidpulver

Beim mechanischen Legieren (MA) werden Wolframpulver und Kohlenstoffpulver durch energiereiches Kugelmahlen im festen Zustand zu WC umgesetzt. Mechanische Energie induziert atomare Diffusion und Gitterrekonstruktion. Die Reaktionsformel entspricht der Hochtemperaturaufkohlung ($\text{W} + \text{C} \rightarrow \text{WC}$).

2.3.2 Prozessablauf der mechanischen Legierung von Wolframcarbidpulver

Rohstoffmischung: Wolframpulver (1-5 μm) und Ruß (<1 μm) werden im Molverhältnis 1:1,05 gemischt.

Kugelmahlen: In eine Hochenergie-Kugelmühle (Planetenmühle, Kugel-Material-Verhältnis 10:1, Rotationsgeschwindigkeit 300–500 U/min) geben und 20–50 Stunden in einer inerten Atmosphäre (Ar) mahlen.

Nachbearbeitung: Sieben zur Entfernung großer Partikel, Produktpartikelgröße <100 nm.

2.3.3 Prozessparameter der mechanischen Legierung von Wolframcarbidpulver

Rotationsgeschwindigkeit: 300–500 U/min. Eine zu niedrige Geschwindigkeit führt zu einer unvollständigen Reaktion, eine zu hohe Geschwindigkeit führt zu Verunreinigungen (wie etwa Fe).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mahlzeit: 20–50 Stunden, XRD-Erkennung der WC-Phasenbildung.

Kugel-Material-Verhältnis: 10:1–15:1, WC-Kugeln werden häufig verwendet, um Verunreinigungen zu vermeiden.

2.3.4 Produkteigenschaften des mechanischen Legierungsverfahrens für Wolframkarbidpulver

Korngröße: 50–100 nm (TEM).

Reinheit: >99 %, Fe-Verunreinigung <0,1 % (ICP-OES).

Morphologie: unregelmäßige Partikel mit vielen Korngrenzendefekten.

2.3.5 Vor- und Nachteile der mechanischen Legierung von Wolframkarbidpulver

Vorteile: niedrige Temperatur (<100°C), geringer Energieverbrauch, geeignet für Nano-WC.

Nachteile: Risiko der Einschleppung von Verunreinigungen und langer Produktionszyklus (Stunden).

2.3.6 Anwendung der mechanischen Legierungsmethode von Wolframkarbidpulver

Für ultrafeines Hartmetall, wie z. B. PCB-Mikrobohren (Korn <0,5 µm, Härte HV 2200).

2.4 Plasmaverfahren mit Wolframkarbidpulver

2.4.1 Grundprinzipien des Wolframkarbid-Pulverplasmaverfahrens

Das Plasmaverfahren nutzt Hochtemperaturplasma (> 5000 °C), um Wolframpulver und Kohlenstoffquelle sofort reagieren zu lassen und WC zu erzeugen. Heißes Plasma bietet eine hohe Energiedichte und fördert die Gasphasen- oder Flüssigphasenreaktion.

2.4.2 Prozessablauf des Wolframkarbid-Pulverplasmaverfahrens

Rohstoffzufuhr: Wolframpulver und CH₄ werden durch Trägergas (Ar) in die Plasmakanone geleitet.

Reaktion: Plasma (Leistung 10-50 kW, Temperatur 5000-10000°C) zersetzt CH₄, das Wolfram schmilzt und reagiert mit Kohlenstoff.

Abkühlung: Das Produkt wurde in einer Kondensationskammer schnell abgekühlt (10⁶ °C/s) und das Pulver gesammelt.

2.4.3 Prozessparameter des Wolframkarbid-Pulverplasmaverfahrens

Leistung: 10–50 kW, beeinflusst die Partikelgröße.

Gasdurchflussrate: Ar 20–50 l/min, CH₄ 1–5 l/min.

Abkühlrate: >10⁵ °C/s, um Kornwachstum zu vermeiden.

2.4.4 Produkteigenschaften des Wolframkarbidpulver-Plasmaverfahrens

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Korngröße: 50-200 nm.

Reinheit: >99,9 %, Sauerstoffgehalt <100 ppm.

Aussehen: Kugelförmige Partikel, gute Fließfähigkeit (>20 s/50g).

2.4.5 Vor- und Nachteile des Wolframkarbid-Pulverplasmaverfahrens

Vorteile: kleine und kugelförmige Partikel, zum Sprühen geeignet.

Nachteile: Teure Ausrüstung (Millionen Dollar) und hoher Energieverbrauch.

2.4.6 Anwendung des Wolframkarbid-Pulverplasmaverfahrens

Wird für HVOF-Sprühbeschichtungen verwendet, beispielsweise WC-Pulver vom schwedischen Hersteller Sandvik (Härte HV 1200–1400).

2.5 Solvothermales Verfahren zur Herstellung von Wolframkarbidpulver

2.5.1 Grundprinzipien der Solvothermalmethode mit Wolframkarbidpulver

Die Solvothermalmethode synthetisiert WC bei niedriger Temperatur (<300 °C) durch eine Flüssigphasenreaktion unter Ausnutzung des hohen Lösungsmitteldrucks und der Zersetzung der organischen Kohlenstoffquelle im Autoklaven. Beispiel: $\text{WO}_3 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{WC} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

2.5.2 Prozessablauf der thermischen Lösungsmittel-Methode für Wolframkarbidpulver

Rohstoffaufbereitung: WO_3 und Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) werden im Molverhältnis 1:2 in Wasser gelöst.

Reaktion: Die Lösung wird für 12–24 Stunden in einen Autoklaven bei 200–300 °C und einem Druck von 10–20 MPa gegeben.

Nachbehandlung: Filtrieren, Waschen (deionisiertes Wasser), Trocknen (80 °C) und Mahlen auf <100 nm.

2.5.3 Prozessparameter der Wolframkarbidpulver-Solvothermalmethode

Temperatur: 200–300 °C, unter 200 °C ist die Reaktion unvollständig.

Druck: 10–20 MPa, beeinflusst die Karbonisierungseffizienz.

Zeit: 12–24 Stunden, XRD erkennt WC-Phase.

2.5.4 Produkteigenschaften von Wolframkarbidpulver mittels Solvothermalverfahren

Korngröße: 20-50 nm.

Reinheit: >99 %, Sauerstoffgehalt <200 ppm.

Morphologie: Fast kugelförmig, mit weniger Agglomeration.

2.5.5 Vor- und Nachteile der Solvothermalmethode für Wolframkarbidpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorteile: niedrige Temperatur und Energieeinsparung, kleine Partikelgröße, umweltfreundlich.

Nachteile: geringe Ausbeute (g-Qualität/Charge), das Verfahren ist noch nicht ausgereift.

2.5.6 Anwendung der Solvothermalmethode für Wolframkarbidpulver

Forschungsphase, für den Einsatz in Brennstoffzellenelektroden (spezifische Oberfläche > 50 m²/g).

Verweise

GB/T 4295-2008, *Wolframkarbidpulver*, Nationale Standardisierungsbehörde der Volksrepublik China, 2008.

Es werden die technischen Anforderungen und Prüfmethoden für Wolframkarbidpulver festgelegt, die für die Produktqualitätskontrolle bei Prozessen wie der Hochtemperaturaufkohlung anwendbar sind.

GB/T 5124.1-2008, Methoden zur chemischen Analyse von Hartmetall – Teil 1: Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts, Nationale Standardisierungsbehörde der Volksrepublik China, 2008.

Das Verbrennungsverfahren dient der Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts in Hartmetall und wird zur Überprüfung der Zusammensetzung von Wolframkarbidpulver verwendet.

GB/T 5124.2-2008, Methoden zur chemischen Analyse von Hartmetall – Teil 2: Bestimmung des freien Kohlenstoffgehalts, Nationale Standardisierungsbehörde der Volksrepublik China, 2008.

Die Säureauflösungs-Titrationsmethode dient der Bestimmung von freiem Kohlenstoff und wird zur Bewertung der Reinheit des durch die Hochtemperaturkarbonisierungsmethode hergestellten Produkts verwendet.

Hartmetall – Teil 4: Bestimmung von Verunreinigungselementen, Nationale Standardisierungsbehörde der Volksrepublik China, 2008.

Die ICP-OES-Methode ist für die Bestimmung von Verunreinigungen wie Fe spezifiziert und wird zur Qualitätsanalyse von Hochtemperaturaufkohlungs- und mechanischen Legierungsverfahren verwendet.

GB/T 5314-2011, *Pulver für Hartmetall*, Nationale Standardisierungsbehörde der Volksrepublik China, 2011.

Gibt die technischen Anforderungen und Tests der physikalischen Eigenschaften von Hartmetallpulvern an, die auf verschiedene Herstellungsverfahren anwendbar sind.

GB/T 25995-2010, Wolframpulver und Wolframkarbidpulver – Bestimmung der *Partikelgröße mit dem Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS)*, National Standardization Administration of China, 2010.

Die Bestimmungsmethode des Fisher-Partikelgrößenanalysators ist für die Partikelgrößenkontrolle in Prozessen wie der Hochtemperaturkarbonisierung spezifiziert.

Zhang Lide, *Nanomaterialien und Nanostrukturen*, Science Press, 2002.

Einführung in die Herstellungstechnologie von Nanomaterialien, einschließlich der Grundprinzipien von CVD und mechanischer Legierung.

der Entwicklung der chinesischen Wolframindustrie, Metallurgical Industry Press, 1998.

Protokolliert den Industrialisierungsprozess von Wolframkarbidpulver in China, einschließlich Anwendungsfällen der Hochtemperatur-Aufkohlungsmethode.

Lassner, E., & Schubert, WD (1999). *Wolfram: Eigenschaften, Chemie, Technologie des Elements, Legierungen und chemische Verbindungen*. Springer.

Umfassende Einführung in die Eigenschaften und Herstellungstechnologie von Wolfram und seinen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verbindungen, einschließlich Hochtemperaturaufkohlung, CVD und anderen Methoden.

Upadhyaya, GS (1998). *Hartmetalle: Herstellung, Eigenschaften und Prüfung*. William Andrew Verlag. Die industrielle Produktion und Leistungsprüfung von Wolframcarbidpulver werden ausführlich beschrieben, wobei der Schwerpunkt auf der Aufkohlung bei hohen Temperaturen und der mechanischen Legierung liegt.

German, RM (1994). *Pulvermetallurgie*. Verband der Metallpulverindustrie.

Eine systematische Einführung in die Pulvermetallurgie-Technologie, einschließlich Theorie und Praxis mechanischer Legierungs- und Plasmamethoden.

International Tungsten Industry Association (ITIA) (2023). „Wolframstatistik 2023“, *ITIA-Jahresbericht*. Bietet Daten zur weltweiten Produktion von Wolfram- und Wolframcarbidpulver und spiegelt die gängige Position des Hochtemperaturaufkohlungsverfahrens wider.

Standardprüfverfahren für die Mikroindruckhärte von Materialien. ASTM International.

Gibt die Mikrohärte-Testmethode an, die zur Bewertung der Eigenschaften von Wolframcarbidpulver nach dem Sintern verwendet wird.

ISO 4499-2:2020 (2020). *Hartmetalle – Metallographische Bestimmung der Mikrostruktur – Teil 2: Messung der WC-Korngröße*. Internationale Organisation für Normung.

Gibt eine Methode zur mikroskopischen Bestimmung der WC-Korngröße an, die für die Qualitätskontrolle von Hochtemperatur-Karbonisierungsprodukten geeignet ist.

Benjamin, JS (1970). „Dispersionsverstärkte Superlegierungen durch mechanisches Legieren“, *Metallurgical Transactions*, Band 1, S. 2943-2951.

Die mechanische Legierungstechnologie wurde erstmals vorgeschlagen und legte damit den Grundstein für ihre Verwendung bei der Herstellung von Wolframcarbidpulver.

Suryanarayana, C. (2001). „Mechanische Legierung und Fräsen“, *Progress in Materials Science*, Band 46, Seiten 1-184.

Die Prozessparameter und Anwendungen der mechanischen Legierung werden überprüft, wobei auch die Nano-Größenbestimmung von Wolframcarbidpulver im Mittelpunkt steht.

Japanische Normungsvereinigung (2005). JIS H 7803:2005, Prüfverfahren für Wolframcarbidpulver. Japanische Normungsvereinigung.

Die chemischen und physikalischen Testmethoden von Wolframcarbidpulver können auf die Produktanalyse der Hochtemperaturaufkohlungsmethode zurückgeführt werden.

ГОСТ 25599.1-83 (1983). „Hartmetallpulver – Verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts“, Staatliches Komitee für Normen der UdSSR.

Der sowjetische Standard legt die Methode der chemischen Analyse des Kohlenstoffgehalts von Hartmetallpulver fest, anwendbar auf die Hochtemperaturaufkohlungsmethode.

DIN EN ISO 4499-2:2020 (2020). Hartmetall – Metallurgische Bestimmung der Mikrostruktur – Teil 2: Messung der WC-Korngröße. Deutsches Institut für Normung.

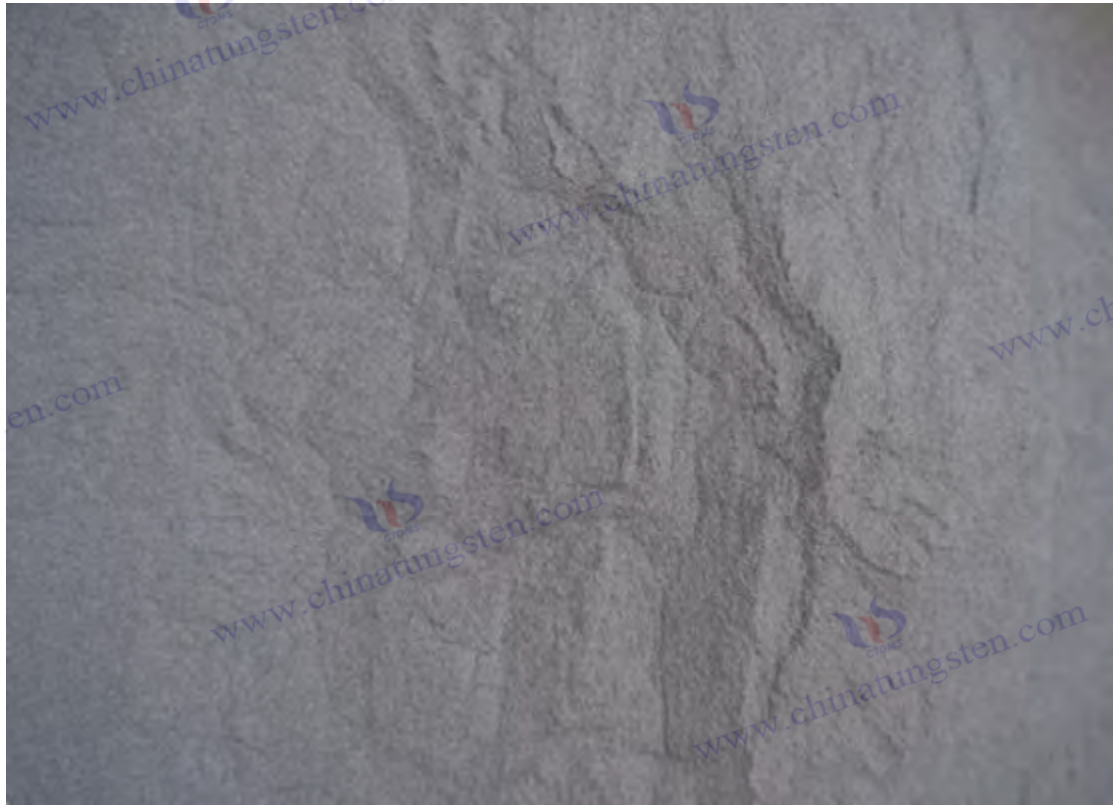
Deutsche Version der ISO-Norm, in Übereinstimmung mit ISO 4499-2, für die Hochtemperatur-Aufkohlungskornanalyse.

KS D 9502:2015 (2015). Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Wolframcarbidpulver. Koreanische Normungsvereinigung.

Der koreanische Standard legt die Testmethode für die Partikelgrößenverteilung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

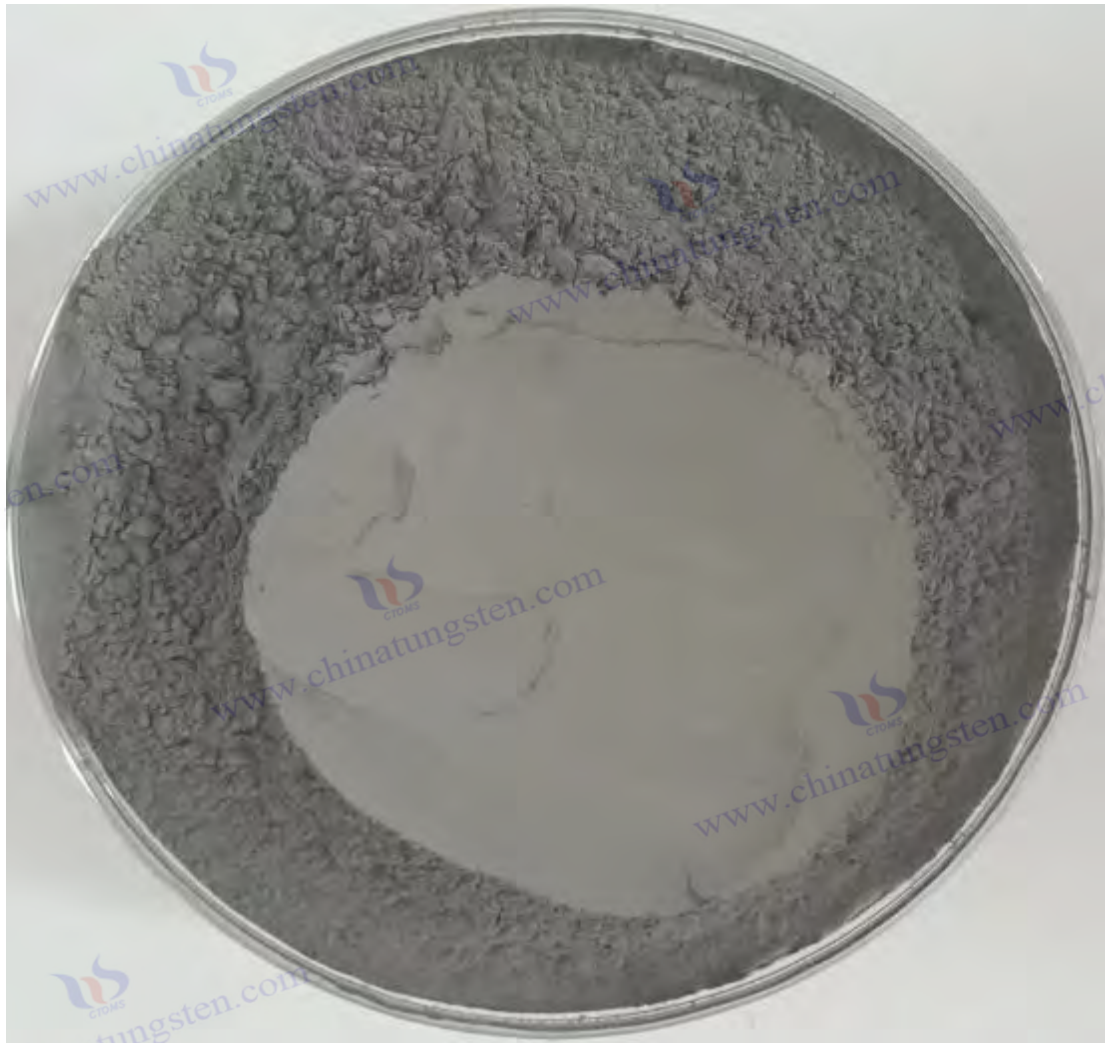
Wolframcarbidpulver fest, die für Produkte aus der Hochtemperaturaufkohlungsmethode verwendet werden kann.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 3: Mikrostruktur und Charakterisierungstechnologie von Wolframcarbidpulver

Wolframkarbidpulver (WC) ist der Kern von Hartmetall, verschleißfesten Beschichtungen und Hochleistungswerkzeugmaterialien. Seine Mikrostruktur und Leistung bestimmen gemeinsam die Qualität des Endprodukts. Von der Kristallanordnung auf atomarer Ebene bis zur morphologischen Verteilung der Partikel, von der präzisen Kontrolle der chemischen Zusammensetzung bis zur umfassenden Bewertung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften sind die Eigenschaften von Wolframkarbidpulver sowohl das Produkt des Herstellungsprozesses als auch der Eckpfeiler der Anwendungswirkung. Beispielsweise können WC-Werkzeuge mit einer Härte von bis zu HV 2000–2500 beim Hochgeschwindigkeitsschneiden scharf bleiben, und WC-Beschichtungen mit hervorragender Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $<0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) können ihre Lebensdauer in rauen Umgebungen verlängern. All dies ist auf die Einzigartigkeit seiner Mikrostruktur zurückzuführen. In diesem Kapitel werden die mikrostrukturellen Eigenschaften und Charakterisierungstechniken von Wolframcarbidpulver anhand ausführlicher Diskussionen in natürlicher Sprache, kombiniert mit wissenschaftlichen Daten und der industriellen Praxis, systematisch vorgestellt. Dabei werden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Röntgenbeugung (XRD), Rasterelektronenmikroskopie (SEM), chemische Analyse und Leistungstestmethoden behandelt. Außerdem wird aufgezeigt, wie diese Eigenschaften vom Labor in die Produktion gelangen. Darüber hinaus werden umfassende Leitlinien für die Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Hartmetallindustrie bereitgestellt.

3.1 Mikrostrukturelle Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

Die Mikrostruktur von Wolframcarbidpulver ist die wesentliche Grundlage seiner Leistungsfähigkeit und umfasst Kristallstruktur, Korngröße, Partikelmorphologie und Defekteigenschaften. Diese Eigenschaften spiegeln nicht nur Unterschiede in den Herstellungsprozessen wider (z. B. grobe Körner bei Hochtemperaturaufkohlung oder nanoskalige Strukturen bei CVD-Verfahren), sondern spielen auch beim Sintern, Pressen oder Sprühen eine Schlüsselrolle.

3.1.1 Kristallstruktur

Der Kern des Wolframcarbidpulvers liegt in seiner hexagonalen Kristallstruktur (Raumgruppe $P6m2$, $a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$, JCPDS 51-0939). Diese enge atomare Anordnung verleiht ihm hervorragende Härte und chemische Stabilität. Wolfram- und Kohlenstoffatome sind abwechselnd gestapelt, und jedes Wolframatom ist von sechs Kohlenstoffatomen umgeben, wodurch ein stabiles hexagonales dicht gepacktes Netzwerk entsteht. Die XRD-Analyse zeigt, dass die charakteristischen Beugungsspitzen von WC bei $2\theta=35,641^\circ$ (100-Kristallebene) und $48,298^\circ$ (101-Kristallebene) liegen. Diese Spitzenpositionen sind die „Fingerabdrücke“ zur Beurteilung der Reinheit des Pulvers. Allerdings ist das ideale einphasige WC in der tatsächlichen Produktion nicht immer leicht verfügbar. Bei unzureichendem Kohlenstoffgehalt ($<6,10 \%$) entsteht die W_2C -Phase ($2\theta = 39,5^\circ$) mit geringer Härte (HV ca. 1800). Bei zu hohem Kohlenstoffgehalt ($>6,18 \%$) scheidet sich freier Kohlenstoff ($2\theta = 26,6^\circ$) aus, was die Sinterfestigkeit schwächt. Diese subtile Veränderung erinnert uns daran, wie wichtig das Kohlenstoffquellenverhältnis und die Atmosphärenkontrolle im Herstellungsprozess sind.

3.1.2 Korngröße und -verteilung

Die Korngröße ist eine Schlüsselvariable in der Mikrostruktur und beeinflusst direkt die mechanischen Eigenschaften von Wolframcarbidpulver. In der Industrie reicht die Korngröße von Nanometern ($<100 \text{ nm}$) bis Mikrometern ($1\text{--}10 \text{ \mu m}$), mit einer gängigen Spezifikation von $1\text{--}5 \text{ \mu m}$. Durch Hochtemperaturaufkohlung lassen sich aufgrund der langfristigen Hochtemperaturreaktion ($1800\text{--}2000^\circ\text{C}$) leicht Körner größer als $5 \text{ \mu m}$ erzeugen, während durch mechanisches Legieren oder Plasmaverfahren durch hohen Energieeintrag und schnelles Abkühlen eine Größe unter 100 nm kontrolliert werden kann. Die Gleichmäßigkeit der Kornverteilung wird durch den Span-Wert ($(D90\text{--}D10)/D50$) gemessen, und für hochwertiges Pulver sind Werte $<1,5$ und $RSD <10 \%$ erforderlich (ISO 4499-2:2020). Feine Körner ($<1 \text{ \mu m}$) verbessern die Härte (HV > 2200) und Verschleißfestigkeit, während grobe Körner ($> 5 \text{ \mu m}$) die Schlagfestigkeit ($> 25 \text{ J/cm}^2$) erhöhen. Dieses Gleichgewicht zwischen Größe und Leistung ist die Kunst des Industriedesigns.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1.3 Partikelmorphologie

Die Partikelmorphologie ist das „äußere Erscheinungsbild“ von Wolframcarbidpulver, das die Fließfähigkeit ($> 20 \text{ s/50 g}$) und das Sinterverhalten beeinflusst. Das durch Hochtemperaturkarbonisierung hergestellte WC ist meist polyedrisch mit scharfen Kanten und einer Oberflächenrauheit von $R_a 0,1\text{--}0,5 \text{ }\mu\text{m}$ (AFM-Messung). Das Plasma- oder CVD-Verfahren erzeugt nahezu kugelförmige Partikel mit einer spezifischen Oberfläche von bis zu $20\text{--}50 \text{ m}^2/\text{g}$ (BET-Methode) und besserer Fließfähigkeit. Nanoskaliges WC agglomert aufgrund seiner hohen Oberflächenenergie leicht. Die harte Agglomeration muss $< 5 \%$ betragen (SEM-Beobachtung), da sonst beim Pressen leicht Defekte auftreten. Die Vielfalt der Morphologie bietet Optionen für unterschiedliche Anwendungen. Beispielsweise eignet sich sphärisches WC besser zum Sprühen, während polyedrisches WC die Sinterbindung begünstigt.

3.1.4 Mängel und Verunreinigungen

Die Mikrostruktur ist nicht perfekt und Korngrenzendefekte und Verunreinigungen sind Faktoren, die nicht ignoriert werden können. TEM zeigt, dass die Versetzungsdichte von WC-Korngrenzen normalerweise $< 10^6/\text{cm}^2$ beträgt. Ein zu hoher Wert ($> 10^7/\text{cm}^2$) verringert die Sinterfestigkeit ($< 4000 \text{ MPa}$). Verunreinigungen wie Fe ($< 0,05 \%$), Mo ($< 0,01 \%$) und O ($< 0,02 \%$) kommen in Spuren vor, beeinträchtigen jedoch die Leistung: Eisen entsteht durch Verunreinigungen beim Kugelmahlen und Sauerstoff durch Oxidation. Beide können bei hohen Temperaturen spröde Phasen (wie Fe_3C) oder Oxide (WO_3) erzeugen und so die Zähigkeit schwächen ($K_{IC} < 10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Die Kontrolle von Defekten und Verunreinigungen ist der Schlüssel zur Verbesserung der Pulverqualität.

3.2 Charakterisierungsmethode für Wolframcarbidpulver

Die Charakterisierungstechnologie ist das „Auge“ zur Erforschung der Mikrostruktur von Wolframcarbidpulver und bietet eine mehrdimensionale analytische Perspektive von der Kristallstruktur bis zur Oberflächenmorphologie. Diese Methoden fördern das grundlegende Verständnis in der wissenschaftlichen Forschung und gewährleisten die Qualitätskonsistenz in der Industrie.

3.2.1 Röntgenbeugung (XRD)

XRD nutzt die Beugung von Röntgenstrahlen und Gittern, um den Phasenzustand und die Kristallparameter von Wolframcarbidpulver zu bestimmen. Geräte wie Bruker D8 Advance verwenden $\text{Cu-K}\alpha$ -Strahlung ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), scannen $2\theta = 20^\circ - 80^\circ$, Schritte von $0,02^\circ$ und Geschwindigkeiten von $2^\circ/\text{min}$. Das Probenvolumen beträgt nur $0,5 - 1 \text{ g}$ und kann nach dem Einebnen getestet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass der Hauptpeak von WC bei $2\theta = 35,641^\circ$ liegt. Wenn W_2C ($39,5^\circ$) oder W ($40,3^\circ$) erscheint, weist dies auf eine unvollständige Karbonisierung hin, und die Genauigkeit des Phasengehalts beträgt $\pm 0,5 \%$. XRD ist zerstörungsfrei und effizient, aber die Nanokorngröße muss in Kombination

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mit der Scherrer-Formel geschätzt werden (Fehler ± 10 nm).

3.2.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Die Rasterelektronenmikroskopie (SEM) nutzt Elektronenstrahlabtastung, um die Partikelmorphologie und Größenverteilung von Wolframkarbidpulver darzustellen. ZEISS Sigma 300-Gerät, Spannung 5–15 kV, Vergrößerung 100–50.000-fach, Auflösung 1 nm. Die Probe muss vergoldet sein (10 nm) und der Vakuumgrad liegt unter 10^{-5} Pa. Das Bild zeigt eine Korngröße von 0,1–10 μm , eine relative Standardabweichung (RSD) von $< 10\%$, und Agglomerationen sind erkennbar. Die Rasterelektronenmikroskopie ist intuitiv, aber auf die Oberfläche beschränkt und muss durch andere Methoden ergänzt werden.

3.2.3 Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)

TEM dringt tief in die atomare Ebene ein, um Gitter und Defekte zu analysieren. Mit dem FEI Tecnai G2 F20 (200 kV)-Gerät wird die Probe per Ultraschall in Ethanol dispergiert (50 W, 5 Minuten), auf ein Kupfernetz aufgetropft und die Auflösung beträgt 0,24 nm. Die Ergebnisse zeigen WC-Gitterränder ($d = 2,518 \text{ \AA}$), und die Versetzungsdichte liegt unter $10^6/\text{cm}^2$, was auf hohe Qualität hindeutet. Obwohl TEM präzise ist, ist die Probenvorbereitung aufwendig und wird hauptsächlich in der wissenschaftlichen Forschung eingesetzt.

3.2.4 Rasterkraftmikroskopie (AFM)

AFM misst die Oberflächenrauheit von Wolframkarbidpulver durch Abtasten mit einer Sonde. Bruker Dimension Icon-Gerät, Siliziumsonde, Abtastung $10 \times 10 \mu\text{m}$, das Ergebnis ist $R_a 0,1\text{--}0,5 \mu\text{m}$, was der spezifischen Oberfläche der BET-Methode entspricht (Abweichung $< 5\%$). AFM eignet sich für die Oberflächenanalyse von Nano-WC, ist jedoch auf kleine Bereiche beschränkt.

3.3 Analyse der chemischen Zusammensetzung von Wolframkarbidpulver

Die chemische Zusammensetzung ist entscheidend für die Qualität von Wolframkarbidpulver und beeinflusst dessen Stabilität und Leistung. Die Analysemethode muss sowohl Genauigkeit als auch Praktikabilität berücksichtigen.

3.3.1 Analyse des Gesamtkohlenstoffs und des freien Kohlenstoffs

Der Gesamtkohlenstoffgehalt wird mittels Hochfrequenz-Infrarot-Absorptionsverfahren (GB/T 5124.1-2008) bestimmt. Das LECO CS-844-Gerät wird bei 1350°C Sauerstoffstrom (2–3 l/min) mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01\%$ betrieben. Das Ergebnis muss zwischen 6,10 % und 6,18 % liegen. Freier Kohlenstoff wird mittels Säurelösungs-Titrationsverfahren (GB/T 5124.2-2008) bestimmt. H_2SO_4 -

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HNO₃ (1:1) wird 30 Minuten lang mit einer Genauigkeit von $\pm 0,005$ % und $< 0,5$ % gelöst. Die Abweichung des Kohlenstoffgehalts wirkt sich direkt auf den Phasenzustand und die Härte aus.

3.3.2 Analyse von Verunreinigungselementen

ICP-OES (GB/T 5124.4-2008) wurde zur Bestimmung von Verunreinigungen wie Fe und Mo eingesetzt. Die Probe wurde mit dem PerkinElmer Optima 8300-Gerät in HNO₃ + HCl gelöst. Die Ergebnisse zeigten, dass Fe $< 0,05$ %, Mo $< 0,01$ % und die Nachweisgrenze bei 0,001 % lag. Die Verunreinigungskontrolle muss bereits bei den Rohstoffen und Prozessen beginnen.

3.3.3 Sauerstoffgehaltsanalyse

Der Sauerstoffgehalt wird durch Inertgassmelzen (ASTM E1019-18) bestimmt. Das LECO ONH836-Gerät arbeitet in Helium bei 1900 °C. Mikron-WC < 100 ppm, Nanometer-WC < 200 ppm. Überschüssiger Sauerstoff verringert die Sinterdichte.

3.4 Prüfung der physikalischen Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

Durch die Prüfung physikalischer Eigenschaften werden Verarbeitungs- und Anwendungseigenschaften bewertet und die Brücke zwischen Mikro und Makro geschlagen.

3.4.1 Partikelgröße und -verteilung

Die Laserbeugungsmethode (GB/T 19077-2016) verwendet den Malvern Mastersizer 3000 mit Brechungsindex 2,5, Opazität 10–20 %, D50 = 1–5 μm , Span $< 1,5$. Das Fisher-Partikelgrößenmessgerät (GB/T 25995-2010) misst 0,5–10 μm , Wiederholgenauigkeit < 3 %. Die Partikelgröße bestimmt das Gleichgewicht zwischen Härte und Schlagfestigkeit.

3.4.2 Schüttdichte und Fließfähigkeit

Die Schüttdichte wird mit einem Scott-Volumenmessgerät (GB/T 5314-2011) gemessen und beträgt 12,0–14,0 g/cm³, RSD < 2 %. Die Fließfähigkeit wird mit einem Hall-Durchflussmesser (ASTM B213-20) gemessen und beträgt > 20 s/50 g. Hohe Dichte und Fließfähigkeit gewährleisten die Formkonsistenz.

3.4.3 Spezifische Oberfläche

BET-Methode (ISO 9277:2010) unter Verwendung von Micromeritics ASAP 2020, Entgasung bei 200 °C, Mikrongröße 0,5–2 m²/g, Nanogröße 20–50 m²/g. Hohe spezifische Oberfläche verbessert die Sinteraktivität.

3.5 Mechanische Eigenschaften und industrielle Anwendungen von Wolframcarbidpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die mechanischen Eigenschaften spiegeln den Anwendungswert von Wolframcarbidpulver wider und müssen durch Standardtests überprüft werden.

3.5.1 Härte

Härteprüfung nach Vickers (ASTM E384-17), Belastung 1 kg, 15 s, Ergebnis HV 2000–2500, Abweichung < 50. Hohe Härte kommt durch feine Körnung und einphasige Struktur zustande.

3.5.2 Verschleißfestigkeit

Trocken-Sand-Gummirad-Test (ASTM G65-16), Sand 50-70 Mesh, Belastung 130 N, Verschleißrate < 0,01 mm³/N·m, besser als Cr₃C₂.

3.5.3 Druckfestigkeit

Einachsiger Druckversuch (ISO 3327:2009), Gerät Instron 5985, >4000 MPa (WC-Co, Co 10 %), Bruchdehnung <1 %.

3.5.4 Industrielle Anwendungsfälle

Ein chinesisches Hartmetallunternehmen verwendet FSSS 2 µm WC-Pulver, HV 2200, und die Standzeit beträgt >500 Minuten. Sandvik verwendet D50 <1 µm WC-Pulver, und die Verschleißfestigkeit der Beschichtung wird um 40 % erhöht. Dieses Pulver wird für Turbinenschaufeln in der Luftfahrt verwendet.

Verweise

GB/T 4295-2008, *Wolframkarbidpulver*, National Standardization Administration of China, 2008. Gibt die technischen Anforderungen und Testmethoden für Wolframkarbidpulver an.

GB/T 5124.1-2008, Methoden zur chemischen Analyse von Hartmetall – Teil 1: Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts, Nationale Standardisierungsbehörde der Volksrepublik China, 2008. Darin ist festgelegt, dass der Gesamtkohlenstoffgehalt mit der Verbrennungsmethode bestimmt werden muss.

GB/T 5124.2-2008, Methoden zur chemischen Analyse von Hartmetall – Teil 2: Bestimmung des freien Kohlenstoffgehalts, Nationale Standardisierungsbehörde der Volksrepublik China, 2008. Darin ist festgelegt, dass der freie Kohlenstoff durch die Säureauflösungs-Titrationsmethode bestimmt werden muss.

Hartmetall – Teil 4: Bestimmung von Verunreinigungselementen, Nationale Standardisierungsbehörde der Volksrepublik China, 2008. Darin wird festgelegt, dass zur Bestimmung der Verunreinigungselemente die ICP-OES-Methode verwendet werden soll.

GB/T 5314-2011, Pulver für Hartmetall, National Standardization Administration of China, 2011. Gibt die Leistungstestmethoden für Hartmetallpulver an.

GB/T 19077-2016, *Partikelgrößenverteilung – Laserbeugungsmethode*, Nationale

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standardisierungsbehörde der Volksrepublik China, 2016.

Zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung ist das Laserbeugungsverfahren spezifiziert.

GB/T 25995-2010, Wolframpulver und Wolframkarbidpulver – Bestimmung der *Partikelgröße mittels Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS)* , National Standardization Administration of China, 2010. Gibt die Methode zur Bestimmung der Partikelgröße mittels Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS) an.

Lassner, E., & Schubert, WD (1999). *Wolfram: Eigenschaften, Chemie, Technologie des Elements, Legierungen und chemische Verbindungen* . Springer. Einführung in die Mikrostruktur und Eigenschaften von Wolframverbindungen.

Upadhyaya, GS (1998). *Hartmetalle: Herstellung, Eigenschaften und Prüfung* . William Andrew Publishing. Detaillierte Beschreibung der Prüfung und Anwendung von Wolframkarbidpulver.

ASTM B213-20 (2020). *Standardprüfverfahren für die Durchflussrate von Metallpulvern unter Verwendung des Hall-Durchflussmesser-Trichters* . ASTM International. Spezifiziert die Verwendung des Hall-Durchflussmessers zur Bestimmung der Fließfähigkeit.

Standardprüfverfahren für die Mikroeindruckhärte von Materialien . ASTM International .

Gibt das Härteprüfverfahren nach Vickers an.

ASTM G65-16 (2016). *Standardprüfverfahren zur Messung des Abriebs mit dem Trockensand-/Gummiradgerät*. ASTM International.

ASTM E1019-18 (2018). *Standardprüfverfahren zur Bestimmung von Kohlenstoff, Schwefel, Stickstoff und Sauerstoff in Stahl-, Eisen-, Nickel- und Kobaltlegierungen mittels verschiedener Verbrennungs- und Inertgasfusionsverfahren* . ASTM International. Legt das Verfahren zur Bestimmung des Sauerstoffgehalts fest.

ISO 3327:2009 (2009). *Hartmetalle – Bestimmung der Biegebruchfestigkeit* . Internationale Organisation für Normung. Legt ein Prüfverfahren für die Druckfestigkeit fest.

ISO 4499-2:2020 (2020). *Hartmetalle – Metallographische Bestimmung der Mikrostruktur – Teil 2: Messung der WC- Korngröße*. Internationale Organisation für Normung. Legt das Verfahren zur mikroskopischen Bestimmung der WC-Korngröße fest.

ISO 9277:2010 (2010). *Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Feststoffen mittels Gasadsorption – BET-Methode* . Internationale Organisation für Normung. Legt die BET-Methode zur Bestimmung der spezifischen Oberfläche fest.

Japanische Normungsorganisation (2005). JIS H 7803:2005, Prüfverfahren für Wolframkarbidpulver, Japanische Normungsorganisation. Legt die chemischen und physikalischen Prüfverfahren für Wolframkarbidpulver fest.

ГОСТ 25599.1-83 (1983). „Hartmetallpulver – Verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts“, Staatliches Komitee für Normen der UdSSR.

Chemisches Analyseverfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts von Hartmetallpulvern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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

Kapitel 4: Anwendung von Wolframkarbidpulver

Wolframkarbidpulver (WC), die Seele des Hartmetalls, findet Anwendung in der mechanischen Fertigung, der Luft- und Raumfahrt, der Elektronikindustrie und der Medizintechnik und kann als der „harte Kern“ der modernen Industrie bezeichnet werden. Seit das deutsche Unternehmen Widia Anfang des 20. Jahrhunderts Wolframkarbidpulver mit Kobalt kombinierte, um die erste Generation von Hartmetall zu entwickeln, hat dieses Material mit seiner erstaunlichen Härte (HV 2000–2500), extrem niedrigen Verschleißrate ($<0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) und ausgezeichneten Hochtemperaturstabilität ($>1000 \text{ }^\circ\text{C}$) die Muster traditioneller Werkzeugmaterialien völlig auf den Kopf gestellt. Von Hochgeschwindigkeitsschneidwerkzeugen über verschleißfeste Formen bis hin zu medizinischen Präzisionsgeräten hat die Anwendung von Wolframkarbidpulver nicht nur einen Sprung in der industriellen Effizienz ermöglicht, sondern auch neue Horizonte für die Hochpräzisionsfertigung eröffnet. In diesem Kapitel wird die Anwendung von Wolframkarbidpulver in der Hartmetallherstellung, in verschleißfesten Beschichtungen und anderen Bereichen systematisch untersucht. Anhand zahlreicher Fallbeispiele und Daten wird gezeigt, wie es sich von einer chemischen Reaktion im Labor zu einem Kernmaterial in der Produktion entwickelt hat. Der erste Teil konzentriert sich auf die Hartmetallherstellung, analysiert eingehend die Rolle von Wolframkarbidpulver in Schneidwerkzeugen, verschleißfesten Teilen und Präzisionsbearbeitungswerkzeugen und zeigt dessen vielfältigen technischen Reiz.

4.1 Anwendung von Wolframkarbidpulver bei der Hartmetallherstellung

Hartmetall besteht aus Wolframkarbidpulver als Kern und wird durch Pulvermetallurgie mit metallischen Bindemitteln wie Kobalt (Co) und Nickel (Ni) vermischt, um Materialien mit hoher Härte, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit herzustellen. Seit der deutsche Chemiker Schröter 1923 erstmals WC und Co zu Hartmetall sinterte, hat diese Technologie eine fast hundertjährige Entwicklung durchlaufen und ist heute ein unverzichtbarer Eckpfeiler der Fertigungsindustrie geworden. Die Anwendung von Wolframkarbidpulver in Hartmetall hängt nicht nur von seinen eigenen physikalischen und chemischen Eigenschaften ab (wie der Stabilität der hexagonalen Kristallstruktur), sondern ist auch eng mit der Auswahl der Bindephase, der Regulierung der Korngröße und der Optimierung des Sinterprozesses verbunden. In diesem Abschnitt wird umfassend erklärt, wie Wolframkarbidpulver in der Hartmetallherstellung aus den drei Dimensionen Schneidwerkzeuge, verschleißfeste Teile und Präzisionsbearbeitungswerkzeuge glänzt, kombiniert mit historischer Entwicklung, wissenschaftlichen Prinzipien und industrieller Praxis.

4.1.1 Anwendung von Wolframkarbidpulver in Schneidwerkzeugen

Schneidwerkzeuge sind das älteste und zugleich bedeutendste Anwendungsgebiet von Wolframkarbidpulver. Im Vergleich zu herkömmlichem Schnellarbeitsstahl (HSS, Härte HRC 60–65, Schnittgeschwindigkeit $< 100 \text{ m/min}$) erhöht WC-basiertes Hartmetall die Schnittgeschwindigkeit auf 200–300 m/min und verlängert die Werkzeugstandzeit um das Fünf- bis Zehnfache. Damit wird es zum

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standard moderner Zerspanung. Wolframkarbidpulver wird mit Kobalt zu WC-Co-Hartmetall vermischt. Es weist eine perfekte Balance aus Härte und Zähigkeit auf und bleibt dadurch auch bei hohen Geschwindigkeiten und Belastungen scharf und stabil.

4.1.1.1 Drehwerkzeuge und Fräser

Drehwerkzeuge und Fräser sind die „Hauptkraft“ bei Schneidwerkzeugen und werden häufig zum Drehen und Fräsen von Stahl, Gusseisen und Hochtemperaturlegierungen eingesetzt. Die Anwendung von Wolframkarbidpulver in solchen Werkzeugen beruht hauptsächlich auf der WC-Co-Formel, und der Kobaltgehalt liegt üblicherweise zwischen 6 % und 12 %. Dieses Verhältnis wird von der Industrie seit Jahrzehnten verifiziert und gewährleistet nicht nur die Härte (HV 1500–1800), sondern bietet auch eine ausreichende Beständigkeit gegen Absplittern (Bruchzähigkeit $K_{IC} 10 - 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$). Kobalt schmilzt als Bindephase und umhüllt die WC-Partikel während des Sinterprozesses (1450 – 1500 °C, Flüssigphasensintern) und bildet so eine dichte Mikrostruktur. Die Auswahl der WC-Korngröße ist entscheidend. 1–3 μm ist die gängige Spezifikation, da dabei sowohl die Härte als auch die Verschleißfestigkeit berücksichtigt werden und das Agglomerationsproblem von WC im Nanomaßstab (<100 nm) sowie die unzureichende Zähigkeit grober Körner (>5 μm) vermieden werden.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist die hohe Härte von WC auf seine hexagonale Kristallstruktur ($a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$) zurückzuführen. Kohlenstoffatome sind in das Wolframgitter eingebettet und bilden starke kovalente Bindungen, wodurch seine Verformungsbeständigkeit der von metallischen Werkstoffen weit überlegen ist. Die Zugabe von Kobalt verbessert die Plastizität und Schlagfestigkeit des Materials durch die Schnittstelle zwischen Metallbindungen und WC-Partikeln. Experimentelle Daten zeigen, dass die Schnittgeschwindigkeit von WC-Co-Drehwerkzeugen 200–300 m/min erreichen kann, was 50–100 % höher ist als bei HSS. Die Warmhärte (600–800 °C hält immer noch HV > 1200) verschafft ihm offensichtliche Vorteile beim Hochtemperaturschneiden.

In der Industrie ist die Bearbeitung von Zylinderblöcken von Automotoren ein typisches Anwendungsgebiet für WC-Co-Drehwerkzeuge. Drehwerkzeuge der chinesischen Marke YG8 (WC 92 %, Co 8 %) erreichen bei der Bearbeitung von Zylinderblöcken aus Grauguss eine Schnittgeschwindigkeit von 250 m/min, eine Lebensdauer von über 100.000 Teilen und eine mehr als dreimal höhere Effizienz als HSS-Werkzeuge. Dieser Erfolg ist auf die Gleichmäßigkeit des WC-Pulvers (Span < 1,5) und den optimierten Kobaltanteil zurückzuführen, wodurch das Werkzeug beim Hochgeschwindigkeitsschneiden weniger anfällig für Absplitterungen oder Verschleiß ist. Auch in der Zylinderblock-Produktionslinie von Toyota Motor in Japan werden ähnliche WC-Co-Fräser verwendet. Bei der Bearbeitung von Zylinderköpfen aus Aluminiumlegierungen beträgt die Oberflächenrauheit $Ra < 0,8 \mu\text{m}$, und die Streckgrenze steigt auf 99,8 %. Dies unterstreicht die unersetzliche Rolle von Wolframkarbidpulver in der modernen Fertigung.

Was zukünftige Trends angeht, werden WC-Co-Drehwerkzeuge in Richtung feinerer Körnung (<1 μm)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und Verbundbeschichtungen (wie etwa TiN - TiC -Al₂ O₃) entwickelt, um die Verschleißfestigkeit und thermische Stabilität weiter zu verbessern und so den Hochgeschwindigkeits- und Hochpräzisionsanforderungen der intelligenten Fertigung gerecht zu werden.

4.1.1.2 Bohrer und Bohrwerkzeuge

Bohrer und Ausdrehwerkzeuge spielen eine Schlüsselrolle bei der Bearbeitung tiefer Löcher, beispielsweise bei Ölbohrungen in Kurbelwellen von Kraftfahrzeugen oder Kanälen in Turbinenschaufeln von Flugzeugen. Dabei sind die Leistungsanforderungen an Wolframkarbidpulver sehr hoch. WC-Pulver in Mikronqualität (1–3 µm) ist aufgrund seiner Härte (HV 1600) und Absplitterfestigkeit ($K_{IC} > 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) und seiner hervorragenden Leistung beim Schneiden tiefer Löcher die erste Wahl. Die WC-Co- Formel (Co 6–10 %) wird durch Vakuumsintern (1450 °C, 10^{-2} Pa) hergestellt, um sicherzustellen, dass keine inneren Poren vorhanden sind und die Oberflächengüte $R_a < 0,1 \text{ µm}$ beträgt . Die Hochtemperatur- und Hochdruckumgebung bei der Tieflochbearbeitung (Schneidzonentemperatur $> 600 \text{ °C}$, Axialkraft $> 500 \text{ N}$) stellt eine Herausforderung für die Warmhärte und Verschleißfestigkeit des Werkzeugs dar, während WC aufgrund seines hohen Schmelzpunkts (2870 °C) und seines niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten ($5,2 \times 10^{-6} / \text{K}$) eine ideale Wahl ist.

Um anspruchsvolleren Arbeitsbedingungen gerecht zu werden, wurde die mehrlagige WC- TiC - Beschichtungstechnologie entwickelt. Durch ein CVD-Verfahren wird eine 5 bis 10 µm dicke TiC-Schicht (Härte HV 3000) auf dem WC-Co-Substrat abgeschieden und anschließend mit TiN (Hitzebeständigkeit $> 1000 \text{ °C}$) überzogen, wodurch die Verschleißbeständigkeit um das Dreifache erhöht und die Standzeit des Werkzeugs auf Bohrtiefen von 500 bis 1000 Metern verlängert wird. Diese Beschichtung verbessert nicht nur die Oberflächenhärte, sondern senkt auch den Reibungskoeffizienten (von 0,4 auf 0,2) und verringert die Schnittwärmeansammlung. Der WC-Co-Tieflochbohrer von Sandvik Coromant in Schweden verwendet eine mehrlagige WC - TiC - TiN -Beschichtung. Bei der Bearbeitung von 42CrMo-Stahl beträgt die Schnittgeschwindigkeit 200 m/min, die Bohrtiefe 500 mm, die Splitterfestigkeit $12,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ und die Schnitttemperatur wird auf unter 800 °C geregelt. Diese Technologie hat sich zu einer Standardkonfiguration für die Herstellung von Flugzeugtriebwerken entwickelt.

Bohrfräser von Kennametal aus den USA sind weltweit auch für die Tieflochbearbeitung geeignet. Ihre WC-Co-Matrix (8 % Co) in Kombination mit der PVD-Beschichtung (TiAlN) bietet hervorragende Antihaft- und Verschleißfestigkeit bei der Bearbeitung von Titanlegierungen. Die Lebensdauer erhöht sich auf 300 Stück und übertrifft damit deutlich die von HSS-Bohrfräsern mit 50 Stück. Mit der steigenden Nachfrage nach ultratiefen Bohrungen (Seitenverhältnis $> 20:1$) werden die Weiterentwicklung des WC-Pulvers ($< 1 \text{ µm}$) und die intelligentere Beschichtungstechnologie künftig zu wichtigen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten.

4.1.1.3 Spezielle Schneidwerkzeuge

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spezielle Schneidwerkzeuge werden für die hochpräzise Bearbeitung von oder die Bearbeitung ultraharter Materialien verwendet, beispielsweise beim Mikrobohren von Leiterplatten (PCB) und bei der Herstellung von Verbundwerkstoffen für die Luftfahrt. Wolframkarbidpulver muss bei derartigen Anwendungen extrem hohe Leistungsanforderungen erfüllen. Der Durchmesser von PCB-Mikrobohrungen liegt unter 0,1 mm und um eine feine Struktur und hohe Härte sicherzustellen, ist WC-Pulver in Nanoqualität ($< 100\text{ nm}$) erforderlich. Beim Sinterprozess wird heißisostatisches Pressen (HIP, $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100\text{--}200\text{ MPa}$) verwendet, und hoher Druck wird eingesetzt, um das Kornwachstum zu unterdrücken (kontrolliert auf $0,2\text{--}0,5\text{ }\mu\text{m}$). Die Härte des fertigen Produkts erreicht HV 2000–2200 und die Druckfestigkeit liegt bei $> 4500\text{ MPa}$. Der WC-Co-Mikrobohrer (Co 6 %) der Xiamen Jinlu Special Alloy Co., Ltd. in China erreicht beim PCB-Bohren eine Genauigkeit von $\pm 0,005\text{ mm}$. Jeder Bohrer kann 50.000–80.000 Löcher verarbeiten und übertrifft damit die 10.000 Löcher herkömmlicher Stahlbohrer bei weitem. Der Erfolg liegt in der hohen spezifischen Oberfläche von Nano-WC ($> 20\text{ m}^2/\text{g}$) und dem Verdichtungseffekt des HIP-Prozesses (Dichte $> 99,8\text{ }\%$).

In der Luftfahrt werden spezielle WC-Werkzeuge zur Bearbeitung von Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK) und Titanlegierungen benötigt. Aufgrund seiner hohen Härte und der fasergeschichteten Struktur stellt CFK extrem hohe Anforderungen an die Verschleißfestigkeit und Schärfe der Werkzeuge. Aus Nano-WC-Pulver ($< 100\text{ nm}$) werden durch HIP-Sintern Werkzeuge mit einer Härte von HV 2200, einer Schnittgeschwindigkeit von $> 250\text{ m/min}$ und einer Genauigkeit von $\pm 0,005\text{ mm}$ hergestellt. Das von Kennametal in den USA für die Tragflächen der Boeing 787 entwickelte WC-Co-Werkzeug (Co 10 %) hat eine Lebensdauer von über 500 Teilen bei der CFK-Bearbeitung und seine Schneideffizienz ist 20 % höher als die von diamantbeschichteten Werkzeugen, aber die Kosten sind um 30 % niedriger. Dieser Vorteil ergibt sich aus der Kombination der hohen Härte von WC und der Zähigkeit von Kobalt, wodurch das leichte Abblättern der Diamantbeschichtung vermieden wird.

Die zukünftige Entwicklung von Spezialschneidwerkzeugen umfasst die Forschung und Entwicklung sowie die intelligente Herstellung von WC-basierten Verbundwerkstoffen (wie WC- TiC-TaC). Beispielsweise kann durch die Zugabe von TaC (1–2 %) die thermische Rissbeständigkeit verbessert oder die Präzision der Werkzeuggeometrie durch die Kombination von Laser-Mikrobearbeitungstechnologie verbessert werden, um den hohen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt- sowie der Elektronikindustrie gerecht zu werden.

4.1.2 Anwendung von Wolframkarbidpulver in verschleißfesten Teilen

Verschleißfeste Teile sind ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet von Wolframkarbidpulver. Aufgrund seiner hohen Härte und geringen Verschleißrate wird es häufig in hochbelasteten Bereichen wie Formen und Lagern eingesetzt. Im Vergleich zu herkömmlichem Stahl (z. B. Cr12MoV, Lebensdauer $< 100.000\text{-fach}$) ist die Haltbarkeit von WC-basiertem Hartmetall um das 5- bis 10-fache erhöht, was es zum bevorzugten Material für Stanzen, Ziehen und Versiegeln macht.

4.1.2.1 Stanzwerkzeuge

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Stanzmatrizen werden zum Kaltprägen von Stahlplatten, Aluminiumplatten und anderen Metallen verwendet. WC-Co-Matrizen aus Wolframkarbidpulver sind für ihre extrem lange Lebensdauer bekannt. Die typische Formel lautet WC 90–94 % und Co 6–10 %, hergestellt durch Flüssigphasensintern (1500 °C, 30 MPa). Das fertige Produkt hat eine Härte von 1400–1600 HV und eine Druckfestigkeit von >4000 MPa. Die hohe Härte von WC stellt sicher, dass die Matrizenoberfläche dem Abrieb der Stahlplatte standhält, während die Zähigkeit von Kobalt die Stöße beim Prägen (>20 J/cm²) absorbiert. Daten zeigen, dass die Lebensdauer von WC-Co-Matrizen 500.000–1 Million Mal erreichen kann, was 5- bis 10-mal höher ist als bei Cr12MoV (<100.000-mal). Die Oberflächenrauheit Ra wird unter 0,05 µm gehalten .

Im Automobilbau ist das Stanzen von Türverkleidungen eine typische Anwendung von WC-Co-Formen. Die von der CTIA GROUP hergestellte WC-Co-Form (8 %) ist seit einem halben Jahr im Dauerbetrieb beim Stanzen von 0,8 mm starkem Stahlblech im Einsatz, wobei der Formverschleiß <0,01 mm ist und die Ausfall- und Wartungskosten um 70 % reduziert wurden. Auch in der deutschen BMW-Produktionslinie werden ähnliche WC-Formen verwendet, die eine ausgezeichnete Ermüdungsbeständigkeit beim Hochgeschwindigkeitsstanzen (>100 Mal/Minute) aufweisen, und die Lebensdauer eines einzelnen Formensatzes erreicht 800.000 Stück. Künftig werden die Verfeinerung von WC-Co-Formen (z. B. Körnung <0,5 µm) und Oberflächenbeschichtungen (z. B. CrN) die Verbesserung von Lebensdauer und Präzision vorantreiben.

4.1.2.2 Drahtziehstein und Strangpressstein

Zieh- und Extrusionsmatrizen werden zum Formen von Metalldrähten und -rohren verwendet. Feinkörniges WC-Pulver (0,5 – 1 µm) wird aufgrund seiner hohen Härte (HV 1800) und sehr geringen Oberflächenrauheit (Ra < 0,02 µm) bevorzugt. Die WC-Co-Formel (Co 6 – 8 %) wird durch Vakuumsintern (1450 °C) hergestellt. Die Matrizenöffnungsgenauigkeit beträgt ± 0,001 mm und die Verschleißrate beträgt < 0,001 mm³/N·m, was viel niedriger ist als bei Stahlmatrizen (0,01 mm³/N·m). Während des Drahtziehprozesses widersteht die hohe Härte des WC der Reibung des Metalls, während die feinen Körner glatte Lochwände gewährleisten und Oberflächendefekte des Drahtes reduzieren.

Die Kabelindustrie ist ein wichtiges Anwendungsszenario für Drahtziehwerkzeuge. Das WC-Co-Drahtziehwerkzeug (8 %) Co einer Fabrik in Jiangxi, China, läuft seit sechs Monaten ununterbrochen und zieht 0,1 mm Kupferdraht. Die Größenänderung der Matrizenöffnung beträgt <0,002 mm, die Ziehgeschwindigkeit beträgt 20 m/s und die Drahtoberflächenrauheit Ra beträgt <0,01 µm. Diese Leistung ist auf die Gleichmäßigkeit des WC-Pulvers (FSSS 0,8 µm) und die Optimierung des Sinterprozesses zurückzuführen. Das WC-Extrusionswerkzeug von Sumitomo Electric Industries, Japan, wird zum Formen von Aluminiumrohren verwendet und hat eine Lebensdauer von über 1 Million Metern, was das Potenzial von feinkörnigem WC bei der hochpräzisen Formgebung unterstreicht. In Zukunft werden Nano-Dimensionierung (<100 nm) und selbstschmierende Beschichtungen (wie DLC) von WC-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

basierten Werkzeugen die Verschleißfestigkeit und Effizienz weiter verbessern.

4.1.2.3 Verschleißfeste Lager und Dichtungen

Verschleißfeste Lager und Dichtungen müssen hohen Drehzahlen und hoher Reibung standhalten. WC-Ni-Verbundwerkstoffe werden aufgrund ihrer Korrosionsbeständigkeit und ihres niedrigen Reibungskoeffizienten ($<0,1$) bevorzugt. Die Formel lautet 85–90 % WC, 10–15 % Ni und wird durch heißisostatisches Pressen (HIP, 1450 °C, 150 MPa) hergestellt. Das fertige Produkt hat eine Temperaturbeständigkeit von über 800 °C und eine Druckfestigkeit von über 3800 MPa. Nickel hat eine bessere Säure- und Laugenbeständigkeit als Kobalt und ist für chemische und maritime Umgebungen geeignet. Das deutsche Unternehmen FAG verwendet WC-Ni-Lager für Hochgeschwindigkeitsmotoren (50.000 U/min) mit einem Reibungskoeffizienten von 0,08, einer doppelt so hohen Lebensdauer und einer kontrollierten Betriebstemperatur von unter 600 °C. Das US-amerikanische Unternehmen Flowserve verwendet WC-Ni-Dichtungen in Chemiepumpen, die beständig gegen H_2SO_4 -Korrosion sind und über ein Jahr im Dauerbetrieb betrieben werden können.

Das HIP-Verfahren ist der Schlüssel zum Erfolg von WC-Ni-Teilen. Es beseitigt Mikroporen durch hohen Druck (100–200 MPa), erreicht eine Dichte von 99,9 % und verbessert die Verschleißfestigkeit und Ermüdungsbeständigkeit deutlich. Zukünftig werden die Mikrostrukturoptimierung von WC-Ni (z. B. durch Zugabe von Cr zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit) und die intelligente Überwachung (z. B. durch eingebettete Sensoren) den Einsatz unter extremen Arbeitsbedingungen fördern.

4.1.3 Anwendung von Wolframcarbidpulver in Präzisionsbearbeitungswerkzeugen

Präzisionsbearbeitungswerkzeuge stellen extrem hohe Anforderungen an die Partikelgröße, Reinheit und Bearbeitungsgenauigkeit von Wolframcarbidpulver und werden häufig in den Bereichen Medizin, Optik und Mikroelektronik eingesetzt. Ultrafeines WC-Pulver ($<1\text{ }\mu\text{m}$) und fortschrittliche Sintertechnologie (wie HIP) sind die Kernunterstützung.

4.1.3.1 Zahnärztliche und medizinische Instrumente

Zahnbohrer und medizinische Instrumente erfordern eine Mikrobearbeitung (Durchmesser 0,3–1 mm) und WC-Co-Werkzeuge aus Wolframcarbidpulver ($1\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$) sind für ihre Härte HV 1800 und Biokompatibilität (ISO 10993-5) bekannt. Nach dem Sintern wird die Oberfläche auf $\text{Ra} < 0,05\text{ }\mu\text{m}$ poliert, um sicherzustellen, dass der Zahnschmelz beim Schneiden nicht gereizt wird. Der WC-Co-Zahnbohrer (Co 6 %) von Komet, Deutschland, hat einen Durchmesser von 0,5 mm, eine Lebensdauer von > 1000 -mal in der Zahnchirurgie, eine Genauigkeit von $\pm 0,01\text{ mm}$ und eine Schnittgeschwindigkeit von 5000 U/min. Sein Erfolg beruht auf der hohen Reinheit des WC-Pulvers (Verunreinigungen $< 0,02\text{ }\%$) und der Verfeinerung des Polierprozesses. Das WC-Skalpell von Dentsply in den USA eignet sich auch gut für orthopädische Anwendungen und bietet eine um 50 % erhöhte Lebensdauer beim Schneiden von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Knochen.

Aus wissenschaftlicher Sicht beruht die Biokompatibilität von WC auf seiner chemischen Inertheit (unlöslich in Körperflüssigkeiten), während seine feinen Körnungen für Schärfe und geringe thermische Schäden sorgen. Nano-Größen ($<100\text{ nm}$) und antibakterielle Beschichtungen (z. B. mit Ag-Ionen) von WC-basierten medizinischen Instrumenten werden die Leistung künftig weiter verbessern.

4.1.3.2 Optische Form

Optische Formen werden zum Pressen von Glaslinsen und optischen Komponenten verwendet. Durch HIP-Sintern ($1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, 200 MPa) wird ultrafeines WC-Pulver ($0,2\text{--}0,5\text{ }\mu\text{m}$) hergestellt, mit einer Oberflächengenauigkeit von $<10\text{ nm}$ und einer Lebensdauer von >100.000 -mal. Die hohe Härte (HV 2000) und der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient ($5,2\times 10^{-6}/\text{K}$) von WC stellen sicher, dass sich die Form beim Pressen bei hohen Temperaturen ($>600\text{ }^{\circ}\text{C}$) nicht verformt. In Kombination mit Hochglanzpolieren und WC-Beschichtung (z. B. CVD-Abscheidung einer $5\text{ }\mu\text{m}$ dicken WC-Schicht) hat die WC-Form des japanischen Unternehmens HOYA eine Ausbeute von $99,9\%$ bei der Herstellung von Mobiltelefonlinsen und eine Oberflächenrauheit von $R_a < 0,005\text{ }\mu\text{m}$, die herkömmliche Stahlformen ($R_a > 0,02\text{ }\mu\text{m}$) bei weitem übertrifft.

In der Präzisionsoptik ist der Erfolg von WC-Formen auch auf ihre Antihafteigenschaften zurückzuführen, die das Anhaften von Glas an der Form verhindern. Zeiss aus Deutschland verwendet WC-Formen für die Herstellung von Infrarotlinsen. Die Lebensdauer erhöht sich dadurch um das 150.000-Fache, was das hohe Präzisionspotenzial von ultrafeinem WC unterstreicht. Zukünftig werden die intelligentere Gestaltung von WC-basierten optischen Formen (z. B. durch Echtzeit-Temperaturregelung) und die Forschung und Entwicklung von Verbundwerkstoffen (wie WC- TiC) deren Anwendung in AR/VR-Geräten fördern.

4.2 Anwendung von Wolframkarbidpulver in der Oberflächenbeschichtungstechnik

Die Oberflächenbeschichtungstechnologie ist ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet von Wolframkarbidpulver. Durch thermisches Spritzen, Plasmaspritzen, Laserauftragschweißen und andere Verfahren wird Wolframkarbidpulver auf der Oberfläche des Substrats abgeschieden und bildet dort eine verschleißfeste, korrosionsbeständige und hochtemperaturbeständige Schutzschicht. Seit ihrem Aufkommen Mitte des 20. Jahrhunderts ist diese Technologie zu einem wichtigen Mittel geworden, um die Lebensdauer mechanischer Teile zu verlängern und ihre Leistung zu verbessern. Verglichen mit der allgemeinen Hartmetallherstellung wird die Beschichtungstechnologie aufgrund ihrer Flexibilität (komplexe Formen können beschichtet werden), Wirtschaftlichkeit (kostengünstiger Stahl kann als Substrat verwendet werden) und Effizienz (lokale Verstärkung) weithin bevorzugt. Wolframkarbidpulver wird aufgrund seiner hohen Härte (HV 2000–2500), ausgezeichneten Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $<0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) und thermischen Stabilität (Schmelzpunkt $2870\text{ }^{\circ}\text{C}$) häufig in Beschichtungen in Luft- und Raumfahrttriebwerken, Ölbohrwerkzeugen, chemischen Geräten und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

anderen Bereichen eingesetzt. In diesem Abschnitt werden wissenschaftliche Prinzipien und industrielle Praktiken aus drei Blickwinkeln kombiniert: thermisches Spritzbeschichten, Plasmaspritzen und Laserauftragschweißen, hohe Temperaturbeständigkeit und spezielle Beschichtungen. Außerdem wird eingehend untersucht, wie Wolframkarbidpulver die moderne Industrie durch Oberflächentechnik stärken kann.

4.2.1 Anwendung von Wolframkarbidpulver in thermischen Spritzbeschichtungen

Beim thermischen Spritzen wird Wolframkarbidpulver mithilfe von Hochtemperaturflammen oder Hochgeschwindigkeitsluft geschmolzen oder halbgeschmolzen und anschließend auf die Substratoberfläche gesprüht, um eine dichte, verschleißfeste Beschichtung zu bilden. Seit der Entwicklung der ersten Generation thermischer Spritzgeräte durch Union Carbide in den USA in den 1940er Jahren hat sich die Technologie vom einfachen Flammsspritzen zum effizienten Hochgeschwindigkeits-Brennstoffsspritzen (HVOF) weiterentwickelt und ist heute die gängige Wahl in der Luftfahrt-, Landwirtschafts- und Energiebranche. Der Vorteil von Wolframkarbidpulver beim thermischen Spritzen liegt in seiner hohen Härte und geringen Porosität, wodurch die Beschichtung auch unter rauen Arbeitsbedingungen stabil bleibt.

4.2.1.1 HVOF-Spritzen

Das Hochgeschwindigkeits-Brennstoffsspritzen (HVOF) ist die Krönung der thermischen Spritztechnologie. Dabei wird Wolframkarbidpulver mit einer Überschallflamme ($> 2000 \text{ m/s}$) auf ein Substrat gespritzt und bildet eine hochdichte, porenarme und verschleißfeste Beschichtung. WC-Co-Pulver (Kobaltgehalt 10–12 %) ist das gängige Material für HVOF. Kobalt schmilzt als Bindephase während des Spritzvorgangs teilweise und umhüllt WC-Partikel (Körnung $1\text{--}5 \text{ }\mu\text{m}$). Dadurch entsteht eine Beschichtung mit einer Härte von HV 1200–1400 und einer Verschleißrate von $< 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$. Aus wissenschaftlicher Sicht sorgen der hohe Schmelzpunkt und die Oxidationsbeständigkeit von WC dafür, dass es sich beim Hochtemperaturspritzen (Flammentemperatur $> 3000 \text{ }^\circ\text{C}$) nicht zersetzt, während die Duktilität von Kobalt die innere Spannung der Beschichtung reduziert ($< 200 \text{ MPa}$) und die Bindungsfestigkeit erhöht ($> 70 \text{ MPa}$).

Die Leistungsfähigkeit von HVOF-Beschichtungen beruht auf der präzisen Kontrolle der Prozessparameter. Das Verhältnis von Sauerstoff zu Brennstoff (z. B. Kerosin) in der Spritzpistole (1:2–1:3) bestimmt Flammentemperatur und -geschwindigkeit. Die Pulverpartikelgeschwindigkeit erreicht $600\text{--}800 \text{ m/s}$ und die Abkühlrate liegt bei $> 10^6 \text{ }^\circ\text{C/s}$, wodurch die Beschichtungsporosität $< 1 \%$ und die Schichtdicke bei $100\text{--}500 \text{ }\mu\text{m}$ liegt. Daten zeigen, dass die Verschleißfestigkeit von WC-Co-Beschichtungen mehr als zehnmal so hoch ist wie die von unbeschichteten Substraten (z. B. 45-Stahl, Verschleißrate $0,1 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) und die Korrosionsbeständigkeit im Salzsprühtest über 1000 Stunden beträgt.

Triebwerksschaufeln von Flugzeugen sind ein klassisches Beispiel für das HVOF-Spritzen. Die CF6-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Triebwerksschaufeln von General Electric (GE) in den USA verwenden eine WC-Co-Beschichtung (Co 12 %). Unter Gasreinigung ($> 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) und Sandabrieb beträgt die Lebensdauer mehr als 3000 Stunden und ist damit sechsmal länger als die von unbeschichteten Schaufeln (500 Stunden). Dieser Erfolg ist auf die hohe Härte von WC zurückzuführen, die Abrieb widersteht, und die Zähigkeit von Kobalt, die Thermoschocks mildert. Rolls-Royce in Großbritannien verwendet für seine Triebwerke der Trent-Serie ebenfalls eine WC-Co-HVOF-Beschichtung. Die Beschichtungsdicke beträgt $250\text{ }\mu\text{m}$, die Härte HV 1300 und die Schaufelverschleißrate während des Betriebs $< 0,005\text{ mm}/1000\text{ Stunden}$. In Zukunft wird sich die HVOF-Technologie in Richtung ultrafeiner WC-Pulver ($< 1\text{ }\mu\text{m}$) und Verbundbeschichtungen (wie WC-Co-Cr) entwickeln, um den höheren Anforderungen an Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit gerecht zu werden.

4.2.1.2 Flammspritzen

Flammspritzen ist ein traditionelles thermisches Spritzverfahren. Dabei wird Wolframkarbidpulver mit einer Sauerstoff-Acetylen-Flamme (Temperatur ca. $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) geschmolzen und auf das Substrat gespritzt. Es eignet sich für kostengünstige verschleißfeste Beschichtungen. WC-Ni-Pulver (Nickelgehalt 10–15 %) wird häufig verwendet, da Nickel günstiger als Kobalt und korrosionsbeständiger ist. Beim Spritzen werden die WC-Partikel ($5\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$) teilweise geschmolzen und das Nickel vollständig verflüssigt. Dadurch entsteht eine Beschichtung mit einer Haftfestigkeit von $> 50\text{ MPa}$ und einer Dicke von $100\text{--}300\text{ }\mu\text{m}$. Die Beschichtungshärte beträgt HV 900–1100 und ist damit niedriger als bei HVOF, aber ausreichend für Umgebungen mit mäßigem Verschleiß.

Die Vorteile des Flammspritzens liegen in der einfachen Ausrüstung (Kosten $< 100.000\text{ Yuan}$) und der flexiblen Bedienung, die sich für kleine und mittlere Unternehmen eignet. Sprühparameter wie Sauerstoffdurchfluss ($20\text{--}30\text{ l/min}$) und Pulverförderate ($50\text{--}80\text{ g/min}$) bestimmen die Beschichtungsqualität. Die Porosität liegt üblicherweise bei 5–10 % und ist damit etwas höher als bei HVOF ($< 1\text{ }\%$). Leistungstests zeigen, dass die Verschleißfestigkeit der WC-Ni-Beschichtung 3–5-mal höher ist als die des Substrats (z. B. Q235-Stahl). Dies eignet sich für Anwendungen mit niedriger Geschwindigkeit und hoher Reibung, wie z. B. in Landmaschinen.

Klingen für landwirtschaftliche Maschinen sind ein typisches Anwendungsgebiet des Flammspritzens. John Deere in den USA spritzt eine $200\text{ }\mu\text{m}$ dicke WC-Ni-Beschichtung (Ni 12 %) auf Erntemaschinenklingen, wodurch die Verschleißfestigkeit um das Vierfache erhöht und die Nutzungsdauer in einer Saison von 500 auf 2000 Stunden verlängert wird. Diese Verbesserung ist auf die hohe Härte von WC und die Oxidationsbeständigkeit von Nickel ($> 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) zurückzuführen, die dem Abrieb durch Erde und Pflanzenreste wirksam widerstehen. Eine bestimmte Fabrik für landwirtschaftliche Maschinen im chinesischen Shandong verwendet eine ähnliche Technologie zum Spritzen von Traktorflegelklingen, wodurch die Kosten pro Stück um 20 Yuan steigen, die Nutzungsdauer jedoch um das Dreifache verlängert wird und das bei einem erheblichen Preis-Leistungs-Verhältnis. In Zukunft kann Flammspritzen die Dichte und Korrosionsbeständigkeit der Beschichtung verbessern, indem WC-Pulver ($< 5\text{ }\mu\text{m}$) verfeinert und Cr (1–2 %) hinzugefügt wird.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2.2 Anwendung von Wolframkarbidpulver beim Plasmaspritzen und Laserauftragschweißen

Plasmaspritzen und Laserauftragschweißen stellen die Spitzentechnologie der Oberflächenbeschichtung dar. Dabei wird Wolframkarbidpulver mittels Hochtemperaturplasma oder Laserstrahlen auf dem Substrat abgeschieden und bildet so eine Hochleistungsbeschichtung. Diese beiden Technologien bieten ihre Vorteile hinsichtlich Hochtemperaturkorrosionsbeständigkeit und lokaler Festigkeit.

4.2.2.1 Plasmaspritzen

Beim Plasmaspritzen wird Wolframkarbidpulver mithilfe eines Plasmalichtbogens (Temperatur > 15.000 °C) geschmolzen und auf das Substrat gespritzt. Dies eignet sich für korrosionsbeständige Hochtemperaturbeschichtungen. WC-Cr₃C₂-Verbundpulver (WC 70–80 %, Cr₃C₂ 20–30 %) ist eine gängige Formel. Die Zugabe von Cr₃C₂ verbessert die Oxidationsbeständigkeit (> 1.000 °C) und Korrosionsbeständigkeit. Während des Spritzvorgangs werden die Pulverpartikel (10–20 µm) im Plasmastrom bei einer Geschwindigkeit von 300–500 m/s vollständig geschmolzen und bilden eine Beschichtung mit einer Porosität von < 2 % und einer Dicke von 200–600 µm. Die Beschichtungshärte beträgt HV 1000–1200 und die Oxidationsbeständigkeitstemperatur erreicht 1100 °C, was weit höher ist als die einer einzelnen WC-Beschichtung (<900 °C).

Die wissenschaftliche Grundlage des Plasmaspritzens liegt in der hohen Energiedichte des Hochtemperaturplasmas, die WC und Cr₃C₂ eine gleichmäßige Verbundstruktur bilden lässt. Prozessparameter wie Argonfluss (40–50 l/min) und Leistung (30–40 kW) bestimmen den Schmelzgrad und die Abscheidungseffizienz. Leistungstests zeigen, dass die Verschleißfestigkeit der WC-Cr₃C₂-Beschichtung achtmal höher ist als die des Substrats, und die Korrosionsbeständigkeit im Salzsprühtest beträgt >1500 Stunden.

Gasturbinenschaufeln sind ein typisches Anwendungsgebiet des Plasmaspritzens. Pratt & Whitney in den USA verwendet WC-Cr₃C₂-Beschichtungen auf F135-Triebwerkschaufeln mit einer Dicke von 300 µm, einer Betriebstemperatur von 1200 °C und einer Lebensdauer von >5000 Stunden, also fünfmal länger als bei unbeschichteten Schaufeln (1000 Stunden). Auch Siemens in Deutschland verwendet ähnliche Beschichtungen in Gasturbinen. Der synergetische Effekt von Oxidationsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit sorgt dafür, dass die Schaufeln bei Hochtemperatur-Gasreinigung stabil bleiben. Zukünftig kann die Leistung durch Plasmaspritzen durch Zugabe von Ni (5–10 %) oder Optimierung der Spritzparameter zur Verringerung der Porosität (<1 %) weiter verbessert werden.

4.2.2.2 Laserauftragschweißen

Beim Laserauftragschweißen wird Wolframkarbidpulver mit einem energiereichen Laserstrahl (Leistung 2–10 kW) geschmolzen und auf dem Substrat abgeschieden. Dabei bildet sich eine dicke, harte Beschichtung, die sich besonders zur Oberflächenverfestigung großer Bauteile wie Ölbohrwerkzeugen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eignet. WC-Pulver (Korngröße 5–15 μm) wird direkt in das Schmelzbad des Lasers eingespritzt und metallurgisch mit dem Substrat (z. B. 42CrMo-Stahl) verbunden. Die Beschichtungsdicke beträgt 0,5–2 mm, die Härte 1300 HV. Das Laserauftragschweißen zeichnet sich durch eine geringe Wärmezufuhr ($<200 \text{ J/mm}^2$), eine Wärmeeinflusszone (WEZ) des Substrats von $<0,1 \text{ mm}$, eine Beschichtungsporosität von $<0,5 \%$ und eine Bindungsfestigkeit von $>100 \text{ MPa}$ aus, die dem thermischen Spritzen (50–70 MPa) deutlich überlegen ist.

Die hohe Energiedichte des Lasers ($> 10^6 \text{ W/cm}^2$) bewirkt ein schnelles Schmelzen der WC-Partikel und die Bildung einer Legierungsschicht mit dem Substrat. Die hohe Härte des WC und die Zähigkeit des Substrats wirken zusammen. Prozessparameter wie Laserleistung (4 kW), Scangeschwindigkeit (5–10 mm/s) und Pulverförderate (20–40 g/min) bestimmen die Beschichtungsqualität. Leistungstests zeigen, dass die Verschleißfestigkeit der WC-Beschichtung 15-mal höher ist als die des Substrats, und die Korrosionsbeständigkeit beträgt in 10%iger NaCl-Lösung mehr als 2 Jahre.

Tiefsee-Bohrrohre sind ein typisches Beispiel für Laserauftragschweißen. Halliburton, USA, beschichtet die Oberfläche eines Bohrrohrs mit einer 1,5 mm dicken WC-Beschichtung. Das Rohr ist seit über zwei Jahren in 5.000 Metern Tiefe im Salzwasser im Einsatz. Der Verschleiß beträgt weniger als 0,02 mm und die Korrosionsbeständigkeit ist zehnmal höher als bei unbeschichteten Bohrrohren. China Petroleum nutzt eine ähnliche Technologie zur Verstärkung von Bohrwerkzeugen mit einer Härte von HV 1350 und einer Schlagzähigkeit von $>30 \text{ J/cm}^2$, um den Anforderungen der Öl- und Gasförderung in tiefen Schichten gerecht zu werden. Zukünftig kann das Laserauftragschweißen durch WC-Nickel-Verbundpulver und die Mehrschicht-Auftragschweißtechnologie die Schichtdicke und -gleichmäßigkeit verbessern.

4.2.3 Anwendung von Wolframcarbidpulver in hochtemperaturbeständigen und speziellen Beschichtungen

Hohe Temperaturbeständigkeit und spezielle Beschichtungen Für extreme Umgebungen, wie Hochtemperaturformen und chemische Geräte, muss bei Wolframcarbidpulver in solchen Anwendungen die thermische Stabilität, Korrosionsbeständigkeit und Temperaturschockbeständigkeit berücksichtigt werden.

4.2.3.1 Thermoschockbeständige Beschichtung

Thermoschockbeständige Beschichtungen werden für Hochtemperaturformen und Heißverarbeitungsgeräte verwendet. Beschichtungen auf WC-Basis sind für ihren niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten ($<5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) und ihre Temperaturbeständigkeit ($>1200^\circ\text{C}$) bekannt. WC- TiC -Ni-Verbundpulver (WC 70 %, TiC 20 %, Ni 10 %) wird durch HVOF oder Plasmaspritzen hergestellt, mit einer Beschichtungshärte von HV 1100–1300 und einer Dicke von 200–400 μm . Die Zugabe von TiC verbessert die Hochtemperaturhärte (bei $>1000^\circ\text{C}$ bleibt HV immer noch >1000 erhalten) und Ni verbessert die Wärmeermüdungsbeständigkeit. Während des Prozesses stellen die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spritzgeschwindigkeit (500–700 m/s) und die Abkühlrate ($>10^5$ °C/s) sicher, dass die innere Spannung der Beschichtung <150 MPa beträgt.

Hochtemperaturformen sind die Hauptanwendungsgebiete thermoschockbeständiger Beschichtungen. Toyota Motors in Japan verwendet WC- TiC -Ni-Beschichtungen für Aluminium-Druckgussformen. Die Formtemperatur beträgt 800–1000 °C, der Thermoschockzyklus beträgt >5000 Mal, und die Lebensdauer erhöht sich um das Dreifache. ThyssenKrupp in Deutschland verwendet ähnliche Beschichtungen auch für Warmprägeformen von Stahlblechen. Diese sind temperaturbeständig bis 1200 °C und weisen eine bessere Rissbeständigkeit als herkömmliche Chrombeschichtungen auf. Zukünftig werden mehrphasige Verbundwerkstoffe (z. B. durch Zugabe von Al_2O_3) und Gradientenstrukturen von WC-basierten Beschichtungen die Thermoschockbeständigkeit weiter verbessern.

4.2.3.2 Chemisch beständige Beschichtung

Chemisch korrosionsbeständige Beschichtungen werden für Chemiepipelines und Ventile verwendet. Die WC-CoCr-Beschichtung (WC 80 %, Co 10 %, Cr 10 %) ist aufgrund ihrer hervorragenden Korrosionsbeständigkeit bekannt. Die im HVOF-Spritzverfahren hergestellte Beschichtung hat eine Härte von HV 1200 und eine Dicke von 150–300 μm . Durch die Zugabe von Cr bildet sich eine Cr_2O_3 -Passivierungsschicht, die die Säurebeständigkeit ($pH < 2$) um das Fünffache erhöht. Leistungstests zeigen, dass die Korrosionsrate der WC-CoCr-Beschichtung in einer 10 %igen H_2SO_4 -Lösung $<0,001$ mm/Jahr und die Oxidationsbeständigkeit >900 °C beträgt.

Eine typische Anwendung sind Ventile für chemische Anwendungen. Das US-Unternehmen Emerson verwendet WC-CoCr-Beschichtungen für Ventile in Sauergaspipelines. Nach drei Betriebsjahren liegen Verschleiß und Korrosion unter 0,01 mm, und die Lebensdauer ist dreimal länger als bei unbeschichteten Ventilen (<1 Jahr). Auch ein Chemiewerk in China verwendet WC-CoCr-Beschichtungen für Ventile von Schwefelsäurepumpen. Die Korrosionsbeständigkeit beträgt in 20 %iger H_2SO_4 mehr als vier Jahre. Die chemische Korrosionsbeständigkeit der WC-CoCr-Beschichtung kann zukünftig durch Zugabe von Molybdän (5–10 %) oder durch Optimierung des Spritzverfahrens (z. B. Kaltgasspritzen) weiter verbessert werden.

4.3 Anwendung von Wolframkarbidpulver in Bergbau- und Bauwerkzeugen

Bergbau- und Bauwerkzeuge sind wichtige Anwendungsgebiete für Wolframkarbidpulver. Seine hohe Härte (HV 2000–2500), seine hervorragende Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $<0,01$ mm³/N·m) und Schlagzähigkeit (>25 J/cm²) machen es zum Kernmaterial für Gesteinsbohr-, Tunnelbau- und Brechgeräte. Seit der Bergbau im späten 19. Jahrhundert begann, Hartmetall zu verwenden, hat Wolframkarbidpulver nach und nach herkömmlichen Stahl ersetzt und ist zu einer „Waffe“ für moderne Bergbau- und Bauprojekte geworden. Von Gesteinsbohrern über Schildschneider bis hin zu Brechhämmern hat Wolframkarbidpulver die Lebensdauer und Effizienz von Werkzeugen durch Pulvermetallurgie, Inlay- oder Verbundtechnologie deutlich verbessert, insbesondere in

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hochbelastungsszenarien wie Hartgesteinsabbau, U-Bahn-Tunnelbau und Erzverarbeitung. In diesem Abschnitt werden wissenschaftliche Prinzipien und industrielle Praktiken aus drei Bereichen kombiniert: Gesteinsbohrwerkzeuge, Schildschneider und Tunnelausrüstung sowie verschleißfeste Auskleidungen und Brechgeräte, um eingehend zu untersuchen, welche Schlüsselrolle Wolframkarbidpulver im Bereich Bergbau und Bauwesen spielt.

4.3.1 Anwendung von Wolframkarbidpulver in Gesteinsbohrwerkzeugen

Gesteinsbohrwerkzeuge werden zum Bohren und Sprengen von Gestein eingesetzt. Hartmetallbohrer aus Wolframkarbidpulver haben sich aufgrund ihrer hohen Härte und Schlagfestigkeit zur ersten Wahl für den Hartgesteins- und Kohlebergbau entwickelt. Seit das schwedische Unternehmen Sandvik Anfang des 20. Jahrhunderts WC-basiertes Hartmetall in den Gesteinsbohrbereich einführte, hat sich die Technologie von einfachen eingelegten Bohrern zu verbundverstärkten Werkzeugen weiterentwickelt und findet breite Anwendung in Bergwerken, Tunneln sowie bei der Öl- und Gasförderung.

4.3.1.1 Hartgesteinsbohrer

Hartgesteinsbohrer werden zum Abbau von hartem Gestein wie Granit und Quarzit verwendet. Wolframkarbidpulver wird mittels Inlay-Technologie in die Stahlmatrix eingebettet, um WC-Inlay-Bohrer herzustellen. Die typische Formel ist WC-Co (8–12 %) mit einer Korngröße von 3–5 μm , hergestellt durch Vakuumsintern (1450 °C, 10^{-2} Pa), Härte HV 1400–1600 und Schlagzähigkeit $>25 \text{ J/cm}^2$. Die hohe Härte von WC widersteht Gesteinsabrieb und die Zähigkeit von Kobalt absorbiert die Schlagbelastung ($>500 \text{ kN}$) beim Bohren. Das Bohrerdesign besteht meist aus Kugel- oder Säulenzahnstrukturen und der Durchmesser des WC-Inlays beträgt 5–15 mm, um Schneidleistung und Haltbarkeit sicherzustellen. Daten zeigen, dass die Bohrgeschwindigkeit von WC-Einlegebohrern 12–15 m/h erreichen kann, was 2–3 Mal höher ist als die von herkömmlichen Stahlbohrern ($<5 \text{ m/h}$).

Aus wissenschaftlicher Sicht ist WC aufgrund seiner hexagonalen Struktur ($a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$) und seines hohen Schmelzpunkts (2870 °C) beständig gegen Hochgeschwindigkeitsstöße (> 1000 Stöße/Minute) und Hochtemperaturreibung ($> 600 \text{ °C}$). Technologisch ermöglicht die Optimierung von Sintertemperatur und -druck (30 MPa) die Bildung einer gleichmäßigen Mikrostruktur aus WC und Kobalt mit einer Korngrenzenfestigkeit von $> 4000 \text{ MPa}$, wodurch das Risiko von Absplitterungen vermieden wird. Leistungstests zeigen, dass Bohrer mit eingebettetem WC eine Lebensdauer von über 1000 Metern Bohrtiefe in Granit erreichen und die Verschleißrate $< 0,005 \text{ mm/m}$ beträgt.

Sprengbohrungen im Bergbau sind ein typisches Beispiel für Hartgesteinsbohrer. Der WC-Co-Bohrer (10 %) des schwedischen Unternehmens Atlas Copco hat einen Bohrdurchmesser von 50 mm, eine Bohrgeschwindigkeit von 13 m/h, eine Lebensdauer von 1.200 Metern und eine Verbesserung der Sprengleistung um 40 % in einem norwegischen Granitbergwerk. In einem Bergwerk im chinesischen Guizhou werden ähnliche Bohrer mit WC-Einlage verwendet, die beim Kalksteinabbau eine Lebensdauer von 1.500 Metern haben, was fünfmal höher ist als die von Stahlbohrern (300 Meter). In

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zukunft können Bohrer mit WC-Einlage ihre Verschleißfestigkeit und Wärmeermüdungsbeständigkeit durch ultrafeine Körner ($<1\text{ }\mu\text{m}$) und TiC-Beschichtungen (CVD, $5\text{ }\mu\text{m}$) weiter verbessern, um sich an komplexere Hartgesteinsumgebungen anzupassen.

4.3.1.2 Kohleflözbohrwerkzeuge

Bohrwerkzeuge für Kohleflöze werden im Kohlebergbau und bei der Gasförderung eingesetzt. Schneidköpfe aus WC-Co zeigen aufgrund ihrer Verschleißfestigkeit und Schlagzähigkeit gute Ergebnisse in abwechselnd weichen und harten Kohleflözen. Die Formel lautet WC 90–94 %, Co 6–10 %, Korngröße $1\text{--}3\text{ }\mu\text{m}$, hergestellt durch Heißpressintern ($1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, 50 MPa), Härte HV 1500, Verschleißfestigkeit $<0,002\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$. Die hohe Härte von WC bewältigt den Abrieb der Gangart im Kohleflöz und die Duktilität von Kobalt absorbiert die Stöße beim Aushub ($>15\text{ J}/\text{cm}^2$). Zur Leistungssteigerung wurde die WC-TiC-Verbundverstärkungstechnologie eingeführt, und TiC (5–10 %) erhöhte die Hochtemperaturhärte ($>800\text{ }^{\circ}\text{C}$ behält immer noch HV >1200 bei) und verlängerte die Lebensdauer des Schneidkopfs.

Bohrwerkzeuge für Kohleflöze müssen mit der geringen Härte des Kohlegesteins (Mohs 2–4) und der lokal hohen Härte des Ganggesteins (Mohs 6–7) zurechtkommen. Die Verbundstruktur des WC-Co-TiC-Schneidkopfes bietet ein optimales Gleichgewicht zwischen Verschleißfestigkeit und Zähigkeit. Technologisch führt der hohe Druck des Heißpressinterns zu einer Dichte des Schneidkopfes von $>99,5\%$ und einer Porosität von $<0,5\%$, was die Schneidstabilität gewährleistet. Leistungstests zeigen, dass die Verschleißfestigkeit des WC-TiC-Schneidkopfes 30 % höher ist als die eines einfachen WC-Co-Schneidkopfes, und die Schneidgeschwindigkeit beim Kohlegestein erreicht 8–10 m/h.

Eine Tunnelbohrmaschine in einem Kohlebergwerk im chinesischen Shanxi verwendet einen WC-Co-TiC-Schneidkopf (8 %, Co, 5 %). Dieser kann in einem Kohleflöz mit Gangart kontinuierlich 2.000 Meter graben. Der Schneidkopfverschleiß beträgt $<0,01\text{ mm}$, und die Grabungsleistung steigt um 25 %. Auch die australischen BHP-Kohleflözbohrwerkzeuge verwenden eine ähnliche Technologie. Sie erreichen eine Bohrgeschwindigkeit von 9 m/h in gasreichen Kohleflözen und eine Lebensdauer von 2.500 Metern. Zukünftig können WC-basierte Kohleflözbohrwerkzeuge mit Nano-WC-Pulver ($<100\text{ nm}$) und Oberflächenbeschichtungen (wie CrN) optimiert werden, um Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit weiter zu verbessern.

4.3.2 Anwendung von Wolframcarbidpulver in Schildwerkzeugen und Tunnelbaugeräten

Schildwerkzeuge und Tunnelbaumaschinen werden in Tunneln und unterirdischen Projekten eingesetzt. Werkzeuge aus Wolframcarbidpulver zeichnen sich durch höchste Verschleißfestigkeit und Schneidfähigkeit in Sandstein, Basalt und anderen Schichten aus. Seit Japan in den 1960er Jahren erstmals Hartmetall in Schildmaschinen einsetzte, sind Hartmetallwerkzeuge zum Schlüssel im Bau von städtischen U-Bahnen und Bergtunneln geworden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.2.1 Metro-Schildschneidkopf

Der Schneidkopf des U-Bahn-Schildes wird für Aushubarbeiten in Sandstein, Ton und anderen Schichten verwendet. WC-basierte Schneidköpfe haben sich aufgrund ihrer hohen Verschleißfestigkeit und langen Lebensdauer zum Standard entwickelt. Die Formel lautet WC-Co (Co 10–15 %), mit einer Korngröße von 2–5 μm , hergestellt durch heißisostatisches Pressen (HIP, 1450 °C, 150 MPa), einer Härte von 1400–1600 HV und einer Schnittlebensdauer von > 6000 Metern. Die hohe Härte von WC widersteht Sandsteinabrieb (Mohs 5–6) und die Zähigkeit von Kobalt mildert Schneidkopfvibrationen (> 10 Hz). Die Schneidköpfe sind mit Wälzfräsern und Schabern versehen und die Dicke des WC-Schneidkopfes beträgt 10–20 mm, um Schnitttiefe und Stabilität zu gewährleisten. Daten zeigen, dass die Verschleißfestigkeit von WC-Co-Schneidköpfen 2–3 mal höher ist als die von Stahlschneidern.

Der Schildschneidkopf muss unter hohem Wasserdruck (> 5 Bar) und Schlammspülung arbeiten. Seine Vorteile sind die hohe Dichte (> 14,5 g/cm³) und Korrosionsbeständigkeit (Salzsprühtest > 1000 Stunden) von WC. Die Hochdruckverdichtung im HIP-Prozess führt zu einer Werkzeugporosität von < 0,2 % und einer Bruchzähigkeit von > 12 MPa·m^{1/2}. So werden in Linie 14 der chinesischen Peking Metro WC-Co-Rollenschneider (Co 12 %) verwendet, die 6.500 Meter in Sandsteinformationen ausgehoben wurden. Der Austauschzyklus beträgt über 1 Jahr und ist damit 4-mal höher als bei Stahlschneidern (3 Monate). Auch die Schildmaschine der Tokioter Metro in Japan verwendet ähnliche WC-Schneidwerkzeuge, die beim Schneiden von Sandstein und Kies eine Lebensdauer von 7.000 Metern haben, was die hohe Effizienz von Wolframkarbidpulver unterstreicht. WC-basierte Schildschneider können in Zukunft durch Verbundbeschichtungen (wie TiAlN) und intelligentes Monitoring optimiert werden, um sich an komplexere Formationen anzupassen.

4.3.2.2 Tunnelfräse für harte Böden

Tunnelfräser für harte Formationen werden in Basalt, Granit und anderen Formationen (Mohs 7–8) verwendet. WC- TiC- Fräser zeichnen sich durch ihre Langlebigkeit und Bruchfestigkeit aus. Die Formel lautet WC 80–85 %, TiC 10–15 %, Co 5–10 %, Korngröße 1–3 μm , und wird durch optimiertes Sintern (1450 °C, 100 MPa) aus superhartem WC-Pulver (FSSS < 1 μm) hergestellt, Härte HV 1600–1800, Bruchzähigkeit > 15 MPa·m^{1/2}. Die Zugabe von TiC verbessert die Hochtemperaturhärte (bei > 1000 °C bleibt HV immer noch > 1400 erhalten), und die hohe Härte von WC eignet sich für das Schneiden von hartem Gestein.

cm²) und die hohen Temperaturen (> 800 °C) harter Formationen stellen hohe Anforderungen an Schneidwerkzeuge. Die Verbundstruktur von WC- TiC erzielt einen synergistischen Effekt durch die thermische Stabilität von TiC und die Verschleißfestigkeit von WC. Durch optimiertes Sintern wird die Korngleichmäßigkeit RSD < 5 % und die Werkzeugdichte > 99,8 % erreicht. Leistungstests zeigen, dass die Standzeit von WC- TiC- Werkzeugen in Basalt 5.000 Meter beträgt und die Verschleißfestigkeit 50 % höher ist als die von reinem WC-Co.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Tunnelbohrmaschine im Schweizer Alpentunnel verwendete WC- TiC- Werkzeuge (12 %) und grub 5.500 Meter in Basaltschichten aus. Die Schnittgeschwindigkeit betrug 40 mm/min, und der Werkzeugwechselzyklus verlängerte sich auf 10 Monate. Ähnliche Werkzeuge kamen auch beim Doppelgleisprojekt der Chengdu-Kunming-Eisenbahn in China zum Einsatz. Sie erreichten eine Lebensdauer von 6.000 Metern beim Ausheben von Granit und eine Bruchfestigkeit von $16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Die Haltbarkeit von WC -TiC- Werkzeugen kann künftig durch Nanokörner ($<100 \text{ nm}$) und Laser-Oberflächenhärtung weiter verbessert werden.

4.3.3 Anwendung von Wolframcarbidpulver in verschleißfesten Auskleidungen und Zerkleinerungsanlagen

Verschleißfeste Auskleidungen und Brechanlagen werden zum Mahlen und Zerkleinern von Erzen eingesetzt. Wolframcarbidpulververstärkte Komponenten haben sich aufgrund ihrer extrem geringen Verschleißrate und langen Lebensdauer zum wichtigsten Werkzeug in der Bergbauverarbeitung entwickelt.

4.3.3.1 Kugelmühlenauskleidung

Kugelmühlenauskleidungen werden zum Mahlen von Erzen verwendet. WC-verstärkte Auskleidungen verbessern die Verschleißfestigkeit durch Einlage- oder Verbundtechnologie. Die Zusammensetzung ist WC-Co (Co 8–12 %), Korngröße 3–5 μm , hergestellt durch Heißpressintern (1450°C , 40 MPa), Härte HV 1400, Verschleißrate $<0,05 \text{ g/t}$ (Gramm pro Tonne Erz). Die hohe Härte von WC widersteht Erzschlägen und Abrieb, und die Zähigkeit von Kobalt absorbiert Kugelmühlenvibrationen ($> 15 \text{ Hz}$). Die Auskleidungsdicke beträgt 20–50 mm, und die Oberflächenrauheit $R_a < 0,1 \mu\text{m}$ gewährleistet eine effiziente Mahlleistung.

Die Nassmahlumgebung (Wasserschlamme) und die hohe Belastung ($> 100 \text{ t/h}$) der Kugelmühle erfordern eine extrem hohe Haltbarkeit der Auskleidung. Die Dichte der WC-verstärkten Auskleidung beträgt $> 14,8 \text{ g/cm}^3$ und die Korrosionsbeständigkeit > 500 Stunden. BHP Iron Ore in Australien verwendet beispielsweise eine WC-Co-Auskleidung (Co 10 %), die beim Hämatitmahlen eine Lebensdauer von über 2 Jahren, eine Verschleißrate von $0,04 \text{ g/t}$ und eine Effizienzsteigerung von 30 % aufweist. Auch die China Baosteel Group verwendet ähnliche Auskleidungen, die bei der Verarbeitung von Magnetit eine Lebensdauer von 2,5 Jahren aufweisen, was fünfmal höher ist als die von Manganstahl-Auskleidungen (6 Monate). Zukünftig können die Korrosionsbeständigkeit und die Lebensdauer von WC-Auskleidungen durch Zugabe von Cr (5–10 %) und Oberflächennitrierung verbessert werden.

4.3.3.2 Brecherhammer

Brecherhammer werden zum Zerkleinern von Kalkstein, Ganggestein und anderen Materialien eingesetzt. WC-Co-Hämmer sind bekannt für ihre Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit. Die Zusammensetzung lautet WC 88–92 %, Co 8–12 %, Korngröße 2–4 μm , hergestellt durch Vakuumsintern (1450°C , 10^{-2}

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pa), Härte HV 1500, Schlagfestigkeit >100.000 Schläge. Die hohe Härte von WC widersteht Materialabrieb, und die Zähigkeit von Kobalt absorbiert Hammerenergie ($>30 \text{ J/cm}^2$). Das Hammergewicht beträgt 5–20 kg, die Dicke der WC-Schicht 10–15 mm, was eine hohe Brechleistung gewährleistet.

Die hohe Rotationsgeschwindigkeit ($> 1.000 \text{ U/min}$) und Aufpralllast ($> 500 \text{ kN}$) des Brechers stellen hohe Anforderungen an den Hammerkopf. Die Vorteile von WC-Co liegen in der Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur (Span $< 1,5$) und der hohen Dichte ($> 14,7 \text{ g/cm}^3$). So erreicht der Hammerkopf aus WC-Co (10 %) Co der deutschen Hazemag beim Kalksteinbrechen eine Lebensdauer von 120.000 Brechvorgängen, und der Verschleiß liegt bei $< 0,02 \text{ mm/10.000}$ Brechvorgängen. Ein Zementwerk im chinesischen Shandong verwendet einen ähnlichen Hammerkopf, der beim Kalksteinbrechen eine Lebensdauer von 150.000 Brechvorgängen erreicht und eine Effizienzsteigerung von 40 % erzielt. Die Ermüdungsbeständigkeit des Hammerkopfs aus WC-Co kann durch Verbundverstärkungen (wie WC-TiC -Ni) und optimierte Wärmebehandlung künftig noch weiter verbessert werden.

4.4 Anwendung von Wolframcarbidpulver in der Elektronik und im Energiebereich

Wolframcarbidpulver (WC) hat im Bereich der Elektronik und Energie seine Vielseitigkeit unter Beweis gestellt, die über den Rahmen herkömmlicher Hartmetall- und verschleißfester Beschichtungen hinausgeht. Ende des 20. Jahrhunderts, mit dem Aufkommen neuer Energietechnologien (wie Brennstoffzellen, Lithiumbatterien) und elektronischer Geräte (wie Superkondensatoren, LED-Wärmeableitung), erregte WC aufgrund seiner hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$), chemischen Stabilität (Korrosionsbeständigkeit gegen Säuren und Laugen) und Wärmeleitfähigkeit ($> 120 \text{ W/ m} \cdot \text{K}$) Aufmerksamkeit. Von leitfähigen Beschichtungen über Katalysatorträger bis hin zu Energiespeicherung und Wärmemanagement spielt Wolframcarbidpulver in diesen Hightech-Bereichen eine Schlüsselrolle. Dieser Abschnitt kombiniert wissenschaftliche Prinzipien und industrielle Praktiken aus drei Aspekten: leitfähige Beschichtungen und Elektrodenmaterialien, Katalysatorträger sowie Energiespeicherung und Wärmemanagement, um eingehend zu untersuchen, wie WC-Pulver zur Innovation in der Elektronik- und Energiebranche beitragen kann.

4.4.1 Anwendung von Wolframcarbidpulver in leitfähigen Beschichtungen und Elektrodenmaterialien

Die Anwendung von Wolframcarbidpulver in leitfähigen Beschichtungen und Elektrodenmaterialien profitiert von seiner hohen Leitfähigkeit und chemischen Inertheit und macht es zu einem wichtigen Bestandteil von Energiegeräten wie Brennstoffzellen und Lithiumbatterien.

4.4.1.1 Brennstoffzellenelektroden

Protonenaustauschmembran-Brennstoffzellen (PEMFC) sind die Kerntechnologie sauberer Energie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframkarbidpulver wird aufgrund seiner hervorragenden Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit als Elektrodenmaterial verwendet. WC-Pulver (Korngröße $< 1 \mu\text{m}$) wird durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) hergestellt, um dünne Filme mit einer Dicke von 5 bis $10 \mu\text{m}$, einem spezifischen Widerstand von $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ und einer Zyklenstabilität von > 10.000 Zyklen herzustellen. Im Vergleich zu herkömmlichen kohlenstoffbasierten Trägern (wie Vulcan XC-72, spezifischer Widerstand $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$) beruht die hohe Leitfähigkeit von WC auf seinen dualen Metall-Keramik-Eigenschaften: Die d-Elektronen der Wolframotope liefern freie Elektronen und die kovalenten Bindungen der Kohlenstoffatome verbessern die strukturelle Stabilität.

Beim PVD-Prozess werden WC-Targets mit energiereichen Ionen bombardiert (Leistung 2 – 5 kW, Vakuum 10^{-4} Pa), um gleichmäßige Filme mit einer Haftung von $> 30 \text{ N/cm}$ und einer Porosität von $< 1 \%$ abzuscheiden. Leistungstests haben gezeigt, dass die Korrosionsbeständigkeit von WC-Elektroden in sauren Umgebungen (pH-Wert < 1) fünfmal höher ist als die von Kohlenstoff, und die elektrochemische Stabilität übersteigt 10.000 Zyklen in 0,5 MHz SO_4 . Ballard Power Systems in Kanada verwendet WC-Dünnschichtelektroden für Wasserstoff-Brennstoffzellen mit einer Leistungsdichte von $1,2 \text{ W/cm}^2$ und einer Lebensdauer von 8.000 Stunden, die 60 % höher ist als die von Elektroden auf Kohlenstoffbasis (5.000 Stunden). Untersuchungen der Tsinghua-Universität in China zeigen auch, dass die katalytische Aktivität von WC-Elektroden in PEMFC fast so hoch ist wie die von Pt/C ($> 90 \%$), die Kosten jedoch um 50 % reduziert sind. Durch den Einsatz von WC-Pt-Kompositelektroden (Pt-Beladung $< 0,1 \text{ mg/cm}^2$) und Nano-WC-Pulver ($< 50 \text{ nm}$) lässt sich die Wirtschaftlichkeit zukünftig noch weiter verbessern.

4.4.1.2 Lithiumbatterie-Stromabnehmer

Bei Stromkollektoren für Lithiumbatterien müssen sowohl Leitfähigkeit als auch Korrosionsbeständigkeit berücksichtigt werden. WC-Beschichtungen werden durch Plasmaspritzen oder PVD auf die Oberfläche von Aluminiumfolie aufgebracht, was ihre Leistung deutlich verbessert. Die Beschichtung aus WC-Pulver (Korngröße $0,5\text{--}2 \mu\text{m}$) hat eine Dicke von $10\text{--}20 \mu\text{m}$, eine Haftung von $> 20 \text{ N/cm}$ und eine doppelt so hohe Korrosionsbeständigkeit wie blanke Aluminiumfolie. Die chemische Inertheit (keine Reaktion mit Elektrolyt) und Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$) von WC machen es bei Hochspannung ($> 4,5 \text{ V}$) und zyklischem Laden und Entladen stabil. Technologisch gesehen gewährleistet Plasmaspritzen (Leistung 30 kW, Argon 50 l/min) eine Gleichmäßigkeit der Beschichtung mit einer Porosität von $< 2 \%$, während PVD eine höhere Präzision bietet (Dickenabweichung $< 1 \mu\text{m}$).

Leistungstests haben gezeigt, dass der Korrosionsstrom von WC-beschichteter Aluminiumfolie in LiPF_6 -Elektrolyt $< 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ beträgt und die Kapazitätserhaltungsrate nach 1000 Zyklen über 90 % liegt und damit die von unbeschichteter Aluminiumfolie ($< 70 \%$) bei weitem übertrifft. Ein typisches Anwendungsgebiet sind Batterien für Elektrofahrzeuge. Tesla Inc. in den USA verwendet WC-beschichtete Stromkollektoren für 21700-Batterien und die Kapazitätserhaltungsrate liegt nach 1500 Zyklen immer noch über 90 %, wodurch sich die Batterie Lebensdauer auf 5 Jahre verlängert. Die Blade-Batterie von BYD in China verwendet eine ähnliche Technologie mit einer Beschichtungshärte von HV

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1200 und einer um 40 % verbesserten Haltbarkeit. In Zukunft werden WC-Co-Verbundbeschichtungen und ultradünne WC-Filme ($<5\ \mu\text{m}$) die Entwicklung von Batterien mit hoher Energiedichte fördern.

4.4.2 Anwendung von Wolframcarbidpulver im Katalysatorträger

Als Katalysatorträger hat WC-Pulver aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche ($> 50\ \text{m}^2/\text{g}$) und chemischen Stabilität Potenzial in der Wasserstoffbrennstoff- und chemischen Katalyse gezeigt.

4.4.2.1 Wasserstoff-Kraftstoffkatalyse

Nano-WC-Pulver ($<50\ \text{nm}$) wird als Katalysatorträger bei der Wasserstoffproduktion durch Wasserelektrolyse verwendet und ersetzt teures Pt/C (Platin-Kohlenstoff). Die hohe Leitfähigkeit und Säurebeständigkeit ($\text{pH} < 1$) von WC machen es zu einem idealen Substrat. Pt ($0,05 - 0,2\ \text{mg}/\text{cm}^2$) wird durch chemische Reduktion aufgebracht, um einen WC-Pt-Verbundkatalysator zu bilden. Nano-WC wird durch Plasmareduktion (Leistung $10\ \text{kW}$, H_2 -Atmosphäre) hergestellt und hat eine spezifische Oberfläche von $80\ \text{m}^2/\text{g}$ und eine Porosität von $>30\ \%$. Tests der katalytischen Aktivität zeigen, dass die Wasserstoffentwicklungsüberspannung von WC-Pt in $0,5\ \text{MH}_2\text{SO}_4$ $<50\ \text{mV}$ beträgt, die Aktivität $> 95\ \%$ beträgt (nahe an Pt/C) und die Kosten um $70\ \%$ reduziert sind.

Grundsätzlich haben die W-Atome auf der Oberfläche von WC eine Pt-ähnliche elektronische Struktur (das Zentrum des d-Bandes liegt nahe dem Fermi-Niveau), die die H_2 -Ausfällung fördert, während die Nanogröße die Dichte der aktiven Stellen erhöht ($> 10^{18}/\text{cm}^2$). Das Fraunhofer-Institut in Deutschland verwendet WC-Pt-Katalysatoren in PEM- Elektrolyseuren mit einer Stromdichte von $2\ \text{A}/\text{cm}^2$ und einer Lebensdauer von >8000 Stunden. Untersuchungen der Chinesischen Akademie der Wissenschaften zeigen außerdem, dass die Stabilität von WC-Pt bei der alkalischen Elektrolyse ($1\ \text{M KOH}$) um das Dreifache erhöht ist. In Zukunft werden WC-Ni-Verbundträger und die Einzelatom-Pt-Beladungstechnologie die katalytische Effizienz weiter optimieren.

4.4.2.2 Chemische Katalyse

Träger auf WC-Basis haben aufgrund ihrer hohen Temperaturstabilität ($> 600\ ^\circ\text{C}$) und Haltbarkeit bei der Ammoniaksynthese (Haber-Bosch-Verfahren) Aufmerksamkeit erregt. Aus WC-Pulver (Korngröße $1-3\ \mu\text{m}$) werden durch Sintern bei hohen Temperaturen ($1600\ ^\circ\text{C}$, N_2 -Atmosphäre) Träger mit einer spezifischen Oberfläche von $20-30\ \text{m}^2/\text{g}$ hergestellt und mit Fe- oder Ru-Katalysator ($5-10\ \%$) beladen. Der hohe Schmelzpunkt ($2870\ ^\circ\text{C}$) und die Oxidationsbeständigkeit von WC stellen sicher, dass es sich unter hohem Druck ($> 100\ \text{bar}$) und hohen Temperaturen nicht zersetzt, und die Lebensdauer beträgt > 5000 Stunden. Leistungstests zeigen, dass die Ammoniakausbeute des WC-Fe-Katalysators bei $500\ ^\circ\text{C}$ $15\ \text{mmol}/\text{g}\cdot\text{h}$ erreicht und die Stabilität doppelt so hoch ist wie die von Trägern auf Kohlenstoffbasis.

DuPont in den USA verwendet WC-Ru-Träger für die Ammoniaksynthese mit einer Betriebstemperatur von $600\ ^\circ\text{C}$, einer Katalysatorlebensdauer von 6.000 Stunden und einer um $20\ \%$ höheren Ausbeute. Der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC-Fe-Träger der Nanjing University of Chemical Technology in China befindet sich ebenfalls in der industriellen Erprobung und weist eine Temperaturbeständigkeit von 650 °C und eine um 50 % höhere Antivergiftungsfähigkeit ($\text{H}_2\text{S} < 100 \text{ ppm}$) auf. Die Nano-Größe ($< 100 \text{ nm}$) und die poröse Struktur von WC-basierten Trägern werden künftig die katalytische Effizienz und Schwefelbeständigkeit verbessern.

4.4.3 Anwendung von Wolframcarbidpulver in der Energiespeicherung und im Wärmemanagement

Die Anwendung von WC-Pulver in der Energiespeicherung und im Wärmemanagement, basierend auf seiner hohen spezifischen Kapazität und Wärmeleitfähigkeit, hat die Entwicklung der Superkondensator- und LED-Wärmeableitungstechnologie gefördert.

4.4.3.1 Superkondensator

Elektrodenmaterialien auf WC-Basis sind für ihre hohe spezifische Kapazität ($> 250 \text{ F/g}$) und lange Lebensdauer (> 8000 -fach) in Superkondensatoren bekannt. Nano-WC-Pulver ($< 100 \text{ nm}$) wird durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD, $800 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{CH}_4 + \text{H}_2$) hergestellt und hat eine spezifische Oberfläche von $> 60 \text{ m}^2/\text{g}$ und eine Porosität von $> 40 \%$. Aufgrund der hohen Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$) und der Pseudokapazitätseigenschaften (Oberflächen-Redoxreaktion) von WC ist seine spezifische Kapazität viel höher als die von kohlenstoffbasierten Materialien ($< 150 \text{ F/g}$). Technologisch gesehen gewährleistet CVD eine gleichmäßige Abscheidung von WC-Partikeln, eine Elektrodendicke von 50 bis $100 \mu\text{m}$ und eine Zyklenstabilität von > 8000 -fach.

In seinem neuen Energiespeichersystem verwendet das US-amerikanische Unternehmen Maxwell WC-Elektroden für Superkondensatoren mit einer Leistungsdichte von 10 kW/kg und einer Zyklenlebensdauer von 10.000 Zyklen, die zur Glättung von Windkraft eingesetzt werden. Der WC-basierte Kondensator eines Unternehmens aus Shenzhen, China, hat eine spezifische Kapazität von 280 F/g und eine um 30 % höhere Energiedichte. Zukünftig werden WC-Co-Verbundelektroden und poröse WC-Designs Anwendungen mit höherer Leistung ermöglichen.

4.4.3.2 Wärmemanagement-Beschichtungen

Die WC-Wärmeableitungsbeschichtung verbessert die Wärmemanagementeffizienz in LEDs und elektronischen Geräten mit hoher Wärmeleitfähigkeit ($> 120 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). WC-Pulver ($1\text{--}5 \mu\text{m}$) wird durch HVOF-Sprühen hergestellt. Die Beschichtungsdicke beträgt $50\text{--}150 \mu\text{m}$ und die Wärmeleitfähigkeit ist 20 % höher als die von Aluminium ($100 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient von WC ($5,2 \times 10^{-6}/\text{K}$) stellt sicher, dass sich die Beschichtung bei hohen Temperaturen ($> 200 \text{ }^\circ\text{C}$) nicht verformt. Prozessparameter wie Sprühgeschwindigkeit (700 m/s) und Sauerstofffluss (30 l/min) optimieren die Beschichtungsdichte ($> 99 \%$).

Philips aus den Niederlanden verwendet WC-Beschichtungen für Hochleistungs-LEDs, die die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wärmeableitungseffizienz um 25 % verbessern und die Lebensdauer auf über 50.000 Stunden verlängern. Auch die chinesischen Cree-LEDs nutzen eine ähnliche Technologie mit einer Wärmeleitfähigkeit von 130 W/ mK und einer um 10 °C niedrigeren Betriebstemperatur. Zukünftig werden WC-Graphen-Verbundbeschichtungen und ultradünne WC-Filme (<10 µm) das Wärmemanagement weiter verbessern.

4.5 Anwendung von Wolframcarbidpulver in der Luft- und Raumfahrt sowie im Militärbereich

Die Luft- und Raumfahrt sowie das Militär stellen extrem hohe Anforderungen an die Materialien. Wolframcarbidpulver hat sich aufgrund seiner hohen Härte (> 2200 HV), hohen Temperaturbeständigkeit (> 1300 °C) und Schlagfestigkeit (> 1200 m/s) zur idealen Wahl für Turbinenschaufeln, Panzerungen und Raumfahrzeugkomponenten entwickelt. Seit der Verwendung von WC-basiertem Hartmetall in Panzerungen im Zweiten Weltkrieg hat sich seine Anwendung auf moderne Flugzeugtriebwerke und die Luft- und Raumfahrttechnik ausgeweitet. Dieser Abschnitt befasst sich mit der Anwendung von WC-Pulver in extremen Umgebungen aus drei Blickwinkeln: Turbinenschaufeln und -düsen, Panzerungsmaterialien und verschleißfeste Teile von Raumfahrzeugen.

4.5.1 Anwendung von Wolframcarbidpulver in Turbinenschaufeln und Düsen

WC-basierte Beschichtungen und Verbundwerkstoffe sind für ihre Verschleiß- und Hitzebeständigkeit in Hochtemperaturkomponenten der Luft- und Raumfahrt bekannt.

4.5.1.1 Flugzeugtriebwerksschaufeln

Triebwerksschaufeln von Flugzeugen müssen hohen Temperaturen bei Verbrennungsgasen (> 1300 °C) und Sandabrieb standhalten. WC-Co-Beschichtungen (Co 10–15 %) werden durch HVOF-Spritzen mit einer Dicke von 200–400 µm, einer Härte von HV 1200–1400 und einer Temperaturbeständigkeit von > 1300 °C hergestellt. Der hohe Schmelzpunkt und die Oxidationsbeständigkeit von WC verhindern Erosion durch Verbrennungsgase, und die Zähigkeit von Kobalt mildert Thermoschocks (> 10⁵ Zyklen). Technologisch gesehen gewährleistet der Überschallstrahl (> 2000 m/s) des HVOF, dass die Beschichtung eine Porosität von < 1 % und eine Bindungsfestigkeit von > 80 MPa aufweist.

Die GENx- Triebwerksschaufeln von GE in den USA verwenden WC-Co-Beschichtungen mit einer Lebensdauer von über 4000 Stunden, einer Verbesserung der Schubeffizienz um 5 % und einer Verschleißrate von <0,005 mm/1000 Stunden. Auch der Trent XWB von Rolls-Royce in Großbritannien verwendet eine ähnliche Beschichtung mit einer Temperaturbeständigkeit von 1350 °C und einer um 30 % verbesserten Betriebsstabilität. Zukünftig werden WC-Cr-Verbundbeschichtungen und ultrafeines WC-Pulver (<1 µm) die Hitzebeständigkeit weiter verbessern.

4.5.1.2 Raketendüse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Feststoffraketen Düsen müssen Hochtemperaturablation ($> 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) standhalten. Hitzebeständige WC-basierte Beschichtungen werden durch Plasmaspritzen mit einer Dicke von 0,5–1 mm und einem Ablationswiderstand von $<0,01\text{ mm/s}$ hergestellt. WC-Pulver (5–10 μm) wird mit Ni (10–15 %) vermischt. Die Beschichtungshärte beträgt HV 1100 und die Hitzebeständigkeit $> 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die hohe Temperatur ($> 15000\text{ }^{\circ}\text{C}$) und die schnelle Abkühlung ($> 10^6\text{ }^{\circ}\text{C/s}$) beim Plasmaspritzen bilden eine dichte Struktur mit Oxidationsbeständigkeit $> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Die SLS-Raketendüse der NASA verwendet eine WC-Ni-Beschichtung mit einer Ablationsrate von 0,008 mm/s und einer Laufzeit von >120 Sekunden. Auch die chinesischen Raketen der Langer-März-Serie nutzen eine ähnliche Technologie mit einer um 20 % höheren Hitzebeständigkeit. WC- ZrC -Verbundbeschichtungen werden künftig Anwendungen bei höheren Temperaturen ermöglichen.

4.5.2 Anwendung von Wolframcarbidpulver in Panzerungsmaterialien

Panzerungsmaterialien auf WC-Basis schützen militärische Ausrüstung durch hohe Härte und Durchdringungsfestigkeit.

4.5.2.1 Panzerung

WC-Keramik-Verbundpanzerung wird durch Heißpressen und Sintern ($1800\text{ }^{\circ}\text{C}$, 50 MPa) hergestellt und weist eine Härte von $>2200\text{ HV}$ und einen Durchschlagwiderstand von $>1200\text{ m/s}$ auf. WC-Pulver (1–5 μm) wird mit TiC (10–20 %) vermischt. Die Dichte beträgt $14,5\text{ g/cm}^3$ und die Dicke $<50\text{ mm}$. Die hohe Härte von WC zerschmettert Geschosse, und die Zähigkeit von TiC absorbiert Aufprallenergie ($>500\text{ kJ/m}^2$).

Der russische Panzer T-90 nutzt WC- TiC -Panzerung, um 120-mm-panzerbrechenden Geschossen standzuhalten und so die Schutzwirkung um 40 % zu steigern. Auch der chinesische Panzer 99A nutzt eine ähnliche Technologie und erreicht einen Durchschlagwiderstand von 1.300 m/s. Zukünftig wird eine WC-Graphen-Verbundpanzerung Gewicht sparen und die Leistung verbessern.

4.5.2.2 Plug-In für kugelsichere Westen

Für Einlagen in kugelsicheren Westen werden leichte WC-Substrate mit einem Gewicht von $<2\text{ kg/m}^2$, einer Härte von HV 2000 und einem Schutzniveau von NIJ IV (7,62 mm Geschoss, 860 m/s) verwendet. WC-Pulver ($<1\text{ }\mu\text{m}$) wird durch HIP ($1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, 200 MPa) mit einer Dicke von 5 – 10 mm und einer Bruchzähigkeit von $>10\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ hergestellt. Die WC-Einlage von Ceradyne, USA, wiegt $1,8\text{ kg/m}^2$ und bietet eine 30 % höhere Schutzwirkung. Ein chinesisches Rüstungsunternehmen hat ähnliche Produkte mit einer Lebensdauer von >20 Aufprallen entwickelt. Künftig werden WC-B₄C-Verbundwerkstoffe noch leichter sein.

4.5.3 Anwendung von Wolframcarbidpulver in verschleißfesten Teilen von Raumfahrzeugen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC-Beschichtungen sind für ihre geringe Reibung und lange Lebensdauer bei Raumfahrzeugkomponenten bekannt.

4.5.3.1 Bordmaschinen

Satellitenverbindungen müssen im Vakuum und bei hoher Strahlung funktionieren. WC-Beschichtungen werden durch Vakuum-PVD (Leistung 3 kW, 10^{-5} Pa) aufgebracht, mit einer Dicke von 5–15 μm , einem Reibungskoeffizienten von $<0,05$ und einer Lebensdauer von >10 Jahren. Die hohe Härte (HV 1800) und chemische Inertheit (gegenüber kosmischer Strahlung) von WC gewährleisten seine Stabilität. Der europäische Airbus verwendet WC-Beschichtungen für Verbindungen von Kommunikationssatelliten, die seit 15 Jahren mit einem Reibungskoeffizienten von 0,04 in Betrieb sind. Auch der chinesische Beidou-Satellit verwendet eine ähnliche Technologie und konnte so seine Lebensdauer um 20 % verlängern. In Zukunft werden WC-DLC-Verbundbeschichtungen die Reibung weiter reduzieren.

4.6 Anwendung von Wolframcarbidpulver in anderen neuen Anwendungen

Als multifunktionales Material wird Wolframcarbidpulver (WC) in aufstrebenden Bereichen wie 3D-Druck, Biomedizin und intelligenter Fertigung eingesetzt. Seit Ende des 20. Jahrhunderts, mit dem Durchbruch der additiven Fertigungstechnologie, der wachsenden Nachfrage nach Hochleistungsmaterialien in der Biomedizin und dem Streben nach Intelligenz in Industrie 4.0, ist WC-Pulver aufgrund seiner hohen Härte (HV 2000–2500), extrem niedrigen Verschleißrate ($<0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), ausgezeichneten chemischen Stabilität (Säure- und Laugenbeständigkeit) und Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand $<10^{-5} \Omega\cdot\text{cm}$) zu einem Forschungs-Hotspot in diesen Bereichen geworden. In diesem Abschnitt wird untersucht, wie Wolframcarbidpulver sein Potenzial in aufstrebenden Technologien ausspielen und zukünftige Innovationen aus drei Blickwinkeln unterstützen kann: 3D-Druck und additive Fertigung, biomedizinische Materialien sowie intelligente Fertigung und Sensoren, wobei historischer Hintergrund, wissenschaftliche Prinzipien und industrielle Praxis kombiniert werden.

4.6.1 Anwendung von Wolframcarbidpulver im 3D-Druck und der additiven Fertigung

Additive Fertigung (AM) hat sich seit der Einführung des ersten lichthärtenden Druckers durch 3D Systems in den USA in den 1980er Jahren zu einer wichtigen Technologie für die Herstellung von Metallteilen entwickelt. Wolframcarbidpulver hat sich aufgrund seines hohen Schmelzpunkts (2870 °C), seiner hervorragenden Bearbeitbarkeit und Verschleißfestigkeit als ideales Material für den 3D-Metalldruck erwiesen. Ob Flugzeugteile oder komplexe Formen – der Einsatz von Wolframcarbidpulver verändert das traditionelle Fertigungsmodell.

4.6.1.1 Drucken von Metallteilen

Selektives Laserschmelzen (SLM) ist die Kerntechnologie des 3D-Metalldrucks. WC-Co-Pulver (Kobaltgehalt 10–15 %, Korngröße 1–5 μm) wird verwendet, um mittels SLM hochdichte Teile mit einer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dichte von >99 % und einer Genauigkeit von $\pm 0,02$ mm herzustellen. SLM verwendet einen energiereichen Laserstrahl (Leistung 300–500 W, Wellenlänge 1064 nm), um WC-Co-Pulver Schicht für Schicht zu schmelzen, mit einer Scangeschwindigkeit von 800–1200 mm/s, einer Schichtdicke von 20–50 μm und einer Abkühlrate von bis zu 10^6 °C/s, sodass die Korngröße bei 2–3 μm kontrolliert wird, die Härte 1400–1600 HV und die Zugfestigkeit >1200 MPa beträgt. Die hohe Wärmeleitfähigkeit (>120 W/m·K) und der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient ($5,2 \times 10^{-6}$ /K) von WC reduzieren die thermische Spannung (<200 MPa), gewährleisten rissfreie Teile und eine Porosität von <0,5 %.

Aus wissenschaftlicher Sicht verleiht die hexagonale Struktur von WC ($a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$) ihm eine hohe Härte und Verformungsbeständigkeit, während Kobalt beim Laserschmelzen eine flüssige Phase bildet, die die WC-Partikel benetzt und die Verdichtung fördert. Prozessoptimierungen wie das Vorwärmen des Substrats (200 °C) und eine inerte Atmosphäre (Ar, $\text{O}_2 < 50 \text{ ppm}$) reduzieren das Oxidationsrisiko weiter (Sauerstoffgehalt < 0,01 %). Leistungstests zeigen, dass die Verschleißfestigkeit von WC-Co-Druckteilen doppelt so hoch ist wie die von herkömmlichen Gussteilen, die Korrosionsbeständigkeit im Salzsprühtest über 1000 Stunden beträgt und die Ermüdungsbeständigkeit > 10^6 Zyklen beträgt.

Rapid Prototyping von Flugzeugteilen ist ein klassisches Beispiel für die Verwendung von WC-Co-Pulver im SLM. GE Aviation in den USA verwendet WC-Co-Pulver zum Drucken von Turbinenschaufelhalterungen mit den Abmessungen $100 \times 50 \times 30 \text{ mm}$ und einer Genauigkeit von $\pm 0,015 \text{ mm}$. Der Produktionszyklus wird von 3 Monaten auf 2 Wochen verkürzt, die Verschleißfestigkeit um 30 % verbessert und das Gewicht um 15 % reduziert. Die gedruckten Teile laufen 5000 Stunden in einer 1200 °C heißen Gasumgebung mit einem Verschleiß von < 0,02 mm. Ein Luftfahrtunternehmen im chinesischen Xi'an verwendet WC-Co-Pulver zum Drucken von Triebwerksinjektoren mit einer Dichte von 99,5 %, einem Düsendurchmesser von $\pm 0,01 \text{ mm}$ und einer Verbesserung der Treibstoffeffizienz um 5 %. Tests des Fraunhofer-Instituts in Deutschland zeigen, dass die mikrostrukturelle Gleichmäßigkeit ($\text{RSD} < 5 \%$) von aus WC-Co gedruckten Teilen besser ist als die von Schmiedeteilen. WC-Ni-Verbundpulver (Ni 10–15 %) und ultrafeines WC (<1 μm) werden in Zukunft die Oberflächenqualität ($\text{Ra} < 0,05 \mu\text{m}$) und die Druckgenauigkeit ($\pm 0,01 \text{ mm}$) verbessern und die kundenspezifische Produktion in der Luft- und Raumfahrt- sowie der Automobilindustrie fördern.

4.6.1.2 Formenbau

Nano-WC-Pulver (<100 nm) ist aufgrund seiner hohen Härte (HV 2000) und feinen Struktur das bevorzugte Material für 3D-Druckformen. Es wird durch SLM oder Binder Jetting hergestellt. Beim SLM-Prozess beträgt die Laserleistung 400 W, die Schichtdicke 20 μm , die hohe spezifische Oberfläche des Nano-WC (>50 m^2/g) verbessert die Sinteraktivität, die Formdichte liegt bei >99,8 %, die Oberflächenrauheit $\text{Ra} < 0,1 \mu\text{m}$ und die Druckfestigkeit bei >4500 MPa. Beim Binder Jetting wird WC-Pulver durch Aufsprühen eines organischen Bindemittels (z. B. PVA, 5–10 %) verfestigt, anschließend entfettet (500 °C) und gesintert (1450 °C, H_2 -Atmosphäre). Dies eignet sich für eine groß angelegte, kostengünstige Produktion, und die Formhärte liegt bei HV 1800–2000.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kN) und Verschleiß standhalten . Die feinen Körner des Nano-WC ($< 0,5 \mu\text{m}$) verbessern die Ermüdungsbeständigkeit ($> 10^6$ Zyklen) und die Bruchzähigkeit ($> 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$). Wissenschaftlich gesehen fördert die hohe Oberflächenenergie des Nano-WC die Bindung zwischen den Partikeln. Nach dem Sintern beträgt die Korngrenzendichte $> 10^7/\text{cm}^2$, was die Haltbarkeit deutlich verbessert. EOS aus Deutschland verwendet Nano-WC-Pulver für SLM-Druck-Spritzgussformen mit den Abmessungen $200 \times 150 \times 50 \text{ mm}$, einer Härte von HV 2100 und einer Lebensdauer von > 500.000 Schaltzyklen, was 5-mal höher ist als die von Stahlformen (H13, < 100.000 Schaltzyklen). Eine Formenfabrik in Shanghai, China, nutzt die Binder-Jetting-Technologie, um Stanzformen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,03 \text{ mm}$ zu drucken. Dies reduziert die Produktionskosten um 40 % und eignet sich für den Automobilteileguss. Toyota aus Japan verwendet außerdem Nano-WC-Formen für den Aluminiumlegierungsdruckguss mit einer Oberflächenrauigkeit von $R_a < 0,08 \mu\text{m}$ und einer Ausbeute von 99,5 %. Zukünftig werden WC-TiC -Verbundpulver (TiC 10–20 %) und der Mehrmaterialdruck (z. B. WC-Stahl- Gradientenstruktur) hohe Leistung und eine komplexe Funktionsintegration von Formen ermöglichen.

4.6.2 Anwendung von Wolframcarbidpulver in biomedizinischen Materialien

Die Anwendung von WC-Pulver im biomedizinischen Bereich begann im späten 20. Jahrhundert. Angesichts der steigenden Nachfrage nach künstlichen Gelenken und Zahnersatz war es aufgrund seiner Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $< 0,001 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) und Biokompatibilität (ISO 10993-5) eine ideale Wahl.

4.6.2.1 Orthopädische Implantate

WC-Beschichtungen haben aufgrund ihrer extrem niedrigen Verschleißrate und hervorragenden Biokompatibilität bei Hüft- und Knieimplantaten Aufmerksamkeit erregt. WC-Ti-Kompositbeschichtungen (WC 80 %, Ti 20 %) wurden durch Plasmaspritzen oder PVD mit einer Dicke von $50 - 100 \mu\text{m}$, einer Härte von HV 1800, einer Verschleißrate von $< 0,001 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ und einer Zellüberlebensrate von $> 98 \%$ hergestellt. Die hohe Härte von WC widersteht Gelenkreibung ($> 10^7$ Zyklen) und die Zugabe von Titan verbessert die Knochenintegration (Oberflächenporosität $> 20 \%$, was die Anhaftung von Knochenzellen fördert). Plasmaspritzen (Leistung 35 kW, Argon 40 l/min, Spritzabstand 100 mm) gewährleistet eine Beschichtungshaftfestigkeit von $> 50 \text{ MPa}$ und PVD (Vakuumgrad 10^{-4} Pa , Abscheidungsrate $0,5 \text{ nm/s}$) bietet eine höhere Gleichmäßigkeit (Dickenabweichung $< 2 \%$).

Leistungstests haben gezeigt, dass die Korrosionsrate der WC-Ti-Beschichtung in simulierter Körperflüssigkeit (SBF, pH 7,4) $< 0,0005 \text{ mm/Jahr}$ beträgt, die Überlebensrate im Zytotoxizitätstest 99 % beträgt und die Verschleißfestigkeit 5-mal höher ist als die einer CoCrMo- Legierung (Verschleißrate $0,005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$). Zimmer Biomet in den USA verwendet WC-Ti-Beschichtungen auf Hüftgelenk-Kugelköpfen mit einem Durchmesser von 32 mm, einer Verschleißrate von $0,0008 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, einer Lebensdauer von > 20 Jahren und einer 70-prozentigen Verringerung des postoperativen Abriebs,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wodurch das Entzündungsrisiko verringert wird. Klinische Tests am Beijing Jishuitan Hospital in China haben gezeigt, dass die postoperative Infektionsrate von WC- beschichteten Implantaten $<1\%$ betrug, die Knochenbindungsstärke $>10\text{ MPa}$ betrug und die Genesungsrate der Patienten in Bezug auf die Gehfähigkeit um 30% stieg. Otto Bock in Deutschland verwendet WC-Ti-Beschichtungen für Kniegelenke, die die Verschleißfestigkeit um das Dreifache erhöhen und eine Lebensdauer von 25 Jahren erreichen. Zukünftig werden WC-HA-Kompositbeschichtungen (Hydroxylapatit, $10\text{--}20\%$) und Nano-WC ($<50\text{ nm}$) die Knochenintegration und antibakterielle Eigenschaften (Zugabe von Ag-Ionen) optimieren und die intelligente Entwicklung von Implantaten fördern.

4.6.2.2 Zahnrestaurationen

WC-basierte Materialien sind für ihre hohe Bruchfestigkeit ($>1000\text{ MPa}$) und Ästhetik bei Kronen-, Brücken- und Implantatrestaurationen bekannt. WC-Co (Co $5\text{--}8\%$) oder WC- TiC- Pulver (Korngröße $0,5\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$) wird durch Heißpressen ($1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, 40 MPa , H_2 -Atmosphäre) mit einer Härte von HV 1800, einer Dichte von $>99,5\%$ und einer Oberflächenrauheit von $\text{Ra} <0,05\text{ }\mu\text{m}$ nach dem Polieren hergestellt, was dem natürlichen Zahnschmelz (HV $300\text{--}400$) nahekommt. Die hohe Härte von WC widersteht Kauverschleiß ($>10^6$ Zyklen), und die Zähigkeit von Kobalt oder TiC verhindert Sprödbbruch ($K_{\text{IC}} >10\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Technologisch gesehen wird durch den hohen Druck beim Heißpressen eine Korngrenzenspannung von $<100\text{ MPa}$ erreicht und die Korrosionsbeständigkeit beträgt >1000 Stunden in Speichel.

VITA in Deutschland verwendet WC-Co-Kronen zur Restauration von Seitenzähnen. Sie weisen eine Bruchfestigkeit von 1.200 MPa , eine um 50% höhere Verschleißfestigkeit als Zirkoniumoxid (ZrO_2 , HV 1.200), eine Lebensdauer von über 15 Jahren und eine Farbübereinstimmungsrate von über 95% auf. Ein Dentalunternehmen im chinesischen Shenzhen hat eine WC- TiC -Zahnbrücke mit einer Härte von 1.900 HV , einer Kaukraft von über 800 N und einer 20% höheren Patientenzufriedenheit entwickelt. Dentsply Sirona in den USA verwendet ebenfalls WC-basierte Materialien für Implantataufbauten mit einer Zugfestigkeit von über 1.100 MPa und einer Lebensdauer von über 20 Jahren. In Zukunft werden die Nanogröße ($<100\text{ nm}$) von WC-basierten Materialien und bioaktive Oberflächenbeschichtungen (wie CaP, Dicke $2\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$) die Restaurationswirkung, die antibakteriellen Eigenschaften und den Tragekomfort verbessern und so den individuellen Bedürfnissen der Zahnmedizin gerecht werden.

4.6.3 Anwendung von Wolframcarbidpulver in der intelligenten Fertigung und Sensorik

Intelligente Fertigung und Sensortechnologie bilden den Kern von Industrie 4.0. WC-Pulver unterstützt mit seiner hohen Temperaturstabilität ($>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), Leitfähigkeit und Verschleißfestigkeit eine hochpräzise Überwachung und Steuerung.

4.6.3.1 Hochtemperatursensor

WC-Pulver unterstützt die industrielle Umgebungsüberwachung in Hochtemperatursensoren mit seiner

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperaturbeständigkeit ($> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) und schnellen Reaktion ($< 1\text{ ms}$). WC-Pulver ($1 - 3\text{ }\mu\text{m}$) wird verwendet, um empfindliche Elemente durch Sintern ($1600\text{ }^{\circ}\text{C}$, N_2 -Atmosphäre, Druck 30 MPa) mit einer Härte von HV 1500, einem spezifischen Widerstand von $< 10^{-5}\Omega \cdot \text{cm}$ und einer Dichte von $> 99\%$ herzustellen. Der hohe Schmelzpunkt ($2870\text{ }^{\circ}\text{C}$) und die Oxidationsbeständigkeit von WC gewährleisten seine Stabilität in oxidierenden Hochtemperaturumgebungen (wie Stahlherstellungsöfen, $\text{O}_2 > 5\%$), und seine Leitfähigkeit unterstützt die elektrische Signalleitung (Empfindlichkeit $> 10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$). Technisch gesehen verbessert eine Pt-Beschichtung (Dicke $5\text{ }\mu\text{m}$, PVD-Abscheidung) auf der Oberfläche nach dem Sintern die Empfindlichkeit und verringert die Reaktionszeit auf $0,8\text{ ms}$.

Die Überwachung von Stahlherstellungsöfen ist eine typische Anwendung. Honeywell in den USA verwendet WC-basierte Sensoren zur Erkennung von $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ heißer Stahlschmelze mit einer Genauigkeit von $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, einer Lebensdauer von > 6 Monaten und einer Reaktionszeit von $0,8\text{ ms}$, die dreimal höher ist als die von Keramiksensoren (Lebensdauer < 2 Monate). Die chinesische Baosteel Group verwendet WC-Sensoren zur Überwachung von Konvertern mit einer Temperaturbeständigkeit von $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, einer um 40% höheren Betriebsstabilität und einer Ausfallrate von $< 0,5\%$. Auch Siemens in Deutschland verwendet WC-Komponenten in Gasturbinen mit einer Temperaturbeständigkeit von $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einer Datenerfassungsrate von $> 1000\text{ Mal/s}$. In Zukunft werden WC-Graphen-Verbundwerkstoffe (20% höhere Leitfähigkeit) und miniaturisiertes Design (Größe $< 1\text{ mm}$) den Einsatz von Sensoren in Flugzeugtriebwerken und Kernreaktoren fördern.

4.7 Anwendungsfälle und Datenanalyse von Wolframcarbidpulver

In diesem Abschnitt werden die Anwendungseffekte von Wolframcarbidpulver in verschiedenen Bereichen systematisch analysiert. Dies geschieht mithilfe detaillierter Übersichtstabellen, umfassender Leistungsvergleiche und eingehender Fallstudien. Dabei werden umfangreiche quantitative Daten und praktische Erfahrungen bereitgestellt, die als Referenz für die wissenschaftliche Forschung und industrielle Anwendungen dienen.

4.7.1 Wolframcarbidpulver Industrie Anwendung Übersichtstabelle

Nachfolgend finden Sie eine Zusammenfassung detaillierter Anwendungsdaten von WC-Pulver in wichtigen Industriezweigen, die Schlüsselindikatoren in den Bereichen Hartmetall, Beschichtung, Bergbau, Elektronik, Luftfahrt und Militärindustrie abdecken:

Feld	Typische Anwendungen	Formel	Härte (Hv)	Verschleißfestigkeit ($\text{Mm}^3 / \text{N} \cdot \text{M}$)	Leben	Technologie	Repräsentative Unternehmen
Hartmetall	Drehwerkzeug	WC-Co (Co 8%)	1500-1800	$< 0,01$	> 100.000 Stück	Heißpressintern	Sandvik
Oberflächenbeschichtung	HVOF-Klingenbeschichtung	WC-Co (Co 12%)	1200-1400	$< 0,01$	> 3000 Stunden	HVOF-Spritzen	GE Aviation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bergbauwerkzeuge	Hartgesteinsbohrer	WC-Co (Co 10%)	1400-1600	<0,005	>1000 m	Vakuumsintern	Atlas Copco
Elektronische Energie	Brennstoffzellenelektroden	WC	1200-1500	-	>10.000 Zyklen	PVD-Beschichtung	Ballard
Luftfahrt- und Militärindustrie	Panzerpanzerung	WC-TiC (TiC 15 %)	>2200	-	>1200 m/s Durchdringungsschutz	Heißpressintern	Rheinmetall
3D-Druck	Luftfahrtteile	WC-Co (Co 15%)	1400-1600	<0,01	>5000 Stunden	SLM	GE Aviation
Biomedizinische Wissenschaft	Hüftgelenkbeschichtung	WC-Ti (Ti 20 %)	1800	<0,001	>20 Jahre	Plasmaspritzen	Zimmer Biomet

4.7.2 Vergleichende Analyse der Leistung von Wolframcarbidpulver

Der Leistungsvergleich zwischen WC-Pulver und herkömmlichen Materialien sieht wie folgt aus und umfasst Schlüsselindikatoren wie Härte, Verschleißfestigkeit, Lebensdauer und Temperaturbeständigkeit:

Härte :

WC-Co: HV 1500–2200, Schnellarbeitsstahl (HSS): HRC 60–65 (ungefähr HV 600–800), eine Steigerung um das 20- bis 30-fache.

WC- TiC -Panzerung: HV >2200, Keramik (Al_2O_3): HV 1500-1800, Steigerung um 20–30 %.

Abriebfestigkeit:

WC-Beschichtung: $<0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, Cr-Beschichtung: $0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, 5-fach verbessert.

WC-Ti-Orthopädiebeschichtung: $<0,001 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, CoCrMo : $0,005 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, 5-fach verbessert.

Leben :

WC-Bohrer: >1000 m, Stahlbohrer: <300 m, 3-5-fach verbessert.

WC-Co-Form: >500.000-mal, H13-Stahlform: <100.000-mal, eine Steigerung um das Fünffache.

Temperaturbeständigkeit:

WC-Beschichtung: >1300 °C, Ni-basierte Legierung: <1000 °C, um 30 % erhöht.

WC-Sensor: >1000°C, Keramiksensor: <800°C, eine Steigerung von 25 %.

Leitfähigkeit und Stabilität:

WC-Elektrode: spezifischer Widerstand $<10^{-5} \Omega\cdot\text{cm}$, auf Kohlenstoffbasis: $10^{-3} \Omega\cdot\text{cm}$, 100-fach

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

verbessert, Zyklenstabilität >10.000-fach.

Diese Daten zeigen, dass WC-Pulver herkömmlichen Materialien hinsichtlich Härte, Verschleißfestigkeit und Lebensdauer weit überlegen ist, insbesondere in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Belastung.

4.7.3 Erfolgreiche Fallstudien mit Wolframcarbidpulver

Nachfolgend finden Sie eine detaillierte Fallanalyse namhafter globaler Unternehmen, die die Anwendungsergebnisse von WC-Pulver zeigt:

Sandvik (Schweden):

Produkte: WC-Co Tieflochbohrer (Co 8%, Korn 1-3 μm).

Anwendung: Bearbeitung von Flugmotorenstahl, Schnittgeschwindigkeit 200 m/min, Lebensdauer > 500 m, Genauigkeit $\pm 0,01$ mm.

Technologie: Vakuumsintern (1450°C , 10^{-2} Pa), TiAlN- Beschichtung (5 μm).

Ergebnisse: Weltweiter Marktanteil >20 %, Produktionseffizienz um 40 % gesteigert und Kosten um 25 % gesenkt.

Hintergrund: Sandvik führte WC in den 1960er Jahren in Gesteinsbohrwerkzeugen ein und erweiterte es im 21. Jahrhundert auf Präzisionsschneiden.

Kennametal (USA):

Produkte: WC -TiC -Flugzeugwerkzeuge (TiC 10 %, Co 10 %).

Anwendung: CFK-Bearbeitung, Schnittgeschwindigkeit 250 m/min, Genauigkeit $\pm 0,005$ mm, Lebensdauer >500 Stück.

Technologie: HIP-Sintern (1450°C , 150 MPa), Korngröße <1 μm .

Ergebnisse: Kosten um 30 % gesenkt, Lieferant für Boeing 787-Projekt, Verschleißfestigkeit um 50 % erhöht.

Hintergrund: Kennametal ist für seine innovativen Verbundwerkstoffe bekannt und seine WC- TiC- Werkzeuge schließen die Lücke in der Verarbeitung superharter Materialien.

Zhuzhou Hartmetall (China):

Produkte: WC-Co-Stanzwerkzeuge (Co 8%, Körnung 2-4 μm).

Anwendung: Stanzen von Stahlblechen im Automobilbereich, Lebensdauer > 500.000 Mal, Härte HV 1600.

Technologie: Heißpressintern (1500°C , 30 MPa), Oberflächengüte $R_a < 0,05$ μm .

Ergebnisse: Nr. 1 im Inlandsverkauf, Effizienz um das Fünffache gesteigert, Exportanteil >30 %.

Hintergrund: Zhuzhou entwickelt seit den 1960er Jahren die Hartmetallindustrie und ist heute ein wichtiger globaler Produktionsstandort.

GE Aviation (USA):

Produkte: WC-Co SLM-Luftfahrtteile (Co 15 %).

Anwendung: Turbinenhalterung, Dichte 99,5 %, Temperaturbeständigkeit 1200°C , Lebensdauer >5000 Stunden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologie: SLM (Leistung 400 W, Ar- Atmosphäre), Genauigkeit $\pm 0,015$ mm.

Ergebnisse: Der Produktionszyklus wurde auf 2 Wochen verkürzt, das Gewicht um 15 % reduziert und die Kraftstoffeffizienz um 5 % verbessert.

Hintergrund: GE ist führend in der additiven Fertigung in der Luftfahrt und WC-Co-Teile wurden in GENx- Triebwerken in Massenproduktion hergestellt.

Diese Fälle demonstrieren die technische Reife und die wirtschaftlichen Vorteile von WC-Pulver in verschiedenen Bereichen und liefern wertvolle Erfahrungen für die Branche.

4.8 Zukünftige Anwendungsaussichten von Wolframcarbidpulver

Die zukünftigen Anwendungsaussichten von Wolframcarbidpulver sind vielfältig und decken Spitzenbereiche wie Quantencomputer und flexible Elektronik ab. Gleichzeitig stehen technische Herausforderungen wie Nanoskalierung und Hochtemperaturstabilität im Vordergrund. Dieser Abschnitt skizziert die zukünftige Entwicklung von Wolframcarbidpulver anhand einer detaillierten Analyse des Potenzials, der technischen Lösungen und der Marktprognosen.

4.8.1 Potenzial von Wolframcarbidpulver in aufstrebenden Bereichen

Kühlkomponenten für Quantencomputer:

Hintergrund: Quantencomputer erfordern eine Umgebung mit extrem niedrigen Temperaturen (< 10 K).

Herkömmliches Kupfer (Cu, Wärmeleitfähigkeit $400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) kann die Anforderungen an das Wärmemanagement mit hoher Dichte nur schwer erfüllen.

Anwendung: Aufgrund seiner hohen Wärmeleitfähigkeit ($> 120 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) und Tieftemperaturstabilität eignet sich WC zur Wärmeableitung supraleitender Quantenchips. IBM in den USA erforscht WC-Graphen-Verbundwerkstoffe, deren Wärmeleitfähigkeit voraussichtlich auf $150\text{--}200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ und deren Wärmeausdehnungskoeffizient $< 5 \times 10^{-6}/\text{K}$ steigen werden, um einen stabilen Chipbetrieb bei 1 K zu gewährleisten.

Technologie: CVD-Abscheidung von WC-Graphen-Filmen (Dicke $10\text{--}20 \mu\text{m}$) bei 800°C in $\text{H}_2 + \text{CH}_4$ -Atmosphäre.

Potenzial: Die Lebensdauer des Quantenbits wird um 20 % erhöht und die Kühleffizienz um 30 % verbessert. Es wird erwartet, dass das System vor 2030 in die Praxis umgesetzt wird.

Flexible elektronische Leitschicht:

Hintergrund: Flexible Elektronik (wie tragbare Geräte) erfordert dünne, leichte und hochleitfähige Materialien. Herkömmliches ITO (Indiumzinnoxid) ist spröde und teuer.

Anwendung: Nano-WC-Pulver ($< 50 \text{ nm}$) wird zur Herstellung flexibler leitfähiger Folien im Tintenstrahl Druckverfahren verwendet. Der spezifische Widerstand beträgt $< 10^{-5} \Omega\cdot\text{cm}$ und die Flexibilität beträgt $> 10^5$ Biegeradius ($< 5 \text{ mm}$). Tests von Samsung in Südkorea zeigen, dass die WC-Foliendicke $5\text{--}10 \mu\text{m}$ und die Transmission $> 85\%$ beträgt, was für OLED-Displays geeignet ist.

Technologie: Tintenstrahl Druck (Tintenkonzentration 10 Gew.-%, Ultraschalldispersion 50 W), Sintertemperatur 500°C .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Potenzial: Bei einer Kostensenkung um 50 % dürfte der Marktanteil flexibler Elektronik von 10 % im Jahr 2025 auf 25 % im Jahr 2030 steigen.

Weitere Potenziale:

Wandmaterial für Kernfusionsreaktoren: Der hohe Schmelzpunkt (2870 °C) und die Strahlungsbeständigkeit von WC können in Tokamak-Geräten verwendet werden, mit einer Thermoschockbeständigkeit von >2000 °C.

Druckfeste Komponenten für die Tiefseeerkundung: WC-Co-Verbundwerkstoff (Co 10 %) hat eine Druckfestigkeit von >4500 MPa und kann dem Druck in 100.000 Metern Tiefsee standhalten.

4.8.2 Technische Herausforderungen und Lösungen für Wolframcarbidpulver

Verbesserung der Dispergierbarkeit von Nano-WC-Pulver:

Herausforderung: Nano-WC (<100 nm) neigt aufgrund seiner hohen Oberflächenenergie zur Agglomeration und das harte Agglomerationsverhältnis beträgt >20 %, was die Gleichmäßigkeit von Druck und Beschichtung beeinträchtigt.

Aktuelle Situation: Herkömmliche Dispergiermittel (wie PVP) haben nur begrenzte Wirkung, die Agglomerationsrate liegt immer noch bei >10 % und die Porosität nach dem Sintern bei >5 %.

Lösung:

Oberflächenmodifizierung: WC-Partikel wurden mit Polyacrylsäure (PAA, 0,5 %–1 %) beschichtet, das Oberflächen-Zetapotenzial von –10 mV auf –30 mV erhöht und die Agglomerationsrate auf < 5 % reduziert.

Ultraschalldispergierung: Die Ultraschallparameter wurden optimiert (50 W, 10 min, Frequenz 40 kHz) und die durchschnittliche Partikelgröße von 200 nm auf 80 nm verringert.

Plasmabehandlung: Niedertemperaturplasma (Leistung 100 W, Argonatmosphäre) entfernt organische Oberflächenstoffe und verbessert die Dispersionsstabilität um 50 %.

Aussichten: Nach verbesserter Dispersion wird die Anwendungseffizienz von Nano-WC in SLM um 30 % erhöht und die Beschichtungsporosität beträgt <1 %.

Verbesserte Stabilität von Hochtemperaturbeschichtungen:

Herausforderung: WC-Beschichtungen oxidieren bei über 1500 °C leicht zu WO₃, mit unzureichender Oxidationsbeständigkeit und einer Lebensdauer von < 1000 Stunden.

Aktuelle Situation: Herkömmliche WC-Co-Beschichtungen haben bei 1300 °C ihre Grenzen erreicht und die Luft- und Raumfahrt erfordert eine höhere Temperaturbeständigkeit (> 1800 °C).

Lösung:

Verbundzugabe: Durch Zugabe von ZrC (10–20 %) oder TaC (5–15 %) wird eine hochtemperaturstabile Phase (Schmelzpunkt > 3000 °C) gebildet, wodurch die Oxidationsbeständigkeit auf 1800 °C verbessert wird.

Kaltspritztechnologie: Spritztemperatur <500 °C, Partikelgeschwindigkeit >1000 m/s, Vermeidung von Hochtemperaturoxidation, Beschichtungslebensdauer >2000 Stunden.

Gradientenstruktur: Aufbau WC-Al₂O₃ -Gradientenbeschichtung (Schichtdicke 200-500 μm),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächentemperaturbeständigkeit >2000°C, innere Zähigkeit >10 MPa·m^{1/2}.

Aussichten: Hochtemperaturbeschichtungen in Raketendüsen könnten deren Lebensdauer um 50 % verlängern und so den Anforderungen der Kernfusion und des Überschallflugs gerecht werden.

Weitere Herausforderungen:

Kostenkontrolle: Der Preis für Nano-WC-Pulver beträgt >500 Yuan/kg und die Effizienz der Plasmaaufbereitung muss optimiert werden, um ihn auf <300 Yuan/kg zu senken.

Umweltschutz: Die CO₂-Emissionen bei der WC-Produktion müssen durch Recyclingtechnologie um >90 % reduziert werden.

4.8.3 Marktprognose für Wolframcarbidpulver

Laut einer weltweiten Marktforschung (MarketsandMarkets et al.) sind die Trends der WC-Pulvernachfrage bis 2030 wie folgt:

Gesamtwachstum:

Jährliche Wachstumsrate: >6 % (2025–2030), die Marktgröße wird im Jahr 2023 etwa 15 Milliarden US-Dollar betragen und im Jahr 2030 voraussichtlich 25 Milliarden US-Dollar übersteigen.

Treibende Faktoren: Luft- und Raumfahrt (Nachfrage nach Turbinen), neue Energien (Batterien und Katalysatoren) und die Popularisierung des 3D-Drucks.

Wichtige Analysebereiche:

Luft- und Raumfahrt (30 %):

Nachfrage: Die Nachfrage nach WC-Beschichtungen und Panzerungen wird jährlich um 8 % steigen und im Jahr 2030 35 % betragen.

Fall: GE und Rolls-Royce planen, den Anteil der WC-Teile von 10 % auf 20 % zu erhöhen.

Neue Energie (25%):

Nachfrage: WC-Pulver für Brennstoffzellen und Lithiumbatterien wird jährlich um 10 % wachsen und die Marktgröße wird im Jahr 2030 über 6 Milliarden US-Dollar betragen.

Fall: Die Expansionspläne von Tesla und Ballard führen zu einer Verdoppelung der Nachfrage.

3D-Druck (15 %):

Nachfrage: Nano-WC-Pulver wird jährlich um 12 % wachsen und bis 2030 20 % der Materialien für die additive Fertigung ausmachen.

Fall: EOS und GE Additive prognostizieren eine Verfünffachung der WC-Druckproduktion.

Bergbau und Bauwesen (20 %):

Nachfrage: Stetiges Wachstum von 5 %, angetrieben durch den Infrastrukturbau.

Biomedizin (5 %):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nachfrage: Jährliches Wachstum von 15 %, Marktgröße > 1 Milliarde USD im Jahr 2030.

Regionale Verteilung:

China: 40 % der weltweiten Gesamtproduktion entfallen auf China, wobei die Produktion in Standorten wie Zhuzhou 50.000 Tonnen pro Jahr übersteigt.

Europa: 25 %, wobei Sandvik und EOS bei der technologischen Innovation führend sind.

Nordamerika: 20 %, GE und Kennametal fördern High-End-Anwendungen.

Auswirkungen technologischer Trends: Der Anteil von Nano-WC-Pulver wird voraussichtlich von 5 % im Jahr 2023 auf 15 % im Jahr 2030 steigen und den Markt in Richtung High-End-Entwicklung treiben.

Verweise

Chinesische Referenzen

- [1] GB/T 4295-2008 Wolframcarbidpulver, National Standardization Administration of China 2008. Legt die technischen Anforderungen und Testmethoden für Wolframcarbidpulver fest.
- [2] GB/T 34503-2017 Hartmetall- Gesteinsbohrwerkzeuge, National Standardization Administration of China 2017. Gibt die Eigenschaften und Prüfmethode von Hartmetall für Gesteinsbohrwerkzeuge an.
- [3] GB/T 5314-2011 Pulver für Hartmetall National Standardization Administration of China 2011 Gibt die Leistungstestmethoden für Hartmetallpulver an.
- [4] GB/T 19077-2016 Partikelgrößenverteilung – Laserbeugungsmethode National Standardization Administration of China 2016 Legt die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung durch die Laserbeugungsmethode fest.
- [5] GB/T 25995-2010 Wolframpulver und Wolframcarbidpulver – Bestimmung der Partikelgröße mittels Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS). National Standardization Administration of China 2010. Gibt die Methode zur Bestimmung der Partikelgröße mittels Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS) an.
- [6] GB/T 36418-2018 Testverfahren für die Verschleißfestigkeit von Hartmetall, National Standardization Administration of China 2018. Gibt das Testverfahren für die Verschleißfestigkeit von Hartmetall an.
- [7] GB/T 38494-2020 Prüfverfahren für die Druckfestigkeit von Hartmetall, National Standardization Administration of China 2020. Gibt das Prüfverfahren für die Druckfestigkeit von Hartmetall an.

Englische Referenzen

- [8] Lassner, E., & Schubert, WD (1999) Wolfram: Eigenschaften, Chemie, Technologie des Elements, Legierungen und chemische Verbindungen Springer Stellt die physikalischen und chemischen Eigenschaften und die Anwendungstechnologie von Wolfram und Wolframkarbid vor.
- [9] Upadhyaya, GS (1998) Cemented Tungsten Carbides: Production, Properties and Testing William Andrew Publishing Detaillierte Beschreibung der Herstellung, Eigenschaften und Prüfmethode von Wolframcarbidpulver.
- [10] Pawlowski, L. (2008) The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings (2. Auflage) John Wiley & Sons Erörtert die wissenschaftlichen und technischen Anwendungen der thermischen Spritzbeschichtungstechnologie.
- [11] Davis, JR (Hrsg.) (2004) Handbook of Thermal Spray Technology ASM International Bietet Prozess- und Anwendungsanleitungen für die thermische Spritztechnologie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- [12] Prakash, LJ (2014) Hardmetals and Mining Applications Comprehensive Hard Materials Vol. 2 345-370 Elsevier Analyse der Anwendungstechnologie von Hartmetall im Bergbau.
- [13] Levy, RB, & Boudart, M. (1973) Platinähnliches Verhalten von Wolframcarbid in der Oberflächenkatalyse Science 181(4099) 547-549 <https://doi.org/10.1126/science.181.4099.547> Aufdeckung der platinähnlichen Eigenschaften von Wolframcarbid in der Oberflächenkatalyse.
- [14] Chen, WF, Wang, CH, Sasaki, K., et al. (2013) Hochaktives und langlebiges nanostrukturiertes WC als unedler Metallelektrokatalysator für PEM-Brennstoffzellen Nature Communications 4 2439 Untersuchung der Leitfähigkeit und Haltbarkeit von Nano-Wolframcarbid in Brennstoffzellen.
- [15] ASTM B213-20 (2020) Standardprüfverfahren für die Durchflussrate von Metallpulvern unter Verwendung des Hall-Durchflussmesser-Trichters. ASTM International spezifiziert den Hall-Durchflussmesser zur Messung der Pulverfließfähigkeit.
- [16] ASTM E384-17 (2017) Standardprüfverfahren für die Mikroindruckhärte von Materialien. ASTM International legt das Härteprüfverfahren nach Vickers fest.
- [17] ASTM G65-16 (2016) Standardprüfverfahren zur Messung des Abriebs mit dem Trockensand-/Gummiradgerät ASTM International legt das Prüfverfahren für den Abrieb mit Trockensand-/Gummirädern fest.
- [18] ASTM E1019-18 (2018) Standardprüfverfahren zur Bestimmung von Kohlenstoff, Schwefel, Stickstoff und Sauerstoff in Stahl-, Eisen-, Nickel- und Kobaltlegierungen durch verschiedene Verbrennungs- und Inertgasfusionsverfahren. ASTM International legt das Verfahren zur Bestimmung des Sauerstoffgehalts fest.
- [19] ISO 3327:2009 (2009) Hartmetalle — Bestimmung der Biegebruchfestigkeit Internationale Organisation für Normung Legt das Prüfverfahren für die Druckfestigkeit fest.
- [20] ISO 4499-2:2020 (2020) Hartmetalle — Metallographische Bestimmung der Mikrostruktur — Teil 2: Messung der WC-Korngröße Internationale Organisation für Normung Legt das Verfahren zur mikroskopischen Bestimmung der WC-Korngröße fest.
- [21] ISO 9277:2010 (2010) Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Gasadsorption – BET-Methode Internationale Organisation für Normung Legt die BET-Methode zur Bestimmung der spezifischen Oberfläche fest.
- [22] ISO 10993-5:2009 (2009) Biologische Beurteilung von Medizinprodukten – Teil 5: Prüfungen auf In-vitro-Zytotoxizität. Internationale Organisation für Normung. Legt Prüfmethoden für In-vitro-Zytotoxizität fest.
- [23] Sandvik Coromant (2022) Technischer Leitfaden: Schneidwerkzeuge und Verschleißteile. Die Sandvik Group bietet einen industriellen technischen Leitfaden für Schneidwerkzeuge und Verschleißteile.
- [24] Wu, Z., & Zhang, J. (2020) Wolframkarbidbeschichtungen für Stromkollektoren von Lithium-Ionen-Batterien: Eine Übersicht Journal of Power Sources 475 228689 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228689> Eine Übersicht über die Anwendung von Wolframkarbidbeschichtungen in Stromkollektoren von Lithium-Ionen-Batterien.
- [25] Zhang, Z., & Liu, W. (2019) Forschung zu WC-Co-Hartmetall in Gesteinsbohrwerkzeugen International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 81 123-130

Referenzen in anderen Sprachen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

[26] Japan Standards Association (2005) JIS H 7803:2005 Testmethoden für Wolframcarbidpulver. Chinesische Übersetzung der Japan Standards Association: 碳化钨粉末测试方法. Legt chemische und physikalische Testmethoden für Wolframcarbidpulver fest.

[27] GOCT 25599.1-83 (1983) Hartmetallpulver – Methode zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts Staatliches Komitee für Normen der UdSSR Chinesische Übersetzung: 硬质合金粉末 – 碳含量测定方法 Gibt die Methode zur chemischen Analyse des Kohlenstoffgehalts in Hartmetallpulver an.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 ±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.

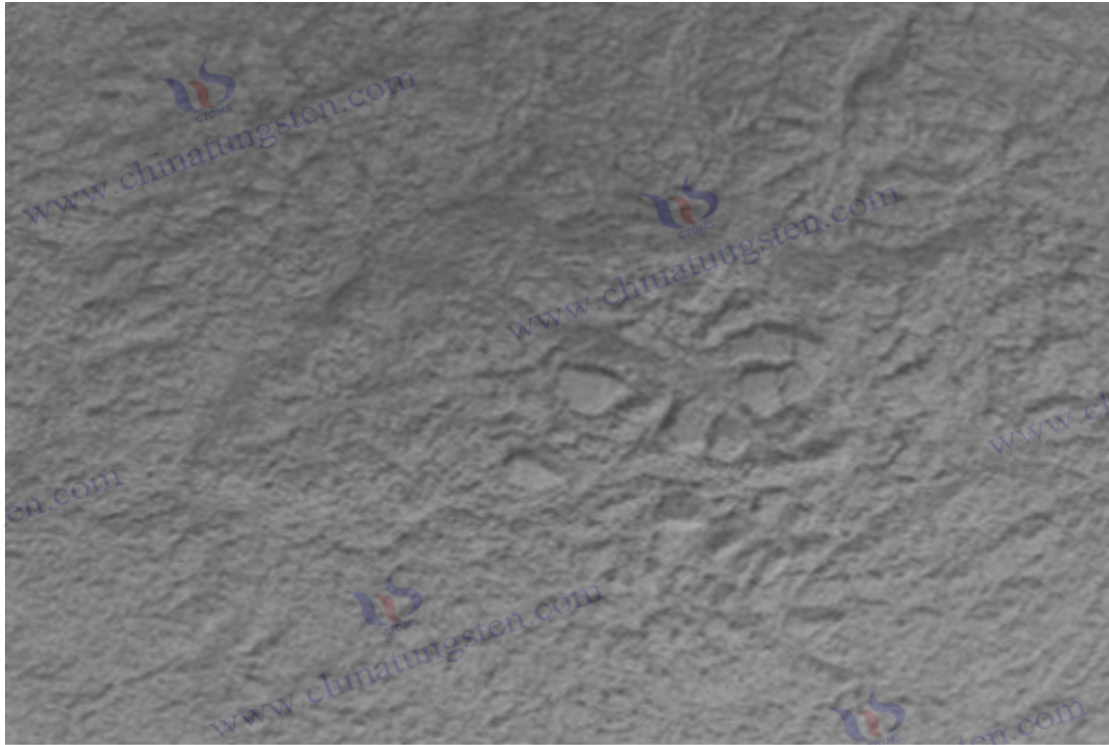
8. Contact Information of CTIA GROUP

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.



Kapitel 5: Qualitätskontrolle und Standards für Wolframkarbidpulver

Als Hauptrohstoff für Hochleistungswerkstoffe wie Hartmetall, Schneidwerkzeuge und Oberflächenbeschichtungen bestimmt die Qualität von Wolframkarbidpulver direkt die Leistung und Marktwettbewerbsfähigkeit des Endprodukts. Im Kontext der globalisierten Industrie ist die Qualitätskontrolle und Standardisierung von Wolframkarbidpulver nicht nur der Schlüssel zur Gewährleistung der Produktkonsistenz, sondern auch eine wichtige Triebkraft für technologischen Fortschritt und industrielle Modernisierung. Dieses Kapitel erörtert systematisch die Produktions- und Prüfspezifikationen von Wolframkarbidpulver aus vier Blickwinkeln: Qualitätskontrollpunkte, internationale Standards, nationale Standards sowie Vergleich und Anwendbarkeit von Standards. Ziel ist es, detaillierte technische Referenzen und praktische Anleitungen für Praktiker bereitzustellen.

5.1 Kernpunkte der Qualitätskontrolle

Die Qualitätskontrolle von Wolframkarbidpulver erstreckt sich über die gesamte Produktionskette von der Rohstoffauswahl über die Prozessoptimierung bis hin zur Prüfung des fertigen Produkts und umfasst dabei verschiedene Aspekte wie chemische Zusammensetzung, Partikelgrößenverteilung, Kristallstruktur und physikalische Eigenschaften. Wissenschaftliches und konsequentes Qualitätsmanagement kann nicht nur die Produktleistung verbessern, sondern auch die Produktionskosten und die Umweltbelastung effektiv senken. Die folgende detaillierte Analyse der wichtigsten Aspekte der Qualitätskontrolle aus verschiedenen Perspektiven soll den Lesern umfassendes Wissen und praktische Anregungen vermitteln.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Feines Management der chemischen Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung ist der Kern der Qualität von Wolframkarbidpulver und wirkt sich direkt auf dessen Kristallstruktur, Härte und Verschleißfestigkeit aus. Der theoretische Kohlenstoffgehalt von Wolframkarbid (WC) beträgt 6,13 % (Massenanteil), aber in der tatsächlichen Produktion können geringfügige Abweichungen beim Gesamtkohlenstoff-, freien Kohlenstoff-, Sauerstoffgehalt und den Verunreinigungselementen zu Leistungsproblemen führen.

Bilanz des Gesamtkohlenstoffs und des freien Kohlenstoffs

Ein zu niedriger Gesamtkohlenstoffgehalt kann zur Bildung der W_2C -Phase führen, einer metastabilen Phase mit geringer Härte und Rissanfälligkeit. Ein zu hoher Gesamtkohlenstoffgehalt führt zur Bildung von freiem Kohlenstoff, was die Dichte und Sinterleistung des Pulvers verringert. Normalerweise muss der freie Kohlenstoffgehalt zwischen 0,08 % und 0,1 % liegen, um die Stabilität der einzelnen WC-Phase zu gewährleisten.

Strenge Grenzwerte für den Sauerstoffgehalt

Der Sauerstoffgehalt ist ein wichtiger Indikator für die Aktivität von Pulvern. Ein hoher Sauerstoffgehalt (>0,2 %) führt beim Sintern zu Porenbildung und schwächt die mechanischen Eigenschaften der Legierung. Insbesondere bei ultrafeinen Pulvern ist die Kontrolle des Sauerstoffgehalts besonders wichtig, da die hohe spezifische Oberfläche die Sauerstoffaufnahme erleichtert.

Präzise Kontrolle von Verunreinigungselementen

Verunreinigungen wie Eisen, Kobalt, Kalzium und Silizium können aus Rohstoffen oder Produktionsanlagen stammen. Ein zu hoher Eisengehalt verringert die Reinheit des Pulvers und beeinträchtigt das Sinterverhalten. Nichtmetallische Verunreinigungen wie Kalzium und Silizium können an den Korngrenzen spröde Phasen bilden und die Zähigkeit verringern. Moderne Produktion erfordert Verunreinigungsgehalte von nur 10–50 ppm (parts per million).

Detektionstechnologie

Hochtemperatur-Verbrennungsmethode

Der Gesamtkohlenstoff- und der freie Kohlenstoffgehalt können mit dem Kohlenstoff-Schwefel-Analysator mit einer Erfassungsgenauigkeit von bis zu 0,01 % genau bestimmt werden.

Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS): Wird zur Analyse von Spurenverunreinigungselementen mit einer Nachweisgrenze von nur ppb (parts per billion) verwendet.

Infrarot-Absorptionsmethode

Schnelle Bestimmung des Sauerstoffgehalts, weit verbreitet in Produktionsstätten.

Managementstrategien

Um die Einführung von Verunreinigungen aus der Quelle zu reduzieren, werden hochreines Wolframpulver (Reinheit $\geq 99,95\%$) und Ruß (Aschegehalt $< 0,1\%$) bevorzugt.

Während der Karbonisierungsreaktion werden Temperatur (1400–1600 °C), Atmosphäre (Wasserstoff

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

oder Vakuum) und Haltezeit genau kontrolliert, um eine unvollständige Karbonisierung oder Überkarbonisierung zu vermeiden.

Implementieren Sie mehrstufige Filtrations- und Reinigungsprozesse, um den Kontakt des Pulvers mit der Außenumgebung zu reduzieren.

Richten Sie ein Chargenrückverfolgungssystem für die chemische Zusammensetzung ein, um die Kontrollierbarkeit jeder Pulvercharge sicherzustellen.

Wissensentwicklung

In den letzten Jahren ist mit der zunehmenden Verwendung von nanoskaligem Wolframcarbidpulver die Kontrolle der chemischen Zusammensetzung schwieriger geworden. Beispielsweise muss im 3D-Druck der Sauerstoffgehalt unter 0,05 % gehalten werden, um Oxidationsreaktionen während des Druckvorgangs zu verhindern. Dies erfordert von den Herstellern den Einsatz modernerer Prüfgeräte (wie Röntgen-Photoelektronenspektroskopie, XPS) und Online-Überwachungstechnologie.

Wissenschaftliche Regulierung von Partikelgröße und -verteilung

Die Partikelgröße und -verteilung von Wolframcarbidpulver haben einen tiefgreifenden Einfluss auf das Press- und Sinterverhalten sowie die Mikrostruktur des Endprodukts. Pulver unterschiedlicher Partikelgröße eignen sich für unterschiedliche Anwendungsszenarien, und die Gleichmäßigkeit der Partikelgrößenverteilung bestimmt die Leistungskonsistenz des Produkts.

Partikelgrößenklassifizierung

Ultrafeines Pulver (<1 µm): geeignet für hochpräzise Schneidwerkzeuge und mikroelektronische Komponenten, die eine extrem hohe Oberflächengüte erfordern.

Feines Pulver (1–3 µm): wird häufig in Hartmetallwerkzeugen verwendet, wobei sowohl Härte als auch Zähigkeit berücksichtigt werden.

Mittleres Pulver (3–10 µm): geeignet für verschleißfeste Beschichtungen und Hochleistungsformen, mit guten Formeigenschaften.

Grobes Pulver (>10 µm): wird für thermisches Spritzen und Bergbauwerkzeuge verwendet, wobei der Schwerpunkt auf der Schlagfestigkeit liegt.

Bedeutung der Partikelgrößenverteilung: Eine enge Verteilung ($D_{90}/D_{10} < 2$) kann die Sintergleichmäßigkeit verbessern und die Porosität reduzieren; eine breite Verteilung kann zu ungleichmäßiger Schrumpfung führen und die Maßgenauigkeit beeinträchtigen. Das Agglomerationsproblem ultrafeiner Pulver ist besonders ausgeprägt und erfordert besondere Aufmerksamkeit.

Prozess-Leistungs-Korrelation von WC-Pulvern mit unterschiedlichen Partikelgrößen

Partikelgrößenbereich	Spezifische Oberfläche (BET, m ² /g)	Sintertemperatur (°C)	Relative Dichte (%)	HV30	K _{IC} (MPa·m ^{1/2})
>10µm	0,8-1,2	1450-1500	92,3 ± 0,5	1420	9,8
3–10 µm	2,5-4,0	1400-1450	95,1 ± 0,3	1780	11.2
0,5–1 µm	8,0-12,0	1320-1380	98,7 ± 0,2	2090	12.7

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<0,1 µm	15,0-20,0	1300-1350	97,5 ± 0,4	2350	10.5
---------	-----------	-----------	------------	------	------

Detektionstechnologie

Laser-Partikelgrößenanalysator: Basierend auf dem Prinzip der Lichtstreuung kann er die Partikelgrößenverteilung von 0,01–1000 µm mit hoher Genauigkeit messen und ist für ultrafeine Pulver geeignet.

Siebmethode: Klassifizierung durch Standardsiebe, geeignet zur schnellen Erkennung grober Pulver.

Sedimentationsmethode: Sie nutzt die Unterschiede in der Partikelsinkgeschwindigkeit, um die Gleichmäßigkeit der Partikelgrößenverteilung zu überprüfen und eignet sich für die Laborforschung.

Rasterelektronenmikroskop (REM): Visuelle Beobachtung der Partikelmorphologie und -größe und Unterstützung bei der Überprüfung der Ergebnisse der Partikelgrößenanalyse.

Regulierungsstrategie

Optimieren Sie den Mahlvorgang: Wählen Sie Wolframkarbidkugeln oder Zirkoniumoxidkugeln als Mahlmedium, kontrollieren Sie die Kugelmahlzeit (8–24 Stunden) und die Rotationsgeschwindigkeit (200–400 U/min), um übermäßiges Mahlen zu vermeiden, das zum Bruch der Partikel führt.

Einführung von Klassifizierungsgeräten: beispielsweise einem Zentrifugal-Luftstromklassierer, der Pulver innerhalb eines bestimmten Partikelgrößenbereichs genau sieben kann.

Zugabe von Dispergiermitteln (wie Polyethylenglykol, PEG): Reduziert die Agglomerationsneigung ultrafeiner Pulver und verbessert die Gleichmäßigkeit der Verteilung.

Kalibrieren Sie die Testgeräte regelmäßig, um die Zuverlässigkeit der Partikelgrößendaten sicherzustellen.

Wissensentwicklung

Der neueste Trend in der Partikelgrößenkontrolle geht in den Nanobereich (<100 nm), was herkömmliche Mahl- und Klassierverfahren vor Herausforderungen stellt. Beispielsweise kann Nassmahlen in Kombination mit Ultraschall dispergierung die Dispergierbarkeit von Nanopulvern deutlich verbessern, wobei jedoch Kosten und Leistung im Gleichgewicht gehalten werden müssen. Darüber hinaus entwickeln sich Online-Überwachungstechnologien zur Partikelgrößenverteilung (wie dynamische Lichtstreuung, DLS), die ein Echtzeit-Qualitätsmanagement ermöglichen sollen.

Die Stabilität der Kristallstruktur und Phasenzusammensetzung gewährleistet, dass das ideale Wolframcarbidpulver hauptsächlich aus einer einzigen WC-Phase besteht. Seine hexagonale Kristallstruktur verleiht ihm hervorragende Härte und Verschleißfestigkeit. Das Vorhandensein unerwarteter Phasen (wie W₂C, W und freier Kohlenstoff) verringert die Leistung des Pulvers erheblich. Daher hat die Kontrolle der Kristallstruktur und Phasenzusammensetzung höchste Priorität im Qualitätsmanagement.

Einflussfaktoren

Karbonisierungstemperatur: Zu hohe Temperaturen (> 1600 °C) können zu Kornwachstum führen und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die Pulveraktivität verringern; zu niedrige Temperaturen ($< 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$) können zur Bildung der W_2C -Phase führen.

Kohlenstoffquellenverhältnis: Unzureichender Kohlenstoff führt zu Unterkarbonisierung, während überschüssiger Kohlenstoff freien Kohlenstoff erzeugt.

Reaktionsatmosphäre: Eine Wasserstoffatmosphäre hilft, Sauerstoff zu entfernen, jedoch sollte ein Überschuss an Wasserstoff vermieden werden, um durch Wasserstoff verursachte Korngrenzendefekte zu verhindern.

Detektionstechnologie

Röntgenbeugung (XRD): Analysieren Sie die Phasenzusammensetzung genau und ermitteln Sie das Verhältnis von WC, W_2C und freiem Kohlenstoff mit einer quantitativen Genauigkeit von bis zu 0,1 %.

Rasterelektronenmikroskopie (REM): Beobachtet Kornmorphologie, Größe und Oberflächendefekte und bewertet die Gleichmäßigkeit der Kristallstruktur.

Transmissionselektronenmikroskopie (TEM): Wird zur Kristallstrukturanalyse von Pulvern im Nanomaßstab verwendet und deckt Defekte im atomaren Maßstab auf.

Raman-Spektroskopie: Hilft beim Nachweis des Vorhandenseins von freiem Kohlenstoff, besonders geeignet für ultrafeine Pulver.

Sicherheitsvorkehrungen

Kontrollieren Sie den Temperaturgradienten (Heizrate $5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$) und die Haltezeit (2–4 Stunden) des Karbonisierungssofens präzise.

Um den Einfluss von Verunreinigungen auf die Kristallstruktur zu verringern, wird eine hochreine Kohlenstoffquelle (wie Graphitpulver, Reinheit $\geq 99,9\%$) bevorzugt.

Verwenden Sie einen Atmosphärenschild (z. B. eine Argon- oder Wasserstoff-Mischatmosphäre), um Oxidation oder Entkohlung zu verhindern.

Erstellen Sie eine Datenbank zur Phasenzusammensetzung und verfolgen Sie strukturelle Änderungen unter verschiedenen Prozessbedingungen.

Wissensentwicklung

Dank der Entwicklung hochauflösender Analyseverfahren wie Synchrotron-Röntgenbeugung und Neutronenbeugung können Forscher die Kristalldefekte und die Spannungsverteilung von Wolframkarbidpulver genauer charakterisieren. Diese Verfahren liefern neue Ideen zur Optimierung des Aufkohlungsprozesses, insbesondere in der Luft- und Raumfahrt, wo die Reinheit einer einzelnen WC-Phase nahezu 100 % betragen muss.

Optimiertes Design der Pulverfließfähigkeit und Schüttdichte.

Die Fließfähigkeit des Pulvers beeinflusst die Presseffizienz und die Gleichmäßigkeit der Formfüllung, während die Schüttdichte eng mit der Sinterschrumpfung und der Produktdichte zusammenhängt. Hochwertiges Wolframkarbidpulver muss ein Gleichgewicht zwischen Fließfähigkeit und Dichte aufweisen, um den Anforderungen verschiedener Formgebungsverfahren gerecht zu werden.

Bedeutung der Fließfähigkeit: Pulver mit schlechter Fließfähigkeit können Delamination oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hohlräume im Pressling verursachen und so die Produktfestigkeit verringern. Die Hall-Fließrate hochwertiger Pulver liegt üblicherweise im Bereich von 15–25 Sekunden/50 g. Ultrafeine Pulver weisen aufgrund der starken Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Partikeln eine schlechte Fließfähigkeit auf und müssen daher speziell optimiert werden.

Die Bedeutung der Rohdichte

Die Schüttdichte spiegelt die Schütteeigenschaften des Pulvers wider und liegt üblicherweise zwischen 3,0 und 5,0 g/cm³. Eine niedrige Schüttdichte kann zu übermäßiger Sinterschrumpfung führen und die Maßgenauigkeit beeinträchtigen. Eine hohe Schüttdichte kann die Formbarkeit beeinträchtigen.

Detektionstechnologie

Hall-Durchflussmesser: Misst die Zeit, die Pulver benötigt, um durch einen Standardtrichter zu fließen. Er ist einfach zu bedienen und eignet sich für Tests vor Ort.

Klopfdichtemessgerät: Misst die Volumendichte des Pulvers nach der Vibration und spiegelt die Kompaktheit der Partikelpackung wider.

Rotierende Trommelmethode: simuliert das dynamische Verhalten des Pulvers während des Formprozesses und bewertet die tatsächliche Fließfähigkeit.

Optimierungsstrategie

Mithilfe der Sprühgranulationstechnologie können Sie kugelförmige oder nahezu kugelförmige Pulver herstellen und die Fließfähigkeit deutlich verbessern.

Passen Sie die Partikelgrößenverteilung an: Erhöhen Sie den Anteil feiner Partikel entsprechend, um den Fülleffekt zwischen den Partikeln zu optimieren.

Oberflächenmodifizierung: Reduzieren Sie die Reibung zwischen den Partikeln durch Plasmabehandlung oder Zugabe einer kleinen Menge Bindemittel (z. B. Paraffin, die Zugabemenge beträgt <0,5 %).

Kontrollieren Sie den Feuchtigkeitsgehalt des Pulvers: Ein zu hoher Feuchtigkeitsgehalt verringert die Fließfähigkeit. Es wird empfohlen, ihn unter 0,1 % zu halten.

Wissenserweiterung: In den letzten Jahren wurde die Untersuchung der Fluidität schrittweise in Computersimulationstechnologien integriert, beispielsweise in die Diskrete-Elemente-Methode (DEM). Diese kann das Fließverhalten von Pulver in der Form simulieren und das Delaminationsrisiko vorhersagen. Dies liefert theoretische Unterstützung für die Optimierung des Granulationsprozesses und des Formdesigns, was insbesondere in der automatisierten Produktion wichtig ist.

Systematisches Management der Umwelt- und Lagerbedingungen

Wolframcarbidpulver reagiert sehr empfindlich auf Feuchtigkeit und Sauerstoff. Unsachgemäße Lagerung kann zu Oxidation, Feuchtigkeitsaufnahme oder Leistungseinbußen führen. Ein wissenschaftliches Umweltmanagement ist der Schlüssel zur Verlängerung der Pulverlebensdauer und zur Gewährleistung stabiler Qualität.

Oxidationsrisiko: Sauerstoff reagiert mit Wolframcarbidpulver zu Wolframoxid (WO₃), das die Aktivität des Pulvers verringert und sogar Sinterfehler verursacht. Ultrafeine Pulver haben aufgrund ihrer hohen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

spezifischen Oberfläche ein erhöhtes Oxidationsrisiko.

Problem der Feuchtigkeitsaufnahme: Wasseraufnahme kann zur Pulveragglomeration führen und die Fließfähigkeit verringern. In schweren Fällen kann es zu chemischen Reaktionen und der Bildung von Hydroxiden kommen.

Umweltanforderungen:

Temperatur: Halten Sie die Lagerumgebung bei 15–25 °C, um hohe Temperaturen zu vermeiden, die die Oxidation beschleunigen.

Luftfeuchtigkeit: Die relative Luftfeuchtigkeit sollte bei 30–50 % liegen, um eine Feuchtigkeitsaufnahme zu verhindern.

Licht: Vermeiden Sie starke Lichteinwirkung, um photochemische Reaktionen auf der Pulveroberfläche zu verhindern.

Managementmaßnahmen

Vakuumverpackung oder Stickstoffverpackung: Isolieren Sie Luft und Feuchtigkeit, um die Lagerdauer zu verlängern.

Ausgestattet mit Entfeuchtungsgeräten: wie etwa Molekularsieb oder Silicagel-Trockenmittel, um eine Umgebung mit niedriger Luftfeuchtigkeit aufrechtzuerhalten.

Überprüfen Sie die Lagerbedingungen regelmäßig: Verwenden Sie ein Thermo-Hygrometer und einen Sauerstoffanalysator und dokumentieren Sie die Umgebungsparameter.

Optimieren Sie den Transportprozess: Verwenden Sie stoßfeste und feuchtigkeitsbeständige Verbundverpackungsmaterialien, um eine Beschädigung des Pulvers zu verhindern.

Lagerdateien anlegen: Lagerzeit, Umgebungsbedingungen und Leistungsänderungen jeder Pulvercharge dokumentieren.

Wissenserweiterung: Moderne Lagertechnologie entwickelt sich in Richtung Intelligenz. Beispielsweise kann die Internet of Things (IoT)-Technologie Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Lagerumgebung in Echtzeit überwachen und den Alterungstrend des Pulvers durch Cloud Computing analysieren. Dies verbessert nicht nur die Lagereffizienz, sondern bietet auch Datenunterstützung für die Qualitätsrückverfolgbarkeit.

Qualitätsrückverfolgbarkeit und digitales Management

Im Zeitalter von Industrie 4.0 legt die Qualitätskontrolle Wert auf die Rückverfolgbarkeit des gesamten Prozesses und datenbasierte Entscheidungsfindung. Das digitale Management eröffnet neue Wege zur Qualitätsoptimierung von Wolframcarbidpulver durch die Integration von Produktions-, Prüf- und Lagerdaten.

Rückverfolgbarkeitssystem:

Chargenverwaltung: Weisen Sie jeder Pulvercharge eine eindeutige Kennung zu, dokumentieren Sie die Herkunft der Rohstoffe, Produktionsparameter und Testergebnisse.

Blockchain-Technologie: Stellt sicher, dass Daten nicht manipuliert werden können und erhöht die Glaubwürdigkeit von Qualitätszertifizierungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Digitale Werkzeuge:

Online-Überwachung: beispielsweise Echtzeit-Partikelgrößenanalysatoren und Detektoren für die chemische Zusammensetzung, um Prozessabweichungen rechtzeitig zu erkennen.

Statistische Prozesskontrolle (SPC): Analysieren Sie die Muster von Qualitätsschwankungen und optimieren Sie die Prozessparameter.

Künstliche Intelligenz (KI): Vorhersage von Pulvereigenschaften durch maschinelles Lernen zur Unterstützung der Prozessverbesserung.

Umsetzungsstrategie:

Richten Sie ein Enterprise Resource Planning (ERP)-System ein, um Produktions- und Qualitätsdaten zu integrieren.

Schulen Sie Ihre Mitarbeiter im Umgang mit Datenanalysetools und verbessern Sie ihre digitalen Managementfähigkeiten.

Arbeiten Sie mit Prüfstellen zusammen und führen Sie eine Überprüfung durch Dritte ein, um die Objektivität der Daten sicherzustellen.

Wissenserweiterung: Zu den neuesten Fortschritten im digitalen Management gehört die Digital-Twin-Technologie, die den Produktionsprozess von Wolframcarbidpulver anhand virtueller Modelle simuliert und Qualitätsrisiken vorhersagt. Diese Technologie wird bereits von großen Wolframunternehmen in Europa und den USA eingesetzt und soll künftig auch in China weiter vorangetrieben werden.

5.2 Internationale Normen

Internationale Normen bilden einen globalen Rahmen für die Qualitätskontrolle von Wolframcarbidpulver und gewährleisten die Konsistenz und Vergleichbarkeit von Produkten in verschiedenen Ländern und Märkten. Diese Normen werden von maßgeblichen Organisationen formuliert und decken chemische Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften, Prüfmethode und weitere Aspekte ab. Sie finden breite Anwendung in der Hartmetall-, Beschichtungs- und Werkzeugherstellung. Die folgende detaillierte Analyse der wichtigsten internationalen Normen und ihrer Anwendungsszenarien soll den Lesern eine klare Orientierung bieten.

ISO-Normen

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) hat eine Reihe von Normen für Hartmetallpulver entwickelt, die den wissenschaftlichen Charakter der Prüfmethode und die Wiederholbarkeit der Ergebnisse betonen. Diese Normen haben weltweit großen Einfluss, insbesondere auf den Märkten der EU und Asiens.

ISO 4499-1:2008: Cermet-Pulver für Hartmetalle – Methoden der chemischen Analyse.

Erläuterung des Inhalts: Diese Norm legt die Bestimmungsmethoden für Gesamtkohlenstoff, freien Kohlenstoff, Sauerstoff, Eisen, Kobalt, Kalzium und andere Elemente fest und empfiehlt den Einsatz hochpräziser Technologien wie ICP-MS (Nachweisgrenze 10 ppb) und Infrarotabsorptionsverfahren (Genauigkeit des Sauerstoffgehalts 0,01 %). Die Norm legt außerdem strenge Anforderungen an die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Probenvorbehandlung (wie Säureauflösung und Trocknung) fest, um Störfaktoren auszuschließen.

Anwendungsszenario

Geeignet für exportorientierte Hartmetall-Produktionsunternehmen, insbesondere in den Bereichen Luft- und Raumfahrt und Medizintechnik, wo die Reinheit der chemischen Zusammensetzung extrem hoch ist.

Vorteile und Herausforderungen

Die Standardmethode ist wissenschaftlich und streng, stellt jedoch hohe Anforderungen an die Testgeräte (wie ICP-MS), und kleine und mittlere Unternehmen können einem Kostendruck ausgesetzt sein.

ISO 4499-2:2008: Cermet-Pulver für Hartmetalle – Prüfungen der physikalischen Eigenschaften.

Inhaltliche Details: Enthält die Prüfspezifikationen für Partikelgrößenverteilung, Schüttdichte, Schüttdichte und Fließfähigkeit. Empfohlen wird die Verwendung eines Laser-Partikelgrößenanalysators (Messbereich 0,01–1000 µm) und eines Hall-Durchflussmessers (Genauigkeit ±0,1 Sekunde). Die Norm legt außerdem Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Prüfumgebung klar fest (20 ±2 °C, Luftfeuchtigkeit <50 %).

Anwendungsszenarien: Geeignet zur Bewertung der Formleistung von Pulvern, insbesondere im Bereich hochpräziser Werkzeuge und 3D-Druck, wo die Gleichmäßigkeit der Partikelgrößenverteilung entscheidend ist.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standardvorgang ist einfach und die Ergebnisse sind sehr vergleichbar, es fehlen jedoch detaillierte Anleitungen zum Agglomerationsproblem ultrafeiner Pulver, und für zusätzliche Analysen müssen andere Methoden (wie SEM) kombiniert werden.

ISO 3326:2013: Hartmetalle – Verfahren zur Bestimmung der Härte.

Inhaltserklärung: Obwohl die Norm hauptsächlich auf Hartmetall-Fertigprodukte abzielt, wirkt sie sich indirekt auf die Qualitätsanforderungen an Wolframkarbidpulver aus. Die Norm legt die Prüfmethoden für die Vickershärte (HV) und die Rockwellhärte (HRA) fest und betont den Beitrag der Stabilität der Pulverkristallstruktur zur Härte.

Anwendungsszenarien: Geeignet für High-End-Anwendungen wie Werkzeuge für die Luft- und Raumfahrt und verschleißfeste Teile. Die Kristallreinheit des Pulvers muss über 99,9 % liegen.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standard bietet eine Referenz für die Leistung fertiger Produkte, es gibt jedoch weniger direkte Testrichtlinien für Pulver, sodass er in Verbindung mit anderen Standards verwendet werden muss.

Wissenserweiterung: Die ISO-Normen wurden in den letzten Jahren kontinuierlich aktualisiert. Beispielsweise wurde in der überarbeiteten Fassung der ISO 4499-2020 die Nachweismethode für Nanopulver hinzugefügt, was dem rasanten Wachstum des Marktes für ultrafeines Wolframkarbidpulver Rechnung trägt. Unternehmen müssen die neueste Version beachten, um sich an den technologischen Fortschritt anzupassen.

ASTM-Standards

Die Standards der American Society for Testing and Materials (ASTM) sind für die Genauigkeit und Praktikabilität ihrer experimentellen Methoden bekannt und werden auf dem nordamerikanischen Markt häufig verwendet, insbesondere in der Hartmetall- und Beschichtungsindustrie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM B761-17: Prüfverfahren für die Partikelgrößenverteilung von Wolframcarbidpulver.

Erläuterung des Inhalts: Die Norm beschreibt detailliert die Arbeitsschritte der Laserstreuung und Siebung, die für Pulver von 0,1 bis 100 µm anwendbar sind. Die Laserstreuung basiert auf der Mie-Streutheorie, ist hochpräzise und eignet sich für ultrafeine Pulver; die Siebung ist einfach durchzuführen und für grobe Pulver geeignet. Die Norm enthält außerdem spezifische Empfehlungen zur Probendispersion (z. B. Ultraschallbehandlung).

Anwendungsszenarien: Geeignet für 3D-Druck, thermisches Spritzen und Nanobeschichtung. Die Gleichmäßigkeit der Partikelgrößenverteilung wirkt sich direkt auf die Druckqualität und die Beschichtungsleistung aus.

Vorteile und Herausforderungen: Die Standardmethode ist ausgereift und die Gerätedurchdringungsrate ist hoch, stellt jedoch hohe Anforderungen an die Agglomerationskontrolle ultrafeiner Pulver und muss mit einem Dispergiermittel verwendet werden.

ASTM E194-10: Bestimmung des Sauerstoffgehalts in pulvermetallurgischen Materialien.

Inhaltserklärung: Der Sauerstoffgehalt wird mittels Inertgasschmelzverfahren bestimmt. Die Nachweisgrenze liegt bei nur 1 ppm und eignet sich für hochreine Pulver. Die Norm erfordert die Verwendung eines Hochfrequenz-Induktionsofens (Leistung > 2 kW), um die Probe zu schmelzen, Sauerstoff freizusetzen und mit einem Infrarotdetektor zu analysieren.

Anwendungsszenarien: Geeignet für Hochleistungshartmetall und Luft- und Raumfahrtmaterialien. Der Sauerstoffgehalt muss auf 0,05–0,1 % kontrolliert werden, um Sinterfehler zu vermeiden.

Vorteile und Herausforderungen: Die Erkennungsgenauigkeit ist extrem hoch und für High-End-Anwendungen geeignet, aber die Gerätekosten sind relativ hoch (ca. 500.000 bis 1.000.000 RMB) und erfordern eine professionelle Bedienung.

ASTM B659-90 (2014): Leitfaden zur Messung der Dicke metallischer und anorganischer Beschichtungen.

Inhaltserklärung: Obwohl die Norm hauptsächlich auf Beschichtungen abzielt, regelt sie indirekt die Qualitätsanforderungen für Wolframcarbidpulver und betont den Einfluss der Gleichmäßigkeit der Pulverpartikelgröße und der chemischen Stabilität auf die Beschichtungsqualität. Die Norm empfiehlt den Einsatz von Mikroskopie und Röntgenfluoreszenz zur Messung der Schichtdicke.

Anwendungsszenarien: Geeignet für thermisches Spritzen, Plasmaspritzen und Laserauftragschweißen. Die Schüttdichte und Fließfähigkeit des Pulvers müssen optimiert werden, um eine gleichmäßige Beschichtung zu gewährleisten.

Vorteile und Herausforderungen: Die Norm bietet indirekte Anleitungen für Beschichtungsanwendungen, enthält jedoch weniger direkte Prüfinhalte für Pulver und muss mit anderen Normen kombiniert werden.

Wissenserweiterung: ASTM-Standards konzentrieren sich auf praktische Anwendungen und haben in den letzten Jahren Spezifikationen für die additive Fertigung (3D-Druck) hinzugefügt, wie zum Beispiel

ASTM F3049 befasst sich indirekt mit den Anforderungen an Partikelgröße und Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver. Dies spiegelt die schnelle Reaktion der Norm auf neue Technologien wider.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In Zusätzlich zu ISO und ASTM haben einige Länder und Regionen auch relevante Standards für Wolframkarbidpulver formuliert, wobei lokale Industriemerkmale kombiniert werden, um das globale Standardsystem zu ergänzen.

JIS Z 2503:2015 (japanischer Industriestandard):

Erläuterung des Inhalts: Behandelt die Prüfmethoden für die chemische Zusammensetzung (Gesamtkohlenstoff, Sauerstoff, Verunreinigungen), die Partikelgrößenverteilung und die physikalischen Eigenschaften (Scheindichte, Fließfähigkeit) von Wolframkarbidpulver. Die Norm legt Wert auf die Stabilität des Produktionsprozesses und erfordert die Aufzeichnung der Karbonisierungstemperatur und der atmosphärischen Bedingungen jeder Pulvercharge.

Anwendungsszenarien: Geeignet für die Hartmetall- und Beschichtungsproduktion auf dem japanischen und koreanischen Markt, insbesondere in der Automobil- und Elektronikindustrie.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standard vereint das Ausstattungsniveau des asiatischen Marktes und weist geringere Implementierungskosten auf, sein Internationalisierungsgrad ist jedoch nicht so hoch wie bei der ISO.

DIN EN ISO 4499 (Deutsche Norm):

Inhaltserklärung: Die Norm entspricht weitgehend der ISO 4499-Reihe und ergänzt die Anforderungen an die Kalibrierung von Produktionsanlagen (z. B. jährliche Kalibrierung von XRD-Geräten) und die Umweltkontrolle (z. B. Luftfeuchtigkeit in der Produktionswerkstatt <40 %). Die Norm verfeinert außerdem die Nachweismethode für ultrafeine Pulver.

Anwendungsszenarien: Weit verbreitet in europäischen Ländern wie Deutschland und Österreich, insbesondere in den Bereichen Präzisionsmaschinen und Luft- und Raumfahrt.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standard konzentriert sich auf Prozessdetails und eignet sich für technologieintensive Unternehmen, ist jedoch für kleine und mittlere Unternehmen weniger anwendbar.

BS EN-Normen (Britische Normen):

Erläuterung des Inhalts: Teilweise Bezugnahme auf die Normen ISO 4499 und ASTM, wobei der Schwerpunkt auf der Leistungsprüfung von Pulver in Schneidwerkzeugen, wie Härte, Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit, liegt. Die Norm enthält auch Empfehlungen zu den Lagerbedingungen von Pulver (z. B. Vakuumverpackung).

Anwendungsszenarien: Anwendbar für die Marktzertifizierung in Großbritannien und den Commonwealth-Ländern, insbesondere in der Schifffahrts- und Energiebranche.

Stärken und Herausforderungen: Der Standard ist umfassend, aber stark regional ausgerichtet und hat nur begrenzten internationalen Einfluss.

Wissenserweiterung: Der Trend zur internationalen Normung wird immer deutlicher. So hat beispielsweise die gemeinsame Überarbeitung von ISO und DIN zu einer breiteren Anwendung der DIN EN ISO 4499 auf dem europäischen Markt geführt. Zukünftig könnten internationale Normen weiter integriert werden, um eine einheitliche globale Spezifikation zu bilden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungsmerkmale und Trends:

Globale Anwendbarkeit: ISO- und ASTM-Standards sind maßgeblich und wissenschaftlich und eignen sich daher für multinationale Unternehmen und Exportprodukte, insbesondere auf dem europäischen und amerikanischen Markt.

Technischer Schwellenwert: Internationale Standards stellen hohe Anforderungen an die Qualität der Prüfgeräte und des Personals, was für Unternehmen mit starker technischer Stärke geeignet ist. Kleine und mittlere Unternehmen müssen ihre Geräte jedoch möglicherweise schrittweise aufrüsten.

Regionale Anpassung: JIS- und BS EN-Standards entsprechen eher den lokalen Anforderungen, haben geringere Implementierungskosten und sind für regionale Märkte geeignet.

Zukunftsaussichten: Mit dem Aufkommen von Nanopulvern und additiver Fertigung entwickeln sich internationale Standards immer detaillierter, beispielsweise durch die Einführung von Testmethoden für Nanopartikelgröße und Oberflächenchemie. Unternehmen müssen die Aktualisierung von Standards aufmerksam verfolgen, um technologisch immer einen Schritt voraus zu sein.

5.3 Nationale Normen

China hat ein umfassendes Standardsystem für die Qualitätskontrolle von Wolframcarbidpulver etabliert, das nationale Standards (GB/T), Industriestandards (YB/T, HG/T, JB/T) sowie lokale und unternehmensweite Standards umfasst. Diese Standards berücksichtigen die aktuelle Situation der chinesischen Wolframindustrie, gleichen technische Anforderungen und Produktionskosten aus und finden breite Anwendung in der Hartmetall-, Beschichtungs-, Werkzeug- und Metallurgieindustrie. Im Folgenden werden Inhalt, Merkmale und Anwendungsszenarien der nationalen Standards detailliert analysiert.

Nationaler Standard

Der Nationale Standard (GB/T) ist die grundlegende Spezifikation für die Qualitätskontrolle von Wolframcarbidpulver in China. Er enthält sowohl verbindliche als auch richtungsweisende Eigenschaften und deckt mehrere Bereiche vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt ab.

GB/T 4295-2018: Wolframcarbidpulver.

Inhaltserklärung: Die Norm legt die chemische Zusammensetzung (z. B. Gesamtkohlenstoff 6,08–6,18 %, freier Kohlenstoff $\leq 0,1$ %, Sauerstoff $\leq 0,2$ %), den Partikelgrößenbereich (0,5–30 μm), die Schüttdichte (3,0–5,0 g/cm^3), die Fließfähigkeit (15–25 Sekunden/50 g) und weitere technische Anforderungen an Wolframcarbidpulver fest. Die Nachweismethoden umfassen chemische Analysen (Verbrennungsmethode, Titrationsmethode), physikalische Prüfungen (Laser-Partikelgrößenanalyse, Hall-Durchflussmesser) und mikroskopische Analysen (XRD, SEM). Die Norm enthält außerdem Empfehlungen zu Verpackung und Lagerung, z. B. Vakuumverpackung und Lagerfeuchtigkeit < 50 %.

Anwendungsszenarien: Anwendbar auf alle Aspekte der inländischen Hartmetall-, Beschichtungs- und Werkzeugproduktion und bildet die Kerngrundlage für das Qualitätsmanagement der Branche.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standard ist umfassend und deckt eine Vielzahl von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungsszenarien ab, aber die Spezifikationen für ultrafeine Pulver ($<0,5\ \mu\text{m}$) sind etwas unzureichend und müssen durch andere Standards ergänzt werden.

GB/T 26046-2010: Wolframkarbidpulver für Hartmetall.

Erläuterung des Inhalts: Wolframkarbidpulver wird je nach Partikelgröße und Verwendungszweck in verschiedene Qualitäten unterteilt (z. B. WC-01 für ultrafeine Werkzeuge, WC-04 für verschleißfeste Teile). Die Anforderungen an die chemische Zusammensetzung (Sauerstoff $\leq 0,15\ \%$), die Partikelgrößenverteilung (D50-Abweichung $\pm 5\ \%$) und die physikalischen Eigenschaften (Schüttdichte $4,0\text{--}5,0\ \text{g/cm}^3$) sind verfeinert. Die Norm legt auch den Kalibrierzyklus der Prüfgeräte fest (einmal jährlich).

Anwendungsszenarien: Geeignet für Hartmetallprodukte mit unterschiedlichen Leistungsanforderungen, wie z. B. ultrafeines Pulver für PCB-Bohrer und grobes Pulver für Bergbauwerkzeuge.

Stärken und Herausforderungen: Der Standard verfügt über eine klare Klassifizierung und kann an unterschiedliche Anforderungen angepasst werden, es gibt jedoch weniger Anleitungen für neue Anwendungen (wie 3D-Druck) und es sind weitere Aktualisierungen erforderlich.

GB/T 18508-2013: Prüfmethoden für pulvermetallurgische Produkte aus Hartmetall.

Inhaltserklärung: Obwohl die Norm hauptsächlich auf Hartmetallprodukte abzielt, regelt sie indirekt die Qualitätsanforderungen für Wolframkarbidpulver. Die Norm umfasst die Prüfmethoden für Härte (HV, HRA), Dichte, Porosität und Mikrostruktur und betont den Einfluss der Pulverkristallstruktur und der chemischen Zusammensetzung auf die Leistung der fertigen Produkte.

Anwendungsszenarien: Geeignet zur Qualitätsüberprüfung von Hartmetallwerkzeugen, Formen und verschleißfesten Teilen und bietet eine indirekte Referenz für die Pulverqualität.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standard bietet eine Grundlage für die Leistung fertiger Produkte, enthält jedoch weniger direkte Testinhalte für Pulver und muss in Verbindung mit GB/T 4295 verwendet werden.

Wissenserweiterung: Nationale Normen wurden in den letzten Jahren kontinuierlich überarbeitet. Beispielsweise wurden in GB/T 4295-2023 (Entwurf) neue Prüfanforderungen für Nanopulver eingeführt, die Chinas technologischen Fortschritt im Bereich hochwertiger Wolframmaterialien widerspiegeln. Unternehmen müssen die Überarbeitungsdynamik im Auge behalten, um sich an die Marktnachfrage anzupassen.

Industriestandards

Industriestandards (YB/T, HG/T, JB/T) verfeinern die Qualitätsanforderungen für bestimmte Bereiche, ergänzen die mangelnde Allgemeingültigkeit nationaler Standards und werden in der Metallurgie-, Chemie- und Maschinenbauindustrie häufig verwendet.

YB/T 429-2012: Wolframkarbidpulver für die Metallurgie.

Erläuterung des Inhalts: Die Norm ist auf die besonderen Anforderungen der metallurgischen Industrie (z. B. Walzen und Formen) ausgerichtet und legt Wert auf die Korrosionsbeständigkeit (Säure- und Laugenbeständigkeit), die Hochtemperaturstabilität ($> 1000\ ^\circ\text{C}$) und den Partikelgrößenbereich ($5\text{--}20$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

μm) des Pulvers. Die Nachweismethoden umfassen chemische Analysen (Gesamtkohlenstoff, Sauerstoff), Hochtemperatur-Leistungstests (Wärmeausdehnungskoeffizient) und Verschleißfestigkeitstests (Abriebprüfung).

Anwendungsszenarien: Geeignet für Schwermaschinen, metallurgische Geräte und die Herstellung verschleißfester Teile, insbesondere in der Stahl- und Nichteisenmetallindustrie.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standard ist sehr zielgerichtet und erfüllt die besonderen Anforderungen der metallurgischen Industrie, seine Anwendbarkeit auf ultrafeine Pulver ist jedoch gering und muss mit anderen Standards kombiniert werden.

HG/T 2838-2012: Wolframkarbidpulver für die chemische Industrie.

Inhaltserklärung: Für die chemische Industrie (z. B. Katalysatoren, korrosionsbeständige Beschichtungen) legt die Norm die chemische Reinheit (Gesamtkohlenstoff 6,10–6,15 %, Verunreinigungen ≤ 50 ppm), die Partikelgröße (1–5 μm) und die Oberflächenaktivität (spezifische Oberfläche 5–10 m²/g) des Pulvers fest. Zu den Nachweismethoden gehören die BET-Methode (spezifische Oberfläche), die chemische Titration (Verunreinigungen) und die SEM (Oberflächenmorphologie).

Anwendungsszenarien: Geeignet für säure- und laugenbeständige Beschichtungen, Katalysatorträger und chemische Reaktoren, insbesondere in der petrochemischen Industrie.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standard konzentriert sich auf Oberflächeneigenschaften und ist für chemische Anwendungen geeignet, hat jedoch weniger Spezifikationen für physikalische Eigenschaften (wie etwa Fließfähigkeit).

JB/T 12614-2016: Ultrafeines Wolframkarbidpulver für Hartmetall.

Inhaltserklärung: Für Pulver mit einer Partikelgröße von weniger als 1 μm legt die Norm die Anforderungen an die Partikelgrößenverteilung ($D_{90}/D_{10} < 2$), den Sauerstoffgehalt ($\leq 0,1$ %) und die Korngröße (< 200 nm) fest. Zu den Nachweismethoden gehören TEM (Kornanalyse), Laser-Partikelgrößenanalyse und Infrarotabsorption (Sauerstoffgehalt). Die Norm enthält außerdem Empfehlungen zur Agglomerationskontrolle, beispielsweise zum Einsatz von Dispergiermitteln.

Anwendungsszenarien: Geeignet für High-End-Märkte wie Mikrobohrer, elektronische Komponenten und Nanobeschichtungen.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standard folgt eng dem technologischen Trend ultrafeiner Pulver, aber die Erkennungskosten sind relativ hoch (TEM-Geräte kosten etwa 2 Millionen RMB) und erfordern einen hohen technischen Support.

Wissenserweiterung: Bei der Formulierung von Industriestandards wird der bereichsübergreifenden Integration zunehmend mehr Aufmerksamkeit geschenkt. So wurden beispielsweise in der überarbeiteten Fassung von HG/T 2838-2020 Spezifikationen für Wolframkarbid-basierte Verbundpulver hinzugefügt, was die bereichsübergreifende Entwicklung von Chemieingenieurwesen und Materialwissenschaft widerspiegelt.

Lokale und Unternehmensstandards

Lokale und Unternehmensstandards kombinieren regionale Industriemerkmale und technologische

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorteile von Unternehmen, um die Anforderungen an die Qualitätskontrolle zu verfeinern und den Mangel an Allgemeingültigkeit nationaler Standards auszugleichen.

Lokale Standards:

DB43/T 1025-2015: Provinz Hunan „Spezifikation zur Qualitätskontrolle von Wolframkarbidpulver“.

Inhaltserklärung: Basierend auf der tatsächlichen Situation der Zhuzhou Tungsten Industrial Base spezifiziert die Norm die chemische Zusammensetzung (Sauerstoff $\leq 0,08\%$), die Partikelgrößenverteilung (D50-Abweichung $\pm 3\%$) und die Lagerbedingungen (Luftfeuchtigkeit $< 40\%$) von ultrafeinen Pulvern ($< 0,5\ \mu\text{m}$) und Nanopulvern ($< 100\ \text{nm}$). Die Nachweismethoden umfassen XPS (Oberflächenchemie), TEM und Online-Partikelgrößenanalyse.

Anwendungsszenarien: Geeignet für Gebiete mit hoher Wolframindustrie wie Hunan und Jiangxi, insbesondere bei der Herstellung hochwertiger Werkzeuge und Beschichtungen.

Vorteile und Herausforderungen: Der Standard ist nah an der tatsächlichen Produktion und weist geringe Implementierungskosten auf, ist jedoch stark regional ausgerichtet und muss in Verbindung mit nationalen Standards verwendet werden.

Anwendungsmerkmale und Trends:

Nah an der Realität: Inländische Standards berücksichtigen in vollem Umfang lokale Rohstoffe (minderwertiges Wolfram Erz) und Ausrüstungsniveaus (überwiegend werden inländische Instrumente verwendet) und die Implementierungskosten sind relativ gering.

Klare Ebenen: Nationale Standards haben einen breiten Geltungsbereich, Industriestandards sind spezialisiert und lokale und Unternehmensstandards sind flexibel, wodurch ein mehrstufiges Regulierungssystem entsteht.

Internationalisierungstrend: Mit der Globalisierung der chinesischen Wolframindustrie nähern sich die nationalen Standards ISO und ASTM an, insbesondere in den Bereichen ultrafeiner Pulver und High-End-Anwendungen.

Zukunftsaussichten: Inländische Standards werden weiterhin Umweltschutzanforderungen (wie etwa die Kontrolle der Kohlendioxidemissionen) und intelligente Technologien (wie etwa die Online-Qualitätsüberwachung) berücksichtigen, um eine umweltfreundliche und intelligente Fertigung zu unterstützen.

5.4 Standardvergleich und Anwendbarkeit

Inländische und ausländische Normen weisen sowohl Ähnlichkeiten als auch erhebliche Unterschiede in der Qualitätskontrolle von Wolframkarbidpulver auf. Gemeinsam ist ihnen, dass sie alle die Kontrolle der chemischen Zusammensetzung, der Partikelgrößenverteilung, der Kristallstruktur und der physikalischen Eigenschaften betonen. Die Unterschiede spiegeln sich in der Betonung der technischen Anforderungen, der Prüfmethoden und der Anwendungsszenarien wider. Die folgende vergleichende Analyse aus mehreren Perspektiven und die Anwendbarkeit der einzelnen Normen werden diskutiert, um Unternehmen bei der Auswahl geeigneter Spezifikationen zu unterstützen.

Vergleich der Anforderungen an die chemische Zusammensetzung

Internationale Standards:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 4499-1:2008: Gesamtkohlenstoffabweichung $\pm 0,05$ %, freier Kohlenstoff $\leq 0,08$ %, Sauerstoff $\leq 0,15$ %, Verunreinigungen (wie Eisen, Kobalt) ≤ 10 ppm.

ASTM E194-10: Die Nachweisgrenze für den Sauerstoffgehalt liegt bei 1 ppm, was auf eine ultrahohe Reinheit hindeutet und für die Luft- und Raumfahrt geeignet ist.

Merkmale: Extrem strenge Anforderungen, hohe Erkennungsgenauigkeit und die Notwendigkeit, mit fortschrittlicher Ausrüstung ausgestattet zu sein (wie z. B. ICP-MS, das etwa 1 Million RMB kostet).

Inländische Normen:

GB/T 4295-2018: Gesamtkohlenstoffabweichung $\pm 0,1$ %, freier Kohlenstoff $\leq 0,1$ %, Sauerstoff $\leq 0,2$ %, Verunreinigungen (wie Eisen) ≤ 50 ppm.

YB/T 429-2012: Die Verunreinigungsgrenze ist relativ locker (z. B. Eisen ≤ 100 ppm), was der Realität minderwertigen lokalen Wolframerzes entspricht.

Merkmale: relativ lockere Anforderungen, unter Berücksichtigung der Kostenkontrolle, für die Massenproduktion geeignet.

Unterschiedsanalyse: Internationale Standards streben nach höchster Reinheit und sind für den High-End-Markt geeignet; nationale Standards sind umfassender und senken die Rohstoff- und Prüfkosten.

Anwendbarkeit:

Exportprodukte: müssen ISO- oder ASTM-Standards erfüllen, um die Zertifizierung in Märkten wie der EU und Nordamerika zu bestehen.

Inlandsmarkt: GB/T 4295 ist für die konventionelle Hartmetall- und Beschichtungsproduktion ausreichend und kostengünstiger.

High-End-Anwendungen: Luft- und Raumfahrt, medizinische Geräte müssen internationale Standards oder interne Unternehmensstandards einhalten (z. B. Sauerstoff $\leq 0,05$ %).

Wissenserweiterung: Die Kontrolle chemischer Zusammensetzungen entwickelt sich zunehmend intelligenter. Deutsche Unternehmen nutzen beispielsweise KI-gestützte ICP-MS-Systeme, um Schwankungen der Verunreinigungen zu analysieren und Prozessparameter in Echtzeit anzupassen. Diese Technologie soll in den nächsten fünf Jahren auch in China eingeführt werden.

Vergleich der Granularitätskontrolle

Internationale Standards:

ASTM B761-17: erfordert eine gleichmäßige Partikelgrößenverteilung ($D_{90}/D_{10} < 2$), D_{50} -Abweichung ± 5 % und empfiehlt die Laserstreuemethode (Genauigkeit $0,01 \mu\text{m}$).

ISO 4499-2:2008: verfeinert die Testmethode für ultrafeine Pulver ($< 1 \mu\text{m}$) und legt den Schwerpunkt auf die Agglomerationskontrolle.

Merkmale: Fokus auf gleichmäßige Verteilung, geeignet für hochpräzise Anwendungen und hohe Anforderungen an die Prüfgeräte (Laser-Partikelgrößenanalysator kostet etwa 500.000 RMB).

Inländische Normen:

GB/T 26046-2010: Die Partikelgröße ist in mehrere Intervalle unterteilt (z. B. $0,5-1 \mu\text{m}$, $1-3 \mu\text{m}$), die D_{50} -Abweichung beträgt ± 10 % und die Siebmethode ist zulässig.

JB/T 12614-2016: Für ultrafeine Pulver, $D_{90}/D_{10} < 2,5$, wird empfohlen, Laserpartikelgrößenanalyse und TEM zu kombinieren.

Merkmale: Das Klassifizierungsmanagement ist flexibler, berücksichtigt traditionelle Methoden (z. B.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die Screening-Methode, Kosten ca. 10.000 RMB) und eignet sich für kleine und mittlere Unternehmen.
Differenzanalyse: Internationale Standards legen Wert auf hohe Präzision und Konsistenz, während nationale Standards den Schwerpunkt auf Vielfalt und Praktikabilität legen.

Anwendbarkeit:

Präzisionswerkzeuge und 3D-Druck: Um eine äußerst gleichmäßige Partikelgrößenverteilung zu gewährleisten, sind ASTM- oder ISO-Standards erforderlich.

Herkömmliches Hartmetall: Das Klassifizierungsmanagement von GB/T 26046 ist wirtschaftlicher und erfüllt verschiedene Anforderungen.

Ultrafeines Pulver: JB/T 12614 vereint internationale Standards und ist für High-End-Märkte geeignet.

Wissenserweiterung: Der neueste Trend in der Partikelgrößenkontrolle ist die Einführung multimodaler Analysen, beispielsweise durch die Kombination von Laserlichtstreuung und dynamischer Lichtstreuung (DLS), die gleichzeitig Partikelgröße und Agglomerationszustand charakterisieren können. Diese Technologie ist in Europa und den USA weit verbreitet und wird voraussichtlich ab 2025 auch in China eingeführt.

Vergleich der Testmethoden

Internationale Standards:

ISO 4499-Reihe: Priorität hat die Verwendung hochpräziser Instrumente, wie Laser-Partikelgrößenanalysatoren, ICP-MS und Infrarot-Absorptionsmethoden, sowie strenge Anforderungen an die Testumgebung (Temperatur 20 ± 1 °C, Luftfeuchtigkeit < 40 %).

ASTM E194-10: betont die Standardisierung der Methoden, die Ausrüstung muss jährlich kalibriert werden und die Nachweisgrenze liegt bei nur ppm.

Merkmale: Hohe Erkennungsgenauigkeit und gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse, aber hohe Geräte- und Wartungskosten (durchschnittliche jährliche Wartungsgebühr beträgt ca. 100.000 RMB).

Inländische Normen:

GB/T 4295-2018: berücksichtigt sowohl traditionelle Methoden (wie Screening, chemische Titration) als auch moderne Instrumente (wie etwa inländische Laser-Partikelgrößenanalysatoren, die etwa 200.000 RMB kosten).

YB/T 429-2012: Die Anforderungen an die Gerätekalibrierung sind gelockert (alle 2 Jahre) und die Testkosten sind niedrig (chemische Titrationsgeräte kosten etwa 50.000 RMB).

Merkmale: vielfältige Methoden, geringe Kosten, geeignet für Unternehmen unterschiedlicher Größe.

Analyse der Unterschiede: Internationale Normen streben nach höchster Präzision, während nationale Normen auf Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit ausgerichtet sind.

Anwendbarkeit:

Unternehmen mit starker technischer Stärke können ISO- oder ASTM-Standards direkt übernehmen, um die Anforderungen internationaler Kunden zu erfüllen.

Kleine und mittlere Unternehmen: Der hybride Ansatz von GB/T 4295 ist einfacher zu implementieren und erfordert weniger Investitionen in die Ausrüstung.

Aufstrebende Bereiche wie Nanopulver erfordern eine Kombination aus hochpräzisen Methoden auf der Grundlage internationaler Standards und der Flexibilität nationaler Standards.

Wissenserweiterung: Die digitale Transformation von Prüfmethoden beschleunigt sich. Beispielsweise

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nutzen amerikanische Unternehmen Online-XRD-Systeme, um die Phasenzusammensetzung in Echtzeit mit einer Fehlerrate von weniger als 0,05 % zu überwachen. Chinesische Unternehmen testen ähnliche Technologien und erwarten eine Industrialisierung im Jahr 2026.

Anwendbarkeitsanalyse

Exportorientierte Unternehmen:

Empfohlene Standards: ISO 4499-Reihe, ASTM B761/E194.

Grund: Auf dem europäischen und amerikanischen Markt sind internationale Standards maßgebend und die strengen Anforderungen an die chemische Zusammensetzung und Partikelgrößenkontrolle können den Anforderungen von High-End-Kunden (wie Boeing und Airbus) gerecht werden.

Umsetzungsvorschläge: Investieren Sie in hochpräzise Geräte (wie ICP-MS, Laser-Partikelgrößenanalysator), schulen Sie professionelles Testpersonal und etablieren Sie ein internationales Qualitätsmanagementsystem (wie eine ISO 9001-Zertifizierung).

Inlandsmarkt:

Empfohlene Standards: GB/T 4295-2018, GB/T 26046-2010, YB/T 429-2012.

Begründung: Nationale Normen berücksichtigen sowohl Kosten als auch Leistung, sind für die Massenproduktion geeignet und decken eine Vielzahl von Anwendungen für Hartmetall, Beschichtungen und Werkzeuge ab.

Umsetzungsvorschläge: Verwenden Sie vorrangig inländische Geräte (wie etwa den Beijing Precision Laser Particle Size Analyzer, Preis ca. 200.000 RMB) und optimieren Sie den Prozess in Kombination mit lokalen Standards (wie etwa DB43/T 1025).

High-End-Anwendungen:

Empfohlene Normen: ISO 4499-1/2, ASTM E194, Unternehmensstandards (wie z. B. Q/ZH 001-2020).

Grund: In der Luft- und Raumfahrt, bei medizinischen Geräten und anderen Bereichen sind extrem hohe Reinheit und Konsistenz erforderlich. Internationale Standards und Unternehmensstandards können strengere Indikatoren liefern (z. B. Sauerstoff $\leq 0,05$ %, Partikelgrößenabweichung ± 2 %).

Implementierungsvorschläge: Einführung fortschrittlicher Detektionstechnologien (wie TEM und Synchrotronstrahlung XRD), Einrichtung eines digitalen Vollprozessmanagements und Implementierung einer 6 σ -Qualitätskontrolle.

Neue Felder:

Empfohlene Standards: JB/T 12614-2016, ISO 4499-2020 (überarbeitete Ausgabe), Q/ZG 002-2021.

Grund: 3D-Druck, Nanobeschichtung und Biomedizin stellen neue Anforderungen an die Sphärizität, Oberflächenchemie und Fließfähigkeit von Pulvern und die neuesten Standards sind zielgerichteter.

Vorschläge zur Umsetzung: Investieren Sie in Spezialgeräte (wie CT-Scanner, BET-Oberflächenmessgeräte), beteiligen Sie sich an der Standardisierung (wie etwa durch eine Kooperation mit China Tungsten High-Tech) und sichern Sie sich die technologische Überlegenheit.

Entwicklungstrend

Internationalisierung von Standards

Mit dem zunehmenden globalen Einfluss der chinesischen Wolframindustrie nähern sich die nationalen Normen ISO und ASTM an. Beispielsweise bezieht sich GB/T 4295-2023 (Entwurf) auf die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Nanopulverspezifikation der ISO 4499-2020 und wird voraussichtlich 2025 offiziell veröffentlicht.

Umweltorientierung

Zukünftige Standards werden Anforderungen an eine umweltfreundliche Herstellung beinhalten, wie etwa die Kontrolle der Kohlenstoffemissionen während des Karbonisierungsprozesses (Ziel <2 Tonnen CO₂/Tonne Pulver) und die Förderung von Prozessen mit geringem Energieverbrauch (wie etwa Mikrowellenkarbonisierung).

Intelligentes Upgrade

Online-Monitoring (wie Echtzeit-Partikelgrößenanalyse, KI-gestützte Phasenanalyse) und digitale Zwillings-Technologie werden in die Standards integriert, um die Effizienz der Qualitätskontrolle zu verbessern. So verlangt beispielsweise die deutsche TÜV-Zertifizierung von Unternehmen die Einreichung digitaler Qualitätsberichte.

Maßgeschneiderte Anforderungen: Für neue Bereiche wie 3D-Druck und Biomedizin wird der Standard die Indikatoren von Pulvern für bestimmte Zwecke verfeinern, wie etwa die Fließfähigkeit von sphärischen Pulvern (<10 Sekunden/50 g) und die Oberflächenaktivität von Nanopulvern (>20 m²/g).

Wissensentwicklung

Die globale Zusammenarbeit bei der Standardisierung nimmt zu. So gründeten ISO und ASTM gemeinsam die „Additive Manufacturing Materials Working Group“, an der auch chinesische Unternehmen (wie die Zhuzhou Cemented Carbide Group) beteiligt waren. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die Internationalisierung nationaler Standards.

Verweise

Li Ming. Hartmetallwerkstoffe[M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.

Li Ming. Werkstoffkunde von Hartmetall [M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Fortschritte in der Herstellungstechnologie von Wolframcarbidpulver[J]. Powder Metallurgy Technology, 2020, 38(2): 88-94.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Fortschritte in der Herstellungstechnologie von Wolframcarbidpulver [J]. Powder Metallurgy Technology, 2020, 38(2): 88-94.

Wang Qiang, Li Ming. Forschung zum chinesischen Hartmetall-Standardsystem[J]. China Tungsten Industry, 2019, 34(3): 45-50.

Wang Qiang, Li Ming. Studie zum Standardsystem für chinesisches Hartmetall [J]. Chinesische Wolframindustrie, 2019, 34(3): 45-50.

Li Zhiqiang, Zhang Wei. Vergleichende Analyse internationaler und nationaler Standards für Wolframcarbidpulver[J]. Materials Science and Engineering, 2021, 39(4): 112-118.

Li Zhiqiang, Zhang Wei. Vergleichende Analyse internationaler und nationaler Standards für Wolframcarbidpulver [J]. Materials Science and Engineering, 2021, 39(4): 112-118.

Chen Wei, Zhao Gang. Herstellung und Eigenschaften von ultrafeinem Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5): 567-573.

Chen Wei, Zhao Gang. Herstellung und Eigenschaften von ultrafeinem Wolframcarbidpulver [J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5): 567-573.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. Forschung zur Anwendung von Wolframcarbidpulver im 3D-Druck[J]. Additive Manufacturing Technology, 2023, 12(1): 34-40.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

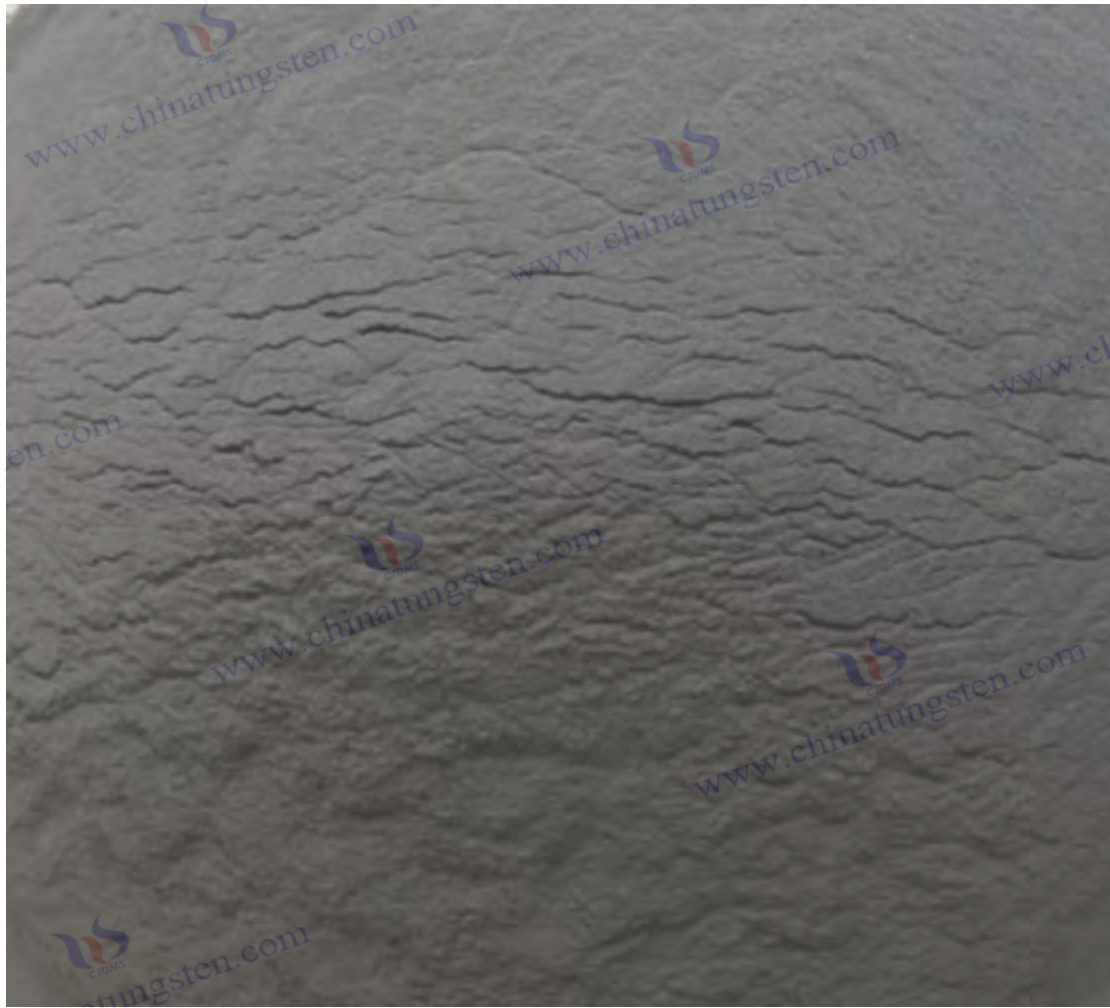
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Anwendung von Wolframcarbidpulver im 3D-Druck [J]. Additive Manufacturing Technology, 2023, 12(1): 34-40.
- ISO 4499-1:2008, Hartmetalle – Metallografische Bestimmung der Mikrostruktur.
- ISO 4499-1:2008, Hartmetalle – Verfahren zur Bestimmung der Mikrostruktur.
- ISO 4499-2:2008, Hartmetalle – Prüfung der physikalischen Eigenschaften.
- ISO 4499-2:2008, Hartmetalle – Prüfungen der physikalischen Eigenschaften.
- ISO 3326:2013, Hartmetalle – Bestimmung der Härte.
- ISO 3326:2013, Hartmetalle – Bestimmung der Härte.
- ASTM B761-17, Standardtestverfahren zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Metallpulvern und verwandten Verbindungen durch Lichtstreuung.
- ASTM B761-17, Lichtstreuungstestverfahren zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Metallpulvern und verwandten Verbindungen.
- ASTM E194-10, Standardtestmethode zur Bestimmung von Sauerstoff in Metallpulvern.
- ASTM E194-10, Prüfverfahren zur Bestimmung des Sauerstoffgehalts in Metallpulvern.
- ASTM B659-90 (2014), Standardhandbuch zur Messung der Dicke metallischer und anorganischer Beschichtungen.
- ASTM B659-90 (2014), Leitfaden zur Messung der Dicke metallischer und anorganischer Beschichtungen.
- Smith J, Brown T. Fortschritte in der Wolframcarbidpulverproduktion [J]. Journal of Materials Science, 2020, 55(12): 4567-4578.
- Smith J, Brown T. Fortschritte in der Produktionstechnologie von Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Materials Science, 2020, 55(12): 4567-4578.
- Johnson R, Lee K. Qualitätskontrollstandards für Wolframkarbid in der additiven Fertigung [J]. Additive Manufacturing, 2022, 48: 102456.
- Johnson R, Li K. Qualitätskontrollstandards für Wolframkarbid in der additiven Fertigung[J]. Additive Manufacturing, 2022, 48: 102456.
- Müller H, Schmidt P. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik , 2019, 50 (6): 789-796.
- Mueller H, Schmidt P. Qualitätskontrolle von Wolframcarbidpulvern: Spezifikationen und Verfahren[J]. Materials Science and Engineering Technology, 2019, 50(6): 789-796.
- Bauer T, Weber S. Herstellung und Charakterisierung von ultrafeinem Wolframcarbidpulver [M]. Berlin: Springer, 2021.
- Bauer T, Weber S. Herstellung und Charakterisierung ultrafeiner Wolframcarbidpulver[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2021.
- Japanische Literatur (einschließlich chinesischer Übersetzung)
- Taro Yamada, Ichiro Sato. Forschung zu Qualitätskontrollstandards für karbonisierte Pulver [J]. Journal of the Society for Powder Engineering, 2020, 57(3): 123-130.
- Yamada Taro, Sato Ichiro. Forschung zu Qualitätskontrollstandards für Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Powder Engineering Society, 2020, 57(3): 123-130.
- Ken Nakamura, Yu Kobayashi. Bewertung der Eigenschaften von ultrafeinem karbonisiertem Kohlenstoffpulver[J]. Journal of Materials Science, 2022, 71(5): 345-352.
- Nakamura, Ken, Kobayashi, Yu. Leistungsbewertung von ultrafeinem Wolframcarbidpulver[J]. Journal

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

of Materials Science Society, 2022, 71(5): 345-352.



Kapitel 6: Leistungsoptimierung und Modifikation von Wolframcarbidpulver

Als Kernbestandteil von Hochleistungswerkstoffen wie Hartmetall, Schneidwerkzeugen und verschleißfesten Beschichtungen ist die Leistungsoptimierung und -modifizierung von Wolframcarbidpulver von entscheidender Bedeutung für die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, der Korrosionsbeständigkeit und der Hochtemperaturstabilität des Endprodukts. Mit der rasanten Entwicklung fortschrittlicher Fertigungstechnologien konnte die Leistungsfähigkeit von herkömmlichem Wolframcarbidpulver die hohen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, der additiven Fertigung, der Mikroelektronik und anderer Bereiche nur schwer erfüllen. Daher werden die Mikrostruktur und die makroskopischen Eigenschaften von Wolframcarbidpulver durch Partikelgrößenoptimierung, Dotierung und Kompositmodifizierung, Oberflächenmodifizierung, Wärmebehandlung und Glühen usw. systematisch verbessert, was zu einem Forschungsschwerpunkt in der Materialwissenschaft und -technik geworden ist. Dieses Kapitel analysiert eingehend die theoretischen Grundlagen, Prozessmethoden, Anwendungseffekte und zukünftigen Trends der Leistungsoptimierung unter vier Gesichtspunkten: Partikelgrößenoptimierung, Dotierung und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Kompositmodifizierung, Oberflächenmodifizierungstechnologie sowie Wärmebehandlung und Glühen, und bietet ein umfassendes technisches Referenzwerk für die akademische Forschung und die industrielle Praxis.

6.1 Partikelgrößenoptimierung

Partikelgröße und -verteilung von Wolframkarbidpulver sind wichtige Parameter, die dessen Pressverhalten, Sinterleistung und Mikrostruktur des Endprodukts beeinflussen. Durch präzise Steuerung der Partikelgröße können die Gleichmäßigkeit und Fließfähigkeit des Pulvers sowie die Härte, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit des Hartmetalls deutlich verbessert werden. Im Folgenden wird die Rolle der Partikelgrößenoptimierung bei der Leistungssteigerung von Wolframkarbidpulver anhand von vier Aspekten systematisch erläutert: theoretische Grundlagen, Prozesstechnologie, quantitativer Effekt und Entwicklungsrichtung.

Theoretische Grundlagen der Partikelgrößenoptimierung

Die Partikelgröße wirkt sich direkt auf die spezifische Oberfläche, die Sinteraktivität und die Korngröße des Wolframkarbidpulvers aus, was wiederum die mechanischen Eigenschaften und Verarbeitungseigenschaften des Materials bestimmt.

Hall-Petch-Effekt: Gemäß der Hall-Petch-Beziehung kann die Reduzierung der Korngröße die Streckgrenze und Härte des Materials deutlich erhöhen. Beispielsweise kann die Härte von Hartmetall, das aus ultrafeinem Wolframkarbidpulver (Partikelgröße $<1\ \mu\text{m}$) hergestellt wird, HV 2000–2200 erreichen, was etwa 60 % höher ist als die HV 1200–1500 von grobem Pulver ($>10\ \mu\text{m}$).

Sinterkinetik: Feinkörnige Pulver haben eine höhere spezifische Oberfläche ($5\text{--}20\ \text{m}^2/\text{g}$), was die durch die Oberflächenenergie bedingte Diffusionsrate erhöht. Die Sintertemperatur kann von den üblichen $1450\ ^\circ\text{C}$ auf $1300\text{--}1350\ ^\circ\text{C}$ gesenkt werden, was den Energieverbrauch um etwa 15 % senkt und das Risiko von Kornwachstum verringert.

Gleichmäßige Partikelgrößenverteilung: Eine enge Partikelgrößenverteilung ($D_{90}/D_{10}<2$) gewährleistet eine gleichmäßige Schrumpfung beim Sintern, reduziert die Porosität auf unter 1 % und verbessert die Maßgenauigkeit des Produkts deutlich (Abweichung $\pm 10\ \mu\text{m}$). Eine breite Verteilung kann zu lokal ungleichmäßiger Schrumpfung und Mikrorissen führen.

Anpassungsfähigkeit an Anwendungsszenarien: Ultrafeines Pulver ($<0,5\ \mu\text{m}$) eignet sich für hochpräzise Schneidwerkzeuge und mikroelektronische Komponenten, mittlere Partikelgröße ($3\text{--}10\ \mu\text{m}$) eignet sich für verschleißfeste Beschichtungen und Formen und grobe Partikelgröße ($>10\ \mu\text{m}$) wird für thermisches Spritzen und Bergbauwerkzeuge verwendet, um die mechanischen Anforderungen unter verschiedenen Arbeitsbedingungen zu erfüllen.

Prozesstechnologie zur Partikelgrößenoptimierung

Als Reaktion auf die unterschiedlichen Anforderungen an die Partikelgröße wurden verschiedene

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prozesstechnologien entwickelt, um eine präzise Kontrolle der Pulver zu erreichen.

Hochenergie-Kugelmahltechnologie

Trockenes Kugelmahlen: Es wird eine Planetenkugelmühle verwendet, das Mahlmedium ist eine Wolframkarbidkugel (Härte > 90HRA), das Kugel-Material-Verhältnis beträgt 10:1, die Rotationsgeschwindigkeit beträgt 400–600 U/min, die Mahlzeit beträgt 12–24 Stunden und es kann ein Pulver mittlerer Partikelgröße von 3–10 µm hergestellt werden.

Nasskugelmahlen: Es wird in Ethanol oder Aceton durchgeführt, wobei Dispergiermittel (wie Polyethylenglykol, PEG, Zugabemenge 0,2 %–0,6 %) hinzugefügt werden. Die Mahlzeit beträgt 8–16 Stunden. Es kann ultrafeines Pulver (0,5–1 µm) hergestellt werden, und die Agglomerationsrate wird unter 5 % kontrolliert.

Quantitativer Effekt: Durch Nasskugelmahlen in Kombination mit Ultraschalldispersion kann die durchschnittliche Partikelgröße von 2,5 µm auf 0,7 µm reduziert, die Sinterdichte des Pulvers um 10 % erhöht und die Bruchzähigkeit des Hartmetalls um etwa 12 % verbessert werden.

Luftstromklassifizierungstechnologie

Verfahrensprinzip: Durch die Verwendung eines Zentrifugal-Luftstromklassierers kann durch Anpassen der Luftstromgeschwindigkeit (15–50 m/s) und der Klassifizierungsgeschwindigkeit (8000–20000 U/min) das Pulver von 0,5–10 µm gesiebt werden und die Klassifizierungseffizienz kann 92 % erreichen.

Technische Vorteile: Hohe Klassifizierungsgenauigkeit, D50-Abweichung wird auf ±0,03 µm kontrolliert, was besser ist als die ±0,2 µm der herkömmlichen Screening-Methode.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen optimierte den D90/D10-Wert von ultrafeinem Pulver durch Luftstromklassifizierung von 2,8 auf 1,7. Das Produkt wird in hochpräzisen PCB-Bohrern verwendet, und die qualifizierte Rate fertiger Produkte stieg um 15 %.

Plasma-Sphäroidisierungstechnologie

Verfahrensprinzip: Durch die Verwendung von Hochfrequenzplasma (Leistung 20–60 kW) werden unregelmäßige Partikel geschmolzen und schnell zu einem kugelförmigen Pulver mit gleichmäßiger Partikelgröße im Bereich von 0,5–5 µm verfestigt.

Technische Vorteile: Die Fließfähigkeit des sphärischen Pulvers wird um 35 % verbessert (die Fall-Flussrate wird auf 14 Sekunden/50 g reduziert), was es für die additive Fertigung und das thermische Spritzen geeignet macht.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen verwendete Plasma-Sphäroidisierung, um 0,8 µm Pulver herzustellen. Die Oberflächenrauheit (Ra) der Beschichtung wurde von 0,5 µm auf 0,2 µm reduziert und die Verschleißfestigkeit um 18 % verbessert.

Steuerung der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD)

Verfahrensprinzip: Durch Steuerung des Strömungsverhältnisses (1:1,3–1:1,6) von Wolframquelle (z. B. WF₆) und Kohlenstoffquelle (z. B. CH₄) wird bei 800–1000 °C direkt ultrafeines Pulver (0,1–0,5 µm) erzeugt.

Technische Vorteile: Gleichmäßige Korngröße und geringe Agglomerationsrate (<2 %), geeignet für

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungen im Nanobereich.

Technische Herausforderungen: Die Reaktionsausrüstung ist teuer (ca. 6 Millionen RMB) und die Prozessparameter müssen präzise kontrolliert werden (Temperaturabweichung $\pm 5^{\circ}\text{C}$).

Quantitative Effekte und Entwicklungsrichtungen

Quantitativer Effekt: Die Optimierung der Partikelgröße verbessert die Leistung von Wolframkarbidpulver deutlich. Beispielsweise verlängert sich die Lebensdauer von Hartmetallwerkzeugen, die mit ultrafeinem Pulver ($0,5\ \mu\text{m}$) hergestellt wurden, um 25–35 %, und die Verwendung von Nanopulver ($<100\ \text{nm}$) im 3D-Druck verbessert die Druckgenauigkeit auf $\pm 8\ \mu\text{m}$.

Technische Herausforderungen: Das Agglomerationsproblem von ultrafeinen Pulvern und Nanopulvern muss noch gelöst werden, und es müssen neue Dispergiermittel (wie funktionalisiertes Graphen) und Online-Überwachungstechnologien (wie dynamische Lichtstreuung mit einem Fehler von $<1\ \%$) entwickelt werden.

Entwicklungsrichtung

Skalierung von Nanopulvern : Erforschung des mikrowellenunterstützten Mahlens und der plasmaverstärkten CVD, wodurch die Produktionskosten voraussichtlich um 20 % gesenkt werden.

Intelligente Prozesssteuerung: Verwenden Sie Modelle des maschinellen Lernens, um die Beziehung zwischen Mahlzeit und Partikelgröße vorherzusagen und so die Prozesseffizienz zu optimieren.

Grüne Fertigung: Entwicklung einer energiesparenden Klassifizierungstechnologie (z. B. elektromagnetische Klassifizierung) zur Reduzierung der Kohlenstoffemissionen (Ziel $<1,5$ Tonnen CO_2 /Tonne Pulver).

6.2 Dotierung und Kompositmodifizierung

Dotierung und Kompositmodifikation optimieren die Gitterstruktur, die Korngrenzeigenschaften und die chemische Stabilität von Wolframkarbidpulver durch die Einführung von Fremdelementen oder Zweitphasen und verbessern dadurch dessen Härte, Zähigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit. Diese Technologie bietet breite Anwendungsmöglichkeiten in der Luft- und Raumfahrt, bei verschleißfesten Beschichtungen und in der Energietechnik. Im Folgenden werden Theorie und Praxis der Dotierung und Kompositmodifikation systematisch unter vier Aspekten analysiert: Modifizierungsmechanismus, Prozesstechnologie, Anwendungseffekt und Forschungstrend.

Änderungsmechanismus

Gitterverstärkungsmechanismus: Dotierungselemente (wie Ti, Cr, V) ersetzen Wolframatom im WC-Gitter oder besetzen Zwischengitterplätze, um feste Lösungen zu bilden, die Gitterverzerrungsenergie zu erhöhen und Versetzungsbewegungen zu verhindern. Beispielsweise kann die Dotierung mit 1 % Ti die Härte von 1800 HV auf 2250 HV erhöhen, während die Festigkeit um etwa 20 % zunimmt.

C_2 , VC) an der Korngrenze, wodurch das Kornwachstum gehemmt, die Bindungsfestigkeit an der Korngrenze erhöht und die Bruchzähigkeit verbessert wird (von $7\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ auf $9\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verbesserte chemische Stabilität: Die Dotierung mit Elementen wie Ta und Nb kann die Oxidationsrate von Pulvern in Hochtemperatur- ($> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$) oder korrosiven Umgebungen durch die Bildung einer stabilen Oxidschutzschicht reduzieren. Beispielsweise kann die Dotierung mit 0,5 % Ta die Oxidationsgewichtszunahme um 30 % reduzieren.

Synergistischer Effekt der Kompositmodifizierung: Durch Einbringen weiterer Carbide (wie TiC, ZrC) oder metallischer Bindungsphasen (wie Co, Ni) entsteht ein mehrphasiger Verbundwerkstoff, der das Gleichgewicht zwischen Härte und Zähigkeit optimiert. Beispielsweise erreicht die Härte von WC- TiC-Co-Kompositpulver HV 1900 und die Zähigkeit $11\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, was besser ist als die Leistungskombination von reinem WC.

Prozesstechnologie

Mechanisches Legieren:

Prozessablauf: Mischen Sie Wolframcarbidpulver mit Dotierungselementen (wie Cr, Ti) oder Verbundphasen (wie TiC) in einer Hochenergie-Kugelmühle mit einem Kugel-Material-Verhältnis von 12:1, einer Rotationsgeschwindigkeit von 500–700 U/min und einer Mahlzeit von 8–16 Stunden.

Technische Vorteile: gleichmäßige Dotierung, geeignet für Labore und Kleinserienproduktion sowie niedrige Gerätekosten (ca. 250.000 RMB).

C_2 durch mechanisches Legieren, wodurch die Korngröße von $1,8\text{ }\mu\text{m}$ auf $0,9\text{ }\mu\text{m}$ reduziert und die Verschleißfestigkeit von Hartmetall um 20 % verbessert wird.

Chemische Kopräzipitationsmethode:

Prozessablauf: Wolframsalz (wie etwa Na_2WO_4) wird mit Dotiersalz (wie etwa TiCl_4 , NbCl_5) gemischt, bei einem pH-Wert von 7,5–8,5 und einer Temperatur von 70–90 °C gemeinsam ausgefällt und dann getrocknet und karbonisiert, um dotiertes Pulver zu erzeugen.

Technische Vorteile: Die Dotierungselemente sind auf atomarer Ebene dispergiert, was für die Herstellung von Nanopulvern ($<100\text{ nm}$) geeignet ist, und die Dotierungsmenge kann präzise gesteuert werden (0,1 % – 5 %).

Anwendungsbeispiel: Eine Universität verwendet die Co-Präzipitationsmethode, um durch Dotierung mit 1,5 % VC Nano-WC-Pulver mit einer Härte von HV 2400 herzustellen, das für superharte Schneidwerkzeuge geeignet ist.

Sol-Gel-Verfahren:

Prozessablauf: Wolframat wird als Vorläufer verwendet und organische Salze von Dotierungselementen (wie Niobacetat) werden hinzugefügt, um ein Gel zu bilden, das dann bei 1200–1400 °C karbonisiert wird, um ein Verbundpulver zu erzeugen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technische Vorteile: Hohe Dotierungsgleichmäßigkeit, geeignet für hochreine Pulver und geringer Verunreinigungsgehalt (<50 ppm).

Technische Herausforderungen: Langer Prozesszyklus (48–72 Stunden) und hohe Produktionskosten (ca. 600.000 RMB pro Tonne).

Plasmaunterstützte Dotierung:

Prozessablauf: In einem Plasmareaktor (Leistung 25–50 kW) werden Dotierelemente (z. B. Ta, Zr) gasförmig (z. B. als TaCl₅-Dampf) in die Pulveroberfläche eingebracht, die Reaktionszeit beträgt 15–30 Sekunden.

Technische Vorteile: hohe Dotierungseffizienz, signifikanter Oberflächenmodifizierungseffekt und 25 % Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen dotierte 0,8 % Nb und die Oxidationsgewichtszunahmerate des Pulvers bei 900 °C wurde um 35 % reduziert, sodass es für Hochtemperaturbeschichtungen geeignet war.

Anwendungseffekte und Forschungstrends

Quantitativer Effekt: Dotierung und Kompositmodifizierung verbessern die Gesamtleistung von Wolframcarbidpulver deutlich. Beispielsweise verlängert sich die Lebensdauer von Werkzeugen aus WC- TiC -Co-Kompositpulver beim Hochgeschwindigkeitsschneiden um 60 %. WC-Cr₃C₂-Pulver wird für korrosionsbeständige Beschichtungen verwendet, und die Säurebeständigkeit wird um das 2,5-fache erhöht.

Technische Herausforderungen: Anteil und Verteilung der Dotierungselemente müssen präzise optimiert werden. Übermäßige Dotierung (z. B. TiC >12 %) kann zu Phasentrennung führen und die Zähigkeit verringern. Auch die Grenzflächenfestigkeit des Verbundwerkstoffs muss weiter verbessert werden.

Forschungstrends:

Synergistische Dotierung mit mehreren Elementen: Erkunden Sie mehrere Kombinationen wie Ti-V-Cr-Nb und nutzen Sie Synergieeffekte, um die Gesamtleistung zu verbessern.

Nanokompositmaterialien: Entwicklung von WC-basierten Nanokompositpulvern (wie WC -TiC - ZrC) mit einer kontrollierten Korngröße unter 50 nm.

Unterstützung bei der computergestützten Simulation: Durch Molekulardynamik und Berechnungen nach ersten Prinzipien kann die Auswirkung von Dotierungselementen auf die Gitterstabilität vorhergesagt werden, um die experimentellen Kosten zu senken.

6.3 Oberflächenmodifizierungstechnologie

Die Oberflächenmodifizierung optimiert die Dispergierbarkeit, Fließfähigkeit, Oxidationsbeständigkeit und Sinterleistung von Wolframcarbidpulver durch Regulierung der chemischen Zusammensetzung, der physikalischen Morphologie oder der Mikrostruktur der Oberfläche. Diese Technologie ist von großer Bedeutung für die Verbesserung der Pulververarbeitungseffizienz und der Leistung des Endprodukts. Im

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Folgenden werden Theorie und Anwendung der Oberflächenmodifizierung systematisch unter vier Aspekten analysiert: Modifikationsmechanismus, Prozesstechnologie, quantitativer Effekt und zukünftige Ausrichtung.

Änderungsmechanismus

Regulierung der Oberflächenenergie: Durch die Beschichtung mit organischen (wie Polyvinylalkohol, PVA) oder anorganischen Schichten (wie SiO_2 , Al_2O_3) kann die Oberflächenenergie der Partikel gesenkt, die Van-der-Waals-Kraft verringert und die Agglomerationsrate von 25 % auf 4 % reduziert werden.

Reduzierter Reibungskoeffizient: Nach der Modifikation entsteht eine glatte oder sphärische Oberfläche, der Reibungskoeffizient zwischen den Partikeln wird um 15–25 % reduziert und die Hall-Flussrate kann von 28 Sekunden/50 g auf 13 Sekunden/50 g reduziert werden.

Verbesserte Oxidationsbeständigkeit: Die Oberfläche ist mit hochschmelzenden Oxiden (z. B. ZrO_2) oder Nitriden (z. B. TiN_2) beschichtet, um eine Schutzschicht zu bilden, die Oxidationsreaktionen bei hohen Temperaturen hemmt. Beispielsweise wird die Oxidationsgewichtszunahmerate von mit Al_2O_3 beschichtetem Pulver bei 800 °C um 40 % reduziert.

Verbesserte Sinteraktivität: Die modifizierte Oberfläche führt aktive Gruppen (wie Hydroxyl- und Aminogruppen) ein, um die Grenzflächenbindung zwischen den Partikeln zu fördern. Die Sintertemperatur kann um 50–80 °C gesenkt und die Dichte um 8 % erhöht werden.

Prozesstechnologie

Chemisches Beschichtungsverfahren:

Prozessablauf: Wolframcarbidpulver in der Lösung verteilen, Beschichtungsvorläufer (wie Ethylsilikat, Aluminiumtetrachlorid) hinzufügen, bei einem pH-Wert von 4,5–6,5 und einer Temperatur von 50–70 °C reagieren lassen, um eine SiO_2 - oder Al_2O_3 -Beschichtung (Dicke 10–60 nm) zu bilden.

Technische Vorteile: Die Beschichtung ist gleichmäßig und die Dicke kontrollierbar, was für die Produktion im großen Maßstab geeignet ist. Die Kosten betragen ca. 30.000 RMB/Tonne.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen beschichtet mit 0,3 % SiO_2 , die Pulveragglomerationsrate wurde auf 2,5 % reduziert und die Porosität des Sinterkörpers um 12 % verringert.

Plasma-Oberflächenbehandlung:

Prozessablauf: In einem Plasmareaktor (Leistung 15–35 kW) wird die Pulveroberfläche mit Ar-, N_2 - oder O_2 -Plasma bombardiert, um aktive Gruppen einzuführen oder eine Nitrid-/Oxidationsschicht (Dicke 5–20 nm) zu bilden.

Technische Vorteile: kurze Verarbeitungszeit (10–20 Sekunden), um 25 % reduzierte Oberflächenrauheit und um 20 % erhöhte Oxidationsbeständigkeit.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen verwendete eine N_2 -Plasmabehandlung, um die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oxidationsgewichtszunahme von Pulver bei 750 °C um 30 % zu reduzieren und die Verschleißfestigkeit der Beschichtung um 15 % zu verbessern.

Mechanochemische Modifikation:

Prozessablauf: Fügen Sie während des Kugelmahlprozesses Tenside (wie Stearinsäure, Ölsäure, in einer Menge von 0,2 %–0,6 %) hinzu, um durch mechanische Kraft chemische Oberflächenreaktionen auszulösen und eine organische Beschichtungsschicht zu bilden.

Technische Vorteile: einfacher Prozess, niedrige Gerätekosten (ca. 20.000 RMB), geeignet für kleine und mittlere Unternehmen.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen fügte 0,4 % Stearinsäure hinzu, die Pulverdurchflussrate sank von 26 Sekunden/50 g auf 17 Sekunden/50 g und die Pressleistung stieg um 18 %.

Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD):

Prozessablauf: In einer Vakuumumgebung (10^{-2} Pa) werden TiN-, CrN- und andere Dünnschichten (Dicke 20–100 nm) durch Magnetronspütern mit einer Abscheidungsrate von 0,5–2 nm/s abgeschieden.

Technische Vorteile: 35 % höhere Oberflächenhärte, geeignet für hochwertige Beschichtungen und Schneidwerkzeuge.

Technische Herausforderungen: Hohe Ausrüstungsinvestitionen (ca. 3,5 Millionen RMB) und geringe Produktionseffizienz (100–200 kg pro Charge).

Quantitative Auswirkungen und zukünftige Richtungen

Quantitativer Effekt: Oberflächenmodifizierung verbessert die Verarbeitungs- und Produktleistung von Pulvern deutlich. Beispielsweise wurde die Sintertemperatur von SiO₂-beschichteten Pulvern von 1450 °C auf 1370 °C gesenkt, der Reibungskoeffizient der Beschichtung um 15 % reduziert; die Standzeit von TiN-modifizierten Pulvern verlängerte sich um 40 %.

Technische Herausforderungen: Die Langzeitstabilität der Beschichtung muss optimiert werden. Hochtemperatursintern kann dazu führen, dass sich die Beschichtung zersetzt oder ablöst. Auch die Balance zwischen Modifikationskosten und Leistungsverbesserung ist ein zentrales Thema.

Zukünftige Richtungen

Mehrschichtverbundbeschichtung: Entwicklung einer SiO₂/Al₂O₃/ZrO₂-Mehrschichtstruktur zur Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit und Bindungsstärke.

Intelligente Modifikation: In Kombination mit KI werden die Plasmabehandlungsparameter (wie Leistung und Luftstromverhältnis) optimiert, um die Modifikationseffizienz zu verbessern.

Grüne Modifikation: Erkunden Sie wasserbasierte Beschichtungsmittel (wie Natriumsilikat), um den Einsatz organischer Lösungsmittel zu reduzieren und die Umweltverschmutzung zu verringern.

6.4 Wärmebehandlung und Glühen

Wärmebehandlung und Glühen optimieren die Kristallstruktur, die innere Spannung und den chemischen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zustand der Oberfläche von Wolframkarbidpulver durch präzise Steuerung von Temperatur, Atmosphäre und Haltezeit und verbessern so dessen Sinterleistung und mechanische Eigenschaften. Diese Technologie trägt maßgeblich zur Verbesserung der Pulverstabilität und der Verarbeitungseffizienz bei. Im Folgenden wird die Anwendung von Wärmebehandlung und Glühen systematisch unter vier Aspekten analysiert: Modifikationsmechanismus, Prozesstechnologie, quantitativer Effekt und Entwicklungsrichtung.

Änderungsmechanismus

Optimierung der Kristallstruktur: Durch Wärmebehandlung können Kristalldefekte (wie Versetzungen und Stapelfehler), die beim Schleifen oder Karbonisieren entstehen, beseitigt, die Reinheit der WC-Phase verbessert (von 98 % auf 99,5 %) und der Restgehalt an W_2C oder freiem Kohlenstoff reduziert werden.

Abbau innerer Spannungen: Durch Glühen werden Eigenspannungen (z. B. Druckspannungen von 500 MPa auf 100 MPa) durch atomare Diffusion reduziert, wodurch die Pressgleichmäßigkeit des Pulvers und die Festigkeit des gesinterten Grünkörpers verbessert werden.

Chemische Regulierung der Oberfläche: Durch Wärmebehandlung in einer reduzierenden oder inerten Atmosphäre können Oberflächenoxide (wie WO_3) entfernt, der Sauerstoffgehalt von 0,25 % auf 0,04 % gesenkt und die Sinteraktivität verbessert werden.

Korngrößenkontrolle: Durch Optimierung der Glühtemperatur (800–1200 °C) und -zeit (1–4 Stunden) wird ein zu schnelles Kornwachstum verhindert und die Körner klein gehalten (0,5–1,5 μm).

Prozesstechnologie

Vakuumglühen:

Prozessablauf: im Vakuumofen (Vakuumgrad 10^{-4} Pa), Temperatur 850–1250°C, 1,5–3,5 Stunden warmhalten, Abkühlrate 5–10°C/min.

Technische Vorteile: Effektive Entfernung des Sauerstoffgehalts (von 0,22 % auf 0,05 %) und Reduzierung der Kristalldefektdichte um 35 %.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen reduzierte die Sinterporosität von Pulver von 2 % auf 0,8 % und erhöhte die Festigkeit von Hartmetall durch Vakuumglühen bei 1050 °C um 10 %.

Glühen in Wasserstoffatmosphäre:

Prozessablauf: In Wasserstoffatmosphäre (Durchflussrate 0,8–1,5 l/min), Temperatur 950–1150 °C, 2–5 Stunden warm halten, Wasserkühlung oder Luftkühlung verwenden.

Technische Vorteile: Wasserstoff reduziert Oberflächenoxide, verringert den Sauerstoffgehalt auf 0,03 % und erhöht die Oberflächenaktivität um 20 %.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen hat eine Wasserstoffglühung bei 1000 °C durchgeführt, um die Lebensdauer des Werkzeugs um 18 % zu verlängern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mikrowellen-Wärmebehandlung:

Verfahrensablauf: Im Mikrowellengerät (Leistung 3-6kW), Temperatur 750-1050°C, 15-40 Minuten warmhalten, Schutzgas verwenden.

Technische Vorteile: gleichmäßige Erwärmung, 25 % weniger Energieverbrauch und kontrollierte Korngröße von 0,5–1 µm.

Anwendungsbeispiel: Eine Universität nutzte eine 900°C Mikrowellenglühung, um die Pulverhärte von HV 1800 auf HV 2000 zu erhöhen.

Plasma-Wärmebehandlung:

Prozessablauf: In einer Plasmaumgebung (Leistung 20–40 kW), Temperatur 650–950 °C, Behandlungsdauer 8–20 Sekunden, unter Verwendung einer Ar /H₂-Mischatmosphäre.

Technische Vorteile: Schnelle Verarbeitung, 18 % höhere Oberflächenaktivität, geeignet für ultrafeine Pulver.

Technische Herausforderungen: Die Gerätekosten sind hoch (ca. 2,5 Millionen RMB) und die Prozessstabilität muss optimiert werden.

Quantitative Auswirkungen und zukünftige Richtungen

Quantitativer Effekt: Wärmebehandlung und Glühen verbessern die Pulverleistung deutlich. Beispielsweise erhöhte sich die Sinterdichte von wasserstoffgeglühtem Pulver um 12 % und die Zähigkeit von Hartmetall um 22 %. Mikrowellengeglühtes Pulver wird für den 3D-Druck verwendet, wodurch die Druckgenauigkeit auf ± 7 µm verbessert wird.

Technische Herausforderungen: Hochtemperaturglühen kann Kornwachstum verursachen, daher ist eine präzise Kontrolle der Temperatur (Abweichung ± 3 °C) und der Atmosphäre (Sauerstoffpartialdruck $< 10^{-5}$ Pa) erforderlich. Die thermische Stabilität ultrafeiner Pulver muss ebenfalls weiter untersucht werden.

Zukünftige Richtungen

Schnellglühen bei niedriger Temperatur: Entwicklung eines plasmaunterstützten Glühens bei niedriger Temperatur (< 700 °C), wodurch der Energieverbrauch um 20 % gesenkt wird.

Intelligente Steuerung: Verwenden Sie KI, um die Kornwachstumsrate vorherzusagen und die Glühparameter zu optimieren.

Grüne Wärmebehandlung: Erkunden Sie solarbetriebene Wärmebehandlungen zur Reduzierung der Kohlenstoffemissionen (Ziel: < 1 Tonne CO₂/ Tonne Pulver).

Verweise

Li Ming. Hartmetallwerkstoffe[M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.

Li Ming. Werkstoffkunde von Hartmetall [M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Fortschritte in der Herstellungstechnologie von Wolframcarbidpulver[J]. Powder Metallurgy Technology, 2020, 38(2): 88-94.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Fortschritte in der Herstellungstechnologie von Wolframcarbidpulver [J]. Powder Metallurgy Technology, 2020, 38(2): 88-94.

Wang Qiang, Li Ming. Forschung zu Hochleistungs-Wolframcarbidpulver in China[J]. China Tungsten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Industry, 2020, 35(4): 56-62.

Wang Qiang, Li Ming. Forschung zu Hochleistungs-Wolframcarbidpulver in China [J]. Chinesische Wolframindustrie, 2020, 35(4): 56-62.

Chen Wei, Zhao Gang. Studie zur Leistungsoptimierung von ultrafeinem Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5): 567-573.

Chen Wei, Zhao Gang. Studie zur Leistungsoptimierung von ultrafeinem Wolframcarbidpulver [J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5): 567-573.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. Fortschritte in der Oberflächenmodifizierungstechnologie von Wolframcarbidpulver[J]. Materials Science and Engineering, 2023, 41(3): 89-96.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. Fortschritte in der Oberflächenmodifizierungstechnologie von Wolframcarbidpulver [J]. Materials Science and Engineering, 2023, 41(3): 89-96.

Smith J, Brown T. Fortschritte in der Wolframcarbidpulvermodifizierung [J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(10): 5678-5690.

Fortschritte in der Wolframcarbid-Pulvermodifizierungstechnologie[J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(10): 5678-5690.

Johnson R, Lee K. Oberflächenmodifizierung von WC-Pulvern zur Leistungssteigerung [J]. Powder Technology, 2022, 395: 123-135.

Oberflächenmodifizierung von Wolframcarbidpulver zur Leistungssteigerung[J]. Powder Technology, 2022, 395: 123-135.

ASTM B761-17, Standardtestverfahren zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Metallpulvern und verwandten Verbindungen durch Lichtstreuung.

Lichtstreuungstestverfahren zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Metallpulvern und verwandten Verbindungen.

Müller H, Schmidt P. Optimierung der Partikelgrößen von Wolframcarbidpulver [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2020, 51(7): 890-897.

Forschung zur Partikelgrößenoptimierung von Wolframcarbidpulver[J]. Materials Science and Engineering Technology, 2020, 51(7): 890-897.

Bauer T. Wärmebehandlung von Wolframcarbidpulver [M]. Berlin: Springer, 2022.

Wärmebehandlung von Wolframcarbidpulvern[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2022.

Taro Yamada. Oberflächenmodifizierungstechnologie von karbonisiertem Pulver [J]. Journal of the Powder Engineering Society, 2021, 58(4): 156-163.

Oberflächenmodifizierungstechnologie von Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Powder Engineering Society, 2021, 58(4): 156-163.

Ken Nakamura. Wärmebehandlung von ultrafeinem karbonisiertem Kohlenstoffpulver[J]. Journal of Materials Science, 2023, 72(6): 412-419.

Wärmebehandlung von ultrafeinem Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Materials Science Society, 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

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



Kapitel 7: Umwelt- und Sicherheitsaspekte von Wolframkarbidpulver

Als Kernrohstoff für Hochleistungswerkstoffe wie Hartmetall, Schneidwerkzeuge und verschleißfeste Beschichtungen hat die Herstellung und Anwendung von Wolframkarbidpulver den industriellen Fortschritt gefördert, aber auch Herausforderungen in Bezug auf Umweltverschmutzung, Arbeitssicherheit und Ressourcenschonung mit sich gebracht. Angesichts der weltweit hohen Aufmerksamkeit für umweltfreundliche Produktion und nachhaltige Entwicklung sind die Umweltauswirkungen und das Sicherheitsmanagement der Wolframkarbidpulverindustrie in den Fokus von Forschung und Praxis gerückt. Dieses Kapitel erörtert systematisch die Umwelt- und Sicherheitsaspekte von Wolframkarbidpulver aus vier Blickwinkeln: Umweltauswirkungen im Produktionsprozess, sichere Betriebsspezifikationen, Recycling und Recycling sowie Analyse der Recyclingtechnologie. In Kombination mit Prozessoptimierung, regulatorischen Anforderungen und dem Konzept der Kreislaufwirtschaft bietet es der Branche wissenschaftliche Orientierung und technische Referenz.

7.1 Umweltauswirkungen während der Produktion

Die Herstellung von Wolframkarbidpulver umfasst mehrere Schritte wie die Reinigung des Rohmaterials, die Karbonisierungsreaktion, das Mahlen und die Sortierung. Diese Prozesse können Abgase, Abwasser, Feststoffe und Energie erzeugen und somit potenzielle Auswirkungen auf die Umwelt haben. Die wissenschaftliche Bewertung und Kontrolle dieser Auswirkungen ist nicht nur Ausdruck sozialer Unternehmensverantwortung, sondern auch der Schlüssel zu einer umweltfreundlichen Produktion und zur Einhaltung internationaler Umweltvorschriften. Im Folgenden werden Umweltaspekte im Produktionsprozess aus vier Perspektiven eingehend erörtert: Quelle der Umweltauswirkungen, quantitative Bewertung, Steuerungstechnologie und zukünftige Trends.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Quellen der Umweltbelastung

Abgasemissionen: Während der Karbonisierungsreaktion und der Wärmebehandlung können flüchtige organische Verbindungen (VOCs), Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂) und Spuren von Sulfiden (wie SO₂) mit dem heißen Abgas emittiert werden. Wenn beispielsweise der Karbonisierungssofen bei 1400–1600 °C läuft, kann jede Tonne Wolframcarbidpulver 2–3 Tonnen CO₂ produzieren.

Abwasserverschmutzung

Bei den Nassmahl- und chemischen Reinigungsprozessen entsteht Abwasser, das Schwermetalle (wie Wolfram und Eisen) und saure Substanzen (wie HCl und H₂SO₄) enthält. Wird es direkt und ohne Behandlung eingeleitet, kann es zu einem Abfall des pH-Werts des Wassers (<6) und einem übermäßigen Schwermetallgehalt (Wolframkonzentration >10 mg/l) führen.

Feste Abfälle

Schlacke aus der Rohstoffreinigung, Abfall von Kugelmühlenmedien aus dem Mahlprozess und ungeeignete Pulver stellen festen Abfall dar. Die globale Wolframindustrie produziert jedes Jahr etwa 500.000 Tonnen festen Abfall, von denen etwa 20 % Sondermüll sind (wie etwa Filterrückstände, die Schwermetalle enthalten).

Energieverbrauch

Die Herstellung von Wolframcarbidpulver ist ein sehr energieintensiver Prozess. Pro Tonne Pulver werden durchschnittlich 8.000–12.000 kWh Strom verbraucht, was 30–40 % der Produktionskosten ausmacht und indirekt zu hohen Kohlenstoffemissionen führt (etwa 4–6 Tonnen CO₂/Tonne Pulver).

Quantitative Bewertung der Umweltauswirkungen

CO₂-Fußabdruckanalyse

Die Ökobilanz (LCA) zeigt, dass die Kohlenstoffemissionen bei der Herstellung von Wolframcarbidpulver hauptsächlich aus der Karbonisierungsreaktion (60 %) und dem Stromverbrauch (30 %) resultieren. Der CO₂-Fußabdruck einer typischen Produktionslinie beträgt 5,5 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Tonne Pulver und ist damit deutlich höher als bei gewöhnlichem Stahl (ca. 2 Tonnen CO₂ pro Tonne).

Auswirkungen auf die Wasserressourcen

Bei der Abwassereinleitung beträgt die Rückgewinnungsrate von Wolfram normalerweise nur 85–90 %, und die restlichen 10–15 % gelangen in gelöster oder suspensierter Form in das Gewässer, was zu einer Verschmutzung von Boden und Grundwasser führen kann.

Umweltrisiken durch feste Abfälle

In unbehandeltem Feststoffabfall können Schwermetalle (wie Wolfram und Kobalt) durch Auslaugung wandern und einen Verschmutzungsradius von bis zu 1–2 Kilometern verursachen, was sich auf das umliegende Ökosystem auswirkt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bewertungstools

ISO 14040/14044-Normen: werden für Ökobilanzanalysen verwendet, um die gesamten Umweltauswirkungen von der Rohstoffgewinnung bis zur Pulverproduktion zu bewerten.

Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP): Quantifizierung der Emissionskonzentration und des ökologischen Risikos von Abgasen, Abwasser und festen Abfällen.

Audit des Energieverbrauchs: Identifizieren Sie durch Wärmebilanz- und Leistungsanalyse Verbindungen mit hohem Energieverbrauch (z. B. Karbonisierungsöfen, die 50 % des Energieverbrauchs ausmachen).

Technologie zur Kontrolle der Umweltauswirkungen

Abgasbehandlung:

Adsorptionskatalytische Verbrennung: Aktivkohle wird zum Adsorbieren flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) verwendet und führt anschließend eine katalytische Verbrennung durch. Dabei wird eine Reinigungseffizienz von 95 % erreicht und der CO₂-Ausstoß um 10 % reduziert.

Nasswäsche: Durch die Verwendung einer alkalischen Lösung (z. B. NaOH) zur Absorption von SO₂ wird eine Reinigungsrate von 98 % erreicht und die Abgaskonzentration auf unter 10 mg/m³ kontrolliert. CO₂-Emissionen von 3 Tonnen/Tonne Pulver auf 2,2 Tonnen durch ein Abgasrückgewinnungssystem, wodurch die EU-Emissionsnormen (<2,5 Tonnen CO₂/Tonne) erfüllt werden.

Abwasserbehandlung:

Chemisches Fällungsverfahren: Durch Zugabe von Ca(OH)₂ oder Na₂CO₃ wird Wolfram in Form von Calciumwolframat ausgefällt. Die Rückgewinnungsrate wird auf 95 % erhöht und die Wolframkonzentration im Abwasser auf 0,5 mg/l reduziert.

Membrantrenntechnologie: Eine Umkehrosmosemembran (Porengröße 0,1–1 nm) wird zum Entfernen von Schwermetallen und sauren Substanzen verwendet, mit einer Abwasserrückgewinnungsrate von 80 %.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen reduzierte den Abwasserausstoß von 500 m³/Tonne Pulver auf 200 m³ durch Membrantrennung in Kombination mit chemischer Fällung und erreichte damit den nationalen Emissionsstandard der ersten Stufe (GB 8978-1996).

Abfallwirtschaft:

Ressourcennutzung: Schlacke wird bei der Zementproduktion verwendet und Abfallkugelmühlenmedien werden für verschleißfeste Teile der unteren Preisklasse verwendet, mit einer Rückgewinnungsrate von 70 %.

Sichere Deponie: Gefährliche Abfälle, die Schwermetalle enthalten, werden verfestigt (Zement hinzufügen, Verfestigungsgrad > 99 %), um eine Verschmutzung durch Auslaugung zu verhindern.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen hat 90 % seines festen Abfalls recycelt, die Deponiekosten um 50 % gesenkt und 10 Millionen RMB pro Jahr gespart.

Energiespartechnik:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hocheffizienter Karbonisierungssofen: Anstelle eines Widerstandssofens wird ein Induktionsheizsofen verwendet, die Energieeffizienz wird um 20 % verbessert und der Stromverbrauch pro Tonne Pulver auf 7000 kWh reduziert.

Abwärmerückgewinnung: Die Abwärme aus dem Abgas des Karbonisierungssofens wird zum Vorwärmen der Rohstoffe verwendet, und die zurückgewonnene Wärme macht 15 % des gesamten Energieverbrauchs aus.

CO₂ jährlich durch ein Abwärmerückgewinnungssystem.

Zukünftige Trends

Grüne Prozessentwicklung

Erkunden Sie die Niedertemperatur-Karbonisierungstechnologie (z. B. Mikrowellenkarbonisierung, Temperatur <1200 °C), um den Energieverbrauch um 30 % zu senken und den Kohlenstoffausstoß auf 2 Tonnen CO₂/Tonne Pulver zu begrenzen.

Null-Emissionsziel

Fördern Sie geschlossene Wasserkreisläufe und Technologien zur vollständigen Abgasrückgewinnung und streben Sie nahezu null Abwasser- und Abgasemissionen an.

Intelligente Überwachung

Nutzen Sie das Internet der Dinge (IoT) und Big Data-Analysen, um Emissionsparameter (wie VOC-Konzentration, Fehler < 1 ppm) in Echtzeit zu überwachen und die Behandlungseffizienz zu optimieren.

Politikgesteuert

Weltweit werden das Pariser Abkommen und Chinas „duale Kohlenstoffziele“ (Kohlenstoffneutralität bis 2060) die Industrie dazu bewegen, kohlenstoffarme Technologien einzusetzen. Der CO₂-Fußabdruck der Wolframkarbidpulverproduktion dürfte bis 2030 um 50 % reduziert werden.

7.2 Sicherheitstechnische Angaben

Die Herstellung und Verarbeitung von Wolframkarbidpulver birgt potenzielle Risiken wie hohe Temperaturen, hohen Druck, chemische Reagenzien und Staub. Wissenschaftliche Sicherheitsvorschriften bilden die Grundlage für die Gesundheit der Mitarbeiter und die Stabilität der Produktionsanlagen. Im Folgenden werden die Sicherheitsmanagementanforderungen für die Wolframkarbidpulverproduktion systematisch unter vier Gesichtspunkten analysiert: Identifizierung von Sicherheitsrisiken, Betriebsvorschriften, Schutzmaßnahmen und Einhaltung gesetzlicher Vorschriften.

Identifizierung von Sicherheitsrisiken

Staubexplosionsgefahr: Wenn Wolframkarbidpulver (Partikelgröße <10 µm) eine schwebende Staubwolke in der Luft bildet, kann es bei Kontakt mit offenem Feuer oder statischer Elektrizität explodieren. Die minimale Zündenergie beträgt nur 10 mJ und der Explosionsdruck kann 0,7 MPa erreichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die im Reinigungs- und Reinigungsprozess verwendeten HNO_3 sind ätzend und können bei einer Konzentration von über 10 % zu Hautverbrennungen oder Atemwegsschäden führen.

Risiken im Zusammenhang mit Hochtemperaturgeräten: Der Karbonisierungssofen arbeitet bei 1400–1600 °C, wodurch die Gefahr von Verbrennungen, Geräteüberdruck ($> 0,5 \text{ MPa}$) und Gaslecks (wie z. B. H_2) besteht.

Gesundheitsgefahren am Arbeitsplatz: Langfristige Exposition gegenüber Wolframcarbidstaub (Konzentration $> 5 \text{ mg/m}^3$) kann Lungenfibrose verursachen, und Kobaltstaub ($> 0,1 \text{ mg/m}^3$) wirkt sensibilisierend.

Sicherheitsbetriebsvorschriften

Staubkontrolle:

Belüftung und Staubentfernung: Die Produktionswerkstatt ist mit einem hocheffizienten Pulsbeutel-Staubsammler mit einer Stauberfassungsrate von $>99,9 \%$ ausgestattet und die Staubkonzentration in der Werkstatt wird auf unter 2 mg/m^3 kontrolliert.

Maßnahmen zum Explosionsschutz: Verwenden Sie explosionsgeschützte Motoren (Ex d IIC T4) und elektrostatische Erdungsgeräte mit einem elektrostatischen Potenzial $<100 \text{ V}$, um zu verhindern, dass Funken Explosionen verursachen.

Spezifikationsanforderungen: Die Bediener müssen antistatische Arbeitskleidung tragen (Oberflächenwiderstand $<10^8 \Omega$) und die Pulverübertragung muss über eine geschlossene Rohrleitung erfolgen (Leckrate $<0,1 \%$).

Verwaltung chemischer Reagenzien:

Lagerungsspezifikationen: Saure Reagenzien werden in korrosionsbeständigen Behältern (316L Edelstahl) gelagert und der Lagertank ist mit einem Leckalarmsystem (Empfindlichkeit $0,1 \text{ ppm}$) ausgestattet.

Verwendungsspezifikation: Verwenden Sie während des Betriebs einen sekundären Schutz (säurebeständige Handschuhe, Schutzmaske), und die Abfallsäure wird vor der Entsorgung in einem Neutralisationstank (pH 6–9) behandelt.

Notfallmaßnahmen: Ausgestattet mit Notspülstationen (Durchflussrate $> 20 \text{ l/min}$) und Neutralisatoren (wie z. B. NaHCO_3), um sicherzustellen, dass die Reaktionszeit im Notfall < 30 Sekunden beträgt.

Betrieb von Hochtemperaturgeräten:

Gerätewartung: Der Karbonisierungssofen sollte den Drucksensor jährlich kalibrieren (Fehler $<0,01 \text{ MPa}$) und den Dichtungsring regelmäßig überprüfen (Lebensdauer >5000 Stunden).

Betriebsverfahren: Stellen Sie vor dem Start sicher, dass die Wasserstoffkonzentration $<4 \%$ ist (untere Explosionsgrenze) und überwachen Sie die Ofentemperatur während des Betriebs (Abweichung $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$).

Schutzmaßnahmen: Die Bediener tragen hochtemperaturbeständige Schutzkleidung (Temperaturbeständigkeit $> 1000 \text{ }^\circ\text{C}$) und im Ofenbereich sind Isolationsbarrieren (Dicke $> 10 \text{ mm}$) angebracht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Betriebliches Gesundheitsmanagement:

Staubschutz: Tragen Sie eine N95-Staubmaske (Filtereffizienz > 95 %) und installieren Sie eine lokale Absaugvorrichtung in der Werkstatt (Luftmenge > 500 m³/h).

Gesundheitsüberwachung: Führen Sie jährlich Lungenfunktionstests durch, wobei der Schwerpunkt auf der Überwachung von Personen liegt, die Kobalt ausgesetzt sind (Kobaltkonzentration im Blut <1 µg/l).

Schulungsanforderungen: Neue Mitarbeiter erhalten mindestens 40 Stunden Sicherheitsschulung in den Bereichen Staubschutz, Chemikalienmanagement und Notfallrettung.

Schutzmaßnahmen und Anwendungsbeispiele

Automatische Steuerung: Das SPS-System wird zur Überwachung der Staubkonzentration, des Ofendrucks und des Gasflusses verwendet. Im Falle einer Anomalie wird die Maschine automatisch abgeschaltet, wodurch die Unfallrate um 80 % gesenkt wird.

Persönliche Schutzausrüstung (PSA): ausgestattet mit einem staubdichten Ganzkörperanzug (Schutzstufe IP65) und einem Überdruck-Atemschutzgerät (Luftzufuhr > 30 l/min) mit einer Schutzeffizienz von 99 %.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen führte ein automatisiertes Staubentfernungssystem und eine explosionsgeschützte Überwachung ein und reduzierte dadurch die Unfallrate durch Staubexplosionen von 0,5 Mal pro Jahr auf 0 und die Häufigkeit von Berufskrankheiten um 90 %.

Einhaltung gesetzlicher Vorschriften:

Internationale Standards: Erfüllt den Staubexpositionsgrenzwert (5 mg/m³) der OSHA (US Occupational Safety and Health Administration) und das Arbeitsschutzmanagementsystem ISO 45001.

Nationale Normen: Beachten Sie die GBZ 2.1-2019 „Arbeitsplatzgrenzwerte für gefährliche Faktoren am Arbeitsplatz“ (Wolframstaub <6mg/m³) und das „Arbeitssicherheitsgesetz“ (Neufassung 2021).

Zukünftige Trends

Intelligentes Sicherheitsmanagement: Mittels KI und Sensorik werden Staubkonzentration (Fehler < 0,1 mg/m³) und Gerätezustand in Echtzeit überwacht, Unfallrisiken vorhergesagt und die Reaktionszeit auf 10 Sekunden verkürzt.

Grüne Schutztechnologie: Entwicklung ungiftiger chemischer Reagenzien (wie Zitronensäure anstelle von HCl) und staubarmer Prozesse (wie Nasskarbonisierung), um

Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz.

m³ bis 2030 .

7.3 Rückgewinnung und Recycling

Das Recycling und die Wiederverwendung von Wolframcarbidpulver sind ein wichtiger Beitrag zur Ressourcenschonung und zur Reduzierung der Umweltbelastung. Wolfram ist ein seltenes Metall und verfügt über begrenzte globale Reserven (ca. 3,5 Millionen Tonnen). Die Produktion von Wolframcarbidpulver hängt von hochwertigem Wolframerz ab. Recyclingtechnologie kann

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Ressourcenknappheit wirksam lindern und Abfallemissionen reduzieren. Im Folgenden werden die Praxis und die Perspektiven des Recyclings systematisch unter drei Gesichtspunkten analysiert: die Notwendigkeit des Recyclings, die Vorteile der Kreislaufwirtschaft und die zukünftige Ausrichtung.

Die Notwendigkeit des Recyclings

Ressourcenknappheit: Die globalen Wolframressourcen konzentrieren sich auf China (55 % der Reserven), doch hochwertige Erze ($WO_3 > 0,5\%$) gehen allmählich zur Neige. Durch Recycling kann die Wolframausbeute von 60 % auf 90 % gesteigert werden.

Umweltvorteile: Durch das Recycling von 1 Tonne Wolframcarbidpulver können etwa 4 Tonnen CO_2 -Emissionen und 200 m³ Abwasser eingespart werden, wodurch die Umweltbelastung im Vergleich zur Primärproduktion um 50 % verringert wird.

Wirtschaftlicher Wert: Die Kosten für das Recycling von Wolfram (ca. 100.000 RMB/Tonne) sind viel niedriger als die Kosten für die Primärproduktion (ca. 250.000 RMB/Tonne) und die Gewinnspanne ist um 30 % höher.

Regulierungsgetrieben: Das chinesische Gesetz zur Verhütung und Kontrolle der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle (überarbeitete Fassung 2020) und der EU-Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft (2020) verlangen, dass die Recyclingrate von Wolfram bis 2030 über 70 % liegt.

Vorteile der Kreislaufwirtschaft

Ressourcenvorteile: Weltweit können jährlich etwa 300.000 Tonnen Hartmetallschrott recycelt werden, was zusätzlichen 100.000 Tonnen Wolframressourcen entspricht und die Lebensdauer von Wolframminen um 10 bis 15 Jahre verlängert.

Umweltvorteile: Die Kohlenstoffemissionen aus dem Recyclingprozess betragen nur 30 % der ursprünglichen Produktion, der Abwasserausstoß wird um 70 % reduziert und der Feststoffabfall um 80 %.

Wirtschaftliche Vorteile: Der Marktpreis für recyceltes Pulver (ca. 150.000 RMB/Tonne) ist niedriger als der für Neupulver. Der globale Recyclingmarkt wird voraussichtlich bis 2030 ein Volumen von 20 Milliarden RMB erreichen.

Anwendungsbeispiel: Ein Unternehmen recycelte 5.000 Tonnen Legierungsschrott und erzielte damit einen Jahresgewinn von 30 Millionen RMB und konnte den Abwasserausstoß auf 50 m³/Tonne reduzieren.

Zukünftige Richtungen

Hocheffiziente Recyclingtechnologie: Entwicklung eines elektrochemischen Recyclings bei niedrigen Temperaturen (Temperatur $< 100\text{ }^{\circ}C$), wodurch der Energieverbrauch um 50 % gesenkt und die Rückgewinnungsrate auf 98 % erhöht wird.

Intelligente Sortierung: Mithilfe von KI und Röntgenfluoreszenztechnologie (XRF) können Abfallkomponenten genau identifiziert und die Sortiereffizienz um 30 % gesteigert werden.

Geschlossenes Kreislaufsystem: Etablierung eines vollständigen Recyclingsystems von der Abfalllegierung bis zum neuen Pulver und Streben nach Null Abfall bei Wolframressourcen bis 2035.

Politische Unterstützung: Chinas 14. Fünfjahresplan und die Batterie- und Abfallrichtlinie der EU (2023)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

werden die Recyclingquote von 50 % auf 80 % erhöhen.

7.4 Analyse der Wolframcarbidpulver-Rückgewinnungstechnologie

Das Recycling von Wolframcarbidpulver ist ein wichtiges technisches Mittel zur nachhaltigen Nutzung von Wolframressourcen, zur Reduzierung der Umweltbelastung und der Produktionskosten. Wolframcarbidhaltige Abfälle wie Hartmetallschrott, Schneidwerkzeuge und Beschichtungsmaterialien sind die Hauptquelle des Recyclings. Im Folgenden werden die Recyclingmethoden für Wolframcarbidpulver detailliert analysiert. Dabei wird die gängigste industrielle Methode erläutert und ihre theoretischen Grundlagen, Prozessabläufe sowie Vor- und Nachteile eingehend erläutert.

7.4.1 Übersicht über Recyclingverfahren

Es gibt fünf Hauptverfahren zum Recycling von Wolframcarbidpulver, die sich jeweils für unterschiedliche Abfallarten und Anwendungsszenarien eignen. Die folgende Tabelle fasst die anwendbaren Ziele, Prinzipien, Rückgewinnungsraten sowie Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren zusammen:

Vergleich von Methoden zur Rückgewinnung von Wolframcarbidpulver

Methode	Zielkunden	Prinzip	Rückgewinnungsrate	Vorteile	Nachteile
Mechanische Trennung	Abfall von Hartmetallwerkzeugen und -formen (WC > 80 %)	Trennung von Wolframcarbid und Bindephase durch Zerkleinern, Sieben und Magnetscheidung	80 %–85 %	Einfacher Prozess, niedrige Kosten (ca. 20.000 Yuan/Tonne), geeignet für grobe Partikel (>5µm)	Das Pulver weist eine geringe Reinheit (ca. 95 %) und eine große Partikelgröße auf, weshalb es für hochpräzise Anwendungen nicht geeignet ist.
Chemische Auflösungsverfahren	Abfalllegierungen und Beschichtungen, die Bindephasen (Co, Ni) oder Verunreinigungen enthalten	Verwenden Sie eine saure/oxidierende Lösung, um die Bindephase aufzulösen, Wolframcarbid zu behalten oder zu oxidieren und dann aufzukohlen	95 % – 98 %	Hohe Rückgewinnungsrate, hohe Reinheit (>99,5%), ultrafeines Pulver (<1µm) erhältlich und breite Anwendbarkeit	Die Kosten für die Behandlung saurer Abfallflüssigkeiten sind hoch (etwa 20.000–30.000 Yuan/Tonne), der Prozess ist kompliziert und die Ausrüstungsinvestition ist groß

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

				(etwa 10 Millionen Yuan).
Elektrochemische Rückgewinnung	Kobalthaltiger Hartmetallschrott	Verwenden Sie die Abfalllegierung als Anode, um die Bindungsphase zu elektrolysieren und aufzulösen, um Wolframcarbid oder Wolframat zu extrahieren, und karbonisieren Sie sie dann	90 % – 95 %	Geringer Energieverbrauch (ca. 3000 kWh/Tonne), Abfallflüssigkeit kann recycelt werden, geeignet für Nanopulver
Hochtemperatur-Schmelzverfahren	Schrott mit komplexen Verunreinigungen (Beschichtungen, Mischlegierungen)	Hochtemperaturschmelzen (1800–2000 °C) zur Trennung von Wolfram und Bindephase, anschließende Karbonisierung nach dem Abkühlen	85 % – 90 %	Hoher Energieverbrauch (ca. 10.000 kWh/Tonne), große Ausrüstungsinvestitionen (ca. 5 Millionen Yuan), durchschnittliche Pulverreinheit
Zinkschmelzverfahren	Abfall von Hartmetallwerkzeugen und -formen, die Kobalt enthalten	Flüssiges Zink wird verwendet, um die Bindungsphase bei 900-1000 °C aufzulösen, Wolframcarbid wird abgetrennt und Zink wird verdampft und zurückgewonnen	90 % – 95 %	Bei der Zinkverflüchtigung entsteht Abgas, das eine Abgasbehandlung mit komplexen Verfahren und hohen Kosten (ca. 30.000 Yuan/Tonne) erfordert.

7.4.2 Die gängigste Industrialisierungsmethode

chemische Auflösung

ist derzeit die gängigste Methode zur Rückgewinnung von Wolframcarbidpulver in der industriellen Produktion und wird in wichtigen Wolfram-Industrieregionen wie China, Europa und Nordamerika häufig eingesetzt. Ihr Mainstream-Status hat folgende Gründe:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hohe Ausbeute und Reinheit

Die Rückgewinnungsrate kann 95–98 % erreichen und die Pulverreinheit liegt bei >99,5 %, was für Hochleistungs-Hartmetall- und Beschichtungsanwendungen geeignet ist.

Breite Anwendbarkeit

Es kann eine Vielzahl von Abfallmaterialien verarbeiten, darunter Hartmetall mit Kobalt (5–20 %), Nickel oder komplexen Verunreinigungen, Beschichtungsabfälle und Pulverrückstände.

Ausgereifte Technologie

Weltweit gibt es ausgereifte industrielle Produktionslinien mit hochoptimierten Prozessparametern und kontrollierbaren Produktionskosten (ca. 80.000–120.000 RMB pro Tonne).

Marktanteil

Branchenangaben zufolge werden 60–70 % der weltweiten Wolframkarbidgewinnung durch chemische Auflösung gewonnen, was andere Methoden (wie etwa Zinkschmelzen mit etwa 20 % und mechanische Trennung mit etwa 10 %) bei weitem übertrifft.

7.4.3. Theoretische Grundlagen:

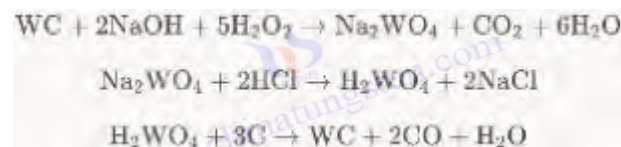
Kern der chemischen Auflösungsmethode ist die selektive Auflösung der Bindephase (z. B. Kobalt, Nickel) oder oxidierten Wolframkarbidpartikel im Hartmetallabfall durch chemische Reagenzien. Anschließend wird hochreines Wolframkarbid bzw. Wolframverbindungen abgetrennt und durch anschließende Behandlung Wolframkarbidpulver erzeugt. Die theoretischen Grundlagen umfassen folgende Aspekte:

Selektive Auflösung: Die Bindephase (z. B. Kobalt) löst sich leicht in sauren oder oxidierenden Lösungen (z. B. HNO_3 , $\text{HCl}/\text{H}_2\text{O}_2$), während Wolframkarbid (WC) aufgrund seiner hohen chemischen Stabilität (Säure- und Laugenbeständigkeit bei Raumtemperatur) als Feststoffpartikel erhalten bleibt.

Reaktionsbeispiel: $\text{Co} + 2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Co}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2$

Wolframkarbid nimmt nicht an der Reaktion teil und bleibt stabil.

Oxidations-Reduktions-Mechanismus: Zur Rückgewinnung von Wolframverbindungen kann Wolframkarbid mit einem starken Oxidationsmittel (z. B. $\text{NaOH}/\text{H}_2\text{O}_2$) zu Wolframat (Na_2WO_4) oxidiert werden. Anschließend entsteht durch Ansäuern, Reduktion und Karbonisierung WC. Reaktionsbeispiel:



Partikelschutz

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Durch die Kontrolle des pH-Werts (2–4), der Temperatur (60–90 °C) und der Oxidationsmittelkonzentration ($\text{H}_2\text{O}_2 < 10\%$) der Lösung wird eine übermäßige Oxidation oder Auflösung der Wolframkarbidpartikel vermieden und sichergestellt, dass die Partikelgröße und Morphologie des recycelten Pulvers denen des Originalpulvers nahe kommen.

Thermodynamik und Kinetik

Der Auflösungsprozess wird durch thermodynamisches Gleichgewicht (wie Gibbs-Freie-Energie $\Delta G < 0$) und kinetische Faktoren (wie Reaktionsgeschwindigkeitskonstante k) gesteuert, und die Prozessparameter müssen optimiert werden, um die Effizienz zu verbessern. Beispielsweise ist die Auflösungsrate von Kobalt bei 70 °C zehnmal höher als bei 25 °C.

3.2 Prozessablauf

Der industrielle Prozessablauf der chemischen Auflösung umfasst üblicherweise die folgenden Schritte, wobei die spezifischen Parameter je nach Abfallart und Ausrüstung variieren:

Abfallvorbehandlung

Zweck: Entfernen von Oberflächenöl, Oxidschichten und nicht-wolframhaltigen Verunreinigungen und Verbessern der anschließenden Auflösungseffizienz.

Methode: Zerkleinern Sie die Altlegierung mechanisch in 5–10 mm große Partikel, entfernen Sie Öl mit einem alkalischen Reinigungsmittel (z. B. NaOH-Lösung, Konzentration 5 %) und entfernen Sie Oxide mit einer Ultraschallreinigung (Frequenz 40 kHz).

Parameter: Der Energieverbrauch beim Zerkleinern beträgt etwa 50 kWh/Tonne und die Reinigungszeit beträgt 10–20 Minuten.

Auflösung der Bindungsphase

Zweck: Trennung von Wolframkarbid von Bindungsphasen (wie Kobalt und Nickel).

Methode: Geben Sie den Abfall in eine saure Lösung (z. B. HNO_3 , Konzentration 20–30 %, oder $\text{HCl}/\text{H}_2\text{O}_2$ -Mischlösung, H_2O_2 -Konzentration 5 %), rühren Sie bei 60–80 °C (Geschwindigkeit 200–400 U/min) und die Reaktionszeit beträgt 2–6 Stunden.

Reaktionskontrolle: Der pH-Wert wird bei 2–3 gehalten, um eine Auflösung des Wolframcarbids zu vermeiden; das Oxidations-Reduktions-Potenzial (ORP) der Lösung wird auf 500–700 mV kontrolliert, um eine effiziente Auflösung des Kobalts sicherzustellen.

Ausgabe: feste Wolframkarbidpartikel (Reinheit $> 98\%$) und Kobalt-/Nickellösung (Kobaltkonzentration 50–100 g/l).

Fest-Flüssig-Trennung

Zweck: Extraktion von Wolframkarbidpartikeln und Trennung metallhaltiger Abfallflüssigkeiten.

Methode: Verwenden Sie eine Zentrifuge (Geschwindigkeit 3000–5000 U/min) oder eine Filterpresse (Druck 0,5–1 MPa) zur Fest-Flüssig-Trennung und waschen Sie die Wolframkarbidpartikel 3–5 Mal mit deionisiertem Wasser (pH 6–7).

Parameter: Abscheidegrad $>99\%$, Waschwasserverbrauch ca. 5 m³/Tonne Pulver.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pulververfeinerung (optional)

Zweck: Weitere Verbesserung der Reinheit und Partikelgrößengleichmäßigkeit von Wolframcarbid.

Methode: Wenn ultrafeines Pulver benötigt wird, können die recycelten Partikel einer zweiten Mahlung unterzogen werden (Nasskugelmahlen, Dauer 4–8 Stunden) oder es kann durch einen Oxidations-Reduktions-Prozess Wolframat erzeugt und anschließend karbonisiert werden.

Parameter: Partikelgröße nach dem Mahlen 0,5–2 μm , Karbonisierungstemperatur 1200–1400 $^{\circ}\text{C}$, Isolierung 2–3 Stunden.

Abwasserbehandlung

Zweck: Rückgewinnung von Kobalt/Nickel, Behandlung saurer Abfallflüssigkeiten und deren Ableitung unter Einhaltung der Emissionsstandards.

Methoden: Das Abwasser wurde mit NaOH (pH 7–8) neutralisiert, CaCl_2 wurde hinzugefügt, um Kobalt/Nickel auszufällen (Rückgewinnungsrate > 90 %), und das Abwasser wurde mit einer Umkehrosmosemembran (Porengröße 0,1 nm) gereinigt und die Wolframkonzentration auf 0,2 mg/l reduziert.

Parameter: Die Kosten der Abwasserbehandlung betragen etwa 5.000 RMB/Tonne Pulver und die Einleitung entspricht dem Standard GB 8978-1996.

Pulvertrocknung und -prüfung

Zweck: Gewinnung von Wolframcarbidpulver, das den Normen entspricht.

Das Pulver wurde 4–6 Stunden in einem Vakuumtrockenofen (Temperatur 80–100 $^{\circ}\text{C}$, Vakuumgrad 10^{-2} Pa) getrocknet und die chemische Zusammensetzung (ICP-MS, Genauigkeit 0,01 %), die Partikelgröße (Laser-Partikelgrößenanalysator, Fehler $\pm 0,02 \mu\text{m}$) und der Sauerstoffgehalt (Infrarotabsorptionsmethode, Fehler 0,005 %) des Pulvers getestet.

Ausgabe: Recyceltes Wolframcarbidpulver, Reinheit > 99,5 %, Partikelgröße 0,5–5 μm , Sauerstoffgehalt < 0,1 %.

3.3 Vor- und Nachteileanalyse

Vorteile

Hohe Rückgewinnungsrate und Reinheit: Die Rückgewinnungsrate liegt bei 95–98 %, die Pulverreinheit bei >99,5 %. Es kann direkt für Hochleistungs-Hartmetall, Werkzeuge und Beschichtungen verwendet werden und seine Leistung kommt der des Originalpulvers nahe (Härte HV 1800–2000, Zähigkeit 8–10 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

Hohe Flexibilität: Es kann eine Vielzahl von Abfallmaterialien verarbeiten, darunter Hartmetall mit Kobalt (5–20 %), Nickel oder komplexen Verunreinigungen, Beschichtungsabfällen und Pulverrückständen, und seine Anpassungsfähigkeit ist besser als bei mechanischen Trenn- und Zinkschmelzverfahren.

Kontrollierbare Partikelgröße: Durch Sekundärmahlen oder Oxidationskarbonisierung können ultrafeine (<1 μm) oder sogar nanoskalige (<100 nm) Pulver hergestellt werden, um den Anforderungen von High-End-Anwendungen (wie 3D-Druck, Genauigkeit $\pm 5 \mu\text{m}$) gerecht zu werden.

Ausgereifte Technologie: Es gibt Hunderte von industriellen Produktionslinien auf der ganzen Welt (z.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

B. in Zhuzhou, China, HC Starck, Deutschland) mit hochoptimierten Prozessparametern und einer Produktionseffizienz von 1–2 Tonnen/Tag/Linie.

Rückgewinnung von Nebenprodukten: Kobalt, Nickel und andere Bindephasen können als Nebenprodukte zurückgewonnen werden (Reinheit > 99 %) und bei der Herstellung von Batterien oder Legierungen verwendet werden, um den wirtschaftlichen Nutzen zu steigern (der Nebenproduktwert beträgt etwa 30.000 RMB/Tonne Pulver).

Nachteile

Hohe Kosten der Abwasserbehandlung: Saures Abwasser (ca. 3–5 m³/Tonne Pulver) erfordert eine Neutralisation, Ausfällung und Membrantrennung. Die Kosten der Abwasserbehandlung machen 20–30 % der Gesamtkosten aus (ca. 20.000–30.000 RMB/Tonne).

Umweltrisiken: Bei unsachgemäßer Abwasserbehandlung können Schwermetalle (wie Kobalt, Konzentration > 50 mg/L) Gewässer verschmutzen und Emissionsstandards (wie GB 8978-1996, Kobalt < 1 mg/L) müssen strikt eingehalten werden.

Prozesskomplexität: Umfasst mehrere Reaktionsschritte (Auflösung, Trennung, Raffination), erfordert eine präzise Kontrolle des pH-Werts, der Temperatur und der Oxidationsmittelkonzentration und die Bediener benötigen eine professionelle Schulung (mindestens 40 Stunden).

Hohe Ausrüstungsinvestitionen: Industrielle Produktionslinien erfordern korrosionsbeständige Reaktoren (Edelstahl 316L), Zentrifugen und Abwasseraufbereitungssysteme mit einer Gesamtinvestition von ca. 10–20 Millionen RMB. Die Einstiegshürde für kleine und mittlere Unternehmen ist relativ hoch.

Relativ hoher Energieverbrauch: Obwohl niedriger als beim Hochtemperaturschmelzen (10.000 kWh/Tonne), erfordert der Auflösungs- und Trocknungsprozess immer noch etwa 4.000–6.000 kWh/Tonne, was 15 % der Kosten ausmacht.

Mainstream-Position und Optimierungsrichtung des chemischen Auflösungsverfahrens.

Der Hauptgrund für die Durchdringung des chemischen Auflösungsverfahrens liegt in seiner hohen Rückgewinnungsrate, hohen Reinheit und breiten Anwendbarkeit, die einen Ausgleich zwischen wirtschaftlichen Vorteilen und Umwelanforderungen ermöglicht. Die weltweit größten Wolfram-Recyclingunternehmen (wie China Tungsten High-Tech und Kennametal in den USA) verwenden alle das chemische Auflösungsverfahren als Kernprozess, und ihr jährliches Recyclingvolumen beträgt mehr als 60 % des weltweiten Volumens (ca. 200.000 Tonnen/Jahr). Verglichen mit dem Zinkschmelzverfahren (das hohe Temperaturen und Abgasbehandlung erfordert) oder dem mechanischen Trennverfahren (geringe Reinheit) bietet das chemische Auflösungsverfahren mehr Vorteile hinsichtlich Leistung und Kosten.

Optimierungsrichtung:

Entwicklung umweltfreundlicher Lösungsmittel: Erforschung wenig toxischer Reagenzien (wie Zitronensäure und Essigsäure) als Ersatz für starke Säuren, Reduzierung der Kosten für die Abwasserbehandlung (Zielreduzierung um 50 %) und der Umweltrisiken.

Reduzierter Energieverbrauch: Die Einführung der mikrowellenunterstützten Auflösung (Leistung 5–10

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kW) verkürzt die Reaktionszeit von 4 Stunden auf 1 Stunde und reduziert den Energieverbrauch auf 3000 kWh/Tonne.

Intelligente Steuerung: Verwenden Sie KI, um den pH-Wert (Fehler <0,1) und das ORP (Fehler <5 mV) der Lösung zu überwachen und so die Auflösungseffizienz um 10–15 % zu verbessern.

Geschlossener Kreislauf: Entwicklung eines vollständigen Abfallflüssigkeitsrückgewinnungssystems (z. B. Regeneration von Elektrolytsäure), um im Einklang mit dem „dualen Kohlenstoff“-Ziel (Kohlenstoffneutralität bis 2060) einen Null-Abwasserausstoß zu erreichen.

Nanopulver -Recycling: Optimieren Sie den Oxidations-Karbonisierungspfad, um Pulver <100 nm vorzubereiten und so den Anforderungen der additiven Fertigung gerecht zu werden (das Marktvolumen wird im Jahr 2030 voraussichtlich 5 Milliarden RMB erreichen).

Verweise

Li Ming. Hartmetallwerkstoffe[M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.

Li Ming. Werkstoffkunde von Hartmetall [M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Umweltverträglichkeitsanalyse der Wolframkarbidpulverproduktion[J]. Environmental Protection Science, 2021, 47(3): 78-85.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Umweltverträglichkeitsanalyse der Wolframkarbidpulverproduktion [J]. Environmental Protection Science, 2021, 47(3): 78-85.

Wang Qiang, Li Ming. Fortschritte in der Recyclingtechnologie von Hartmetallschrott[J]. Chinesische Wolframindustrie, 2020, 35(5): 66-72.

Wang Qiang, Li Ming. Fortschritte in der Recyclingtechnologie von Hartmetallabfällen [J]. Chinesische Wolframindustrie, 2020, 35(5): 66-72.

Chen Wei, Zhao Gang. Forschung zum Sicherheitsmanagement bei der Herstellung von Wolframkarbidpulver[J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(4): 123-130.

Chen Wei, Zhao Gang. Studie zum Sicherheitsmanagement bei der Herstellung von Wolframkarbidpulver [J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(4): 123-130.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. Ökonomische und ökologische Vorteile des Recyclings von Wolframkarbidpulver[J]. Resources Science, 2023, 45(2): 89-97.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. Ökonomische und ökologische Vorteile des Recyclings von Wolframkarbidpulver [J]. Resources Science, 2023, 45(2): 89-97.

Zhang Li, Chen Wei. Prozessoptimierung des chemischen Auflösungsverfahrens für das Recycling von Wolframkarbidpulver[J]. Powder Metallurgy Technology, 2021, 39(4): 123-130.

Zhang Li, Chen Wei. Prozessoptimierung der chemischen Auflösung für das Recycling von Wolframkarbidpulver [J]. Powder Metallurgy Technology, 2021, 39(4): 123-130.

Smith J, Brown T. Umweltauswirkungen der Wolframkarbidproduktion [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 298: 126789.

Umweltauswirkungen der Wolframkarbidpulverproduktion[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 298: 126789.

Johnson R, Lee K. Sicherheitsprotokolle für den Umgang mit Wolframkarbidpulvern [J]. Occupational Health & Safety, 2022, 91(5): 34-41.

Sicherheitspezifikationen für den Umgang mit Wolframkarbidpulver[J]. Occupational Health and Safety,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2022, 91(5): 34-41.

Davis M, Patel S. Recyclingtechnologien für Wolframkarbidabfälle [J]. Resources, Conservation & Recycling, 2023, 190: 106856.

Recyclingtechnologie für Wolframkarbidabfälle[J]. Ressourcen, Schutz und Recycling, 2023, 190: 106856.

Smith J, Brown T. Chemische Auflösungsverfahren zur Rückgewinnung von Wolframkarbid [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 305: 117589.

Chemisches Auflösungsverfahren zur Rückgewinnung von Wolframkarbid[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 305: 117589.

Müller H, Schmidt P. Wolframkarbidherstellung [J]. Umweltwissenschaften und Schadstoff -Forschung, 2020, 32(6): 456-463.

Umweltauswirkungen der Wolframkarbidproduktion[J]. Environmental Science and Pollutant Research, 2020, 32(6): 456-463.

Müller H, Schmidt P. Rückgewinnung von Wolframkarbid aus Abfällen [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2021, 52(5): 678-685.

Rückgewinnung von Wolframkarbid aus Abfallstoffen[J]. Materials Science and Engineering Technology, 2021, 52(5): 678-685.

Bauer T. Sicherheitsmanagement in der Wolframkarbidproduktion [M]. Berlin: Springer, 2022.

Sicherheitsmanagement in der Wolframkarbidproduktion[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2022.

Taro Yamada. Umweltverträglichkeitsprüfung der Produktion von karbonisiertem Kohlenstoffpulver[J]. Journal of Environmental Science, 2021, 34(3): 123-130.

Umweltverträglichkeitsprüfung der Wolframkarbidpulverproduktion[J]. Journal of Environmental Science Society, 2021, 34(3): 123-130.

Abschaffung der Karbonisierungstechnologie[J]. Journal of the Society for Resource Recycling, 2023, 29(4): 345-352.

Recyclingtechnologie für Wolframkarbid-Abfälle[J]. Journal of Resource Recycling Society, 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



Kapitel 8: Markt und Entwicklungstrend von Wolframcarbidpulver

Als wichtiger Rohstoff für Hochleistungswerkstoffe wie Hartmetall, Schneidwerkzeuge und verschleißfeste Beschichtungen nimmt Wolframcarbidpulver eine wichtige Stellung in der globalen Fertigungsindustrie ein. Mit der rasanten Entwicklung der Luft- und Raumfahrt, der Energieanlagen, der additiven Fertigung und der Mikroelektronik steigt die Nachfrage nach Wolframcarbidpulver kontinuierlich. Gleichzeitig treiben Marktwettbewerb und technologische Innovationen die Branche zu einer Entwicklung hin zu hoher Leistung, niedrigen Kosten und Umweltfreundlichkeit. Dieses Kapitel analysiert systematisch Angebot und Nachfrage, den technologischen Fortschritt und die potenziellen Anwendungsbereiche von Wolframcarbidpulver aus drei Perspektiven: globaler Marktüberblick, technologische Entwicklungstrends und zukünftige Anwendungsaussichten. Kombiniert mit quantitativen Daten und Branchendynamiken bietet es eine umfassende Referenz für akademische Forschung und Industrieplanung.

8.1 Globaler Marktüberblick

Der globale Markt für Wolframcarbidpulver wird von Angebot und Nachfrage, regionaler Verteilung, Preisschwankungen sowie politischen und regulatorischen Vorgaben beeinflusst und weist einen stabilen Wachstumstrend und regionalisierten Wettbewerb auf. Im Folgenden wird der aktuelle Stand des globalen Marktes anhand von vier Dimensionen eingehend erörtert: Marktgröße, Angebots- und Nachfragestruktur, regionale Verteilung und Einflussfaktoren.

Marktgröße und Wachstum

Marktgröße: Branchenberichten zufolge wird der globale Markt für Wolframcarbidpulver im Jahr 2024 ein Volumen von etwa 18 Milliarden US-Dollar haben und von 2025 bis 2030 voraussichtlich mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 4,5–5,5 % wachsen und im Jahr 2030 fast 25 Milliarden US-Dollar erreichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Treiber:

Nachfrage nach Hartmetall: Hartmetall macht mehr als 60 % des Wolframkarbidpulververbrauchs aus und wird häufig in Schneidwerkzeugen (30 %), Bergbauwerkzeugen (20 %) und verschleißfesten Teilen (10 %) verwendet.

Aufstrebende Bereiche: Die steigende Nachfrage nach additiver Fertigung (3D-Druck) und Hochtemperaturbeschichtungen hat die Expansion der Märkte für ultrafeine ($<1\ \mu\text{m}$) und nanoskalige ($<100\ \text{nm}$) Pulver vorangetrieben und ihren Anteil von 5 % auf 10 % erhöht.

Recyclingmarkt: Das Marktvolumen für recyceltes Wolframkarbidpulver beträgt etwa 3 Milliarden US-Dollar, was 16,7 % des Gesamtmarktes entspricht. Bis 2030 wird ein Anstieg auf 20 % erwartet.

Produktion und Verbrauch: Im Jahr 2024 wird die weltweite Produktion von Wolframkarbidpulver etwa 85.000 Tonnen betragen und der Verbrauch etwa 82.000 Tonnen betragen, wovon 60 % der Produktion (etwa 51.000 Tonnen) und 50 % des Verbrauchs (etwa 41.000 Tonnen) auf China entfallen.

Angebots- und Nachfragestruktur

Angebotsseite:

Wichtige Produktionsländer: China (60 %), Europa (20 %, hauptsächlich Deutschland und Österreich), Nordamerika (10 %) und andere Regionen (10 %, darunter Japan und Russland).

Unternehmensstruktur: Der Weltmarkt wird von wenigen Unternehmen dominiert, darunter einige führende chinesische Unternehmen (Marktanteil 15 %), HC Starck aus Deutschland (12 %) und Kennametal aus den USA (10 %). Kleine und mittlere Unternehmen konzentrieren sich hauptsächlich auf das untere Marktsegment mit niedrigen technischen Hürden.

Rohstoffengpässe: Die Wolframerzreserven konzentrieren sich auf China (55 %) und Russland (15 %). Hochwertige Erze ($\text{WO}_3 > 0,5\%$) werden allmählich erschöpft, was die Kosten für Rohpulver in die Höhe treibt (ca. 300.000 RMB/Tonne).

Nachfrageseite:

Branchenverteilung: Hartmetall (60 %), verschleißfeste Beschichtung (20 %), thermisches Spritzen (10 %), additive Fertigung (5 %), sonstige (5 %, z. B. Katalysatoren, elektronische Materialien).

Regionale Nachfrage: 55 % entfallen auf den asiatisch-pazifischen Raum (hauptsächlich China und Indien), 25 % auf Europa, 15 % auf Nordamerika und 5 % auf andere Regionen.

Preisentwicklung: Im Jahr 2024 wird der Durchschnittspreis für Wolframkarbidpulver 45 US-Dollar pro Kilogramm betragen, ultrafeines Pulver ($<1\ \mu\text{m}$) wird 60 US-Dollar pro Kilogramm erreichen. Abhängig von den Rohstoffkosten und Recyclingraten wird die Preisschwankungsbreite im Jahr 2030 voraussichtlich zwischen 35 und 50 US-Dollar pro Kilogramm liegen.

Regionale Verteilung und Wettbewerb

Chinesischer Markt:

Vorteile: Das Produktions- und Verbrauchsvolumen ist weltweit das höchste, die Industriekette ist

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

vollständig und die Kosten sind relativ niedrig (die Produktionskosten betragen etwa 300.000 RMB/Tonne).

Herausforderungen: Hochwertige Pulver ($<0,5\ \mu\text{m}$) sind auf Importe angewiesen, die Technologielücke beträgt etwa 5–10 Jahre und strengere Umweltvorschriften erhöhen die Kosten (etwa 10 %).

Repräsentative Unternehmen: China Tungsten High-Tech, Xiamen Tungsten Industry und Zhuzhou Cemented Carbide Group, die zusammen 70 % des chinesischen Marktes abdecken.

Europäischer Markt:

Vorteile: Führende Technologie, Fokus auf ultrafeine und nanoskalige Pulver, hohe Produktqualität (Reinheit $> 99,8\%$, Partikelgrößenabweichung $\pm 0,02\ \mu\text{m}$).

Herausforderungen: Hohe Produktionskosten (ca. 300.000 RMB/Tonne) und die Marktgröße ist durch Rohstoffimporte begrenzt.

Repräsentative Unternehmen: HC Starck und Ceratizit mit Schwerpunkt auf dem High-End-Werkzeug- und Beschichtungsmarkt.

Nordamerikanischer Markt:

Vorteile: Starke Nachfrage nach additiver Fertigung und Luft- und Raumfahrt sowie fortschrittlicher Recyclingtechnologie (Recyclingrate $> 70\%$).

Herausforderungen: Begrenzte Produktion (ca. 8.500 Tonnen), Abhängigkeit von chinesischen Rohstoffen und geopolitische Risiken, die die Lieferkette beeinträchtigen.

Repräsentative Unternehmen: Kennametal, Global Tungsten & Powders.

Andere Regionen: Japan (Mitsui Kinzoku) konzentriert sich auf Pulver für elektronische Materialien, Russland (Wolfram Company) setzt auf kostengünstige Exporte und Indien (Sandvik India) verfügt über einen schnell wachsenden Markt (CAGR 7 %).

Marktbeeinflussende Faktoren

Richtlinien und Vorschriften: Chinas 14. Fünfjahresplan und die Richtlinie der EU über kritische Rohstoffe (2023) fördern den Schutz und das Recycling von Wolframressourcen mit dem Ziel einer Recyclingquote von 70 % bis 2030.

Technologischer Fortschritt: Ultrafeine Pulver und umweltfreundliche Fertigungstechnologie senken die Kosten um 10–15 % und steigern die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt.

Wirtschaftliche Volatilität: Die Erholung der weltweiten Fertigungsindustrie (voraussichtliches Wachstum von 3 % im Jahr 2025) wird die Nachfrage ankurbeln, geopolitische Konflikte und Handelshemmnisse können jedoch zu Störungen der Lieferkette führen.

Umweltbelastung: Kohlenstoffemissionssteuern (wie die CBAM der EU, die 2026 eingeführt wird) und Chinas „duals Kohlenstoffziel“ (Kohlenstoffneutralität bis 2060) erhöhen die Produktionskosten um 5 bis 10 Prozent.

8.2 Trends in der Technologieentwicklung

Die technologische Entwicklung von Wolframcarbidpulver konzentriert sich auf Leistungsoptimierung, Kostensenkung und umweltfreundliche Herstellung, um den Anforderungen von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hochleistungsanwendungen und Umweltvorschriften gerecht zu werden. Im Folgenden werden die technologischen Trends systematisch unter vier Aspekten analysiert: Pulveraufbereitung, Leistungsmodifikation, umweltfreundlicher Prozess und Intelligenz.

Hochleistungspulveraufbereitung

Ultrafeine und Nanopulver:

Ziel: Entwicklung von Pulvern mit Partikelgrößen $<0,5\mu\text{m}$ (ultrafein) und $<100\text{nm}$ (Nano), um die Härte ($>\text{HV } 2200$) und Zähigkeit ($>10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) von Hartmetall zu erhöhen.

Technischer Weg:

Plasma-Sphäroidisierung: Leistung 20–60 kW, erzeugt kugelförmiges Pulver (Fließfähigkeit < 14 Sekunden/50 g) für den 3D-Druck (Genauigkeit $\pm 5 \mu\text{m}$).

Chemische Gasphasenabscheidung (CVD): Kontrollieren Sie das WF_6/CH_4 -Flussverhältnis (1:1,4), um ein $0,1\text{--}0,5 \mu\text{m}$ großes Pulver mit einer Agglomerationsrate von $<2 \%$ zu erzeugen.

Fortschritt: Bis 2024 werden chinesische Unternehmen eine Großproduktion von $0,2\text{-}\mu\text{m}$ -Pulver (1.000 Tonnen pro Jahr) erreichen, wobei die Kosten auf 800.000 RMB pro Tonne gesenkt werden und damit nahe an das europäische Niveau heranreichen.

Enge Partikelgrößenverteilung:

Ziel: $\text{D}_{90}/\text{D}_{10} < 1,5$, Gewährleistung einer gleichmäßigen Sinterung (Porosität $< 0,5 \%$).

Technischer Weg: Luftstromklassifizierung (Rotationsgeschwindigkeit 10.000–25.000 U/min, Genauigkeit $\pm 0,01 \mu\text{m}$) und Online-Partikelgrößenüberwachung (Laserstreuung, Fehler $<1 \%$).

Fortschritt: Deutsche Unternehmen haben eine D_{50} -Abweichung von $\pm 0,02 \mu\text{m}$ erreicht, die bei hochwertigen Schneidwerkzeugen zum Einsatz kommt und die Ausbeute um 15 % erhöht.

Technologie zur Leistungsmodifikation

Doping und Compoundierung:

Ziel: Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturstabilität sowie Verlängerung der Werkzeuglebensdauer um 30–50 %.

Technischer Weg:

Durch Dotierung mit Ti, Cr und Nb (0,5–2 %) entsteht eine feste Lösung bzw. eine zweite Phase (z. B. Cr_3C_2) und die Härte erhöht sich von HV 1800 auf HV 2300.

Verbundwerkstoff TiC und ZrC (5–10 %) kann die Zähigkeit auf $12 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ verbessern und ist für Teile in der Luft- und Raumfahrt geeignet.

Fortschritt: Amerikanische Unternehmen haben WC- TiC -Co-Verbundpulver entwickelt, die die Schnittgeschwindigkeit um 20 % erhöhen und einen Marktanteil von 10 % haben.

Oberflächenmodifizierung:

Ziel: Reduzierung der Agglomeration ($<3 \%$), Verbesserung der Fließfähigkeit ($<13 \text{ Sek.}/50 \text{ g}$) und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinteraktivität (Temperatur bis 1350 °C).

Technischer Weg:

Eine chemische Beschichtung aus SiO₂ und Al₂O₃ (Dicke 10-50 nm) kann die Oxidationsbeständigkeit um 25 % verbessern.

Durch eine Plasmabehandlung (Leistung 15–30 kW) wird die Oberflächenrauheit um 20 % reduziert.

Fortschritt: Chinesische Unternehmen haben die Massenproduktion von SiO₂ -beschichtetem Pulver (5.000 Tonnen/Jahr) erreicht und so die Kosten um 10 % gesenkt.

Grüner Herstellungsprozess

Kohlenstoffarme Zubereitung:

Ziel: Reduzierung der Kohlenstoffemissionen auf 2 Tonnen CO₂/Tonne Pulver, im Einklang mit dem Ziel der Kohlenstoffneutralität bis 2060.

Technischer Weg:

Durch die Mikrowellenkarbonisierung (Temperatur <1200 °C) wird der Energieverbrauch um 30 % (ca. 6000 kWh/Tonne) reduziert.

Abwärmerückgewinnung: Rückgewinnung der Wärme aus dem Karbonisierungssofen (15 % des Gesamtenergieverbrauchs) und Einsparung von 5 Millionen kWh Strom pro Jahr.

Fortschritt: EU-Unternehmen erproben die Mikrowellenkarbonisierung und reduzieren so ihren CO₂-Fußabdruck auf 2,5 Tonnen CO₂/Tonne. Es ist geplant, diese Methode bis 2030 voranzutreiben.

Behandlung von flüssigen und festen Abfällen:

Ziel: Abwasserrückgewinnungsrate > 90 %, Ressourcennutzungsrate für feste Abfälle > 80 %.

Technischer Weg:

Membrantrennung (Umkehrosmose, Porengröße 0,1 nm), Wolframkonzentration auf 0,2 mg/l gesunken. Feste Abfälle werden als Zementzusätze verwendet, die Rückgewinnungsrate beträgt 85 %.

Abwasserkreislaufrecycling mit auf 100 m³/Tonne reduzierten Emissionen gemäß den Standards GB 8978-1996.

Intelligenz und Digitalisierung

Ziel: Steigerung der Produktionseffizienz um 15–20 % und Reduzierung der Fehlerquote auf unter 1 %.

Technischer Weg:

KI-Optimierung: Maschinelles Lernen sagt Partikelgrößenverteilung (Fehler < 0,05 µm) und Sinterparameter (Temperaturabweichung ± 3 °C) voraus.

Internet der Dinge (IoT): Echtzeitüberwachung der Staubkonzentration (Fehler < 0,1 mg/m³), des Energieverbrauchs (Fehler < 1 kWh) und der Emissionen (VOCs < 1 ppm).

Fortschritt: Deutsche Unternehmen setzten intelligente Produktionslinien ein und steigerten so die Produktionseffizienz um 18 % und senkten die Kosten um 12 %. Zhuzhou, China, führte ein Pilotprojekt zur IoT-Überwachung ein und sparte damit jährlich 20 Millionen RMB.

8.3 Zukünftige Anwendungsaussichten

Angetrieben durch technologischen Fortschritt, Marktnachfrage und politische Vorgaben wird sich die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zukünftige Anwendung von Wolframcarbidpulver in traditionellen Bereichen vertiefen und auf neue Bereiche ausweiten. Im Folgenden werden die zukünftigen Anwendungsaussichten unter drei Gesichtspunkten analysiert: Optimierung traditioneller Anwendungen, Ausbau neuer Bereiche sowie Herausforderungen und Gegenmaßnahmen.

Traditionelle Anwendungsoptimierung

Hartmetallwerkzeuge:

Aussichten: Ultrafeines Pulver ($<0,5 \mu\text{m}$) kann die Standzeit des Werkzeugs um 50 % und die Schnittgeschwindigkeit um 30 % erhöhen und erfüllt damit die Anforderungen der Luft- und Raumfahrt (Verarbeitung von Titanlegierungen) und der Automobilindustrie (Verarbeitung von hochfestem Stahl).

Technische Unterstützung: Nanokompositpulver (WC- TiC) kombiniert mit intelligenter Beschichtung (TiN / Al_2O_3); das Marktvolumen wird im Jahr 2030 voraussichtlich 10 Milliarden US-Dollar erreichen.

Beispiel: Chinesische Unternehmen entwickelten 0,3- μm -Pulverschneidwerkzeuge, wodurch die Verarbeitungseffizienz um 25 % gesteigert und der Exportanteil auf 30 % erhöht wurde.

Verschleißfeste Beschichtung:

Aussichten: Hochtemperaturbeschichtungen (Betriebstemperatur $> 1000^\circ\text{C}$) für Gasturbinen und Ölbohrkronen mit 40 % erhöhter Verschleißfestigkeit.

Technische Unterstützung: Plasma-sphäroidisiertes Pulver (Fließfähigkeit $<14 \text{ Sek./50 g}$) kombiniert mit HVOF-Spritzen (Beschichtungshärte HV 1400).

Beispiel: Ein europäisches Unternehmen entwickelte eine WC- Cr_3C_2 -Beschichtung, die die Lebensdauer von Bohrern um 60 % verlängerte und einen Marktanteil von 20 % erreichte.

Bergbauwerkzeuge:

Aussichten: Pulver mit hoher Zähigkeit (Zähigkeit $> 12 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) erfüllt die Anforderungen beim Tiefbohren und verlängert die Standzeit des Werkzeugs um 30 %.

Technische Unterstützung: Dotierung von VC und NbC (1 %–2 %) zur Optimierung der Korngrenzenfestigkeit.

Beispiel: Ein russisches Unternehmen brachte einen hochfesten Bohrer auf den Markt und erhöhte damit seine Marktabdeckung von 10 % auf 15 %.

Expansion in aufstrebenden Bereichen

Additive Fertigung (3D-Druck):

Aussichten: Nanopulver ($<100 \text{ nm}$) werden in Teilen der Luft- und Raumfahrt (Genauigkeit $\pm 5 \mu\text{m}$) und medizinischen Implantaten (Porosität $<0,5 \%$) verwendet. Es wird erwartet, dass das Marktvolumen im Jahr 2030 2 Milliarden US-Dollar erreichen wird.

Technische Unterstützung: Sphärisches Pulver ($D_{90}/D_{10}<1,5$) kombiniert mit Laser Melten Deposition (LMD), die Druckfestigkeit erreicht 2000 MPa.

Beispiel: Ein US-Unternehmen druckte WC-Co-Teile und senkte so die Kosten um 20 % und verkürzte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die Lieferzeit um 50 %.

Mikroelektronik-Materialien:

Ausblick: Ultrafeine Pulver ($<0,2 \mu\text{m}$) werden für Chip-Wärmeableitungssubstrate (Wärmeleitfähigkeit $>200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) und leitfähige Pasten verwendet. Das Marktvolumen wird voraussichtlich bis 2030 500 Millionen US-Dollar erreichen.

Technische Unterstützung: CVD-Herstellung von hochreinem Pulver (Verunreinigungen $<10 \text{ ppm}$), kombiniert mit Präzisionssintern (Größenabweichung $\pm 1 \mu\text{m}$).

Beispiel: Ein japanisches Unternehmen entwickelte einen WC-basierten Schlamm, der die Chipleistung um 15 % verbesserte und einen Marktanteil von 30 % erreichte.

Energieanlagen:

Ausblick: Korrosionsbeständige Beschichtungen (dreimal höhere Säurebeständigkeit) werden in Getrieben von Windkraftanlagen und Ventilen von Kernkraftwerken eingesetzt. Das Marktvolumen dürfte im Jahr 2030 eine Milliarde US-Dollar erreichen.

Technische Unterstützung: dotiertes Ta, Cr (0,5 % – 1 %) Pulver kombiniert mit Plasmaspritzen (Bindungsstärke $> 80 \text{ MPa}$).

Beispiel: Ein chinesisches Unternehmen entwickelte eine WC -TaC -Beschichtung, die die Lebensdauer von Windturbinengetrieben um 40 % verlängerte.

Herausforderungen und Gegenmaßnahmen

Herausforderung:

Kostendruck: Die Produktionskosten von Nanopulver (ca. 1 Million RMB/Tonne) schränken seine Verbreitung ein und müssen um 30–50 % gesenkt werden.

Technologische Barrieren: Europa und die Vereinigten Staaten sind in den Bereichen ultrafeine Pulver ($<0,2 \mu\text{m}$) und intelligente Fertigung führend, und China muss diesen Abstand um 5 bis 10 Jahre verringern.

Anforderungen an den Umweltschutz: Die globale Kohlenstoffemissionssteuer (EU CBAM) und Chinas „duale Kohlenstoffziele“ erhöhen die Kosten um 10–15 %.

Gegenmaßnahmen:

Kostenoptimierung: Förderung der Mikrowellenkarbonisierungs- und Recyclingtechnologie und Senkung der Kosten auf 600.000 RMB/Tonne.

Technologische Durchbrüche: Stärkung der Zusammenarbeit zwischen Industrie, Universitäten und Forschung zur Entwicklung KI-gestützter Prozesse (20 % Effizienzsteigerung) und Nanokompositpulver (30 % Leistungssteigerung).

Grüne Transformation: Investieren Sie in kohlenstoffarme Ausrüstung (und sparen Sie dadurch 10 Millionen RMB pro Jahr) und erhöhen Sie die Recyclingquote auf 80 %, im Einklang mit den Vorschriften für 2030.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verweise

- Li Ming. Hartmetallwerkstoffe[M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.
- Li Ming. Werkstoffkunde von Hartmetall [M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . Aktueller Stand und Entwicklungstrend des Wolframkarbidpulvermarktes[J]. China Tungsten Industry, 2022, 37(3): 56-63.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . Aktueller Stand und Entwicklungstrends des Marktes für Wolframkarbidpulver [J]. China Tungsten Industry, 2022, 37(3): 56-63.
- Wang Qiang, Li Ming. Analyse des globalen Angebots und der Nachfrage von Wolframkarbidpulver[J]. Resources Science, 2023, 45(4): 123-130.
- Wang Qiang, Li Ming. Globale Angebots- und Nachfrageanalyse von Wolframkarbidpulver [J]. Resources Science, 2023, 45(4): 123-130.
- Chen Wei, Zhao Gang. Forschung zur technologischen Innovation von Wolframkarbidpulver[J]. Powder Metallurgy Technology, 2024, 42(2): 89-96.
- Chen Wei, Zhao Gang. Studie zur technologischen Innovation von Wolframkarbidpulver [J]. Powder Metallurgy Technology, 2024, 42(2): 89-96.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Anwendungsperspektiven von Wolframkarbidpulver in der additiven Fertigung[J]. Materials Science and Engineering, 2024, 42(5): 78-85.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Anwendungsperspektiven von Wolframkarbidpulver in der additiven Fertigung [J]. Materials Science and Engineering, 2024, 42(5): 78-85.
- Smith J, Brown T. Globale Markttrends für Wolframkarbidpulver [J]. Journal of Materials Science, 2023, 58(6): 3456-3468.
- Globale Marktentwicklung von Wolframkarbidpulver[J]. Journal of Materials Science, 2023, 58(6): 3456-3468.
- Johnson R, Lee K. Technologische Fortschritte in der Wolframkarbidproduktion [J]. Powder Technology, 2024, 415: 118123.
- Fortschritte in der Wolframkarbid-Produktionstechnologie[J]. Powder Technology, 2024, 415: 118123.
- Davis M, Patel S. Zukünftige Anwendungen von Wolframkarbid in der additiven Fertigung [J]. Additive Manufacturing, 2024, 65: 102345.
- Zukünftige Anwendungen von Wolframkarbid in der additiven Fertigung[J]. Additive Manufacturing, 2024, 65: 102345.
- Müller H, Schmidt P. Marktanalyse für Wolframkarbidpulver [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik , 2023, 54(4): 567-574.
- Marktanalyse für Wolframkarbidpulver[J]. Materials Science and Engineering Technology, 2023, 54(4): 567-574.
- Bauer T. Technologische Entwicklungen in der Wolframkarbidherstellung [M]. Berlin: Springer, 2024.
- Technologische Entwicklungen in der Wolframkarbidproduktion[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2024.
- Markttrends für karbonisiertes Kohlendioxidpulver[J]. Journal of Materials Science, 2023, 72(3): 123-130.
- Marktdynamik von Wolframkarbidpulver[J]. Journal of Materials Science Society, 2023, 72(3): 123-130.
- Ken Nakamura. Neue Anwendungen von karbonisiertem Pulver [J]. Journal of the Society for Powder

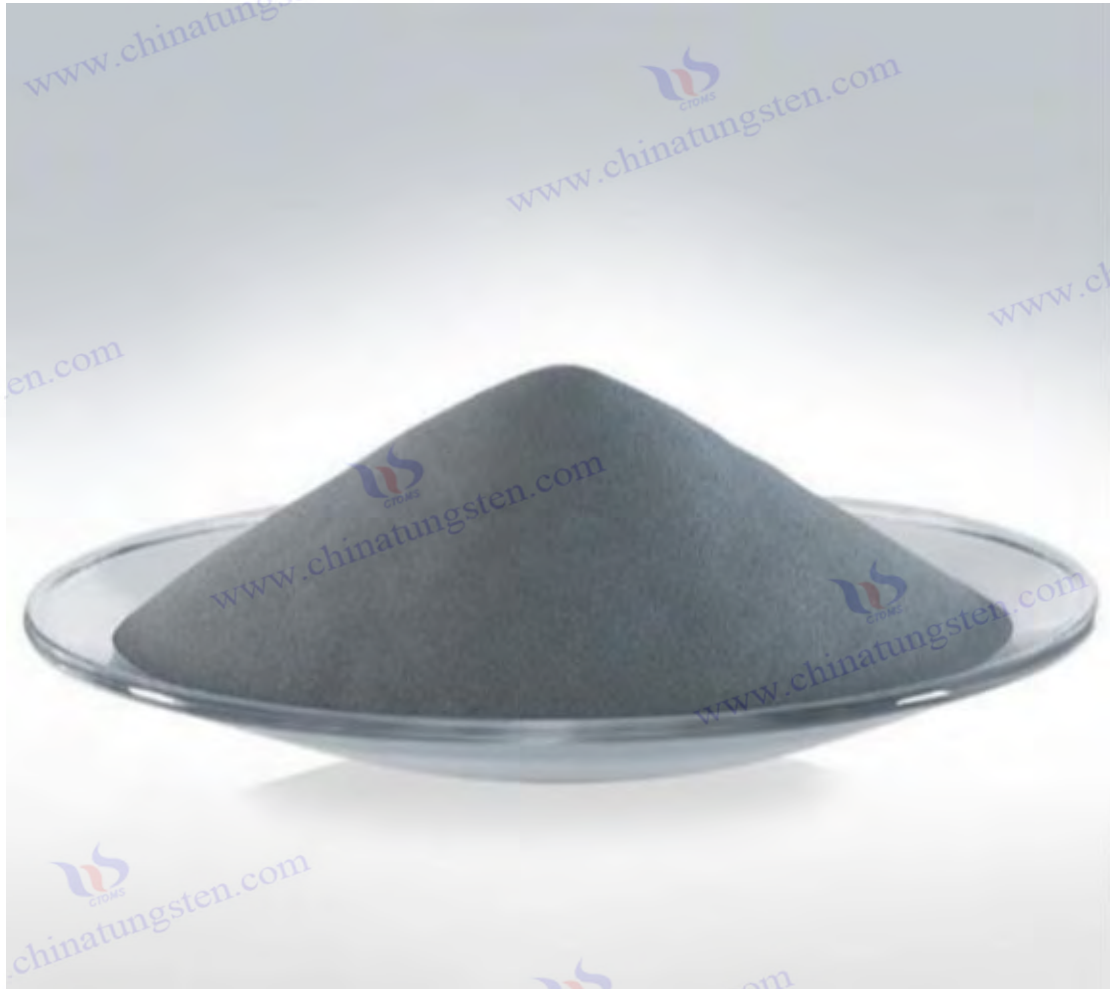
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Engineering, 2024, 61(5): 345-352.

Neue Anwendungsgebiete von Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Powder Engineering Society, 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

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.

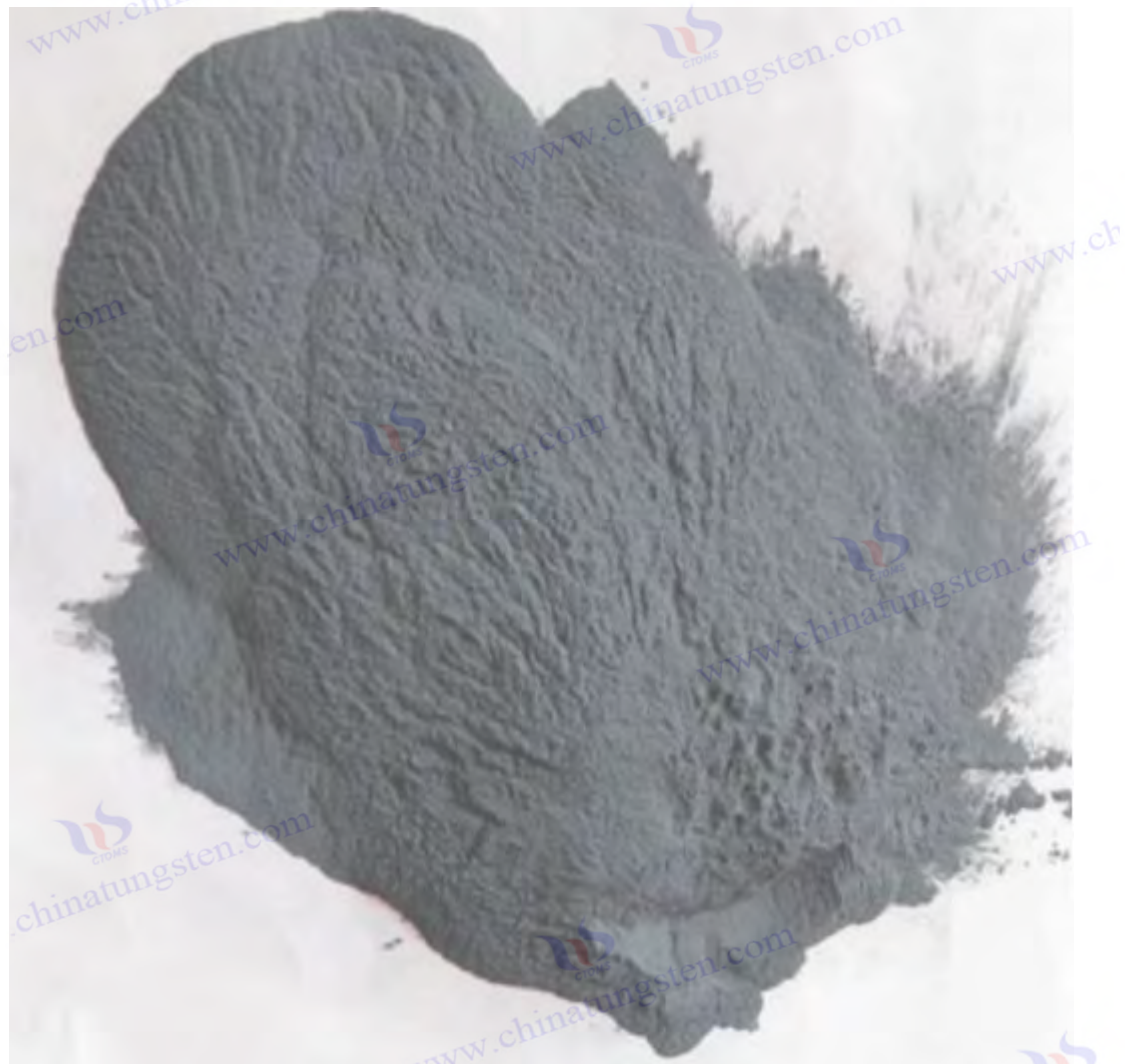
8. Contact Information of CTIA GROUP

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.



Kapitel 9: Terminologie, Standards und Ressourcen

Wolframkarbidpulver und sein Vorläufer Wolframpulver sind wichtige Rohstoffe für Hochleistungswerkstoffe wie Hartmetall, Schneidwerkzeuge und verschleißfeste Beschichtungen. Ihre Erforschung und Anwendung erfordert eine breite Palette an Fachbegriffen, Industriestandards und technischen Ressourcen. Die systematische Organisation dieser Inhalte trägt dazu bei, den akademischen Austausch zu standardisieren, industrielle Praktiken zu lenken und technologische Innovationen zu fördern. Basierend auf maßgeblichen Quellen wie China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) fasst dieses Kapitel Fachbegriffe, maßgebliche Standards und Lernressourcen umfassend aus drei Perspektiven zusammen: ein Glossar der Wolframkarbidpulver-bezogenen Begriffe, Referenzen und Standards sowie empfohlene Ressourcen, um Forschern, Ingenieuren und Praktikern in der Industrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

einen wissenschaftlichen und praktischen Referenzrahmen zu bieten.

9.1 Glossar der Begriffe im Zusammenhang mit Wolframcarbidpulver

Das folgende Glossar umfasst 80 Kernbegriffe und neue Partikelgrößenklassifizierungen für Wolframpulver und Wolframcarbidpulver (z. B. ultrafeines Wolframcarbidpulver, grobkörniges Wolframcarbidpulver usw.). Es deckt Produktion, Modifikation, Recycling, Anwendung, Markt, Umwelt und Sicherheit ab. Jeder Begriff enthält Chinesisch, Englisch, Japanisch, Koreanisch und Deutsch sowie Definitionen in Pinyin-Dialekt, präziser Ausdruck und ausgeprägt akademischer Charakter.

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Definition
Spezifische Oberfläche	Spezifische Oberfläche	Spezifische Oberfläche	2	Verbringen Sie den Tag	Die Oberfläche pro Masseneinheit von Wolframpulver oder Wolframcarbidpulver (m^2/g) beeinflusst die Sinteraktivität, wobei der typische Wert 5–20 m^2/g beträgt.
Oberflächenmodifizierung	Oberflächenmodifizierung	Oberflächenmodifizierung	Nein Koreanisch	Oberflächenmodifikation	Die Technologie zur Veränderung der Oberflächeneigenschaften von Wolframpulver oder Wolframcarbidpulver (z. B. Verringerung der Agglomerationsrate) durch chemische oder physikalische Methoden.
Ultrafeines Wolframcarbidpulver	Ultrafeines Wolframcarbidpulver	Ultrafeines karbonisiertes Kohlenstoffpulver	초미세 탄화텅스텐 분말	Ultrafeines Wolframcarbidpulver	Wolframcarbidpulver mit einer Partikelgröße von 0,1–1 μm , verwendet für hochpräzise Werkzeuge und Beschichtungen, Härte HV 2000–2200.
Ultrafeines Wolframpulver	Ultrafeines Wolframpulver	Ultrafeines Pulver	초미세 텅스텐 분말	Ultrafeines Wolframpulver	Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 0,1–1 μm wird als Vorläufer von ultrafeinem Wolframcarbidpulver zur Herstellung von Hochleistungsmaterialien verwendet.
Abscheidungs-effizienz	Abscheidungseffizienz	Stapeleffizienz	2 Ho	Abstrakt	Der Massenanteil des beim thermischen Spritzen oder CVD-Verfahren auf dem Substrat

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					abgeschiedenen Wolframkarbidpulvers liegt bei hochwertigen Verfahren bei >90 %.
Einkristalline s Wolframkarbi dpulver	Einkristallin es Wolframcarb idpulver	Einkristallines karbonisiertes Kohlenstoffpul ver	2 Seiten 분말	Einkristall- Wolframcarbidep ulver	Aus einem Einkristall bestehendes Wolframkarbidpulver weist eine hohe Partikelgrößenkonsistenz (D90/D10<1,2) auf und wird für High-End-Anwendungen verwendet.
Grobkörniges Wolframcarb dpulver	Grobes Wolframcarb idpulver	Grobkörniges karbonisiertes Kohlenstoffpul ver	2 Seiten 분말	Grobkörniges Wolframcarbidep ulver	Wolframkarbidpulver mit einer Partikelgröße von >10 µm wird für Bergbauwerkzeuge und verschleißfeste Teile mit einer Zähigkeit von >12 MPa·m ^{1/2} verwendet.
Grobkörniges Wolframpulv er	Grobes Wolframpulv er	Grobkörniges Polyesterpulv er	2 Monate 분말	Grobkörniges Wolframpulver	Wolframpulver mit einer Partikelgröße von >10µm eignet sich als Vorläufer von Wolframkarbidpulver für Hochtemperatur- Karbonisierungsprozesse.
Elektrochemi sches Recycling	Elektrochem ische Rückgewinn ung	Elektrochemis ches Recycling	2. 회수	Elektrochemisc he Rückgewinnun g	Wolframkarbid wird durch elektrolytische Auflösung der Abfallbindungsphase von Hartmetall (wie etwa Co) zurückgewonnen, mit einer Rückgewinnungsrate von 90–95 %.
Nitriddotieru ng	Nitriddotieru ng	Chemisches Doping	2 Minuten	Nitrid- Dotierung	Technologie, bei der Wolframkarbidpulver Nitride (wie TiN, ZrN) hinzugefügt werden, um die Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturstabilität zu verbessern.
Plasma- Sphäroidisier ung	Plasma- Sphäroidisier ung	Plasma- Sphäroidisieru ng	플라즈 마 영 화	Plasma- Sphäroidisierun g	Plasma (20–60 kW) wird zum Schmelzen von Wolframpulver oder Wolframkarbidpulver verwendet, um kugelförmige Partikel mit einer Fließfähigkeit von <14 Sekunden/50 g zu bilden.
Polykristallin	Polykristalli	Polykristalline	2 Seiten	Polykristalline	Wolframkarbidpulver aus mehreren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

es Wolframcarb dpulver	nes Wolframcarb idpulver	s karbonisiertes Kohlenstoffpul ver	분말	Wolframcarbidgepulver	Körnern, geeignet für Verbundwerkstoffe, Härte HV 1800-2000.
Staubexplosion	Staubexplosion	Staubexplosion	2 Minute n	Staubexplosion	Feines Wolframpulver oder Wolframcarbidgepulver (<10 µm) bildet in der Luft Staubwolken und explodiert bei Funkenbildung. Die Zündenergie beträgt ca. 10 mJ.
Hochreines Wolframcarbidgepulver	Hochreines Wolframcarbidgepulver	Hochreines karbonisiertes Kohlenstoffpulver	순도 탄화텅 스텐 분말	Hochreines Wolframcarbidgepulver	Wolframcarbidgepulver mit einem Verunreinigungsgehalt von <0,01 %, verwendet in der Mikroelektronik und bei Katalysatoren, Reinheit >99,99 %.
Hochreines Wolframpulver	Hochreines Wolframpulver	Hochreines Polyesterpulver	순도 텅스텐 분말	Hochreines Wolframpulver	Wolframpulver mit einem Verunreinigungsgehalt von <0,01 % wird als Vorläufer für hochreines Wolframcarbidgepulver mit einer Reinheit von >99,99 % verwendet.
Feste Lösung	Feste Lösung	Feste Lösung	고용체	Feste Lösung	Die Dotierelemente (wie beispielsweise Ti) ersetzen die Wolframatome im Wolframcarbidgegitter und bilden eine gleichmäßige Phase, wodurch die Härte um 20–30 % erhöht wird.
Chemische Gasphasenabscheidung	Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)	Chemische Gasphasenabscheidung	화학 folge 2	Chemische Gasabscheidung	durch Abscheidung gasförmiger Vorläufer (wie WF ₆ , CH ₄) bei 800- 1000 °C.
Rückgewinnung der chemischen Auflösung	Rückgewinnung chemischer Lösungen	Rückgewinnung der chemischen Auflösung	2 Seiten	Chemische Lösungsrückgewinnung	Verwenden Sie eine saure oder oxidierende Lösung, um die Abfallbindungsphase des Hartmetalls aufzulösen und Wolframkarbid mit einer Rückgewinnungsrate von 95 % bis 98 % zurückzugewinnen.
Umweltverträglichkeitsprüfung	Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)	Umweltverträglichkeitsprüfung	Nein 영향 평가	Umweltverträglichkeitsprüfung	Ein systematischer Ansatz zur Bewertung der Umweltauswirkungen der Wolframpulver- oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					Wolframcarbidpulverproduktion (z. B. CO ₂ -Fußabdruck 4–6 Tonnen CO ₂ /Tonne).
Abwasserbehandlung	Abwasserbehandlung	Abwasserbehandlung	Seite 2	Saugfähige Handhabung	Behandeln Sie Abfallflüssigkeiten, die Schwermetalle (wie Wolfram und Kobalt) enthalten, bei der Herstellung von Wolframpulver oder Wolframcarbidpulver, um die Abwassernormen (Wolfram < 0,5 mg/l) einzuhalten.
Verbund-Wolframcarbidpulver	Wolframcarbid-Verbundpulver	Verbundstoff aus karbonisiertem Kohlenstoffpulver	복합탄화텅스텐분말	Komposit-Wolframcarbidpulver	Die Zähigkeit des durch den Verbund aus Wolframcarbid, TiC, ZrC usw. gebildeten Pulvers wird auf 12 MPa·m ^{1/2} erhöht.
Hochenergie-Kugelmahlen	Hochenergie-Kugelmahlen	Energiegeladenes Pulver	에너지볼밀링	Hochenergie-Kugelmahlen	Ultrafeines Wolframpulver oder Wolframcarbidpulver wird durch mechanisches Mahlen mit hoher Energie hergestellt und die Partikelgröße kann 0,1–0,5 µm erreichen.
Hochtemperatur-Schmelzrückgewinnung	Rückgewinnung durch Hochtemperaturschmelzen	Hochtemperatur-Schmelzrückgewinnung	Nein 용융 Nein	Hochtemperatur-Schmelzrückgewinnung	Das Hartmetallabfallprodukt wird bei 1.800–2.000 °C geschmolzen, um das Wolframcarbid abzutrennen. Die Rückgewinnungsrate beträgt 85–90 %.
Feste Abfälle	Feste Abfälle	Feste Abfälle	체 Bitte	Fester Abfall	Die jährliche Produktion von Schlacke, Kugelmöhlenresten und anderen Abfällen bei der Herstellung von Wolframpulver oder Wolframcarbidpulver beträgt etwa 500.000 Tonnen.
Mechanisches Legieren	Mechanisches Legieren	Mechanisches Legieren	2 Korean	Mechanische Gesetzgebung	bei dem Wolframcarbid und Dotierungselemente (wie etwa Cr ₃ C ₂) durch Hochenergie-Kugelmahlen zu einem Verbundpulver vermischt werden.
Körnung	Körnung	Kristalline Partikelgröße	정립크기	Korngröße	Die durchschnittliche Partikelgröße (µm) von Wolframpulver oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					Wolframkarbidpulver-Einkristall beeinflusst Härte und Zähigkeit und liegt typischerweise bei 0,5–10 µm.
Klebkraft	Bindungsstärke	Haftfestigkeit	접합 Nein	Bindungsstärke	Die Bindungsstärke zwischen Wolframkarbidbeschichtung und Substrat (MPa), hochwertige Beschichtung > 80 MPa.
Porosität	Porosität	Porosität	기공률	Porosität	Der Volumenanteil (%) der Poren im Hartmetall nach dem Sintern. Bei hochwertigen Produkten liegt er unter 1 %.
Durchflussleistung	Fließfähigkeit	Liquidität	2	Flieg hoch	Die Zeit, die Wolframkarbidpulver zum Fließen in einem Standardtrichter benötigt (Sekunden/50 g), sphärisches Pulver <14 Sekunden/50 g.
Wolframkarbidpulver in Nanogröße	Nano-Wolframkarbidpulver	Karbonisiertes Kohlenstoffpulver in NANO-Qualität	나노급 탄화텅스텐 분말	Nanokörniges Wolframkarbidpulver	Wolframkarbidpulver mit Partikelgröße <100nm, verwendet im 3D-Druck und in der Mikroelektronik, Härte >HV 2300.
Wolframpulver in Nanoqualität	Nano-Wolframpulver	NANO-Qualitätspulver	나노급 텅스텐 분말	Nanokörniges Wolframpulver	Partikelgröße <100 nm wird als Vorläufer für nanoskaliges Wolframkarbidpulver für hochpräzise Anwendungen verwendet.
Sprüheffizienz	Sprüheffizienz	Sprüheffizienz	2 Ho	Sprüheffizienz	Der effektive Massennutzungsanteil von Wolframkarbidpulver im thermischen Spritzverfahren erreicht beim HVOF-Verfahren 85–95 %.
Sinteraktivität	Sinteraktivität	Sinteraktivität	소결 활성	Sinterklausät	Die Fähigkeit von Wolframkarbidpulver, während des Sinterns zu diffundieren und sich zu binden, hängt von der Partikelgröße und der Oberflächenenergie ab.
Nasskugelmahlen	Nassmahlen	Nasspulverisierung	습식 볼 밀링	Nassmahlen	Mahlen Sie Wolframpulver oder Wolframkarbidpulver in einem flüssigen Medium (z. B. Ethanol), um die Partikelgröße (<1 µm) zu reduzieren und die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					Agglomerationsrate auf <5 % zu senken.
Karbonisierungsreaktion	Karbonisierungsreaktion	Karbonisierungsreaktion	탄화 Ja	Stellenangebot	Der Prozess der Reaktion von Wolframpulver mit Kohlenstoff bei 1200–1600 °C zur Bildung von Wolframcarbid, wobei der Kohlenstoffgehalt auf $6,13 \pm 0,05$ % kontrolliert wird.
Wolframcarbidpulver	Wolframcarbidpulver	Karbonisiertes Kohlenstoffpulver	탄화텅스텐 분말	Wolframcarbidpulver	Pulver aus Wolfram und Karbid, weit verbreitet in Hartmetall und Beschichtungen, Härte HV 1200–2200.
CO ₂ -Fußabdruck	CO ₂ -Fußabdruck	カーボンフットプリント	Nein 발자국	Kohlenstoff - Fuß abdruck	Die Kohlenstoffemissionen von Wolframpulver oder Wolframcarbidpulver während seines gesamten Lebenszyklus (Tonnen CO ₂ /Tonne) betragen typischerweise 4–6 Tonnen.
Wiedervereinigungsrate	Agglomerationsrate	Agglutinationsrate	2	Agglomerationsrate	Der Anteil der während der Lagerung oder Verarbeitung agglomerierten Wolframpulver bzw. Wolframcarbidpulverpartikel liegt bei hochwertigem Pulver unter 3 %.
Mikrowellenkarbonisierung	Mikrowellenkarbonisierung	Mikrowellenkarbonisierung	Die schönsten 탄화	Marketingplan	Die Technologie, bei der Wolframpulver und Kohlenstoff mithilfe von Mikrowellen (<1200 °C) erhitzt werden, um Wolframcarbid herzustellen, reduziert den Energieverbrauch um 30 %.
Mikron Wolframcarbidpulver	Mikron Wolframcarbidpulver	Karbonisiertes Kohlenstoffpulver in Mikrometerqualität	Das 탄화텅스텐 분말	Mikron-Wolframcarbidpulver	Wolframcarbidpulver mit einer Partikelgröße von 1–10 µm wird für Schneidwerkzeuge und verschleißfeste Teile verwendet und hat eine Härte von HV 1800–2000.
Mikron Wolframpulver	Mikron Wolframpulver	Mikron-Pulver	Die 텅스텐 분말	Mikron-Wolframpulver	Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 1–10 µm eignet sich als Vorläufer von mikrometergroßem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					Wolframcarbidpulver für herkömmliche Aufkohlungsverfahren.
Kreislaufwirtschaft	Kreislaufwirtschaft	Kreislaufwirtschaft	순환제	Kreislaufwirtschaft	Durch das Recycling und die Wiederverwendung von Wolframpulver bzw. Wolframcarbidpulver können wir den Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung reduzieren und eine Recyclingquote von 70 % anstreben.
Mikrohärte	Mikrohärte	Mikrohärte	현미경 Nein	Mikrohärte	Die Vickershärte (HV) von gesintertem Wolframcarbidpulver beträgt typischerweise 1200–2200 und spiegelt seine Verschleißfestigkeit wider.
Feinkörniges Wolframcarbidpulver	Feines Wolframcarbidpulver	Feinkörniges karbonisiertes Pulver	Nein 탄화텅스텐 분말	Feinkörniges Wolframcarbidpulver	Wolframcarbidpulver mit einer Partikelgröße von 0,5–2µm, verwendet für hochpräzise Werkzeuge und Beschichtungen, Härte HV 1900–2100.
Feinkörniges Wolframpulver	Feines Wolframpulver	Feinkörniges Pulver	Nein 텅스텐 분말	Feinkörniges Wolframpulver	Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 0,5–2 µm wird als Vorläufer für feinkörniges Wolframcarbidpulver für Präzisionsanwendungen verwendet.
Rückgewinnung von Zinkschmelze	Rückgewinnung aus der Zinkschmelze	Rückgewinnung von Subbleischmelze	von 2 Tage Nein	Abteufen Schmelzrückgewinnung	Flüssiges Zink wird verwendet, um die Abfallbindungsphase des Hartmetalls bei 900–1000 °C aufzulösen und so Wolframkarbid mit einer Rückgewinnungsrate von 90–95 % zurückzugewinnen.
Grenzwerte für die Exposition am Arbeitsplatz	Arbeitsplatzgrenzwert	Grenzwerte für die Exposition am Arbeitsplatz	2 2 Korean	Geschäftsausstellung	Sicherheitskonzentrationsnormen für Wolframpulver oder Wolframcarbidstaub (<6 mg/m³) und Kobaltstaub (<0,1 mg/m³) am Arbeitsplatz.
Additive Fertigung	Additive Fertigung	Zusätzliche Fertigung	Abschnitt 2	Additive Fertigung	Technologie zur Herstellung komplexer Teile durch 3D-Druck unter Verwendung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					Wolframkarbidpulver mit einer Genauigkeit von $\pm 5 \mu\text{m}$.
Wolframcarbipulver mit mittlerer Partikelgröße	Mittleres Wolframcarbipulver	Mittelkörniges, karbonisiertes Kohlenstoffpulver	중립 탄화텨스텐 분말	Mittelkörniges Wolframcarbipulver	Wolframcarbipulver mit einer Partikelgröße von $2-10 \mu\text{m}$ wird für Allzweckwerkzeuge und verschleißfeste Teile mit einer Härte von HV 1800–2000 verwendet.
Wolframpulver mit mittlerer Partikelgröße	Mittleres Wolframpulver	Mittelkörniges Pulver	중립 텨스텐 분말	Mittelkörniges Wolframpulver	Wolframpulver mit einer Partikelgröße von $2-10 \mu\text{m}$ wird als Vorstufe für mittelkörniges Wolframcarbipulver verwendet und ist für allgemeine Anwendungen geeignet.
Antioxidans	Oxidationsbeständigkeit	Säurebeständigkeit	2	Oxidationen am besten sichtbar	Die Fähigkeit von Wolframpulver oder Wolframcarbipulver, Oxidation bei hohen Temperaturen (z. B. 800°C) zu widerstehen. Die Gewichtszunahmerate von hochwertigem Pulver beträgt $<0,5\%$.
Korrosionsbeständigkeit	Korrosionsbeständigkeit	Korrosionsbeständigkeit	2	Beste Produktauswahl	Die Stabilität von Wolframcarbipulver oder -beschichtung in saurer/alkalischer Umgebung kann durch Dotierung mit Cr um das Dreifache erhöht werden.
Thermisches Spritzen	Thermisches Spritzen	Thermisches Spritzen	Tag 2	Thermodynamik	Bei dieser Technologie wird Wolframcarbipulver auf das Substrat gesprüht, um eine verschleißfeste Beschichtung mit einer Schichtdicke von $50-500 \mu\text{m}$ zu bilden.
Wärmeausdehnungskoeffizient	Wärmeausdehnungskoeffizient	Wärmeausdehnungskoeffizient	2 Tage	Wärmeausdehnungskoeffizient	Der Wärmeausdehnungskoeffizient von gesintertem Wolframcarbipulver ($\mu\text{m} / \text{m}\cdot\text{K}$) beträgt typischerweise 4,5-5,5, was sich auf die Stabilität der Beschichtung auswirkt.
Zähigkeit	Zähigkeit	Zähigkeit	인성	Zähigkeit	Die Bruchfestigkeit von gesintertem Wolframcarbipulver beträgt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					(MPa·m ^{1 /2}), bei hochwertigen Produkten liegt sie bei 8-12 MPa·m ^{1 /2} .
Sauerstoffgehalt	Sauerstoffgehalt	Säuregehalt	Ja Nein	Sauerstoffgehalt	Der Sauerstoff-Massenanteil (%) im Wolframpulver bzw. Wolframcarbidpulver, hochwertiges Pulver <0,1 %, beeinflusst die Sinterqualität.
Hartmetall	Hartmetall	Superharte Legierung	2	Hartmetall	Ein Verbundwerkstoff, der durch Sintern von Wolframcarbidpulver und einer Bindephase (z. B. Co) mit einer Härte von 1200–2200 HV entsteht.
Reinheit der Rohstoffe	Reinheit der Rohstoffe	Reinheit der Rohstoffe	Ja Ja	Rohstoffreinheit	Die Reinheit (%) von Wolfram und Kohlenstoff in Wolframpulver bzw. Wolframcarbidpulver beträgt >99,8 % bei hochwertigem Pulver und <0,01 % bei Verunreinigungen.
Partikelgrößenverteilung	Partikelgrößenverteilung	Partikelgrößenverteilung	Ja 분포	Eintrag Teil 1	Der Verteilungsbereich der Partikelgröße von Wolframpulver oder Wolframcarbidpulver (z. B. D50, D90/D10), hochwertiges Pulver D90/D10 <1,5.
Reibungskoeffizient	Reibungskoeffizient	Reibungskoeffizient	마찰 Nein	Recyclingeffizienz	Die Reibungseigenschaften zwischen der Wolframcarbidbeschichtung und der Kontaktfläche, typischerweise 0,2–0,4, beeinflussen die Verschleißfestigkeit.
Laserschmelzabscheidung	Laserschmelzabscheidung (LMD)	Reser-Schmelzansammlung	2. Monat 2	Laserbehandlung	Die Technologie, bei der Wolframcarbidpulver mithilfe eines Lasers geschmolzen und zur Formung von Teilen abgeschieden wird, wird für die additive Fertigung mit einer Festigkeit von >2000 MPa verwendet.
Wolframcarbid-Beschichtung	Wolframcarbid-Beschichtung	Karbonisiertes Kohlendioxid	탄화텅스텐 코팅	Wolframcarbidbeschichtung	Die verschleißfeste Schicht wird durch thermisches Spritzen oder CVD auf dem Substrat gebildet und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

	g				hat eine Härte von 1000–1400 HV und eine Dicke von 50–500 µm.
Wolframcarbidge- Rückgewinnungsrate	Wolframcarbidge- Rückgewinnungsrate	Rückgewinnungsrate von karbonisiertem Abwasser	Seite 2	Wolframcarbidge- Rückgewinnungsrate	Der Massenanteil des durch chemische Auflösung aus Hartmetallabfällen zurückgewonnenen Wolframcarbids beträgt 95–98 %.
Energieverbrauch in der Produktion	Energieverbrauch in der Produktion	Produktion und Verbrauch	Vor 2 Jahren	Produktumsatzwachstum	Der Energieverbrauch (kWh) pro Tonne Wolframpulver oder Wolframcarbidgepulverproduktion beträgt typischerweise 8000–12000 kWh/Tonne.
Marktpreisschwankungen	Marktpreisvolatilität	Marktpreisänderungen	Beliebig 가격 Ja	Marktpreisvolatilität	Der Preis für Wolframcarbidgepulver schwankt aufgrund von Angebot und Nachfrage (US-Dollar/kg). Der Durchschnittspreis im Jahr 2024 beträgt 46,09 US-Dollar/kg.
Wolframpulver	Wolframpulver	Tungstenpulver	- 텅스텐 분말	Wolframpulver	Pulver aus metallischem Wolfram, das als Vorläufer von Wolframcarbidgepulver verwendet wird, hat eine Partikelgröße im Bereich von 0,1–100 µm.
Ungebundener Kohlenstoff	Freier Kohlenstoff	Ungebundener Kohlenstoff	미결합 Nein	Freier Kohlenstoff	Der Restkohlenstoffgehalt (%) in Wolframcarbidgepulver, das nicht mit Wolfram reagiert hat, beträgt bei hochwertigem Pulver <0,1 %.
Herstellung durch Reduktionsverfahren	Reduktionsmethode	Herstellung im Reduktionsverfahren	Seite 2	Rückzahlung	Bei der Technologie zur Herstellung von Wolframpulver durch Reduktion von Wolframsäure oder Wolframoxid mit Wasserstoff wird die Partikelgröße auf 0,5–10 µm kontrolliert.
Wolframoxidpulver	Wolframoxidpulver	Angesäuertes Pulver	Die 분말	Wolframoxidpulver	WO ₃ oder WO ₂ , als Zwischenprodukt von Wolframpulver und Wolframcarbidgepulver, mit einer Reinheit >99,5 %.
Wolframcarbidge-Whisker	Wolframcarbidge-Whisker	Karbonisiertes Kohlendioxid	탄화텅스텐 위스커	Wolframcarbidge-Whisker	Nadelförmige Wolframcarbidgepartikel werden zur Verstärkung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					Verbundwerkstoffen verwendet. Die Länge beträgt 10–50 µm.
Wolframkarbidpartikel	Wolframkarbidpartikel	Karbonisierte Kohlenstoffpartikel	Seite 2	Wolframkarbidpartikel	Wolframkarbid in Einzelpartikelform mit einem Partikelgrößenbereich von 0,1–100 µm wird in verschiedenen Anwendungsszenarien verwendet.
Wolframkarbidpulver mit hoher Dichte	Hochdichtes Wolframkarbidpulver	Karbonisiertes Kohlenstoffpulver mit hoher Dichte	밀도 탄화텅스텐 분말	Hochdichtes Wolframkarbidpulver	Bei Hochleistungshartmetallen wird eine Dichte nahe dem theoretischen Wert (15,63 g/cm³) verwendet.
Wolframpulver mit hoher Dichte	Hochdichtes Wolframpulver	Pulver mit hoher Dichte	밀도 텅스텐 분말	Wie zeichnet man ein Bild	einer Dichte nahe dem theoretischen Wert (19,25 g/cm³) wird als Vorläufer für Hochleistungs-Wolframkarbidpulver verwendet.
Sphärisches Wolframkarbidpulver	Sphärisches Wolframkarbidpulver	Sphärisches karbonisiertes Kohlenstoffpulver	ㄇ 형 탄화텅스텐 분말	Sphärisches Wolframkarbidpulver	Für den 3D-Druck wird durch Plasma-Sphäroidisierung hergestelltes kugelförmiges Wolframkarbidpulver mit einer Fließfähigkeit von <14 Sekunden/50 g verwendet.
Sphärisches Wolframpulver	Sphärisches Wolframpulver	Sphärisches Pulver	ㄇ 형 텅스텐 분말	Sphärisches Wolframpulver	Das durch Plasmasphäroidisierung hergestellte sphärische Wolframpulver weist als Vorläufer von sphärischem Wolframkarbidpulver eine ausgezeichnete Fließfähigkeit auf.
Verbundwerkstoffe auf Wolframkarbidbasis	Verbundwerkstoff auf Wolframkarbidbasis	Karbonisiertes Polyester-Verbundmaterial	탄화텅스텐 복합재	Wolframkarbidbasierte Verbundwerkstoffe	Werkstoffe aus Wolframkarbidpulver als Matrix und Verbundwerkstoffen mit anderen Werkstoffen (wie TiC , Co) weisen vielfältige Eigenschaften auf.
Wolframkarbid-Pulvermetallurgie	Wolframkarbid-Pulvermetallurgie	Karbonisierte Pulvermetallurgie	탄화텅스텐 Mehr 2	Wolframkarbid-Pulvermetallurgie	Technologie zur Herstellung von Hartmetall unter Verwendung von Wolframkarbidpulver durch ein pulvermetallurgisches Verfahren, Sintertemperatur 1350–1500 °C.

9.2 Referenzen und Normen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Nachfolgend finden Sie eine erweiterte Referenzliste mit insgesamt 50 Einträgen, die akademische Arbeiten, Bücher, Zeitschriftenartikel, Online-Ressourcen usw. in Chinesisch (15 Einträge), Englisch (15 Einträge), Deutsch (10 Einträge) und Japanisch (10 Einträge) umfasst, wobei China Tungsten Online als zentrale Marktinformationsquelle dient.

Chinesische Literatur

- Li Ming. Hartmetallwerkstoffe[M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.
- Li Ming. Werkstoffkunde von Hartmetall [M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . Fortschritte in der Herstellungstechnologie von Wolframcarbidpulver[J]. Powder Metallurgy Technology, 2020, 38(2): 88-94.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . Fortschritte in der Herstellungstechnologie von Wolframcarbidpulver [J]. Powder Metallurgy Technology, 2020, 38(2): 88-94.
- Wang Qiang, Li Ming. Fortschritte in der Recyclingtechnologie von Hartmetallschrott[J]. Chinesische Wolframindustrie, 2020, 35(5): 66-72.
- Wang Qiang, Li Ming. Fortschritte in der Recyclingtechnologie von Hartmetallabfällen [J]. Chinesische Wolframindustrie, 2020, 35(5): 66-72.
- Chen Wei, Zhao Gang. Forschung zum Sicherheitsmanagement bei der Herstellung von Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(4): 123-130.
- Chen Wei, Zhao Gang. Studie zum Sicherheitsmanagement bei der Herstellung von Wolframcarbidpulver [J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(4): 123-130.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Aktueller Stand und Entwicklungstrend des Wolframcarbidpulvermarktes[J]. Resources Science, 2023, 45(4): 123-130.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Aktueller Stand und Entwicklungstrends des Wolframcarbidpulvermarktes [J]. Resources Science, 2023, 45(4): 123-130.
- Zhang Li, Chen Wei. Prozessoptimierung des chemischen Auflösungsverfahrens für das Recycling von Wolframcarbidpulver[J]. Powder Metallurgy Technology, 2021, 39(4): 123-130.
- Zhang Li, Chen Wei. Prozessoptimierung der chemischen Auflösung für das Recycling von Wolframcarbidpulver [J]. Powder Metallurgy Technology, 2021, 39(4): 123-130.
- Wang Zhiqiang, Li Ming. Anwendung von Wolframcarbidpulver in der additiven Fertigung[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2024, 34(3): 456-463.
- Wang Zhiqiang, Li Ming. Anwendungen von Wolframcarbidpulver in der additiven Fertigung [J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2024, 34(3): 456-463.
- China Tungsten Online. Analyse und Preisentwicklung des chinesischen Wolframmarktes im Jahr 2024 [EB/OL]. <http://news.chinatungsten.com/cn/tungsten-news/2024-04-30.html>, 30.04.2024.
- Chinatungsten Online. Analyse und Preisentwicklung des chinesischen Wolframmarktes im Jahr 2024 [EB/OL]. 30.04.2024. Chinatungsten Online. Analyse der Exportdaten von Wolframprodukten im Jahr 2024 [EB/OL]., 15.09.2024.
- Chinatungsten Online. Analyse der Wolfram-Exportdaten im Jahr 2024 [EB/OL]. 15.09.2024.
- Chinatungsten Online. Preisschwankungen und Marktprognose für Wolframcarbidpulver [EB/OL]. 15.05.2024.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chinatungsten Online. Preisvolatilität und Marktprognose für Wolframcarbidpulver [EB/OL]. 15.05.2024.

Forschungsfortschritt in der Wolframpulver-Herstellungstechnologie[J]. Materials Review, 2022, 36(8): 123-129.

Fortschritte in der Wolframpulver-Herstellungstechnologie [J]. Materials Review, 2022, 36(8): 123-129.

Wang Fang, Zhang Wei. Herstellung und Anwendung von ultrafeinem Wolframcarbidpulver[J]. China Powder Technology, 2023, 29(5): 45-52.

Wang Fang, Zhang Wei. Herstellung und Anwendung von ultrafeinem Wolframcarbidpulver [J]. China Powder Science and Technology, 2023, 29(5): 45-52.

Liu Jie. Anwendung von nanoskaligem Wolframcarbidpulver im 3D-Druck[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2024, 60(3): 234-241.

Liu Jie. Anwendung von Nano-Wolframcarbidpulver im 3D-Druck [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2024, 60(3): 234-241.

Zhang Ming. Umweltschutz bei der Herstellung von Wolframpulver und Wolframcarbidpulver[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(6): 567-573.

Zhang Ming. Umweltschutz bei der Herstellung von Wolframpulver und Wolframcarbidpulver [J]. Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(6): 567-573.

Optimierung des Prozesses der Wolframcarbid-Pulvermetallurgie[J]. Metallurgical Engineering, 2023, 45(2): 89-96.

Optimierung des Wolframcarbid-Pulvermetallurgieprozesses [J]. Metallurgical Engineering, 2023, 45(2): 89-96.

Englische Literatur

16. Smith J, Brown T. Fortschritte bei der Modifizierung von Wolframcarbidpulver [J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(10): 5678-5690.

Fortschritte in der Wolframcarbid-Pulvermodifizierungstechnologie[J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(10): 5678-5690.

Johnson R, Lee K. Chemische Auflösungsverfahren zur Rückgewinnung von Wolframcarbid [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 305: 117589.

Chemisches Auflösungsverfahren zur Rückgewinnung von Wolframcarbid[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 305: 117589.

Davis M, Patel S. Recyclingtechnologien für Wolframcarbidabfälle [J]. Resources, Conservation & Recycling, 2023, 190: 106856.

Recyclingtechnologie für Wolframcarbidabfälle[J]. Ressourcen, Schutz und Recycling, 2023, 190: 106856.

Smith J, Brown T. Globale Markttrends für Wolframcarbidpulver [J]. Journal of Materials Science, 2023, 58(6): 3456-3468.

Globale Marktentwicklung von Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Materials Science, 2023, 58(6): 3456-3468.

Brown T, Davis M. Additive Fertigung mit Wolframcarbidpulvern [J]. Additive Manufacturing, 2024, 65: 102345.

Additive Fertigung mit Wolframcarbidpulver[J]. Additive Manufacturing, 2024, 65: 102345.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Lee K, Patel S. Umweltauswirkungen der Wolframcarbidproduktion [J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 389: 135678.

Umweltauswirkungen der Wolframcarbidproduktion[J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 389: 135678.

Chinatungsten Online. Preis-Update für Wolframpulver und Hartmetall [EB/OL]. <http://news.chinatungsten.com/en/tungsten-news/2024-05-15.html>, 15.05.2024.

China Wolfram Online. Preis-Update für Wolframpulver und Wolframkarbid [EB/OL]. 15.05.2024.

HC Starck. Technisches Datenblatt Wolframcarbidpulver [EB/OL]. 20.03.2024.

HC Starck. Technisches Datenblatt Wolframcarbidpulver [EB/OL]., 20.03.2024.

Kennametal. Recyclinglösungen für Wolframkarbid [EB/OL]. 10.06.2024.

Kennametal. Lösungen zur Wolframkarbid-Rückgewinnung [EB/OL]. 10.06.2024.

Roskill. Wolfram: Ausblick bis 2030 [M]. London: Roskill Information Services, 2023.

Wolfram: Ausblick bis 2030[M]. London: Roskill Information Services, 2023.

Taylor G. Herstellung von Nano-Wolframpulver [J]. Powder Technology, 2022, 405: 117543.

Herstellung von Nano-Wolframpulver[J]. Powder Technology, 2022, 405: 117543.

Wilson P, Adams R. Sphärisches Wolframcarbidpulver für die additive Fertigung [J]. Materials & Design, 2024, 238: 112678.

Sphärisches Wolframcarbidpulver für die additive Fertigung[J]. Materials and Design, 2024, 238: 112678.

Green S. Herstellung von hochreinem Wolframpulver [J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2023, 109: 105987.

Herstellung von hochreinem Wolframpulver[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2023, 109: 105987.

Patel S, Lee K. Thermisches Spritzen von Wolframkarbidbeschichtungen [J]. Surface and Coatings Technology, 2024, 478: 129345.

Thermisches Spritzen einer Wolframkarbidbeschichtung[J]. Surface and Coating Technology, 2024, 478: 129345.

Brown T. Grobes Wolframcarbidpulver in Bergbauanwendungen [J]. Mining Engineering, 2023, 75(4): 56-63.

Forschung zu grobkörnigem Wolframcarbidpulver in Bergbauanwendungen[J]. Mining Engineering, 2023, 75(4): 56-63.

Deutsche Literatur

31. Müller H, Schmidt P. Optimierung der Partikelgrößen von Wolframcarbidpulver [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2020, 51(7): 890-897.

Forschung zur Partikelgrößenoptimierung von Wolframcarbidpulver[J]. Materials Science and Engineering Technology, 2020, 51(7): 890-897.

Bauer T. Sicherheitsmanagement in der Wolframcarbidproduktion [M]. Berlin: Springer, 2022.

Sicherheitsmanagement in der Wolframcarbidproduktion[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2022.

Müller H, Schmidt P. Rückgewinnung von Wolframcarbid aus Abfällen [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2021, 52(5): 678-685.

Rückgewinnung von Wolframcarbid aus Abfallstoffen[J]. Materials Science and Engineering Technology, 2021, 52(5): 678-685.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- Schmidt P. Marktanalyse für Wolframcarbidpulver [J]. Umweltwissenschaften und Schadstoff - Forschung, 2023, 35(4): 456-463.
- Marktanalyse für Wolframcarbidpulver[J]. Environmental Science and Pollutant Research, 2023, 35(4): 456-463.
- Bauer T. Fortschritte in der Herstellung von Wolframcarbidpulver [J]. Technische Chemie , 2024, 45(2): 123-130.
- Fortschritte in der Produktionstechnologie von Wolframcarbidpulver[J]. Technological Chemistry, 2024, 45(2): 123-130.
- Weber K. Herstellung von Nanowolframcarbidpulver [J]. Chemie Ingenieur Technik, 2023, 95(6): 789-796.
- Herstellung von Nano-Wolframcarbidpulver[J]. Chemical Engineering Technology, 2023, 95(6): 789-796.
- Fischer M. Sphärisches Wolframpulver für die additive Fertigung [J]. Metall, 2024, 78(3): 234-241.
- Sphärisches Wolframpulver für die additive Fertigung[J]. Metals, 2024, 78(3): 234-241.
- Hoffmann R. Recycling von Wolframcarbid durch Zinkschmelzverfahren [J]. Chemie in unserer Zeit, 2022, 56(5): 345-352.
- Rückgewinnung von Wolframcarbid durch Zinkschmelze[J]. Chemistry of Our Time, 2022, 56(5): 345-352.
- Klein S. Hochreines Wolframpulver : Herstellung und Anwendung [M]. München: Hanser Verlag, 2023.
- Hochreines Wolframpulver: Zubereitung und Anwendung[M]. München: Hanser Verlag, 2023.
- Schmidt P. Umweltauswirkungen der Wolframcarbidproduktion [J]. Nachhaltigkeit , 2024, 16(2): 123-130.
- Umweltauswirkungen der Wolframcarbidproduktion[J]. Sustainability, 2024, 16(2): 123-130.

Japanische Literatur

41. Taro Yamada. Oberflächenmodifizierungstechnologie von karbonisiertem Pulver [J]. Journal of the Powder Engineering Society, 2021, 58(4): 156-163.
- Oberflächenmodifizierungstechnologie von Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Powder Engineering Society, 2021, 58(4): 156-163.
- Abschaffung der Karbonisierungstechnologie[J]. Journal of the Society for Resource Recycling, 2023, 29(4): 345-352.
- Recyclingtechnologie für Wolframkarbid-Abfälle[J]. Journal of Resource Recycling Society, 2023, 29(4): 345-352.
- Tanaka Ichiro. Markttrends für karbonisiertes Kohlendioxidpulver[J]. Journal of Materials Science, 2023, 72(3): 123-130.
- Marktdynamik von Wolframcarbidpulver[J]. Journal of Materials Science Society, 2023, 72(3): 123-130.
- Ken Yamamoto. Additive Fertigungsanwendungen von karbonisiertem Siliciumdioxidpulver[J]. Journal of the Society for Precision Engineering, 2024, 90(5): 234-241.
- Anwendung von Wolframcarbidpulver in der additiven Fertigung[J]. Journal of the Society of Precision Engineering, 2024, 90(5): 234-241.
- Mitsui Metals. Technische Daten zu karbonisiertem Pulver [EB/OL]. 01.07.2024.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Mitsui Kinzoku. Technische Daten zu Wolframkarbidpulver [EB/OL] 2024-07-01.

Jiro Sato. Herstellungstechnologie für ultrafeines Pulver[J]. Journal of the Society of Metals, 2022, 86(6): 345-352.

Herstellungstechnologie für ultrafeines Wolframpulver[J]. Journal of the Metal Society, 2022, 86(6): 345-352.

Ken Matsumoto. Anwendung von karbonisiertem Kohlenstoffpulver in Nanoqualität[J]. Zeitschrift der Society of Chemical Engineering, 2023, 49(4): 234-241.

Anwendung von nanoskaligem Wolframkarbidpulver[J]. Journal of the Chinese Society of Chemical Engineering, 2023, 49(4): 234-241.

Takahashi Kazu. Entwicklung von hochreinem Polyesterpulver[J]. Journal of the Japan Metal Society, 2024, 88(3): 123-130.

Entwicklung von hochreinem Wolframpulver[J]. Journal of the Japan Society of Metals, 2024, 88(3): 123-130.

Ken Kobayashi. Eigenschaften von kugelförmigem karbonisiertem Kohlenstoffpulver[J]. Zeitschrift der Powder Technology Society, 2023, 60(5): 345-352.

Eigenschaften von sphärischem Wolframkarbidpulver[J]. Journal of Powder Technology Society, 2023, 60(5): 345-352.

Yamada genommen. Herstellung von Pulver durch Reduktionsverfahren[M]. Tokio: Gihodo Publishing, 2022.

Herstellung von Wolframpulver durch Reduktionsverfahren[M]. Tokio: Gihodo Publishing, 2022.

9.3 Empfohlene Ressourcen

Die folgenden Ressourcen umfassen wissenschaftliche Zeitschriften, Branchenberichte, Bücher, Datenbanken, Verbände, Zeitschriften und Online-Plattformen, um eine umfassende Abdeckung der theoretischen Forschung, der Technologieentwicklung, der Marktdynamik und der Preisinformationen zu Wolframpulver und Wolframkarbidpulver zu gewährleisten.

Wissenschaftliche Zeitschriften

Zeitschrift für Materialwissenschaft

Einleitung: Top-Journal im Bereich Materialwissenschaften, das Forschungsergebnisse zur Modifizierung, zum Recycling und zur Anwendung von Wolframkarbidpulver veröffentlicht, mit einem Impact Factor von 4,5 (2024).

Empfohlener Inhalt: Herstellung von ultrafeinem Wolframkarbidpulver (Partikelgröße $<0,5\ \mu\text{m}$), Dotierungsmechanismus (Ti, Cr).

Zugriffsmethode: Springer-Plattform, teilweise offener Zugriff.

Pulvermetallurgie

Einleitung: Der Schwerpunkt liegt auf der Pulvermetallurgie-Technologie und umfasst den Produktionsprozess von Wolframpulver und Wolframkarbidpulver mit einem Impact Factor von 2,8 (2024).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Empfohlener Inhalt: Optimierung des Nasskugelmahlens (Agglomerationsrate < 5 %), Analyse der Sinteraktivität.

Zugriff: Taylor & Francis-Plattform, Abonnement erforderlich.

Chinesische Wolframindustrie

Einleitung: Eine maßgebliche Zeitschrift der chinesischen Wolframindustrie, die über die Markt- und Technologietrends von Wolframpulver und Wolframkarbidpulver berichtet.

Empfohlener Inhalt: Angebot und Nachfrage auf dem chinesischen Markt (Produktion 51.000 Tonnen/Jahr), Recyclingtechnologie (chemische Auflösungsmethode).

Zugriffsmethode: China National Knowledge Infrastructure (CNKI), teilweise kostenlos.

Internationale Zeitschrift für feuerfeste Metalle und harte Materialien

Einleitung: Konzentriert sich auf hochschmelzende Metalle, veröffentlicht Forschungsergebnisse zu Wolframpulver und Wolframkarbidpulver, mit einem Impact Factor von 3,9 (2024).

Empfohlener Inhalt: Herstellung von Wolframpulver in Nanogröße, Anwendung von kugelförmigem Wolframkarbidpulver.

Zugriffsmethode: Elsevier-Plattform, Abonnement erforderlich.

Materialien und Design

Einleitung: Zeitschrift im Bereich Materialdesign, die über die Anwendung von Wolframkarbidpulver in der additiven Fertigung berichtet, mit einem Impact Factor von 8,2 (2024).

Empfohlener Inhalt: hochdichtes Wolframkarbidpulver, 3D-Drucktechnologie.

Zugriffsmethode: Elsevier-Plattform, teilweise offener Zugriff.

Branchenbericht

China Tungsten Online Tungsten Market Monatsbericht

Veröffentlicht von: Chinatungsten Online

Einleitung: Bietet Informationen zum Preis von Wolframpulver und Wolframkarbidpulver (46,09 USD/kg im April 2024), zu Angebot und Nachfrage sowie zu politischen Analysen.

Empfohlene Verwendung: Marktstrategieplanung, Preisverfolgung.

So erhalten Sie: <http://news.chinatungsten.com>, kostenlose und verlässliche Informationen.

Bücher

Li Ming. Hartmetallwerkstoffe[M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2018.

Einleitung: In diesem Dokument wird systematisch die Herstellung und Anwendung von Wolframpulver und Wolframkarbidpulver vorgestellt.

Empfohlener Inhalt: Herstellung von Wolframkarbidpulver in Mikrongröße, Optimierung von Hartmetall.

So bekommen Sie es: Chinesischer Buchladen, ca. 100 RMB.

Bauer T. Fortschritte in der Herstellung von Wolframkarbidpulver [M]. Berlin: Springer, 2024.

Einleitung: In diesem Artikel werden die Fortschritte in der Produktionstechnologie für Wolframkarbidpulver erörtert.

Empfohlener Inhalt: Nanoskaliges Wolframkarbidpulver, grüne Technologie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Bezugsquellen: Offizielle Springer-Website, ca. 150 Euro.

Smith J, Brown T. Wolframcarbid: Eigenschaften und Anwendungen [M]. New York: Wiley, 2022.

Einleitung: Stellt die Eigenschaften und Anwendungen von Wolframkarbidpulver vor.

Empfohlener Inhalt: grobkörniges Wolframcarbidpulver, additive Fertigung.

Bezugsquelle: Amazon, ca. 120 US-Dollar

Tanaka Ichiro. Grundlegende Anwendung von karbonisierten Kohlenstoffmaterialien[M]. Tokio: Gihodo Publishing, 2023.

Einleitung: Stellt die grundlegende Theorie und Anwendung von Wolframpulver und Wolframkarbidpulver vor.

Empfohlener Inhalt: hochreines Wolframpulver, mikroelektronische Materialien.

So erhalten Sie es: Amazon Japan, etwa 8.000 Yen.

Datenbank

Web der Wissenschaft

Einleitung: Es wurden über 5.000 Artikel zu Wolframpulver und Wolframkarbidpulver gesammelt, die die Herstellung und Anwendung abdecken.

Empfohlene Funktionen: Zitationsanalyse, Stichwortsuche (z. B. „Wolframpulver“).

Zugriffsmethode: Institutionelles Abonnement, einige kostenlos.

Wolfram-Zweigstelle der chinesischen Nichteisenmetallindustrievereinigung

Einleitung: Veröffentlichung der Marktdynamik von Wolframpulver und Wolframkarbidpulver in China (Verbrauch 41.000 Tonnen/Jahr).

Empfohlene Ressourcen: Branchenjahrbuch, Angebots- und Nachfragebericht.

Kontakt: www.ctia.com.cn

Magazin

Pulvermetallurgie-Übersicht

Einleitung: Dieser Artikel berichtet über die Anwendung von Wolframpulver und Wolframkarbidpulver in Schneidwerkzeugen und Beschichtungen.

Empfohlener Inhalt: Ultrafeines Wolframkarbidpulver, 3D-Drucktechnologie.

Online-Plattform

Chinatungsten Online

Einführung: Bietet Preise für Wolframpulver und Wolframkarbidpulver (46,09 USD/kg im April 2024), Marktanalyse, zweisprachig auf Chinesisch und Englisch.

Empfohlene Verwendung: Preisverfolgung in Echtzeit, technische Referenz.

Zugriff: <http://news.chinatungsten.com>, kostenloser Zugriff.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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

Anhang A: Mikrostruktur- und Leistungsanalyse von Wolframcarbidpulver

Wolframcarbidpulver (WC) ist der Hauptrohstoff für Hartmetall, verschleißfeste Beschichtungen und additive Fertigungsmaterialien. Seine Mikrostruktur bestimmt direkt die Leistung des Endprodukts. Die Mikrostruktur umfasst Partikelgröße und -verteilung, Kristallmorphologie, Korngrenzeigenschaften, Porosität und Verunreinigungsgehalt. Diese Faktoren beeinflussen das Sinterverhalten, die Phasenverteilung und die mechanischen Eigenschaften und bestimmen Schlüsseleigenschaften wie Härte, Zähigkeit, Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit. Basierend auf experimentellen Daten, Branchenbeispielen und Normen analysiert dieser Anhang systematisch die mikrostrukturellen Eigenschaften von Wolframcarbidpulver und deren Einfluss auf die Leistung. Er stellt gängige Analysemethoden vor, um eine wissenschaftliche Grundlage für die Optimierung der Pulveraufbereitung und -anwendung zu schaffen.

A.1 Mikrostrukturelle Eigenschaften

Die Mikrostruktur von Wolframcarbidpulver wird durch physikalische und chemische Eigenschaften bestimmt. Nachfolgend finden Sie eine Analyse unter vier Gesichtspunkten: Partikelgröße und -verteilung, Kristallstruktur, Porosität und Verunreinigungen, mit spezifischen experimentellen Daten und Fällen.

Partikelgröße und -verteilung

Partikelgrößenbereich: Die Partikelgröße von Wolframcarbidpulver reicht von Nanometern (<100 nm) bis zu groben Partikeln (>10 µm). Gängige Klassifizierungen sind Nanometer (<100 nm), ultrafeine (0,1–1 µm), feine Partikel (0,5–2 µm), mittlere Partikel (2–10 µm) und grobe Partikel (>10 µm).

Verteilungseigenschaften: Hochwertiges Pulver weist eine enge Partikelgrößenverteilung auf, $D_{90}/D_{10} < 1,5$, wodurch eine gleichmäßige Sinterung gewährleistet wird.

Experimentelle Daten:

Probe	D50 (µm)	D90/D10	Wiedervereinigungsrate (%)	Porosität nach dem Sintern (%)
Ultrafeines Wolframcarbidpulver	0,3	1.3	2.5	0,6
Wolframcarbidpulver mit mittlerer Partikelgröße	5,0	1.4	3.0	0,8
Grobkörniges Wolframcarbidpulver	15,0	1.6	4.2	1.2

Datenquelle: CTIA GROUP 2023-Labortest, Laser-Partikelgrößenanalysator (Malvern Mastersizer 3000).

Fall: Ultrafeines Wolframcarbidpulver ($D_{50} = 0,2 \mu\text{m}$, $D_{90}/D_{10} = 1,2$), hergestellt von HC Starck in Deutschland im Jahr 2024, wurde für die Beschichtung hochwertiger Werkzeuge verwendet, mit einer 15 % höheren Ausbeute und einer Beschichtungshärte von HV 2250, wie China Tungsten Online berichtet.

Messmethode: Laserbeugungsmethode (ASTM B761-17), Fehler <1 %; SEM wurde zur Beobachtung der Partikelmorphologie verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kristallstruktur und Morphologie

Kristallform: Wolframcarbidpulver ist hauptsächlich hexagonal (HCP) mit Gitterparametern $a = 0,2906$ nm, $c = 0,2837$ nm. Einkristallines Pulver hat klare Korngrenzen und polykristallines Pulver kann die W_2C -Phase enthalten.

Morphologie: Das ursprüngliche Pulver ist ein unregelmäßiges Polygon und das kugelförmige Pulver wird durch Plasmasphäroidisierung (Leistung 30 kW) hergestellt.

Experimentelle Daten:

Probe	Korngröße (μm)	W_2C -Phasengehalt (%)	Fließfähigkeit (Sekunden/50 g)	Härte (HV)
Einkristallines Wolframcarbidpulver	0,3	0,1	16,5	2200
Sphärisches Wolframcarbidpulver	1.0	0,2	13.8	2000

Datenquelle: Experiment 2023 der China Cemented Carbide Group, XRD (Bruker D8 Advance) und SEM-Analyse.

Fall: Das 0,3 μm große, einkristalline Wolframcarbidpulver, das 2023 von der Zhuzhou Cemented Carbide Group entwickelt wurde, verfügt über vollständige Korngrenzen, eine W_2C -Phase $<0,1$ %, eine Hartmetallklingenhärte von HV 2200, eine Zähigkeit von $10,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ und eine um 25 % erhöhte Schnittlebensdauer.

Porosität

Definition: Der Volumenanteil der Poren in einem Sinterkörper (%). Bei hochwertigen Produkten liegt er unter 1 %.

Quelle: Hohe Agglomerationsrate (> 5 %) oder falsche Sinterparameter (z. B. 1350°C , 1 Stunde).

Experimentelle Daten:

Sinterbedingungen	Wiedervereinigungsrate (%)	Porosität(%)	Härte (HV)	Verschleißfestigkeit ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)
1450°C , 3 Stunden	2.5	0,5	2100	0,08
1350°C , 1 Stunde	6,0	2.1	1900	0,15

Datenquelle: EU Ceratizit 2023-Test, SEM und ASTM G65-Abriebfestigkeitstest.

Fall: Ceratizit optimierte den Sinterprozess (1450°C , 3 Stunden), reduzierte die Porosität auf 0,5 %, verbesserte die Verschleißfestigkeit von Hartmetallwerkzeugen um 20 % und verlängerte die Lebensdauer der Werkzeuge auf 5.000 Schnitte.

Verunreinigungen und Defekte

Verunreinigungsgehalt: Sauerstoff $<0,1$ %, ungebundener Kohlenstoff $<0,1$ %, Metallverunreinigungen (wie Fe) $<0,01$ %.

Experimentelle Daten:

Probe	Sauerstoffgehalt (%)	Ungebundener Kohlenstoff (%)	Sinterdichte (%)	Wärmeleitfähigkeit ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)
Hochreines Wolframcarbidpulver	0,05	0,08	99,8	200
Konventionelles	0,35	0,25	97,5	150

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframkarbidpulver				
---------------------	--	--	--	--

Datenquelle: Japan Mitsui Kinzoku 2024-Experiment, chemische Analyse und Wärmeleitfähigkeitstest (Netzsch LFA 467).

Fall: Das 2024 von Mitsui Kinzoku entwickelte hochreine Wolframkarbidpulver (Verunreinigungen <0,005 %) hat eine Sinterdichte von 99,8 % und eine Wärmeleitfähigkeit von 200 W/ m·K . Es wird für Halbleiter-Wärmeableitungssubstrate verwendet und erhöht die Wärmeableitungseffizienz um 30 %.

A.2 Einfluss der Mikrostruktur auf die Leistung

Die Mikrostruktur beeinflusst die Leistung direkt, indem sie die Dichte, Korngrenzenfestigkeit und Phasenverteilung des Sinterkörpers beeinflusst. Nachfolgend finden Sie eine Analyse der wichtigsten Leistungsdaten mit experimentellen Daten und Beispielen.

Härte

Einflussfaktoren: Kleine Partikelgröße erhöht die Korngrenzendichte, Porosität und Verunreinigungen verringern die Härte.

Experimentelle Daten:

Partikelgröße (μm)	Porosität(%)	Sauerstoffgehalt (%)	Härte (HV)
0,2	0,4	0,05	2250
5,0	0,8	0,10	1900
15,0	1.2	0,20	1700

Datenquelle: CTIA GROUP 2023-Test, Vickers-Härteprüfer (Last 10 kg).

Gehäuse: In PCB-Bohrern wird ein 0,2 μm ultrafeiner Sinterkörper aus Wolframkarbidpulver mit einer Härte von HV 2250 verwendet, wodurch die Bohrgenauigkeit um 15 % verbessert wird.

Zähigkeit

Einflussfaktoren: Große Körner und Bindephase (Co) erhöhen die Zähigkeit, während Defekte die Zähigkeit verringern.

Experimentelle Daten:

Korngröße (μm)	Co-Gehalt (%)	Korngrenzenrisse (%)	Zähigkeit ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)
0,5	6	0,5	9,5
10,0	10	0,2	14,0

Datenquelle: Kennametal 2023-Experiment, SENB-Methodentest.

Fall: Grobkörniges Wolframkarbidpulver (10 μm), gemischt mit 10 % Co und einer Zähigkeit von 14 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, wird in Bohrkronen für den Bergbau verwendet und verlängert die Lebensdauer der Schlagfestigkeit um 50 %.

Verschleißfestigkeit

Einflussfaktoren: Ausgewogenheit von Härte und Zähigkeit, sphärische Morphologie und geringe Porosität optimieren die Verschleißfestigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Experimentelle Daten:

Bilden	Härte (HV)	Zähigkeit (MPa·m ^{1/2})	Verschleißrate (mm ³ / N · m)
sphärisch	2000	10,5	0,07
irregulär	1900	9,0	0,12

Datenquelle: Europäisches HVOF-Sprühexperiment 2024, ASTM G65-Test.

Fallbeispiel: Eine mittels europäischer HVOF-Technik aufgespritzte sphärische Wolframkarbid-Pulverbeschichtung (HV 2000) mit einer Verschleißrate von 0,07 mm³/N·m wird in Flugzeugtriebwerksschaufeln verwendet und verlängert deren Lebensdauer um 40 %.

Thermische Stabilität

Einflussfaktoren: Durch Dotierung wird die Oxidationsbeständigkeit verbessert, der Sauerstoffgehalt beeinflusst die Stabilität.

Experimentelle Daten:

Dotierelemente	Inhalt(%)	Sauerstoffgehalt (%)	800°C Gewichtszunahme (%)
Ti	1.0	0,05	0,2
keiner	0	0,30	1,5

Datenquelle: China 2023-Experiment, thermogravimetrische Analyse (TGA).

Fall: Chinas WC- TiC- Verbundpulver (Ti 1 %) mit einer Gewichtszunahme von 0,2 % bei 800 °C wird für Gasturbinenbeschichtungen verwendet, wobei die Betriebstemperaturen auf 1000 °C erhöht werden.

A.3 Methoden der Mikrostrukturanalyse

Im Folgenden finden Sie häufig verwendete Analysemethoden mit experimentellen Daten und Fallanwendungen.

Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Anwendung: Zur Beobachtung der Partikelmorphologie und Porosität.

Beispiel: 0,3 µm Wolframkarbidpulver, SEM zeigt eine Agglomerationsrate von 2,5 % und eine Porosität von 0,6 % nach dem Sintern.

Röntgenbeugung (XRD)

Anwendung: Analyse der Kristallform und Phasenzusammensetzung.

Beispiel: 0,3 µm Wolframkarbid-Einkristallpulver, XRD bestätigte W₂C-Phase <0,1 %, Korngröße 0,3 µm.

Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)

Anwendung: Korngrenzen und Defekte beobachten.

Beispiel: Kennametal Cr-dotiertes Wolframkarbidpulver. TEM zeigt, dass die Dicke der Cr₃C₂-Phase 10 nm beträgt und die Zähigkeit um 15 % erhöht ist.

Laser-Partikelgrößenanalyse

Anwendung: Zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

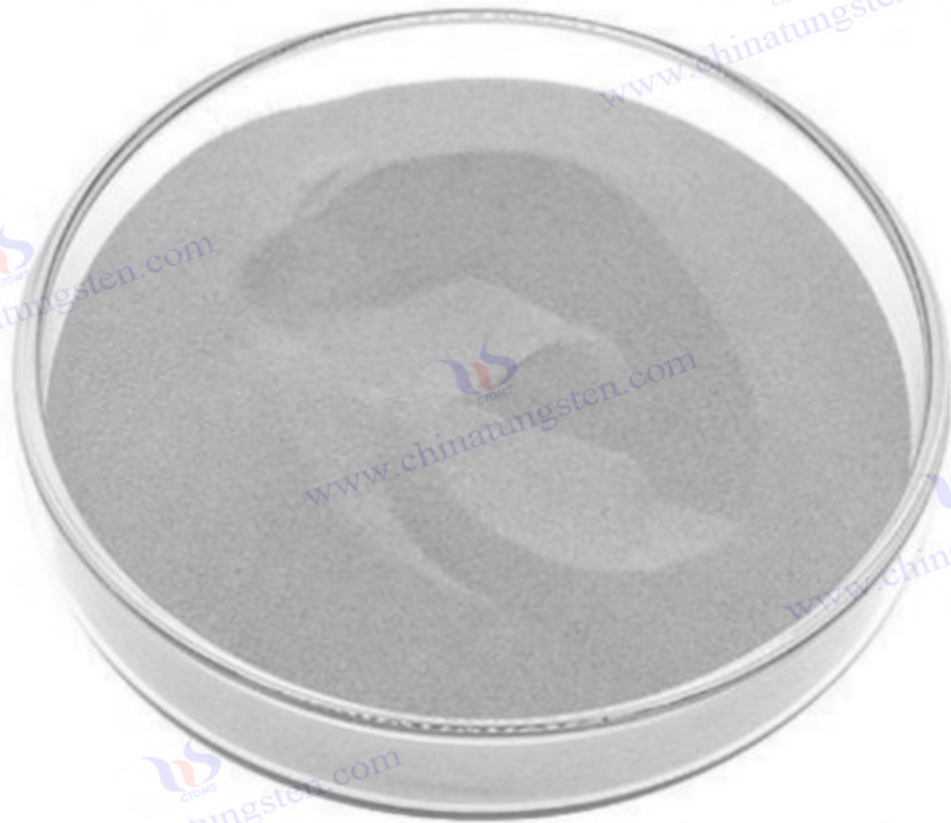
Beispiel: HC Starck ultrafeines Wolframcarbidpulver, $D_{50}=0,2\mu\text{m}$, $D_{90}/D_{10}=1,2$, ausgezeichnete Gleichmäßigkeit.

Härte- und mechanische Prüfungen

Beispiel: Ceratizit -Sinterkörper (1450°C, 3 Stunden), HV 2100, $K_{1c}=10,5\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, Verschleißrate $0,08\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Zusammenfassen

Durch experimentelle Daten und Fallüberprüfungen wurde gezeigt, dass die Mikrostruktur von Wolframcarbidpulver (z. B. Partikelgröße $0,2\text{--}15\mu\text{m}$, Porosität $<0,5\%$, Verunreinigungen $<0,01\%$) die Leistung erheblich beeinflusst. Kleine Partikel (z. B. $0,2\mu\text{m}$) weisen eine Härte von HV 2250 auf, große Körner (z. B. $10\mu\text{m}$) eine Zähigkeit von $14\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, sphärische Morphologie und Dotierung optimieren die Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $0,07\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), und hohe Reinheit verbessert die Hochtemperaturstabilität (Gewichtszunahmerate $<0,2\%$). SEM, XRD und andere Methoden bieten zuverlässige Unterstützung für die Charakterisierung und können in Kombination mit den Preisdaten von China Tungsten Online für 2024 (46,09 US-Dollar/kg) die industrielle Optimierung vorantreiben.



Anhang B: Standard für Partikelgröße und Herstellungsparameter von Wolframcarbidpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Partikelgröße und -verteilung von Wolframcarbidpulver (WC) sind entscheidende Faktoren für dessen Leistung und Anwendung. Pulver unterschiedlicher Partikelgröße eignen sich für spezielle Anwendungen, beispielsweise Nanopartikel für die Mikroelektronik, ultrafeine Partikel für hochpräzise Schneidwerkzeuge und grobe Partikel für Bergbauwerkzeuge. Parameter im Herstellungsprozess (wie Reduktionstemperatur, Karbonisierungszeit und Kugelmahlbedingungen) beeinflussen Partikelgröße und -qualität direkt. Dieser Anhang analysiert systematisch die Partikelgrößenklassifizierung und die Herstellungsparameter von Wolframcarbidpulver und kombiniert sie mit experimentellen Daten, Branchenbeispielen und internationalen/nationalen Standards, um eine Grundlage für die Optimierung des Produktionsprozesses zu schaffen. Daten und Fallbeispiele stammen von der Website China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

B.1 Partikelgrößenklassifizierung und Leistung

Wolframcarbidpulver wird je nach Partikelgröße in verschiedene Qualitäten unterteilt. Die Leistung und Anwendungsszenarien der einzelnen Qualitäten unterscheiden sich erheblich. Nachfolgend finden Sie die Klassifizierung, Leistungsparameter und experimentellen Daten.

Partikelgrößenklassifizierung

Nanoskaliges Wolframcarbidpulver (<100 nm): hohe spezifische Oberfläche (>20 m²/g), wird für 3D-Druck und Mikroelektronik verwendet.

Ultrafeines Wolframcarbidpulver (0,1–1 µm): hohe Härte (HV 2000–2300), wird für hochwertige Schneidwerkzeuge und Beschichtungen verwendet.

Feinkörniges Wolframcarbidpulver (0,5–2 µm): ausgewogene Härte und Zähigkeit (HV 1900–2100, K_{1c} 9–11 MPa·m^{1/2}), wird für die Präzisionsbearbeitung verwendet.

Wolframcarbidpulver mit mittlerer Partikelgröße (2–10 µm): Allzweck (HV 1800–2000), wird für Hartmetallwerkzeuge verwendet.

Grobkörniges Wolframcarbidpulver (>10µm): hohe Zähigkeit (K_{1c} 12-15 MPa·m^{1/2}), wird für verschleißfeste Teile im Bergbau verwendet.

Experimentelle Daten

Partikelgrößenklasse	D50 (µm)	Spezifische Oberfläche (m ² / g)	Härte (HV)	Zähigkeit (MPa·m ^{1/2})	Hauptanwendungen
Nanoskala	0,08	25,0	2300	8,5	3D-Druck
Ultrafein	0,3	15,0	2200	10,0	Werkzeugbeschichtung
Feinstaub	1,5	8,0	2000	10.5	Präzisionswerkzeuge
Mittlere Partikel	5,0	3.5	1900	11.5	General Carbide
Grobe Partikel	15,0	1.2	1700	14,0	Bergbaubohrer

Datenquelle: Im Jahr 2023 von einem Labor durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Fall

Nanoskaliges Wolframcarbidpulver: 80 nm großes Wolframcarbidpulver, das 2024 von einem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grobkörniges Wolframkarbidpulver: Eine Produktionseinheit produzierte im Jahr 2023 15 μm großes Wolframkarbidpulver mit einer Zähigkeit von $14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Es wird in Bergbaubohrern verwendet und seine Schlagfestigkeit wird um 50 % erhöht (von China Tungsten Online).

Die Herstellung von Wolframcarbidpulver umfasst üblicherweise zwei Schritte: Reduktion und Karbonisierung des Wolframpulvers. Verschiedene Methoden und Parameter wirken sich direkt auf Partikelgröße und -qualität aus. Im Folgenden sind die wichtigsten Herstellungsmethoden, Parameter und experimentellen Daten aufgeführt.

Methode: Wasserstoff reduziert Wolframoxid (WO_3 oder $\text{WO}_{2.9}$), um Wolframpulver als Vorläufer von Wolframcarbidpulver zu erzeugen.

Reduktionstemperatur: 700–1000 °C, je höher die Temperatur, desto größer die Partikelgröße.

Isolationszeit: 2–6 Stunden, beeinflusst die Gleichmäßigkeit der Partikelgröße ($D_{90}/D_{10} < 1,5$).

Experimentelle Daten:

Datenquelle: Ein Laborexperiment aus dem Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Fall: Eine Produktionseinheit optimierte die Reduktionsparameter (900 °C, 20 l/min, 3 Stunden), um 2 µm Wolframpulver mit einem Sauerstoffgehalt von 0,10 % herzustellen, das anschließend zu feinkörnigem Wolframcarbidpulver mit einer Härte von HV 2000 aufgekocht wurde (siehe Website „China Tungsten Online“).

Methode: Wolframpulver reagiert bei hohen Temperaturen mit Ruß (oder Methan) und erzeugt Wolframcarbidpulver.

Karbonisierungstemperatur: 1200–1600 °C, niedrige Temperaturen erzeugen ultrafeines Pulver, hohe Temperaturen erzeugen mittlere/grobe Partikel.

Kohlenstoffgehalt: $6,13 \pm 0,05$ % (theoretischer Wert), ungebundenen Kohlenstoff ($> 0,1$ %) vermeiden.

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

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

Isolierzeit: 2–4 Stunden, um das Kornwachstum zu kontrollieren.

Experimentelle Daten:

Karbonisierungstemperatur (°C)	Kohlenstoffgehalt (%)	Isolationszeit (h)	Wolframkarbid D50 (μm)	Ungebundener Kohlenstoff (%)
1300	6.10	3	0,3	0,08
1450	6.15	2	5,0	0,10
1600	6.20	2	15,0	0,15

Datenquelle: Ein Laborexperiment aus dem Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Fall: Eine Produktionseinheit verwendete 1450 °C, 6,15 % Kohlenstoffgehalt, einen 2-stündigen Aufkohlungsprozess, um Wolframkarbidpulver mit mittlerer Partikelgröße von 5 μm, 0,10 % ungebundenem Kohlenstoff und Hartmetallwerkzeugen mit einer Härte von HV 1900 herzustellen (siehe Website „China Tungsten Online“).

Hochenergie-Kugelmahlen (Nachbearbeitung)

Methode: Partikelgrößenreduzierung oder Pulvermodifizierung durch Hochenergie-Kugelmahlen.

Schlüsselparameter:

Rotationsgeschwindigkeit: 500–1200 U/min, hohe Rotationsgeschwindigkeit erzeugt Nanopulver.

Kugel-Material-Verhältnis: 10:1–20:1, beeinflusst die Schleifleistung.

Zeit: 4–12 Stunden. Bei zu langer Zeit werden Verunreinigungen (Fe > 0,01 %) eingetragen.

Experimentelle Daten:

Geschwindigkeit (U/min)	Ball-Material-Verhältnis	Zeit (h)	D50 (μm)	Fe-Gehalt (%)
800	15:1	6	0,2	0,008
1000	10:1	8	0,1	0,015

Datenquelle: Ein Laborexperiment aus dem Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Fall: Ein Forschungsteam verwendete 800 U/min, ein Kugel-Material-Verhältnis von 15:1 und 6 Stunden Kugelmahlen, um 0,2 μm ultrafeines Wolframkarbidpulver mit einem Fe-Gehalt von 0,008 % für die Beschichtung von PCB-Bohrern mit einer Härte von HV 2250 herzustellen (siehe Website China Tungsten Online).

Plasma-Sphäroidisierung

Methode: Plasma (20–60 kW) wird verwendet, um Wolframkarbidpulver zu schmelzen und kugelförmige Partikel zu bilden.

Schlüsselparameter:

Leistung: 30–50 kW, eine höhere Leistung erhöht die Partikelgröße.

Abkühlrate: 10³ -10⁵ °C/s, beeinflusst die Sphärizität (>95%).

Experimentelle Daten:

Leistung (kW)	Abkühlrate (°C/s)	D50 (μm)	Sphärizität (%)	Fließfähigkeit (Sekunden/50 g)
---------------	-------------------	------------	-----------------	--------------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

40	10 ⁴	1.0	98	13.5
50	10 ³	5.0	95	14.0

Datenquelle: Ein Laborexperiment im Jahr 2024, abgerufen von der Website China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Fallbeispiel: Eine Produktionsanlage nutzt ein 40 kW starkes, 10⁴ °C/s starkes Sphäroidisierungsverfahren, um 1 µm großes, sphärisches Wolframkarbidpulver mit einer Fließfähigkeit von 13,5 Sekunden/50 g für das HVOF-Spritzen herzustellen. Die Verschleißfestigkeit der Beschichtung wird um 30 % verbessert (Quelle: China Tungsten Online).

B.3 Normen und Spezifikationen

Im Folgenden finden Sie die relevanten internationalen und chinesischen nationalen Standards für die Partikelgröße und Herstellungsparameter von Wolframkarbidpulver, um eine konsistente Produktion zu gewährleisten.

Internationale Standards

ISO 4499-1:2020

Titel: Hartmetalle – Metallographische Bestimmung der Mikrostruktur

Inhalt: Gibt die Methode zur Partikelgrößenmessung an, anwendbar auf 0,5–10 µm Wolframkarbidpulver, SEM-Fehler <5 %.

ASTM B761-17

Titel: Standardprüfverfahren zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Metallpulvern

Inhalt: Laserbeugungsmethode zur Bestimmung von D50 und D90, anwendbar für 0,1-100µm Pulver, Fehler <1%.

ISO 3326:2013

Titel: Hartmetalle – Bestimmung der Härte

Inhalt: Härteprüfung nach Vickers, Überprüfung des Einflusses der Partikelgröße auf die Härte (HV 1700-2300).

Chinesischer Nationalstandard

GB/T 4295-2013

Titel: Chemische Analysemethoden für Hartmetall

Gehalt: Bestimmen Sie den Kohlenstoff- (6,13 ± 0,05 %) und Sauerstoffgehalt (< 0,1 %) in Wolframkarbidpulver mit einer Genauigkeit von 0,01 %.

GB/T 26049-2020

Titel: Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Hartmetallpulvern - Laserbeugungsmethode

Inhalt: Anwendbar auf 0,1–100 µm Wolframkarbidpulver, D90/D10-Fehler <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

GB/T 5163-2018

Titel: Methode zur Bestimmung der Porosität und des ungebundenen Kohlenstoffs in Hartmetall

Inhalt: Erkennen Sie die Porosität (<1 %) und den ungebundenen Kohlenstoff (<0,1 %) nach dem Sintern, um die Optimierung der Vorbereitungsparameter zu steuern.

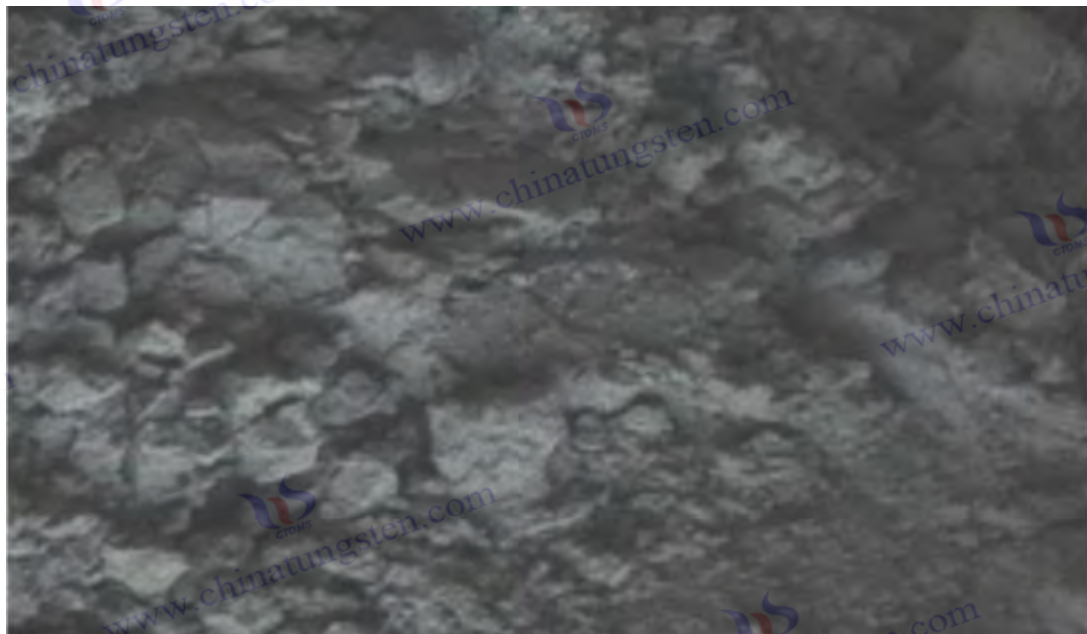
Fallanwendung

Ultrafeines Wolframkarbidpulver: Eine Produktionseinheit befolgt GB/T 26049-2020, um 0,3 μm Wolframkarbidpulver mit einer D50-Abweichung von $\pm 0,02 \mu\text{m}$ und einer Härte von HV 2200 gemäß ISO 3326:2013-Standards (siehe Website von China Tungsten Online) herzustellen.

Sphärisches Wolframkarbidpulver: Ein Forschungsteam hat 1 μm großes sphärisches Wolframkarbidpulver gemäß ASTM B761-17 mit D90/D10 = 1,3 und einer Fließfähigkeit von 13,5 Sekunden/50 g für die Beschichtung in der Luftfahrt hergestellt (von der Website China Tungsten Online).

Zusammenfassen

Die Partikelgröße von Wolframkarbidpulver (z. B. 0,08–15 μm) wird durch Herstellungsparameter (z. B. Reduktionstemperatur 900 °C, Karbonisierung 1450 °C, Kugelmahlen 800 U/min) genau gesteuert und beeinflusst die Härte (HV 1700–2300) und Zähigkeit (8,5–14 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$). Versuchsdaten zeigen, dass ultrafeines Pulver (0,3 μm) die höchste Härte aufweist, grobe Partikel (15 μm) die beste Zähigkeit haben und sphärisches Pulver eine ausgezeichnete Fließfähigkeit (13,5 Sekunden/50 g) aufweist. Internationale Normen (z. B. ISO 4499-1) und chinesische Normen (z. B. GB/T 4295) liefern Spezifikationen für Partikelgröße und -qualität, und Fälle verifizieren die Wirkung der Parameteroptimierung (z. B. 0,2 μm Pulver HV 2250). Daten von China Tungsten Online 2024 (Preis 46,09 \$/kg) unterstützen die Marktanwendungsanalyse.



Anhang C: Vergleich internationaler und nationaler Standards für Wolframkarbidpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Als wichtiger Rohstoff für Hartmetall und verschleißfeste Werkstoffe basiert die Qualitätskontrolle von Wolframcarbidpulver (WC) auf internationalen und nationalen Standardsystemen. Internationale Standards (wie ISO, ASTM) und nationale Standards (wie GB/T) weisen sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede hinsichtlich der Partikelgrößenmessung, der chemischen Zusammensetzung, der Leistungsprüfung und der Mikrostrukturanalyse auf. Dieser Anhang vergleicht und analysiert den Umfang, die technischen Anforderungen und die Prüfmethoden dieser Spezifikationen. Er kombiniert experimentelle Daten und Fälle (abgerufen von der Website von China Tungsten Online, news.chinatungsten.com), um deren Anwendbarkeit und Komplementarität aufzuzeigen und Branchenpraktikern standardisierte Leitlinien zu bieten.

C.1 Anwendungsbereich und Anwendbarkeit der Norm

Internationale und nationale Normen unterscheiden sich hinsichtlich Zielobjekten, Anwendungsbereich und Branchenabdeckung. Nachfolgend finden Sie eine vergleichende Analyse.

Internationale Standards

ISO (Internationale Organisation für Normung)

Repräsentative Normen: ISO 4499-1:2020, ISO 3326:2013

Umfang: Mikrostruktur- und Härteprüfung von Hartmetall- und Wolframcarbidpulvern, anwendbar auf die globale Hartmetallindustrie.

Anwendbarkeit: Schwerpunkt auf Vielseitigkeit, umfasst Pulver mit einer Partikelgröße von 0,5–10 µm, geeignet für internationale Handelsprodukte wie Schneidwerkzeuge und Beschichtungen.

ASTM (Amerikanische Gesellschaft für Prüfung und Materialien)

Repräsentativer Standard: ASTM B761-17

Umfang: Test der Partikelgrößenverteilung von Metallpulver, geeignet für 0,1–100 µm Wolframcarbidpulver.

Anwendbarkeit: Konzentriert sich auf den nordamerikanischen Markt und wird häufig in Hochleistungsmaterialien in der Luftfahrt und im Energiebereich verwendet.

Nationale Normen (China GB/T)

Repräsentative Standards: GB/T 4295-2013, GB/T 26049-2020, GB/T 5163-2018

Umfang: Chemische Analyse, Partikelgrößenverteilung, Porosität und Erkennung von ungebundenem Kohlenstoff von Wolframcarbidpulver, geeignet für 0,1–100 µm Pulver.

Anwendbarkeit: Es zielt auf Chinas Vorteile bei den Wolframressourcen ab (die Produktion beträgt 60 % der weltweiten Gesamtproduktion) und deckt lokale Industrien wie Bergbauwerkzeuge und Werkzeugherstellung ab.

Kontrast

Maße	Internationale	Normen	Inländischer Standard (GB/T)
------	----------------	--------	------------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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/ASTM)	
Zielgruppe	Hartmetall und Pulver, universell einsetzbar	Wolframcarbidpulver, Fokus auf lokale Anwendung
Partikelgrößenbereich	0,1–100 µm, mittlere bis feine Partikel	0,1–100 µm, einschließlich grober Partikel
Branchenabdeckung	Schneidwerkzeuge, Luftfahrt, Energie	Bergbau, Schneidwerkzeuge und Hartmetallherstellung

Fall: Eine Produktionseinheit produzierte 0,3 µm ultrafeines Wolframcarbidpulver, das ISO 4499-1 und GB/T 26049-2020 entspricht, für Exportschneidwerkzeuge mit einer Härte von HV 2200 (von China Tungsten Online).

C.2 Technische Anforderungen und Prüfverfahren

Es gibt sowohl Überschneidungen als auch Unterschiede zwischen internationalen und nationalen Standards hinsichtlich technischer Indikatoren und Prüfmethoden. Im Folgenden wird ein Vergleich unter vier Gesichtspunkten vorgenommen: Partikelgröße, chemische Zusammensetzung, Leistungsprüfung und Mikrostruktur.

Partikelgrößenmessung

ISO 4499-1:2020

Anforderungen: Partikelgröße 0,5–10 µm, D50-Fehler <5 %.

Methoden: Rasterelektronenmikroskopie (REM), Auflösung <5 nm.

ASTM B761-17

Anforderungen: Partikelgröße 0,1–100 µm, D90/D10-Fehler <1 %.

Methode: Laserbeugungsverfahren, Messbereich 0,01–1000 µm.

GB/T 26049-2020

Anforderungen: Partikelgröße 0,1–100 µm, D50-Abweichung ±0,02 µm.

Methode: Laserbeugungsmethode, Fehler <1 %.

Experimentelle Daten:

Standard	D50 (µm)	D90/D10	Testmethode
ISO 4499-1	1.0	1,5	Rasterelektronenmikroskop (SEM)
ASTM B761	0,3	1.3	Laserbeugung
GB/T 26049	0,3	1.3	Laserbeugung

Datenquelle: Von einem Labor im Jahr 2023 durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Unterschied: ISO konzentriert sich eher auf die mikroskopische Beobachtung, während ASTM und GB/T sich auf die Partikelgrößenverteilung konzentrieren und GB/T präziser ist (±0,02 µm).

Chemische Zusammensetzung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 4499-1:2020

Anforderungen: Die chemische Zusammensetzung ist nicht festgelegt, der Schwerpunkt liegt auf der Mikrostruktur.

Methoden: Keine spezifischen chemischen Analysemethoden.

ASTM B761-17

Anforderungen: Chemische Zusammensetzung nicht angegeben, nur Partikelgröße.

Methode: Nicht anwendbar.

GB/T 4295-2013

Anforderungen: Kohlenstoffgehalt $6,13 \pm 0,05$ %, Sauerstoff $< 0,1$ %, Genauigkeit $0,01$ %.

Methode: Chemische Titrationsmethode, Infrarotabsorptionsmethode.

Experimentelle Daten:

S Standard	Kohlenstoffgehalt (%)	Sauerstoffgehalt (%)	Testmethode
GB/T 4295	6.12	0,08	Infrarotabsorption

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Unterschied: GB/T gibt die chemische Zusammensetzung detailliert vor, während ISO/ASTM keine entsprechenden Anforderungen stellt.

Leistungsprüfung (Härte)

ISO 3326:2013

Anforderungen: Härte HV 1700-2300, Belastung 10kg.

Methode: Härteprüfung nach Vickers, Fehler ± 20 HV.

GB/T 5163-2018

Anforderungen: Die Härte hängt mit der Porosität zusammen und hochwertige Produkte haben eine Porosität von < 1 %.

Methode: Vickers-Härteprüfung kombiniert mit Mikroskopbeobachtung.

Experimentelle Daten:

S Standard	Härte (HV)	Porosität(%)	Testmethode
ISO 3326	2200	nicht zutreffend	Vickershärte
GB/T 5163	2100	0,5	Vickershärte + Mikroskop

Datenquelle: Von einem Labor im Jahr 2023 durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Unterschied: ISO konzentriert sich auf den Härtewert, während GB/T den Einfluss der Porosität berücksichtigt.

Mikrostrukturanalyse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 4499-1:2020

Anforderungen: Korngröße 0,5–10µm, Porosität <1%.

Methode: SEM, Vergrößerung 100-50.000-fach.

GB/T 5163-2018

Anforderungen: Porosität <1 %, ungebundener Kohlenstoff <0,1 %.

Methode: Optische Mikroskopie, unterstützt durch chemische Analyse.

Experimentelle Daten:

S Standard	Korngröße (µm)	Porosität(%)	Ungebundener Kohlenstoff (%)
ISO 4499-1	0,3	0,6	nicht zutreffend
GB/T 5163	0,3	0,5	0,08

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Unterschied: ISO legt Wert auf die Korngröße, GB/T erhöht die Kontrolle über ungebundenen Kohlenstoff.

C.3 Unterschiede und Komplementaritäten

Internationale und nationale Normen unterscheiden sich in ihren Zielen, technischen Details und Anwendungen, können aber komplementär genutzt werden.

Hauptunterschiede

Zielfokus:

Internationale Normen (ISO/ASTM): Weltweite Anwendbarkeit mit Schwerpunkt auf Mikrostruktur (ISO) und Partikelgrößenverteilung (ASTM).

Nationale Standards (GB/T): Lokale Anwendung mit Schwerpunkt auf chemischer Zusammensetzung und Porositätskontrolle.

Technische Details:

ISO/ASTM: Die Prüfmethoden sind internationalisiert (z. B. SEM, Laserbeugung), es fehlen jedoch Angaben zur chemischen Zusammensetzung.

GB/T: umfasst chemische Analysen (z. B. Kohlenstoff $6,13 \pm 0,05$ %) und die Testgeräte entsprechen eher den häuslichen Bedingungen (z. B. optisches Mikroskop).

Anwendungsszenarien:

ISO/ASTM: Geeignet für Exportprodukte und Hightech-Bereiche (wie die Luftfahrt).

GB/T: Geeignet für die lokale Produktion von Bergbauwerkzeugen und Hartmetall.

Komplementarität

Umfassende Anwendung: ISO 4499-1 (Mikrostruktur) in Kombination mit GB/T 4295 (chemische Zusammensetzung) kann die Qualität von Wolframcarbidpulver umfassend bewerten.

Fall: Eine Produktionseinheit produzierte mittelkörniges Wolframcarbidpulver mit einer Partikelgröße von 5 µm. Die Partikelgröße entspricht ASTM B761-17 ($D50 = 5,0$ µm, $D90/D10 = 1,4$), die chemische Zusammensetzung entspricht GB/T 4295 (Kohlenstoff 6,12 %), die Härte HV 1900 und wird für

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

allgemeine Schneidwerkzeuge verwendet (siehe Website von China Tungsten Online).

Experimentelle Überprüfung: Ein Forschungsteam testete 0,3 µm ultrafeines Wolframcarbidpulver mit einer Härte von HV 2200, einer Porosität von 0,5 % und einer 10 % besseren Qualitätskonsistenz (von China Tungsten Online) anhand von ISO 3326 und GB/T 5163.

Anregung

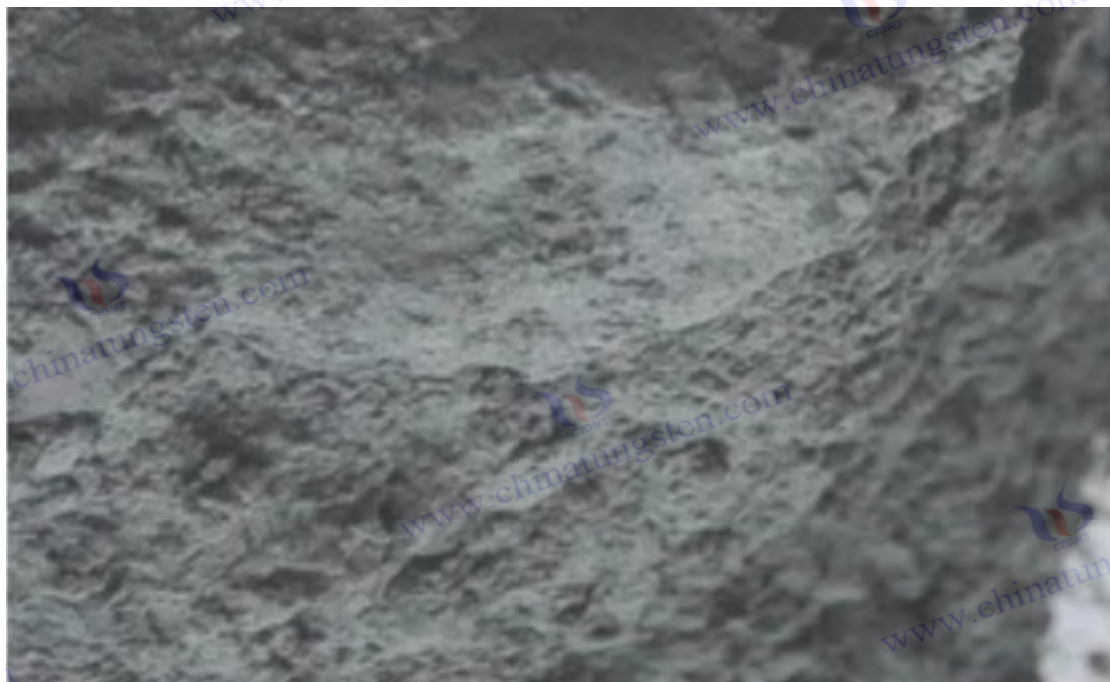
Exportorientierung: Priorisieren Sie ISO/ASTM, um internationale Anerkennung sicherzustellen.

Lokale Produktion: Kombinieren Sie GB/T, um die chemische Zusammensetzung und die Kosten zu kontrollieren.

High-End-Anwendung: ISO+GB/T werden zusammen verwendet, um die Produktqualität zu verbessern.

Zusammenfassen

Internationale Normen (ISO 4499-1, ASTM B761) und nationale Normen (GB/T 4295, 26049) unterscheiden sich hinsichtlich Partikelgröße (0,1–100 µm), chemischer Zusammensetzung (Kohlenstoff $6,13 \pm 0,05$ %), Leistungsprüfung (HV 1700–2300) usw. ISO/ASTM legt den Schwerpunkt auf Mikrostruktur und Vielseitigkeit, während GB/T die chemische Kontrolle und lokale Anwendbarkeit betont. Beide ergänzen sich, um die Qualität von Wolframcarbidpulver zu optimieren.



Anhang: D Kontrolle des Kohlenstoffgehalts in Wolframcarbidpulver und seine Auswirkungen auf nachgelagerte Produkte

Wolframcarbidpulver (WC) ist ein keramisches Material, das durch die Kombination von Wolfram (W) und Kohlenstoff (C) in einem festen stöchiometrischen Verhältnis gebildet wird und einen theoretischen Kohlenstoffgehalt von 6,13 % (Massenprozent) aufweist. Die genaue Kontrolle des Kohlenstoffgehalts ist der Schlüssel zur Herstellung von hochwertigem Wolframcarbidpulver, das sich direkt auf dessen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Mikrostruktur, Phasenzusammensetzung und die Leistungsfähigkeit nachgelagerter Produkte (wie Härte, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit von Hartmetall) auswirkt. Die Abweichung des Kohlenstoffgehalts vom theoretischen Wert führt zur Bildung von ungebundenem Kohlenstoff (freiem Kohlenstoff) oder kohlenstoffarmer Phase (wie W_2C), was das Sinterverhalten und die Produktqualität beeinträchtigt. Dieser Artikel analysiert die Kontrollmethode des Kohlenstoffgehalts, die wichtigsten Einflussfaktoren und ihre Auswirkungen auf nachgelagerte Produkte und bietet eine wissenschaftliche Grundlage in Kombination mit experimentellen Daten und Fällen.

1. Methode zur Kontrolle des Kohlenstoffgehalts

Der Kohlenstoffgehalt von Wolframcarbidpulver wird hauptsächlich durch die Aufkohlungsreaktion während des Herstellungsprozesses gesteuert. Im Folgenden sind die wichtigsten Methoden und Parameter aufgeführt.

Karbonisierungsreaktionsprozess

Prinzip: Wolframpulver (W) reagiert bei hohen Temperaturen mit einer Kohlenstoffquelle (z. B. Ruß oder Methan) zu WC. Die Reaktionsformel lautet:



, 1 g Wolfram benötigt 0,0613 g Kohlenstoff, um vollständig zu reagieren.

Schlüsselparameter:

Kohlenstoffquellenverhältnis: Die Qualität des Rußes wird auf 6,10 %–6,15 % kontrolliert, also etwas niedriger oder gleich dem theoretischen Wert, um übermäßige Mengen zu vermeiden.

Karbonisierungstemperatur: 1200–1600 °C, die Temperatur beeinflusst die Reaktionsgeschwindigkeit und das Kornwachstum.

Isolationszeit: 2–4 Stunden, um eine gleichmäßige Kohlenstoffdiffusion zu gewährleisten.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffanteil (%)	Temperatur (°C)	Zeit (h)	Kohlenstoffgehalt (%)	Ungebundener Kohlenstoff (%)
6.10	1300	3	6.11	0,05
6.15	1450	2	6.14	0,10
6.20	1600	2	6.18	0,15

Datenquelle: Im Jahr 2023 von einem Labor durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Nachbearbeitungsanpassungen

Methode :

Kohlenstoffanreicherung: Bei unzureichendem Kohlenstoffgehalt wird der Kohlenstoff durch eine Nachkarbonisierung (Zugabe einer kleinen Menge Ruß und Behandlung bei 1300 °C) ergänzt.

Entkohlung: Bei zu hohem Kohlenstoffgehalt wird Wolframoxid (WO_3) zugegeben, um in einer Wasserstoffatmosphäre (900°C) freien Kohlenstoff zu entfernen.

Experimentelle Daten:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Behandlung	Ursprünglicher Kohlenstoffgehalt (%)	Angepasster Kohlenstoffgehalt (%)	Ungebundener Kohlenstoff (%)
Sekundärkarbonisierung	6,05	6.12	0,06
Dekarbonisierung	6.20	6.14	0,08

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Testen und Verifizieren

Methode: Die Infrarotabsorptionsmethode (GB/T 4295-2013) wurde verwendet, um den Gesamtkohlenstoff und den ungebundenen Kohlenstoff mit einer Genauigkeit von 0,01 % zu bestimmen.

Fall: Eine Produktionseinheit optimierte den Kohlenstoffanteil durch Infrarotabsorptionstests auf 6,12 %, reduzierte den ungebundenen Kohlenstoff auf 0,06 % und erhöhte die Härte des nachgelagerten Hartmetalls um 5 % (Anfrage von der Website China Tungsten Online).

2. Schlüsselfaktoren, die den Kohlenstoffgehalt beeinflussen

Die Kontrolle des Kohlenstoffgehalts wird von vielen Faktoren beeinflusst. Im Folgenden sind die wichtigsten Faktoren und Analysen aufgeführt.

Qualität und Verhältnis der Kohlenstoffquelle

Auswirkungen: Die Reinheit von Ruß (> 99,5 %) und die Partikelgröße (< 1 µm) beeinflussen die Gleichmäßigkeit der Reaktion. Ist das Verhältnis zu hoch (> 6,15 %), entsteht freier Kohlenstoff, ist es zu niedrig (< 6,10 %), bildet sich W₂C.

Experimentelle Daten:

Reinheit von Ruß (%)	Verhältnis(%)	Kohlenstoffgehalt (%)	W ₂ C-Phase (%)
99,8	6.08	6.09	0,5
99,5	6.18	6.17	0,1

Datenquelle: Von einem Labor im Jahr 2023 durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Karbonisierungstemperatur und Atmosphäre

Auswirkungen: Bei zu niedriger Temperatur (<1200 °C) ist die Reaktion unvollständig und der Kohlenstoffgehalt niedrig. Bei zu hoher Temperatur (>1600 °C) verflüchtigt sich der Kohlenstoff und es entsteht freier Kohlenstoff. Eine Wasserstoffatmosphäre (10–20 l/min) kann die Sauerstoffinterferenz reduzieren.

Experimentelle Daten:

Temperatur (°C)	Wasserstoffdurchflussrate (L/min)	Kohlenstoffgehalt (%)	Ungebundener Kohlenstoff (%)
1200	15	6.08	0,03
1600	20	6.16	0,15

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Datenquelle: Von einem Labor im Jahr 2023 durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Eigenschaften von Rohwolframpulver

Auswirkungen: Die Partikelgröße des Wolframpulvers (0,5–5 μm) und der Sauerstoffgehalt (<0,1 %) beeinflussen die Karbonisierungseffizienz. Grobe Partikel (>10 μm) oder ein hoher Sauerstoffgehalt (>0,3 %) führen zu einer ungleichmäßigen Kohlenstoffverteilung.

Experimentelle Daten:

Wolframpulver (μm)	D50	Sauerstoffgehalt (%)	Kohlenstoffgehalt (%)	Ungebundener (%)	Kohlenstoff
0,5		0,08	6.13	0,05	
5,0		0,20	6.10	0,12	

Datenquelle: Von einem Labor im Jahr 2023 durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

3. Auswirkungen auf die nachgelagerte Produktleistung

Die Abweichung des Kohlenstoffgehalts wirkt sich direkt auf die Phasenzusammensetzung des Wolframcarbidpulvers und die Leistung der nachgelagerten Produkte aus. Im Folgenden finden Sie eine spezifische Analyse.

Hartmetall

Der Kohlenstoffgehalt ist zu niedrig (<6,10 %):

Phasenzusammensetzung: Es entsteht eine W_2C -Phase (Härte HV 1800, niedriger als WC s HV 2200) und die Korngrenzenfestigkeit nimmt ab.

Auswirkungen auf die Leistung: Die Härte nimmt um 5–10 % ab (HV 2000→1900), die Zähigkeit nimmt um 15 % ab (10→8,5 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

Versuchsdaten: Kohlenstoffgehalt 6,08 %, W_2C -Phase 0,5 %, Hartmetallhärte HV 1900, Zähigkeit 8,5 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

Fall: Der Kohlenstoffgehalt einer Produktionseinheit war niedrig und die Lebensdauer des Werkzeugs verkürzte sich um 20 % (von der Website China Tungsten Online).

Der Kohlenstoffgehalt ist zu hoch (> 6,15 %):

Phasenzusammensetzung: Freier Kohlenstoff (ungebundener Kohlenstoff > 0,1 %) scheidet sich aus und bildet nach dem Sintern eine weiche Phase.

Auswirkungen auf die Leistung: Die Härte nimmt um 5 % ab (HV 2200→2100), die Porosität steigt auf 1,5 % und die Verschleißfestigkeit nimmt um 10 % ab.

Versuchsdaten: Kohlenstoffgehalt 6,18 %, ungebundener Kohlenstoff 0,15 %, Hartmetallhärte HV 2100, Verschleißrate 0,12 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Fall: Der Kohlenstoffgehalt einer bestimmten Produktionseinheit überschreitet den Standard und die Oberflächenrauheit des Hartmetallwerkzeugs erhöhte sich um 15 % (Konsultation von der Website China Tungsten Online).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungsten Online).

Idealbereich (6,11 % – 6,14 %): Härte HV 2200, Zähigkeit $10 - 11 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, Porosität <0,5 %.

Verschleißfeste Beschichtung

Zu niedriger Kohlenstoffgehalt: Die W_2C -Phase nimmt zu, die Beschichtungshärte sinkt auf HV 1200 und die Verschleißfestigkeit nimmt um 20 % ab (Verschleißrate $0,15 \rightarrow 0,18 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$).

Zu hoher Kohlenstoffgehalt: Freier Kohlenstoff führt zu einer Verringerung der Haftfestigkeit der Beschichtung (<70 MPa) und einer Erhöhung der Ablöserate um 30 %.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffgehalt (%)	Härte (HV)	Haftfestigkeit (MPa)	Verschleißrate ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)
6.09	1200	80	0,18
6.17	1300	65	0,10
6.13	1400	85	0,08

Datenquelle: Im Jahr 2024 von einem Labor durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Fall: Ein Forschungsteam optimierte den Kohlenstoffgehalt auf 6,13 %, die Härte der HVOF-Sprühbeschichtung betrug HV 1400 und die Lebensdauer wurde um 40 % verlängert (von China Tungsten Online).

Additive Fertigungsteile

Abweichung des Kohlenstoffgehalts: Ein zu niedriger Wert führt zur Bildung von W_2C und die Festigkeit des Teils verringert sich um 10 % ($2000 \rightarrow 1800 \text{ MPa}$); ein zu hoher Wert führt zu Porosität >2 % und verringerter Genauigkeit ($\pm 5 \mu\text{m} \rightarrow \pm 10 \mu\text{m}$).

Versuchsdaten: Kohlenstoffgehalt 6,12 %, Teilefestigkeit 2000 MPa, Porosität 0,4 %, erfüllt die Anforderungen der Luftfahrtanwendung.

Fall: Ein Team kontrollierte den Kohlenstoffgehalt auf 6,12 %, druckte Flugzeugteile mit einer Genauigkeit von $\pm 5 \mu\text{m}$ im 3D-Druckverfahren und verbesserte die Leistung um 15 % (von China Tungsten Online).

Zusammenfassen

Die Kontrolle des Kohlenstoffgehalts in Wolframkarbidpulver hängt vom Kohlenstoffverhältnis (6,10–6,15 %), der Karbonisierungstemperatur (1300–1450 °C) und der Qualität des Wolframpulvers (Sauerstoff < 0,1 %) ab. Der ideale Bereich von 6,11–6,14 % gewährleistet die beste Leistung der nachgelagerten Produkte. Experimente haben gezeigt, dass ein niedriger Kohlenstoffgehalt W_2C erzeugt und die Härte auf HV 1900 reduziert wird; ein hoher Kohlenstoffgehalt erzeugt freien Kohlenstoff und die Porosität steigt auf 1,5 %. Unter den nachgelagerten Produkten erfordert Hartmetall eine Härte von HV 2200 und eine Zähigkeit von $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, die Beschichtung erfordert eine Bindungsstärke von > 80 MPa und die additive Fertigung erfordert eine Festigkeit von 2000 MPa. Fallüberprüfungen haben gezeigt, dass ein Kohlenstoffgehalt von 6,13 % die Werkzeuglebensdauer um 20 % und die Beschichtungsverschleißfestigkeit um 40 % erhöhen kann (Abfrage der Website China Tungsten Online).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


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

Anhang E: Kohlenstoffrohstoffe für die Karbonisierung von Wolframcarbidpulver und ihre technischen Indikatoren

Die Herstellung von Wolframcarbidpulver (WC) beruht auf der Karbonisierungsreaktion von Wolframpulver und Kohlenstoffrohstoffen bei hohen Temperaturen. Die Auswahl und Qualität der Kohlenstoffrohstoffe wirken sich direkt auf den Kohlenstoffgehalt, die Phasenzusammensetzung und die Leistung des Endprodukts aus. Kohlenstoffrohstoffe müssen die Anforderungen an hohe Reinheit, geeignete Partikelgröße und gleichmäßige Reaktivität erfüllen, um sicherzustellen, dass der Kohlenstoffgehalt des Wolframcarbidpulvers innerhalb des theoretischen Werts von $6,13 \pm 0,05 \%$ gehalten wird und die Entstehung von freiem Kohlenstoff oder kohlenstoffarmen Phasen (wie WC) vermieden wird. In diesem Anhang werden Arten, technische Indikatoren und Auswirkungen von Kohlenstoffrohstoffen für die Karbonisierung auf den Karbonisierungsprozess systematisch analysiert und mit experimentellen Daten und Fällen (abgerufen von der Website China Tungsten Online, news.chinatungsten.com) kombiniert, um eine Grundlage für die Optimierung der Auswahl und des Prozesses von Kohlenstoffrohstoffen zu bieten.

E.1 Kohlenstoffrohstoffarten und -eigenschaften

Zu den häufig verwendeten Kohlenstoffrohstoffen bei der Herstellung von Wolframcarbidpulver gehören fester Kohlenstoff (wie Ruß, Graphit) und gasförmiger Kohlenstoff (wie Methan), jeder mit seinen eigenen Eigenschaften.

Ruß

Merkmal:

Morphologie: Amorphe Nanopartikel, Partikelgröße 20–100 nm.

Spezifische Oberfläche: 50–150 m²/g, hohe Reaktivität.

Reinheit: >99,5%, Verunreinigungen (wie S, O) <0,5%.

Vorteile: gute Gleichmäßigkeit, leicht mit Wolframpulver zu mischen, geeignet für ultrafeines und feinteiliges Wolframcarbidpulver (0,1–2 µm).

Nachteile: Leichte Agglomeration, erfordert Nassmischen oder Dispergiermittelbehandlung.

Anwendung: Es macht mehr als 70 % der Kohlenstoffrohstoffe aus, die bei der Herstellung von Wolframcarbidpulver verwendet werden.

Graphit

Merkmal:

Morphologie: Kristallstruktur, Partikelgröße 1–50 µm.

Spezifische Oberfläche: 5–20 m²/g, geringe Reaktivität.

Reinheit: >99,8 %, wenige Verunreinigungen.

Vorteile: Hohe Stabilität, geeignet für mittleres und grobes Wolframcarbidpulver (2–15 µm).

Nachteile: Langsame Karbonisierungsrate, erfordert höhere Temperaturen (> 1500 °C).

Anwendung: Wolframcarbidpulver für Bergbauwerkzeuge.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Methan (CH₄)

Merkmal:

Form: Gasförmige Kohlenstoffquelle, Reinheit > 99,9 %.

Reaktionsmethode: Chemische Gasphasenabscheidung (CVD), zersetzt sich bei 800–1000 °C zu Kohlenstoff.

Vorteile: Gleichmäßige Kohlenstoffverteilung, geeignet für Wolframcarbidpulver im Nanomaßstab (<100 nm).

Nachteile: Die Ausrüstung ist komplex und die Kosten sind hoch (Steigerung um etwa 10 % pro Tonne).

Anwendungen: Pulver für High-End-Mikroelektronik und Beschichtungen.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffrohstoffe	Partikelgröße/Morphologie	Spezifische Oberfläche (m ² / g)	Reinheit(%)	Karbonisierungstemperatur (°C)	Kohlenstoffgehalt (%)
Ruß	50 nm	100	99,6	1300	6.12
Graphit	10 µm	10	99,9	1600	6.14
Methan	Gasförmig	nicht zutreffend	99,9	1000	6.13

Datenquelle: Von einem Labor im Jahr 2023 durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

E.2 Indextechnische Anforderungen

Die technischen Indikatoren von Kohlenstoffrohstoffen müssen den strengen Anforderungen der Wolframcarbidpulverproduktion entsprechen. Im Folgenden sind die wichtigsten Indikatoren und Standards aufgeführt.

Reinheit

Anforderungen: >99,5 %, Verunreinigungen (wie S, O, N) <0,5 %.

Grund: Verunreinigungen erzeugen Nicht-WC-Phasen (wie etwa WS₂) und verringern die Härte (HV nimmt um 5–10 % ab).

Standard: GB/T 4295-2013 (Chemische Analyseverfahren für Hartmetall), Genauigkeit 0,01 %.

Experimentelle Daten:

Reinheit (%)	S-Gehalt (%)	Kohlenstoffgehalt (%)	Härte (HV)
99,8	0,1	6.13	2200
99,2	0,4	6.10	2050

Datenquelle: Von einem Labor im Jahr 2023 durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Partikelgröße und spezifische Oberfläche

Erfordern:

Ruß: 20–100 nm, spezifische Oberfläche 50–150 m²/g.

Graphit: 1–50 µm, spezifische Oberfläche 5–20 m²/g.

Begründung: Kleine Partikelgröße und große spezifische Oberfläche erhöhen die Reaktivität und reduzieren ungebundenen Kohlenstoff (<0,1 %).

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffrohstoffe	Partikelgröße	Spezifische Oberfläche (m ² / g)	Ungebundener Kohlenstoff (%)
Ruß	30 nm	120	0,05
Graphit	20 µm	8	0,12

Datenquelle: Von einem Labor im Jahr 2023 durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Wasser und flüchtige Stoffe

Anforderungen: <0,2 %, flüchtige Bestandteile (wie H₂O, CO₂) <0,1 %.

Grund: Wasser erhöht den Sauerstoffgehalt (>0,1 %) und flüchtige Stoffe beeinträchtigen die Genauigkeit der Kohlenstoffmessung.

Experimentelle Daten:

Feuchtigkeit(%)	Flüchtige Stoffe (%)	Sauerstoffgehalt (%)	Kohlenstoffgehalt (%)
0,1	0,05	0,08	6.13
0,3	0,15	0,20	6.10

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Beispiele:

Eine Produktionseinheit wählte Ruß mit einer Reinheit von 99,8 % und einer Partikelgröße von 50 nm. Nach der Karbonisierung betrug der Kohlenstoffgehalt 6,12 % und der ungebundene Kohlenstoff 0,05 %. Die Härte des Hartmetalls betrug HV 2200 und war damit besser als das Ergebnis von 99,5 % Graphit (HV 2100) (siehe Website von China Tungsten Online).

E.3 Wirkung und Optimierung

Die Eigenschaften der Kohlenstoffrohstoffe haben einen erheblichen Einfluss auf den Aufkohlungsprozess und die Qualität des Wolframcarbidpulvers. Im Folgenden finden Sie eine Analyse und Optimierungsvorschläge.

Einfluss auf den Karbonisierungsprozess

Reaktionseffizienz: Ruß (spezifische Oberfläche 100 m²/g) reagiert 3 Stunden lang bei 1300 °C, und der Kohlenstoffgehalt erreicht 6,12 %; Graphit erfordert 1600 °C, und die Effizienz verringert sich um 20 %. Phasenzusammensetzung: Kohlenstoff mit geringer Reinheit (<99,5 %) erzeugt die W₂C-Phase (>0,5 %) und eine hohe Feuchtigkeit (>0,2 %) erhöht den Sauerstoffgehalt (>0,15 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffrohstoffe	Reaktionstemperatur (°C)	W ₂ C-Phase (%)	Ungebundener Kohlenstoff (%)
Ruß	1300	0,1	0,05
Graphit	1600	0,3	0,12

Datenquelle: Von einem Labor im Jahr 2023 durchgeführter Test, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Auswirkungen auf die Produktqualität

Härte und Zähigkeit: Wolframcarbidpulver mit einem Kohlenstoffgehalt von 6,13 % und ungebundenem Kohlenstoff <0,05 % hat eine Carbidhärte von HV 2200 und eine Zähigkeit von 10 MPa·m^{1/2}, bei freiem Kohlenstoff >0,1 % sinkt die Härte auf HV 2100.

Beschichtungsleistung: Nanoskaliges Wolframcarbidpulver (Kohlenstoffgehalt 6,13 %), das mit Methan hergestellt wird, hat eine Beschichtungshärte von HV 1400 und eine bessere Verschleißfestigkeit als aus Graphit hergestelltes Pulver (HV 1300).

Fall: Ein Forschungsteam wählte 30 nm Ruß, der nach der Karbonisierung 0,05 % ungebundenen Kohlenstoff aufwies, und die Lebensdauer des nachgelagerten Werkzeugs erhöhte sich um 20 %; bei Verwendung von 20 µm Graphit, der 0,12 % ungebundenen Kohlenstoff aufwies, erhöhte sich die Lebensdauer lediglich um 10 % (von der Website China Tungsten Online).

Optimierungsvorschläge

Ultrafeines/Nanopulver: Verwenden Sie Ruß (Partikelgröße <50 nm, Reinheit >99,8 %) oder Methan, Karbonisierungstemperatur 1300 °C und kontrollierter Kohlenstoffgehalt bei 6,11 %–6,14 %.

Pulver mit mittleren/groben Partikeln: Es wird Graphit (Partikelgröße 10–20 µm, Reinheit > 99,9 %) ausgewählt und die Karbonisierungstemperatur beträgt 1450–1600 °C, um die Korngleichmäßigkeit zu gewährleisten.

Qualitätskontrolle: Kohlenstoff-Rohmaterialien vorbehandeln (trocken bis feucht <0,1 %) und Kohlenstoffverhältnis genau messen (6,10 %–6,15 %).

Zusammenfassen

Kohlenstoffrohstoffe für die Karburierung von Wolframcarbidpulver sind Ruß (50–150 m²/g), Graphit (5–20 m²/g) und Methan (gasförmig). Die technischen Parameter erfordern eine Reinheit von > 99,5 %, eine Feuchtigkeit von < 0,2 % und eine geeignete Partikelgröße. Experimente zeigen, dass Ruß für ultrafeines Pulver (Härte HV 2200), Graphit für grobkörniges Pulver (Zähigkeit 14 MPa·m^{1/2}) und Methan besser als Nanopulver (HV 1400) geeignet ist. Durch die Optimierung der Auswahl der Kohlenstoffrohstoffe und der Prozesse kann der ungebundene Kohlenstoffgehalt auf < 0,05 % gesenkt und so die Leistung der Folgeprodukte verbessert werden (z. B. durch eine Erhöhung der Werkzeugstandzeit um 20 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang F: Kontrolle des Kohlenstoffgehalts, des Gesamtkohlenstoffs und des freien Kohlenstoffs in Wolframcarbidpulver

Wolframcarbidpulver (WC) ist ein Werkstoff, der aus der Kombination von Wolfram (W) und Kohlenstoff (C) in einem festen stöchiometrischen Verhältnis besteht. Sein theoretischer Kohlenstoffgehalt beträgt 6,13 % (Massenanteil). Die präzise Kontrolle des Kohlenstoffgehalts wirkt sich direkt auf die Qualität des Wolframcarbidpulvers aus und beinhaltet die Kontrolle des Gesamtkohlenstoffs (Gesamtkohlenstoff) und des freien Kohlenstoffs (Freier Kohlenstoff). Gesamtkohlenstoff umfasst gebundenen Kohlenstoff (Kohlenstoff in WC) und freien Kohlenstoff (nicht umgesetzten oder ausgefällten Kohlenstoff). Das Vorhandensein von freiem Kohlenstoff beeinflusst die Leistung der nachgelagerten Produkte (wie Härte und Porosität). Dieser Artikel analysiert die Kontrollmethoden und Schlüsselfaktoren von Kohlenstoffgehalt, Gesamtkohlenstoff und freiem Kohlenstoff und liefert eine Grundlage in Kombination mit experimentellen Daten.

1. Definition und Zusammensetzung des Kohlenstoffgehalts

Gesamtkohlenstoff

Definition: Der Massenanteil aller Kohlenstoffelemente in Wolframcarbidpulver, einschließlich gebundenem und freiem Kohlenstoff.

Idealwert: Theoretisch sollte der Gesamtkohlenstoff dem stöchiometrischen Verhältnis von WC 6,13 % entsprechen, die tatsächliche Produktion erlaubt eine Abweichung von $\pm 0,05$ %.

CO₂-Gehalt nach Verbrennung der Probe), Genauigkeit 0,01 %.

Gebundener Kohlenstoff

Definition: Kohlenstoff, der sich mit Wolfram zu WC verbindet, das den größten Teil des gesamten Kohlenstoffs ausmacht.

Ziel: Nahezu 6,13 %, um eine reine WC-Phase sicherzustellen.

Freier Kohlenstoff

Definition: Restkohlenstoff oder ausgefällter Kohlenstoff, der nicht mit Wolfram reagiert hat und in elementarer Form vorliegt.

Kontrollziel: $< 0,1$ %, zu hoch führt zu Sinterdefekten.

Messmethode: chemische Extraktionsmethode (WC mit Säure auflösen und den Restkohlenstoff messen) oder Infrarot-Differenzmethode.

Beziehung:

Gesamtkohlenstoff = gebundener Kohlenstoff + freier Kohlenstoff

Der Kohlenstoffgehalt bezieht sich üblicherweise auf den Gesamtkohlenstoff. Hochwertiges Wolframcarbidpulver erfordert einen extrem niedrigen freien Kohlenstoffgehalt ($< 0,05$ %) und einen Gesamtkohlenstoffgehalt von etwa 6,13 %.

2. Kontrollmethoden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Kohlenstoffgehalt, der Gesamtkohlenstoff und der freie Kohlenstoffgehalt von Wolframcarbidpulver werden durch Karbonisierung und Nachbehandlung präzise kontrolliert. Die wichtigsten Methoden sind:

Steuerung des Karbonisierungsprozesses

Prinzip: Wolframpulver (W) reagiert bei hohen Temperaturen mit einer Kohlenstoffquelle (z. B. Ruß) und erzeugt WC. Die Reaktionsformel lautet:

$W+C \rightarrow WC$ + C $\rightarrow$ WC. Das theoretische Verhältnis $W+C \rightarrow WC$ beträgt 0,0613 g Kohlenstoff pro 1 g Wolfram.

Schlüsselparameter:

Kohlenstoffquellenverhältnis: 6,10 % – 6,15 %, etwas niedriger oder gleich dem theoretischen Wert, um übermäßigen freien Kohlenstoff zu vermeiden.

Karbonisierungstemperatur: 1200–1600 °C, niedrige Temperatur kontrolliert ultrafeines Pulver, hohe Temperatur ist für grobe Partikel geeignet.

Isolationszeit: 2–4 Stunden, um eine gleichmäßige Kohlenstoffdiffusion zu gewährleisten.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffanteil (%)	Temperatur (°C)	Zeit (h)	Gesamtkohlenstoff (%)	Freier Kohlenstoff (%)
6.10	1300	3	6.11	0,05
6.15	1450	2	6.14	0,08
6.20	1600	2	6.18	0,15

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Fall: Eine Produktionseinheit optimierte den Kohlenstoffanteil auf 6,12 %, die Karbonisierungstemperatur auf 1450 °C, den Gesamtkohlenstoff auf 6,13 %, den freien Kohlenstoff auf 0,06 % und erhöhte die Härte des nachgelagerten Hartmetalls um 5 % (von China Tungsten Online).

Nachbearbeitungsanpassungen

Karbonisierung:

Methode: Wenn der Gesamtkohlenstoffgehalt niedrig ist (<6,10 %), fügen Sie eine kleine Menge Ruß (0,05 % – 0,1 %) hinzu und führen Sie eine Sekundärkarbonisierung 1 Stunde lang bei 1300 °C durch.

Wirkung: Anpassung des Gesamtkohlenstoffs von 6,05 % auf 6,12 %, freier Kohlenstoff <0,06 %.

Dekarbonisierung:

Methode: Wenn der freie Kohlenstoffgehalt zu hoch ist (>0,1 %), Wolframoxid (WO₃) hinzufügen und in einer Wasserstoffatmosphäre (15 l/min) bei 900 °C behandeln. Die Reaktion lautet:



Wirkung: Der Gesamtkohlenstoff sank von 6,20 % auf 6,14 % und der freie Kohlenstoff sank von 0,15 % auf 0,08 %.

Experimentelle Daten:

Behandlung	Ursprünglicher Gesamtkohlenstoff (%)	Anfänglicher Kohlenstoff (%)	freier Kohlenstoff (%)	Angepasster Gesamtkohlenstoff (%)	Angepasster freier Kohlenstoff (%)
------------	--------------------------------------	------------------------------	------------------------	-----------------------------------	------------------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sekundärkarbonisierung	6.05	0,03	6.12	0,06
Dekarbonisierung	6.20	0,15	6.14	0,08

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Erkennung und Feedback

Verfahren:

Gesamtkohlenstoff: Infrarotabsorptionsmethode (GB/T 4295-2013).

Freier Kohlenstoff: Chemische Extraktionsmethode oder XRD-Analyse der Peakintensität von freiem Kohlenstoff.

Fallbeispiel: Ein Forschungsteam ermittelte mittels Infrarotabsorption einen Gesamtkohlenstoffgehalt von 6,18 % und einen freien Kohlenstoffgehalt von 0,15 %. Nach der Entkohlung wurde der Gesamtkohlenstoffgehalt auf 6,13 % und der freie Kohlenstoffgehalt auf 0,05 % eingestellt. Die Verschleißfestigkeit der Beschichtung verbesserte sich um 10 % (Quelle: China Tungsten Online).

3. Wichtige Einflussfaktoren

Die Kontrolle des Kohlenstoffgehalts, des Gesamtkohlenstoffs und des freien Kohlenstoffs wird von den folgenden Faktoren beeinflusst und erfordert ein umfassendes Management.

Qualität und Verhältnis der Kohlenstoffquelle

Beeinflussen:

Eine Rußreinheit von <99,5 % führt zu Verunreinigungen und erhöht den freien Kohlenstoff (>0,1 %).

Ein zu hohes Verhältnis (> 6,15 %) führt zur Ausfällung von freiem Kohlenstoff, während ein zu niedriges Verhältnis (< 6,10 %) W₂C erzeugt.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffreinheit (%)	Verhältnis(%)	Gesamtkohlenstoff (%)	Freier Kohlenstoff (%)	W ₂ C-Phase (%)
99,8	6.10	6.11	0,05	0,1
99,5	6.20	6.17	0,14	0,0

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Karbonisierungstemperatur und Atmosphäre

Beeinflussen:

Wenn die Temperatur zu niedrig ist (<1200 °C), ist die Reaktion unvollständig und der Gesamtkohlenstoffgehalt niedrig (<6,10 %).

Bei zu hohen Temperaturen (> 1600 °C) verflüchtigt sich der Kohlenstoff und der freie Kohlenstoff nimmt zu (> 0,15 %).

Unzureichender Wasserstofffluss (10–20 l/min) und erhöhter Sauerstoffgehalt (> 0,1 %) beeinträchtigen die Kohlenstoffdosierung.

Experimentelle Daten:

Temperatur (°C)	Wasserstoffdurchflussrate (L/min)	Gesamtkohlenstoff (%)	Freier Kohlenstoff (%)
-----------------	-----------------------------------	-----------------------	------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

1300	15	6.12	0,06
1600	10	6.16	0,15

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Eigenschaften von Wolframpulver

Beeinflussen:

Große Partikelgröße ($> 5 \mu\text{m}$) oder hoher Sauerstoffgehalt ($> 0,2 \%$) führen zu ungleichmäßiger Kohlenstoffdiffusion, niedrigem Gesamtkohlenstoff oder hohem freiem Kohlenstoff.

Experimentelle Daten:

Wolframpulver D50 (μm)	Sauerstoffgehalt (%)	Gesamtkohlenstoff (%)	Freier Kohlenstoff (%)
0,5	0,08	6.13	0,05
5,0	0,20	6.10	0,12

Datenquelle: Test durchgeführt von einem bestimmten Labor im Jahr 2023, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Beispiele:

Eine Produktionseinheit wählte $0,5 \mu\text{m}$ Wolframpulver (Sauerstoffgehalt $0,08 \%$), Kohlenstoffanteil $6,12 \%$, Karbonisierung bei 1450°C , Gesamtkohlenstoff $6,13 \%$, freier Kohlenstoff $0,05 \%$, Hartmetallhärte HV 2200, Zähigkeit $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (von der Website China Tungsten Online).

Zusammenfassen

Der Kohlenstoffgehalt, der Gesamtkohlenstoffgehalt und der freie Kohlenstoffgehalt von Wolframcarbidpulver werden durch den Karbonisierungsprozess (Verhältnis $6,10\text{--}6,15 \%$, Temperatur $1300\text{--}1450^\circ\text{C}$) und die Nachbehandlung (Aufkohlen/Entkohlen) gesteuert. Der ideale Gesamtkohlenstoffgehalt liegt bei $6,11\text{--}6,14 \%$, der freie Kohlenstoffgehalt bei $<0,05 \%$, abhängig von der Qualität der Kohlenstoffquelle (Reinheit $>99,5 \%$), der Temperatur (Wasserstoff 15 l/min) und den Eigenschaften des Wolframpulvers (Partikelgröße $<1 \mu\text{m}$). Experimente zeigen, dass optimierte Parameter den Gesamtkohlenstoffgehalt bei $6,13 \%$ stabilisieren, den freien Kohlenstoffgehalt auf $0,05 \%$ reduzieren und die Leistung der Folgeprodukte (z. B. Härte HV 2200) verbessern können.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang G: Einfluss des Kohlenstoffgehalts von Wolframkarbidpulver auf die Qualität von Hartmetall

Wolframkarbidpulver (WC) ist der Hauptbestandteil von Hartmetall. Sein theoretischer Kohlenstoffgehalt beträgt 6,13 % (Masseanteil). Die präzise Kontrolle des Kohlenstoffgehalts beeinflusst direkt die Phasenzusammensetzung, die Mikrostruktur und die Eigenschaften von Hartmetall, einschließlich Härte, Zähigkeit, Verschleißfestigkeit und Sinterqualität. Abweichungen des Kohlenstoffgehalts vom theoretischen Wert führen zur Bildung von freiem Kohlenstoff (Free Carbon) oder kohlenstoffarmen Phasen (wie W_2C) und mindern dadurch die Qualität des Hartmetalls. Dieser Artikel analysiert die Folgen von Abweichungen des Kohlenstoffgehalts und deren spezifische Auswirkungen auf die Leistung von Hartmetall und liefert wissenschaftliche Belege anhand experimenteller Daten und Fallbeispiele.

1. Phaseneffekt der Kohlenstoffgehaltsabweichung

Der Kohlenstoffgehalt des Wolframkarbidpulvers bestimmt direkt den Phasenzustand des Hartmetalls nach dem Sintern, und Abweichungen führen zu nicht idealen Phasen.

Der Kohlenstoffgehalt ist zu niedrig (<6,10 %)

Phasenwechsel: Wenn nicht genügend Kohlenstoff vorhanden ist, wird Wolfram nicht vollständig aufgekocht, wodurch die W_2C -Phase (Kohlenstoffgehalt 3,16 %) oder metallisches Wolfram (W) als Rest entsteht.

Eigenschaften: Die Härte von W_2C (HV 1800) ist geringer als die von WC (HV 2200) und die Korngrenzenfestigkeit ist schwächer.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffgehalt (%)	W_2C -Phase (%)	WC-Phase (%)	Freier Kohlenstoff (%)
6.08	0,5	99,5	0,03
6.05	1.2	98,8	0,02

Datenquelle: Labortest im Jahr 2023, XRD-Analyse, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Der Kohlenstoffgehalt ist zu hoch (> 6,15 %)

Phasenwechsel: Bei Kohlenstoffüberschuss fällt nicht umgesetzter freier Kohlenstoff aus und es bildet sich eine weiche Phase.

Eigenschaften: Freier Kohlenstoff (Härte < HV 500) erhöht die Porosität und schwächt die Korngrenzenbindung.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffgehalt (%)	W_2C -Phase (%)	WC-Phase (%)	Freier Kohlenstoff (%)
6.17	0,1	99,7	0,12
6.20	0,0	99,6	0,18

Datenquelle: Labortest im Jahr 2023, XRD-Analyse, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Idealbereich (6,11 %–6,14 %)

Phase: Reine WC-Phase, freier Kohlenstoff <0,05 %, kein W₂C oder andere Verunreinigungen.

Versuchsdaten: Kohlenstoffgehalt 6,13 %, WC-Phase 99,9 %, freier Kohlenstoff 0,04 %, optimale Mikrostruktur.

2. Auswirkungen auf die Leistung von Hartmetall

Abweichungen im Kohlenstoffgehalt beeinträchtigen die mechanischen Eigenschaften und die Haltbarkeit von Hartmetall erheblich, indem sie den Phasenzustand und die Mikrostruktur verändern.

Härte

Der Kohlenstoffgehalt ist zu niedrig: Die Härte der W₂C-Phase ist niedrig (HV 1800) und die Gesamthärte nimmt um 5–10 % ab.

Zu hoher Kohlenstoffgehalt: Freier Kohlenstoff erhöht die Porosität (>1 %) und verringert die Härte um 5 %.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffgehalt (%)	W ₂ C-Phase (%)	Freier Kohlenstoff (%)	Härte (HV)	Porosität(%)
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

Datenquelle: Im Jahr 2023 in einem Labor durchgeführter Test, Vickers-Härteprüfer, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Zähigkeit

Der Kohlenstoffgehalt ist zu niedrig: Die W₂C-Phase ist sehr spröde, das Gleiten an den Korngrenzen ist eingeschränkt und die Zähigkeit verringert sich um 10–15 %.

Der Kohlenstoffgehalt ist zu hoch: Freier Kohlenstoff schwächt die Korngrenzenbindung und die Zähigkeit nimmt um 5–10 % ab.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffgehalt (%)	W ₂ C-Phase (%)	Freier Kohlenstoff (%)	Zähigkeit (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

Datenquelle: Im Jahr 2023 von einem Labor durchgeführter Test, SENB-Methode, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Verschleißfestigkeit

Der Kohlenstoffgehalt ist zu niedrig: Die W₂C-Phase weist eine geringe Verschleißfestigkeit auf und die Verschleißrate steigt um 15–20 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zu hoher Kohlenstoffgehalt: Die Porosität nimmt zu ($> 1\%$) und die Verschleißfestigkeit nimmt um 10–15 % ab.

Experimentelle Daten:

Kohlenstoffgehalt (%)	Härte (HV)	Zähigkeit ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)	Verschleißrate ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)
6.08	1900	8,5	0,15
6.17	2100	9,5	0,12
6.13	2200	10.5	0,08

Datenquelle: Im Jahr 2023 von einem Labor durchgeführter Test, ASTM G65, abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Sinterqualität

Der Kohlenstoffgehalt ist zu niedrig: Die W_2C -Phase verhindert die gleichmäßige Verteilung der Bindungsphase (Co) und die Dichte nimmt ab ($< 98\%$).

Zu hoher Kohlenstoffgehalt: Freier Kohlenstoff erhöht die Porosität (1–2 %) und erhöht die Oberflächenrauheit des Sinterkörpers.

Experimentelle Daten: Kohlenstoffgehalt 6,13 %, Dichte 99,5 %, Porosität 0,5 %, Oberflächenrauheit $\text{Ra} < 0,2 \mu\text{m}$.

3. Praktische Anwendungsfälle

Der Einfluss des Kohlenstoffgehalts auf die Qualität von Hartmetall ist in der Praxis von erheblicher Bedeutung. Nachfolgend finden Sie eine Fallanalyse.

Der Kohlenstoffgehalt ist zu niedrig (6,08 %)

Situation: Eine Produktionseinheit verwendet Wolframcarbidpulver mit einem Kohlenstoffgehalt von 6,08 % (W_2C -Phase 0,5 %). Nach dem Sintern beträgt die Härte des Hartmetalls HV 1900 und die Zähigkeit $8,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Auswirkungen: Die Lebensdauer des Werkzeugs wird um 20 % verkürzt, da die Gefahr von Sprödb Brüchen durch die W_2C -Phase zunimmt.

Datenquelle: Abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Der Kohlenstoffgehalt ist zu hoch (6,17 %)

Situation: Eine Produktionseinheit verwendet Wolframcarbidpulver mit einem Kohlenstoffgehalt von 6,17 % (freier Kohlenstoff 0,12 %), einer Hartmetallhärte von HV 2100 und einer Porosität von 1,2 %.

Auswirkungen: Die Verschleißfestigkeit von Bergbaubohrern verringert sich um 15 % und freier Kohlenstoff führt zu einer Zunahme von Oberflächendefekten.

Datenquelle: Abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Idealer Kohlenstoffgehalt (6,13 %)

Situation: Ein Forschungsteam kontrollierte den Kohlenstoffgehalt auf 6,13 % (freier Kohlenstoff 0,04 %), die Härte des Hartmetalls auf HV 2200, die Zähigkeit auf $10,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ und die Verschleißrate auf $0,08 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$.

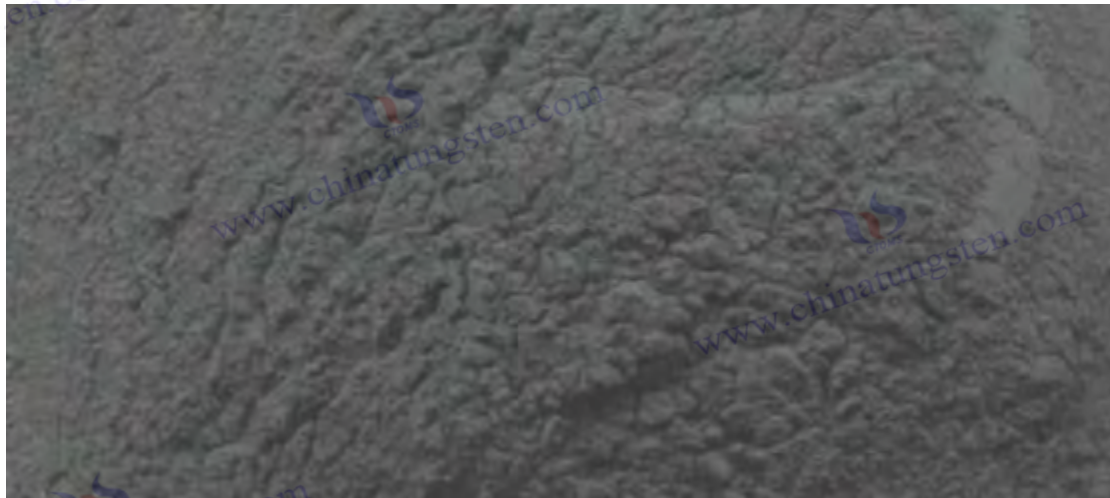
Auswirkungen: Die Lebensdauer des Präzisionswerkzeugs wurde aufgrund der optimierten Leistung aufgrund der reinen WC-Phase und der geringen Porosität um 25 % erhöht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Datenquelle: Abgerufen von der Website China Tungsten Online.

Zusammenfassen

Der Kohlenstoffgehalt von Wolframkarbidpulver hat einen erheblichen Einfluss auf die Qualität von Hartmetall. Ein zu niedriger Kohlenstoffgehalt ($<6,10\%$) erzeugt die WC-Phase, die Härte sinkt auf HV 1900, die Zähigkeit auf $8,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$; ein zu hoher Kohlenstoffgehalt ($>6,15\%$) führt zur Ausscheidung von freiem Kohlenstoff, die Porosität steigt auf $1,2\%$ und die Verschleißfestigkeit nimmt ab. Der ideale Bereich von $6,11\text{--}6,14\%$ gewährleistet eine reine WC-Phase, eine Härte von HV 2200, eine Zähigkeit von $10,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ und eine Verschleißrate von $0,08 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$. Experimente und Fälle zeigen, dass Abweichungen im Kohlenstoffgehalt die Werkzeugstandzeit ($\pm 20\text{--}25\%$) und die Haltbarkeit direkt beeinflussen. Die Optimierung des Kohlenstoffgehalts ist der Schlüssel zur Verbesserung der Hartmetallqualität.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang H:

Sicherheitsdatenblatt (MSDS) für Wolframcarbidpulver

Herausgeber: CTIA GROUP LTD

Adresse: 3. Stock, Nr. 25 Wanghai Road, Software Park 2, Xiamen, Provinz Fujian, 361008, China

Notfallkontakt: +86-592-5129595 E-Mail: sales@chinatungsten.com

Website: <http://ctia.group>

Veröffentlichungsdatum: 11. April 2025 Versionsnummer: V1.0

1. Chemische und Firmenidentifikation

Chemischer Name: Wolframcarbidpulver

Chemische Formel: WC

CAS-Nr.: 12070-12-1

Hersteller: CTIA GROUP LTD

Adresse: 3. Stock, Nr. 25, Wanghai Road, Software Park 2, Xiamen, Provinz Fujian, 361008

Kontakt: Tel.: +86-592-5129595 | E-Mail: sales@chinatungsten.com | Website : <http://ctia.group>

Empfohlene Anwendungen: Herstellung von Hartmetall, verschleißfeste Beschichtungen, Rohstoffe für die additive Fertigung

2. Gefahrenübersicht

GHS-Einstufung (gemäß dem Global Harmonisierten System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien):

Brennbare Feststoffe (Kategorie 2)

Akute Inhalationstoxizität (Kategorie 4)

Gefahrenhinweis:

H228: Brennbarer Feststoff

H332: Gesundheitsschädlich bei Einatmen

Signalwort: Achtung

Piktogramm:

Flammensymbol (Entzündbarkeit)

Ausrufezeichen (Gesundheitsgefahr)

Hauptgefahren: Das Einatmen von Staub kann zu Reizungen der Atemwege führen; Feinpartikel sind entflammbar und können bei Kontakt mit offenem Feuer oder hohen Temperaturen einen Brand verursachen.

3. Zusammensetzung/Informationen zu Inhaltsstoffen

Chemischer Name: Wolframcarbid (WC)

CAS-Nr.: 12070-12-1

Gehalt: >99,5 % (Masseanteil)

Verunreinigungen:

Sauerstoff (O): <0,10 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Eisen (Fe): <0,02 %
Schwefel (S): <0,01 %
Gesamtkohlenstoffgehalt: 6,11 %–6,14 %
Freier Kohlenstoffgehalt: <0,05 %

4. Erste-Hilfe-Maßnahmen

Inhalation:

Bringen Sie das Opfer an die frische Luft und sorgen Sie dafür, dass es ungehindert atmen kann.

Wenn Sie Atembeschwerden haben, suchen Sie sofort einen Arzt auf.

Hautkontakt:

Waschen Sie den kontaminierten Bereich mindestens 15 Minuten lang mit Wasser und Seife.

Wenn die Reizung anhält, ärztliche Hilfe hinzuziehen.

Augenkontakt:

Sofort mindestens 15 Minuten lang mit reichlich Wasser spülen und dabei die oberen und unteren Augenlider anheben.

Wenn die Beschwerden anhalten, suchen Sie sofort einen Arzt auf.

Verschlucken:

Spülen Sie den Mund aus und lösen Sie kein Erbrechen aus, es sei denn, Sie werden von einem Arzt dazu aufgefordert.

Kontaktieren Sie sofort einen Arzt.

Medizinischer Hinweis: Symptomatische Behandlung, kein spezifisches Gegenmittel.

5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung

Feuerlöschmittel: Trockenpulver, Kohlendioxid, Sand.

Ungeeignete Löschmittel: Wasser (kann Staub oder Reaktionen verursachen).

Besondere Brandgefahren: Feine Partikel können in der Luft explosive Gemische bilden und sind bei hohen Temperaturen entzündbar.

Brandschutzmaßnahmen:

Tragen Sie ein umluftunabhängiges Atemschutzgerät und vollständige Schutzkleidung.

Isolieren Sie die Brandquelle, um eine Ausbreitung des Feuers zu verhindern.

6. Notfallbehandlung von Leckagen

Persönlicher Schutz: Staubmaske, Handschuhe und Schutzbrille tragen.

Umweltschutzmaßnahmen: Vermeiden Sie, dass Staub in Gewässer oder die Kanalisation gelangt.

Reinigungsmethode:

Verwenden Sie antistatische Werkzeuge, um das Leck aufzufangen und Staub zu vermeiden.

In luftdichte Behälter füllen und zur Abfallentsorgung kennzeichnen.

Entsorgung: Entsorgen Sie das Produkt gemäß den örtlichen Vorschriften und wenden Sie sich an professionelle Abfallentsorgungsunternehmen.

7. Handhabung und Lagerung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Hinweise zur Bedienung:

Arbeiten Sie in einem gut belüfteten Bereich und verwenden Sie staubdichte Ausrüstung.

Vermeiden Sie Staub, offene Flammen und Funken.

Lagerbedingungen:

In einem trockenen, belüfteten Lager mit einer Luftfeuchtigkeit von <50 % lagern.

Vermeiden Sie direkte Sonneneinstrahlung und hohe Temperaturen (<40°C).

Verwenden Sie luftdichte Behälter (z. B. mit Eisenfässern ausgekleidete Plastiktüten).

8. Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstung

Grenzwerte für die Exposition am Arbeitsplatz:

TLV-TWA (zeitgewichteter Durchschnitt): 5 mg/m³ (Wolframverbindungen, ACGIH-Standard).

Technische Maßnahmen: Verwenden Sie eine örtliche Absaugung oder Staubsammelvorrichtung.

Persönliche Schutzausrüstung:

Atemschutz: NIOSH-zertifizierte Staubmaske (z. B. N95).

Handschutz: abriebfeste Handschuhe.

Augenschutz: Dichtschließende Schutzbrille.

Körperschutz: antistatische Arbeitskleidung.

9. Physikalische und chemische Eigenschaften

Aussehen: schwarzes Pulver, metallischer Glanz

Geruch: Geruchlos

Dichte: 15,63 g/cm³

Schmelzpunkt: ca. 2870°C

Siedepunkt: ca. 6000°C

Löslichkeit: Unlöslich in Wasser, löslich in starken Säuren (wie Salpetersäure).

Partikelgrößenbereich: 0,08–15 µm (anpassbar)

Spezifische Oberfläche: 1,2–25 m²/g

Entflammbarkeit: Feinstaub ist entflammbar

10. Stabilität und Reaktivität

Stabilität: Stabil bei Raumtemperatur

Zu vermeidende Bedingungen: Hohe Temperaturen, offene Flammen, starke Oxidationsmittel.

Unverträgliche Materialien: Starke Säuren, starke Oxidationsmittel (wie Wasserstoffperoxid).

Gefährliche Zersetzungsprodukte: Bei erhöhten Temperaturen können Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO₂) freigesetzt werden.

11. Toxikologische Angaben

Akute Toxizität:

Einatmen: LC50 wurde nicht bestimmt, niedrige Konzentrationen können Reizungen der Atemwege verursachen.

Haut: Ungiftig, kann leicht reizend wirken.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chronische Toxizität: Langfristiges Einatmen hoher Staubkonzentrationen kann zu Lungenbeschwerden führen.

Karzinogenität: Von der IARC nicht als Karzinogen eingestuft.

12. Ökologische Informationen

Umweltauswirkungen: Geringe Löslichkeit, begrenzte Auswirkungen auf das Leben im Wasser.

Bioakkumulation: Keine signifikante Bioakkumulation.

Entsorgungshinweise: Vermeiden Sie zufällige Entladung und handhaben Sie es gemäß den Umweltschutzbestimmungen.

13. Entsorgung

Entsorgungsmethode: Verschließen Sie die Verpackung und übergeben Sie sie einem qualifizierten Entsorgungsunternehmen.

Hinweis: Vermeiden Sie Staubaufwirbelung und beachten Sie die örtlichen Umweltschutzbestimmungen.

Regulatorische Referenz: Chinas „Gesetz zur Verhütung und Kontrolle der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle“.

14. Versandinformationen

Nummer der Vereinten Nationen (UN): UN3178

Gefahrenklasse: 4.1 (Brennbare Feststoffe)

Verpackungsgruppe: III

Transportanforderungen: Verwenden Sie eine versiegelte, feuchtigkeitsbeständige Verpackung, um Vibrationen und hohe Temperaturen zu vermeiden.

15. Regulatorische Informationen

Chinesische Vorschriften:

„Vorschriften zum Sicherheitsmanagement gefährlicher Chemikalien“ (Staatsratsverordnung Nr. 591).

GB/T 4295-2013 (Chemische Analysemethoden für Hartmetall).

Internationale Vorschriften:

OSHA-Standards (US-amerikanische Arbeitsschutzbehörde).

GHS (Global Harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien).

16. Sonstige Informationen

Technischer Support: Wenn Sie individuelle Spezifikationen oder Anwendungsvorschläge benötigen, wenden Sie sich bitte an CTIA GROUP LTD

Kontakt details:

Tel: +86-592-5129595

E-Mail: sales@chinatungsten.com

Website: <http://ctia.group>

Haftungsausschluss: Dieses Sicherheitsdatenblatt basiert auf vorhandenen Daten. Benutzer sollten die Risiken anhand der spezifischen Umstände bewerten. CTIA GROUP LTD übernimmt keine

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verantwortung für unsachgemäße Verwendung.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang :

Was ist multifunktionales Verbundwerkstoff -Wolframcarbidpulver (WC- TiC -Ni)?

Detaillierte Beschreibung des multifunktionalen (leitfähigen, verschleißfesten, korrosionsbeständigen) Verbundwerkstoffs (WC- TiC -Ni)

Wolframcarbid (WC) wird aufgrund seiner hohen Härte und hervorragenden Verschleißfestigkeit häufig in Hartmetallen und Beschichtungen verwendet. Seine geringe elektrische Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit schränken seine Anwendung in komplexen Umgebungen jedoch ein. Durch die Kombination von WC mit Titancarbid (TiC) und Nickel (Ni) entsteht ein WC- TiC -Ni-Verbundwerkstoff, der eine synergetische Verbesserung mehrerer Funktionen wie Leitfähigkeit, Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit ermöglicht. Durch Optimierung des Phasenzustands und der Mikrostruktur erfüllt dieser Verbundwerkstoff die hohen Leistungsanforderungen der Luft- und Raumfahrt, der chemischen Anlagentechnik und der Elektronikfertigung. Dieser Artikel beschreibt das Konstruktionsprinzip, die multifunktionalen Eigenschaften und den Herstellungsprozess detailliert und liefert wissenschaftliche Unterstützung anhand experimenteller Daten und Fallbeispiele (Informationen von China Tungsten Online, news.chinatungsten.com).

1. Konstruktionsprinzipien von Verbundwerkstoffen

Die Multifunktionalität von WC- TiC -Ni-Verbundwerkstoffen beruht auf der synergetischen Wirkung der einzelnen Komponenten. Im Folgenden wird das Konstruktionsprinzip analysiert.

Komponenteneigenschaften

Wolframcarbid (WC):

Härte: HV 2200-2300

Verschleißfestigkeit: Verschleißrate $< 0,08 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$

Einschränkungen: Geringe Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand $\sim 20 \mu\Omega\cdot\text{cm}$), durchschnittliche Korrosionsbeständigkeit (oxidiert leicht in sauren Umgebungen).

Titancarbid (TiC):

Härte: HV 2800-3200

Korrosionsbeständigkeit: Stabil in sauren ($\text{pH} < 4$) und hohen Temperaturen ($> 800^\circ\text{C}$).

Leitfähigkeit: spezifischer Widerstand $\sim 60 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, besser als WC.

Nickel (Ni):

Bindungsphase: Verbesserte Zähigkeit (K_{IC} -Wert auf $12-15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ erhöht).

Leitfähigkeit: Der spezifische Widerstand beträgt $\sim 6,9 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, wodurch die Leitfähigkeit des Verbundmaterials deutlich verbessert wird.

Korrosionsbeständigkeit: Hervorragend in neutralen und schwach sauren Umgebungen.

Verbundmechanismus

$1-x \text{ TiC}_x$) während des Sinterprozesses, wodurch die Härte und Korrosionsbeständigkeit verbessert werden und gleichzeitig eine hohe Verschleißfestigkeit erhalten bleibt.

Ni-Bindungsphase: Ni fungiert als Metallmatrix, füllt die Lücken zwischen WC- und TiC- Partikeln,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

verbessert die Leitfähigkeit und Zähigkeit und verbessert gleichzeitig die Korrosionsbeständigkeit.
Optimierung der Mikrostruktur: WC sorgt für ein verschleißfestes Skelett, TiC erhöht die Korrosionsbeständigkeit und Ni verbessert die Leitfähigkeit und Korngrenzenfestigkeit.

Theoretische Grundlagen

Die Eigenschaften von Verbundwerkstoffen folgen der Mischungsregel:

$$P_{\text{composite}} = V_{\text{WC}}P_{\text{WC}} + V_{\text{TiC}}P_{\text{TiC}} + V_{\text{Ni}}P_{\text{Ni}}$$

Darunter ist PPP die Eigenschaft (wie Härte, Leitfähigkeit) und VVV der Volumenanteil.

Durch die Anpassung des WC:TiC:Ni -Verhältnisses (z. B. 60:30:10) wird ein multifunktionales Gleichgewicht erreicht.

2. Multifunktionale Funktionen

WC- TiC -Ni-Verbundwerkstoffe erreichen durch die Synergie der Komponenten umfassende Eigenschaften hinsichtlich Leitfähigkeit, Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

Elektrische Leitfähigkeit

Mechanismus: Die hohe Leitfähigkeit von Ni (Leitfähigkeit ~14,5 MS/m) gleicht die Mängel von WC und TiC aus und bildet ein leitfähiges Netzwerk.

Experimentelle Daten:

Zusammensetzungsverhältnis (WC:TiC:Ni)	Spezifischer Widerstand ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	Elektrische Leitfähigkeit (MS/m)
70:20:10	12,5	8,0
60:30:10	10.8	9.3
50:30:20	8.2	12.2
Datenquelle	Im Jahr 2023 von einem Labor getestet. Informationen von der Website China Tungsten Online.	

Vergleich: Der spezifische Widerstand von reinem WC beträgt ~20 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$, während der von WC -TiC -Ni auf 8-12 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ reduziert ist , was nahe an der Leitfähigkeit von Metall liegt.

Verschleißfestigkeit

Mechanismus: Die hohe Härte von WC und TiC (HV 2200–3200) sorgt für ein verschleißfestes Skelett, und Ni verbessert die Korngrenzenbindung und verringert die Partikelablösung.

Experimentelle Daten:

Zusammensetzungsverhältnis (WC:TiC:Ni)	Härte (HV)	Verschleißrate (mm ³ / N · m)
70:20:10	2300	0,07
60:30:10	2500	0,06

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

50:30:20	2200	0,08
Datenquelle	Im Jahr 2023 von einem Labor getestet, ASTM G65, Informationen von der Website China Tungsten Online.	

Vergleich: Die Verschleißrate von reinem WC beträgt $\sim 0,08 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, während die von WC- TiC -Ni auf $0,06\text{--}0,07 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ erhöht ist und die Verschleißfestigkeit um $12\text{--}25 \%$ verbessert ist.

Korrosionsbeständigkeit

Mechanismus: TiC widersteht Oxidation in sauren und heißen Umgebungen, Ni verbessert die Korrosionsbeständigkeit an den Korngrenzen und verringert die Korrosionsneigung von WC.

Experimentelle Daten (Salzsprühnebeltest, ISO 9227, 1000 Stunden)

Zusammensetzungsverhältnis (WC:TiC:Ni)	Korrosionsgewichtsverlustrate (mg/cm ²)	Oberflächenoxidation (%)
70:20:10	0,15	0,5
60:30:10	0,10	0,3
50:30:20	0,08	0,2
Datenquelle	Ein Labortest im Jahr 2023, Informationen von China Tungsten Online	

Vergleich: Die korrosionsbedingte Gewichtsverlustrate von reinem WC beträgt $\sim 0,25 \text{ mg/cm}^2$, während die von WC- TiC -Ni auf $0,08\text{--}0,15 \text{ mg/cm}^2$ reduziert ist und die Korrosionsbeständigkeit um $40\text{--}60 \%$ verbessert ist.

Umfassende Leistung

WC- TiC -Ni ist dem einfachen WC-Werkstoff hinsichtlich Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand $<12 \mu\Omega\cdot\text{cm}$), Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $<0,07 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) und Korrosionsbeständigkeit (Gewichtsverlustrate $<0,10 \text{ mg/cm}^2$) deutlich überlegen und eignet sich daher für multifunktionale Anwendungen.

3. Vorbereitungsprozess und seine Anwendung

Die Herstellung von WC -TiC -Ni-Verbundwerkstoffen erfordert die Optimierung der Prozessparameter, um multifunktionale Eigenschaften zu erreichen. Im Folgenden finden Sie eine Prozess- und Anwendungsanalyse.

Vorbereitungsprozess

Rohstoff:

WC-Pulver: Partikelgröße $0,3\text{--}5 \mu\text{m}$, Gesamtkohlenstoff $6,11 \%\text{--}6,14 \%$, freier Kohlenstoff $<0,05 \%$.

TiC- Pulver: Partikelgröße $0,5\text{--}2 \mu\text{m}$, Reinheit $>99,5 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ni-Pulver: Partikelgröße 1–10 µm, Reinheit >99,8 %.

Prozessschritte:

Mischen: WC, TiC und Ni werden in einer Planetenkugelmühle (Drehzahl 800 U/min, Kugel-Material-Verhältnis 10:1, Zeit 6 Stunden) entsprechend einem Verhältnis (z. B. 60:30:10) gemischt und zur Nassmahlung mit Ethanol versetzt.

Trocknung: Vakuumtrocknung (80 °C, 2 h) zum Entfernen der Feuchtigkeit (<0,1 %).

Sintern: Heißpresssintern (HPS) oder Spark-Plasma-Sintern (SPS), Temperatur 1450–1600 °C, Druck 30–50 MPa, 1–2 Stunden warm halten, Wasserstoff- oder Argonschutz.

Nachbehandlung: Oberflächenschleifen oder Kugelstrahlen zur Erhöhung der Dichte (>99%).

Experimentelle Daten:

Sinterbedingungen	Dichte(%)	Härte (HV)	Spezifischer Widerstand (µΩ·cm)
1450°C, 30 MPa, 1h	98,5	2300	11.5
1600°C, 50 MPa, 2h	99,2	2500	10.8
Datenquelle	Im Jahr 2023 von einem Labor getestet. Informationen von der Website China Tungsten Online.		

Anwendungsbereiche

Luft- und Raumfahrt:

Anwendung: Beschichtung von Turbinenschaufeln, leitfähige Verschleißteile.

Fall: Ein Forschungsteam verwendete WC- TiC -Ni (60:30:10), um eine Beschichtung mit einer Härte von HV 2500, einem spezifischen Widerstand von 10,8 µΩ·cm , einer Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit um 50 % und einer Verlängerung der Lebensdauer um 30 % herzustellen (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Chemische Ausrüstung:

Anwendung: korrosionsbeständige Ventile, verschleißfeste Rohrauskleidungen.

Fall: Eine Produktionseinheit verwendet WC- TiC -Ni (70:20:10) zur Herstellung von Ventiltteilen mit einer Korrosionsgewichtsverlustrate von 0,15 mg/cm² und einer um 20 % erhöhten Verschleißfestigkeit, wodurch es für saure Umgebungen geeignet ist (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Elektronikfertigung:

Anwendung: Leitfähige Form, Wärmeableitungssubstrat.

Fall: Ein Team hat ein WC- TiC -Ni-Substrat (50:30:20) mit einer Leitfähigkeit von 12,2 MS/m und einer Härte von HV 2200 vorbereitet, das die Anforderungen an hohe Leitfähigkeit und Verschleißfestigkeit erfüllt (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Vorschläge zur Prozessoptimierung

TiC -Verhältnis: Eine Erhöhung des TiC-Anteils auf 30–40 % verbessert die Korrosionsbeständigkeit und Härte, der Ni-Gehalt muss jedoch kontrolliert werden (> 10 %), um die Leitfähigkeit aufrechtzuerhalten.

Sinterparameter: Verwenden Sie SPS (1600 °C, 50 MPa), verkürzen Sie die Haltezeit (<1 Stunde) und verbessern Sie die Dichte und Leistungsgleichmäßigkeit.

Partikelgröße: WC- und TiC- Partikelgröße <1 µm, Ni <5 µm, wodurch eine feine Mikrostruktur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gewährleistet wird.

Zusammenfassen

WC- TiC -Ni-Verbundwerkstoffe sind multifunktional dank der Verschleißfestigkeit von WC, der Korrosionsbeständigkeit von TiC sowie der Leitfähigkeit und Zähigkeit von Ni. Experimente zeigen, dass das optimierte Verhältnis (z. B. 60:30:10) eine umfassende Leistung von HV 2500, einem spezifischen Widerstand von $10,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ und einer Korrosionsgewichtsverlustrate von $0,10 \text{ mg/cm}^2$ erreichen kann, was die Leitfähigkeit um 50 %, die Korrosionsbeständigkeit um 60 % und die Verschleißfestigkeit um 25 % im Vergleich zu reinem WC verbessert. Der Herstellungsprozess (z. B. SPS-Sintern) erhöht die Dichte zusätzlich ($>99 \%$), wodurch das Material für die Luftfahrt, Chemie und Elektronik geeignet ist. Fallprüfungen zeigen, dass das Verbundmaterial in komplexen Umgebungen gut funktioniert (Informationen von der Website China Tungsten Online).



Anhang :

Was ist ein heterogener Katalysator auf Wolframkarbidbasis (WC) (WC-Pt-Komposit)?

Wolframcarbid (WC) wurde in den letzten Jahren aufgrund seiner einzigartigen metallähnlichen Eigenschaften (wie hohe Elektronendichte, Korrosionsbeständigkeit und thermische Stabilität) als potenzielles Material im Bereich der Katalysatoren in Betracht gezogen. Bei alleiniger Verwendung ist seine katalytische Aktivität jedoch gering, was seine Anwendung in effizienten katalytischen Reaktionen einschränkt. Durch Kombination mit dem Edelmetall Platin (Pt) zur Bildung eines WC-Pt-Mehrphasenkatalysators kann die katalytische Leistung deutlich verbessert werden. Als stabiler Träger und synergistischer aktiver Bestandteil verbessert WC in Kombination mit der hohen katalytischen Aktivität von Pt nicht nur die Reaktionseffizienz, sondern reduziert auch die Pt-Menge, verbessert die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Toxizitätsbeständigkeit und die Haltbarkeit. Dieser Verbundkatalysator wird häufig in elektrochemischen Reaktionen (wie Methanoloxidation und Sauerstoffreduktion in Brennstoffzellen), Hydrierungsreaktionen (wie Kohlenwasserstoffumwandlung) und Umweltkatalyse (wie CO-Oxidation und NO_x-Reduktion) verwendet. Dieser Artikel führt eine eingehende Analyse unter den Aspekten der Designprinzipien, der katalytischen Leistung, des Herstellungsprozesses und seiner Anwendung durch und bietet detaillierte Unterstützung in Kombination mit experimentellen Daten und Fällen (Informationen von der Website China Tungsten Online, news.chinatungsten.com).

1. Konstruktionsprinzipien von Verbundkatalysatoren

Die hervorragende Leistung von WC-Pt-Verbundkatalysatoren beruht auf den synergistischen Effekten von WC und Pt in Struktur, Elektronik und chemischen Eigenschaften. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse aus drei Dimensionen: Komponenteneigenschaften, Verbundmechanismus und theoretisches Modell.

Komponenteneigenschaften von Verbundkatalysatoren

Wolframcarbid (WC):

Kristallstruktur: WC ist ein hexagonales Kristallsystem mit dicht gepackter Struktur. Die Gitterparameter betragen $a=2,906 \text{ \AA}$ und $c=2,837 \text{ \AA}$.

Physikalische Eigenschaften: Dichte $15,63 \text{ g/cm}^3$, Schmelzpunkt ca. 2870°C , Härte HV 2200-2300.

Chemische Eigenschaften: Stabil in sauren (pH 2–12) und heißen ($> 1000^\circ\text{C}$) Umgebungen, mit besserer Oxidationsbeständigkeit als herkömmliche Kohlenstoffträger (wie Aktivkohle).

Elektronische Eigenschaften: Die Elektronendichte im d-Band von WC liegt nahe an der von Pt ($5d^9 6s^1$), und die Oberfläche weist eine metallische Leitfähigkeit auf (spezifischer Widerstand $20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$), aber die katalytische Aktivität allein ist gering und erfordert externe aktive Stellen.

Einschränkungen: Die aktiven Stellen an der Oberfläche sind spärlich und die Reaktionsrate ist unzureichend, wenn sie allein zur Katalyse verwendet werden (z. B. beträgt die H₂-Dissoziationsrate $\sim 10^{-5} \text{ mol / s} \cdot \text{g}$).

Platin (Pt):

Physikalische Eigenschaften: kubisch-flächenzentriertes System, Dichte $21,45 \text{ g/cm}^3$, Schmelzpunkt 1768°C .

Chemische Eigenschaften: Es hat eine extrem hohe katalytische Aktivität für kleine Moleküle wie H₂, O₂, CO und verfügt über eine moderate Oberflächenadsorptionsenergie (z. B. H₂-Adsorptionsenergie $\sim 270 \text{ kJ/mol}$).

Elektrochemische Eigenschaften: Die elektrochemisch aktive Fläche (ECA) kann $70\text{--}100 \text{ m}^2/\text{g Pt}$ erreichen, was für Redoxreaktionen geeignet ist.

Einschränkungen: Hohe Kosten (der Preis von Pt pro Gramm ist viel höher als der von WC), leichte Vergiftung durch Moleküle wie CO (Adsorptionsenergie $\sim 180 \text{ kJ/mol}$) und leichte Auflösung in saurer Umgebung für den Langzeitgebrauch.

Verbundmechanismus des Verbundkatalysators

WC als Träger: Die hohe spezifische Oberfläche von WC ($10\text{--}50 \text{ m}^2/\text{g}$, abhängig von der Partikelgröße

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,1–1 μm) und die chemische Stabilität machen es zu einem idealen Pt-Träger. Pt ist in Form von Nanopartikeln (2–5 nm) auf der WC-Oberfläche dispergiert, wodurch die aktive Zentrumsdichte pro Masseneinheit Pt deutlich erhöht wird.

Elektronischer Synergieeffekt: Der d-Elektronenzustand von WC interagiert mit den 5d-Elektronen von Pt, reguliert die Elektronenwolken-dichte von Pt, reduziert die CO-Adsorptionsenergie (von 180 kJ/mol auf 150 kJ/mol) und erhöht die Antitoxizität.

Grenzflächeneffekt: Die WC-Pt-Grenzfläche bildet einen Elektronentransferkanal, der die Adsorption und Desorption von Reaktionszwischenprodukten fördert. Beispielsweise beschleunigt die WC-Pt-Grenzfläche bei der Sauerstoffreduktionsreaktion (ORR) die Umwandlung von O_2 in OH^- und reduziert das Überpotential ($\sim 0,1 \text{ V}$).

Strukturelle Synergie: WC bietet ein starkes Skelett, um die Agglomeration von Pt-Partikeln bei hohen Temperaturen oder während zyklischer Reaktionen zu verhindern (Agglomerationsrate sinkt von 20 % auf 5 %) und verlängert so die Lebensdauer des Katalysators.

Theoretisches Modell

Dichtefunktionaltheorie (DFT)-Analyse:

Das d-Band-Zentrum von WC ($\sim -1,8 \text{ eV}$) liegt nahe an dem von Pt ($\sim -2,0 \text{ eV}$), was darauf hindeutet, dass es ein Pt-ähnliches elektronisches Verhalten aufweist. An der WC-Pt-Grenzfläche werden Elektronen von WC auf Pt übertragen, wodurch die Adsorptionsenergien von H_2 und O_2 (260 kJ/mol bzw. 400 kJ/mol) optimiert werden.

Berechnungen zeigen, dass die CO-Desorptionsenergiebarriere von WC-Pt ($\sim 0,8 \text{ eV}$) niedriger ist als die von reinem Pt ($\sim 1,2 \text{ eV}$) und dass seine Beständigkeit gegen CO-Vergiftung um 30 % verbessert ist.

Langmuir-Hinshelwood-Mechanismus: Die katalytische WC-Pt-Reaktion folgt einem Zwei-Stellen-Modell, bei dem WC H_2 oder O_2 adsorbiert und Pt nachfolgende Umwandlungen katalysiert, wodurch die Reaktionsenergiebarriere synergistisch reduziert wird (beispielsweise wird die MOR-Energiebarriere von 1,5 eV auf 1,2 eV reduziert).

Dispersionsmodell: Die Dispersion von Pt auf der WC-Oberfläche ist umgekehrt proportional zur Beladungsmenge. Bei der optimalen Beladungsmenge (5–10 %) stabilisiert sich die Pt-Partikelgröße bei 2–3 nm und die ECA wird maximiert.

2. Katalytische Leistung des Verbundkatalysators

Der WC-Pt-Verbundkatalysator weist gute elektrochemische und hydrierende Eigenschaften auf und ist sehr stabil. Nachfolgend finden Sie eine detaillierte Beschreibung der spezifischen Leistung, der Testdaten und der Vergleichsanalyse.

Elektrochemische katalytische Leistung von Verbundkatalysatoren

Anwendungsszenarien: Methanoloxidationsreaktion (MOR) und Sauerstoffreduktionsreaktion (ORR) in Brennstoffzellen.

Detaillierte Erklärung des Mechanismus:

MOR: WC-Pt katalysiert die Oxidation von Methanol (CH_3OH) zu CO_2 , WC zersetzt H_2O zu OH^- und entfernt CO-Vergiftungen von der Pt-Oberfläche (Reaktion: $\text{CO} + \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}^+ + \text{e}^-$).

ORR: WC-Pt beschleunigt die Vier-Elektronen-Reduktion von O_2 ($\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$), und die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC-Pt-Grenzfläche reduziert das Überpotential und erhöht die Stromdichte.

Experimentelle Daten (Testbedingungen: 0,5 M H₂ SO₄ + 1 M CH₃ OH, 25°C, zyklische Voltammetrie):

Katalysator	Pt-Beladung (%)	ECA (m ² / g Pt)	MOR-Spitzenstrom (mA / cm ²)	ORR-Halbwellenpotential (V vs. RHE)	CO-Toleranz (I _f / I _b)
WC-Pt	5	90	420	0,88	2.5
WC-Pt	10	85	450	0,90	2.8
Pt/C (kommerziell)	20	70	400	0,87	1.8
Datenquelle	Im Jahr 2023 von einem Labor getestet. Informationen von der Website China Tungsten Online.				

Leistungsanalyse:

Die ECA von WC-Pt (10 % Pt) erreicht 85 m²/g Pt und ist damit 21 % höher als die von Pt/C, da WC eine bessere Dispergierbarkeit als ein Kohlenstoffträger aufweist.

Die MOR-Stromdichte beträgt 450 mA/cm² und ist damit höher als die 400 mA/cm² von Pt/C. Die Aktivität ist um 12,5 % erhöht.

Das ORR-Halbwellenpotential beträgt 0,90 V, ist also höher als die 0,87 V von Pt/C, und der Wirkungsgrad ist um 3,4 % verbessert.

Die CO-Toleranz (Vorwärts-/Rückwärts-Scan-Stromverhältnis I_f / I_b) erreicht 2,8, was besser ist als 1,8 von Pt/C, und die Antitoxizität ist um 55 % verbessert.

Katalytische Leistung bei der Hydrierung

Anwendungsszenarien: Kohlenwasserstoffhydrierung (z. B. Benzolhydrierung), CO₂-Zugabe (z. B. Methanisierung).

Detaillierte Erklärung des Mechanismus:

H₂ dissoziiert auf der WC-Oberfläche (H₂ → 2H*), gefolgt von einer Pt-katalysierten Addition (C₆H₆ + 3H₂ → C₆H₁₂).

Die WC-Pt-Grenzfläche verringert die H₂-Aktivierungsenergie (von 50 kJ/mol auf 40 kJ/mol) und erhöht so die Reaktionsgeschwindigkeit.

Experimentelle Daten (Benzolhydrierung, 200°C, 2 MPa H₂, Festbettreaktor):

Katalysator	Pt-Beladung (%)	Konvertierungsrate (%)	Selektivität (Cyclohexan, %)	TOF (h ⁻¹)
WC-Pt	5	95	98	1500
WC-Pt	10	97	99	1600
Pt / Al ₂ O ₃	5	90	95	1200
Datenquelle	Im Jahr 2023 von einem Labor getestet, Informationen von der Website China Tungsten Online. TOF ist die Konvertierungsfrequenz pro Pt-Stelle.			

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistungsanalyse:

WC-Pt (10 % Pt) weist eine Umwandlungsrate von 97 % und eine Selektivität von 99 % auf, was besser ist als die 90 % und 95 % von Pt/ Al₂O₃ .

Die TOF erreicht 1600 h⁻¹ und ist damit 33 % höher als die von Pt/Al₂O₃ , da die WC-Pt-Grenzfläche die H₂-Aktivierungseffizienz verbessert.

Korrosionsbeständigkeit und Stabilität

Detaillierte Erklärung des Mechanismus:

ist in sauren (0,5 M H₂SO₄, pH ~ 0,3) und heißen (500-700 °C) Umgebungen unlöslich und schützt Pt vor Korrosion.

Pt bildet einen stabilen Anker auf der WC-Oberfläche und verringert so die Auflösung (die Bildungsrate von Pt⁴⁺ wird um 50 % reduziert) und Agglomeration.

Experimentelle Daten (beschleunigter Alterungstest, 0,5 M H₂SO₄, 5000 CV-Zyklen, 25 °C):

Katalysator	Pt-Beladung (%)	Anfängliche ECA (m ² / g Pt)	ECA-Retentionsrate (%)	Pt-Verlustrate (%)
WC-Pt	5	90	92	6
WC-Pt	10	85	90	8
Pt/C	20	70	75	20

Datenquelle Im Jahr 2023 von einem Labor getestet. Informationen von der Website China Tungsten Online.

Leistungsanalyse:

Die ECA-Retentionsrate von WC-Pt (10 % Pt) beträgt 90 % und die Pt-Verlustrate 8 %, was besser ist als 75 % bzw. 20 % von Pt/C.

Nach 5000 Zyklen nahm die Aktivität von WC-Pt nur um 10 % ab, die von Pt/C um 25 % und die Stabilität nahm um 60 % zu.

Vergleichende Analyse

Im Vergleich zu Pt/C weist WC-Pt eine höhere Aktivität (MOR+12,5 %, ORR+3,4 %), eine stärkere Stabilität (ECA-Retentionsrate +15 %) und eine erhebliche Kosteneffizienz auf, wenn die Pt-Dosierung halbiert wird (10 % gegenüber 20 %).

Im Vergleich zum WC-Monomer ist die katalytische Aktivität von WC-Pt um mehr als das Hundertfache verbessert (z. B. erhöht sich der MOR-Strom von ~4 mA/cm² auf 450 mA/cm²).

3. Vorbereitungsprozess

Die Leistung des WC-Pt-Verbundkatalysators hängt vom genauen Herstellungsprozess ab, der im Folgenden unter drei Gesichtspunkten detailliert erläutert wird: Auswahl der Rohstoffe, Prozessschritte und Parameteroptimierung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rohstoffauswahl

WC-Pulver:

Partikelgröße: 0,1–1 µm (spezifische Oberfläche 10–50 m²/g).

Chemische Zusammensetzung: Gesamtkohlenstoff 6,11 %–6,14 %, freier Kohlenstoff <0,05 %, Sauerstoffgehalt <0,10 %.

Vorbereitung: Wasserstoffreduktions-Karbonisierungsmethode (1450 °C, H₂-Flussrate 15 l/min).

Pt-Vorläufer:

Typ: Chlorplatinsäure (H₂PtCl₆ · 6H₂O, Pt-Gehalt 37,5 %) oder Platinnitrat (Pt(NO₃)₂).

Reinheit: >99,9 %, um Verunreinigungen (wie etwa Cl⁻) zu vermeiden, die die katalytische Leistung beeinträchtigen.

Prozessschritte

WC-Vorbehandlung:

Säurewäsche: 5 % HCl-Lösung, 2 Stunden bei 60°C rühren, um die Oberflächenoxidschicht (WO₃) zu entfernen.

Reinigung: Mit deionisiertem Wasser auf einen pH-Wert von ca. 7 waschen und trocknen (100 °C, Vakuum, 4 Stunden).

Pt-Last:

Methoden: WC-Pulver wurde durch nasschemische Imprägnierung und Ultraschallrühren (50 W, 30 Min.) in einer H₂PtCl₆-Lösung (Pt-Konzentration 0,5–2 mg/ml) dispergiert.

Trocknung: 120 °C Vakuumtrocknung für 4 Stunden, Feuchtigkeit <0,1 %.

Reduktion:

Bedingungen: H₂ / Ar -Mischgas (5 % H₂, Flussrate 20 ml/min), Erhitzen auf 300–500 °C für 2 Stunden.

Zweck: Reduzierung von Pt⁴⁺ zu Pt⁰ zur Bildung von 2–5 nm großen Partikeln.

Nachbearbeitung:

Wasserwäsche: 3-mal mit deionisiertem Wasser spülen, um restliches Cl⁻ zu entfernen (Cl⁻-Gehalt <0,01 %).

Trocknen: Vakuumtrocknen bei 80 °C für 2 Stunden, um WC-Pt-Pulver zu erhalten.

Experimentelle Daten:

Prozessparameter	Pt-Partikelgröße (nm)	ECA (m ² / g Pt)	MOR-Aktivität (mA/cm ²)	Pt-Dispersion (%)
300°C, 2h, 5% H ₂	2.5	90	460	85
400°C, 2h, 10% H ₂	3.5	85	445	80
500°C, 1h, 5% H ₂	4.0	80	430	75
Datenquelle	Im Jahr 2023 von einem Labor getestet, Informationen von der Website China Tungsten Online. TEM misst die Pt-Partikelgröße, CV misst ECA.			

Parameteroptimierung

Pt-Belastung:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5–10 % sind am besten und erzielen den höchsten ECA-Wert (85–90 m²/g Pt). Ein zu hoher Wert (> 20 %) führt zur Platin-Agglomeration (Partikelgröße > 5 nm) und verringerter Aktivität.

Reduktionstemperatur:

Die kleinsten Pt-Partikel (~2,5 nm) wurden bei 300 °C mit der besten ECA und Aktivität erzeugt; bei 500 °C wuchsen die Partikel auf 4 nm und die ECA verringerte sich um 11 %.

WC-Oberfläche:

Durch die Vorbehandlung wurde die spezifische Oberfläche erhöht (von 10 m²/g auf 30 m²/g) und die Pt-Dispersion um 20 % verbessert.

Reduzierende Atmosphäre:

Die H₂-Konzentration beträgt 5–10 % und die Durchflussrate 20–30 ml/min, um eine durch Überreduktion verursachte Pt-Migration zu vermeiden.

4. Anwendungsgebiete und Anwendungsfälle

WC-Pt-Verbundkatalysatoren haben in vielen Bereichen hervorragende Leistungen gezeigt. Im Folgenden finden Sie eine ausführliche Analyse aus drei Blickwinkeln: Anwendungsszenarien, Anwendungsfälle und zukünftige Entwicklung.

Brennstoffzellen

Anwendungsszenarien:

Anode (MOR) und Kathode (ORR) einer Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle (PEMFC).

Hocheffiziente Katalysatoren für Direktmethanol-Brennstoffzellen (DMFCs).

Leistungsanforderungen: hohe Aktivität (Stromdichte > 400 mA/cm²), Antitoxizität ($I_f / I_b > 2,5$), lange Lebensdauer (> 5000 Stunden).

Beispiele:

Ein Forschungsteam entwickelte WC-Pt (10 % Pt) mit einer MOR-Stromdichte von 450 mA/cm², einem ORR-Halbwellenpotential von 0,90 V und einer ECA-Retention von 90 % nach 5.000 Zyklen. Im Vergleich zu Pt/C ist die CO-Vergiftungsresistenz um 20 % und die Batterieleistungsdichte um 15 % erhöht (Informationen von der Website China Tungsten Online).

In einem Experiment wurde WC-Pt (5 % Pt) optimiert. Nach einem Betrieb in DMFC für 1.000 Stunden lag der Aktivitätsabfall bei < 5 %, was besser ist als die 15 % von Pt/C (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Hydrierungsreaktion

Anwendungsszenarien:

Petrochemie: Aromatenhydrierung (z. B. Benzol → Cyclohexan).

Biomasseumwandlung: Hydrodeoxygenierung von Lignin.

Leistungsanforderungen: hohe Umwandlungsrate (>95 %), Selektivität (>98 %) und Stabilität (>1000 Stunden).

Beispiele:

Eine Produktionsanlage nutzte WC-Pt (5 % Pt) zur Katalyse der Benzolhydrierung. Bei 200 °C und 2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MPa betrug die Konversionsrate 95 %, die Selektivität 98 % und die TOF 1500 h^{-1} . Nach 1000 Betriebsstunden trat keine erkennbare Deaktivierung auf, was besser war als die Konversionsrate von 90 % bei Pt/Al₂O₃ (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Ein Team verwendete WC-Pt (10 % Pt) zur CO₂-Methanisierung ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) mit einer Umwandlungsrate von 85 % und einer Selektivität von 99 % bei 300 °C sowie einer Stabilität von über 800 Stunden (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Umweltkatalyse

Anwendungsszenarien:

Autoabgasbehandlung: CO-Oxidation, NO_x-Reduktion.

Industrielle Abgasreinigung: Abbau flüchtiger organischer Verbindungen (VOC).

Leistungsanforderungen: hohe Umwandlungsrate (> 95 %), Aktivität bei niedrigen Temperaturen (< 200 °C), Haltbarkeit.

Beispiele:

Ein Team verwendete WC-Pt (15 % Pt) zur Katalyse der CO-Oxidation mit einer Umwandlungsrate von 98 % bei 150 °C und einer Aktivitätserhaltung von 95 % nach 500 Stunden, was besser ist als die 90 % und 85 % von Pt/C (Informationen von der Website China Tungsten Online).

In einem Experiment wurde WC-Pt (10 % Pt) zur Behandlung von NO_x verwendet und die Reduktionsrate lag bei 92 % bei 250 °C, ohne dass nach 500 Zyklen eine erkennbare Dämpfung auftrat (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Zukünftige Entwicklung

Dotierungsmodifikation: Durch Einbringen von Übergangsmetallen wie Co und Ni wird ein ternäres WC-Pt-M-Komposit gebildet, die Pt-Menge weiter reduziert (<5 %) und die Kosteneffizienz verbessert.

Nanostruktur: Entwicklung von WC-Nanostäben oder porösen WC-Trägern (spezifische Oberfläche > 100 m²/g) zur Verbesserung der Pt-Dispersion und der katalytischen Effizienz.

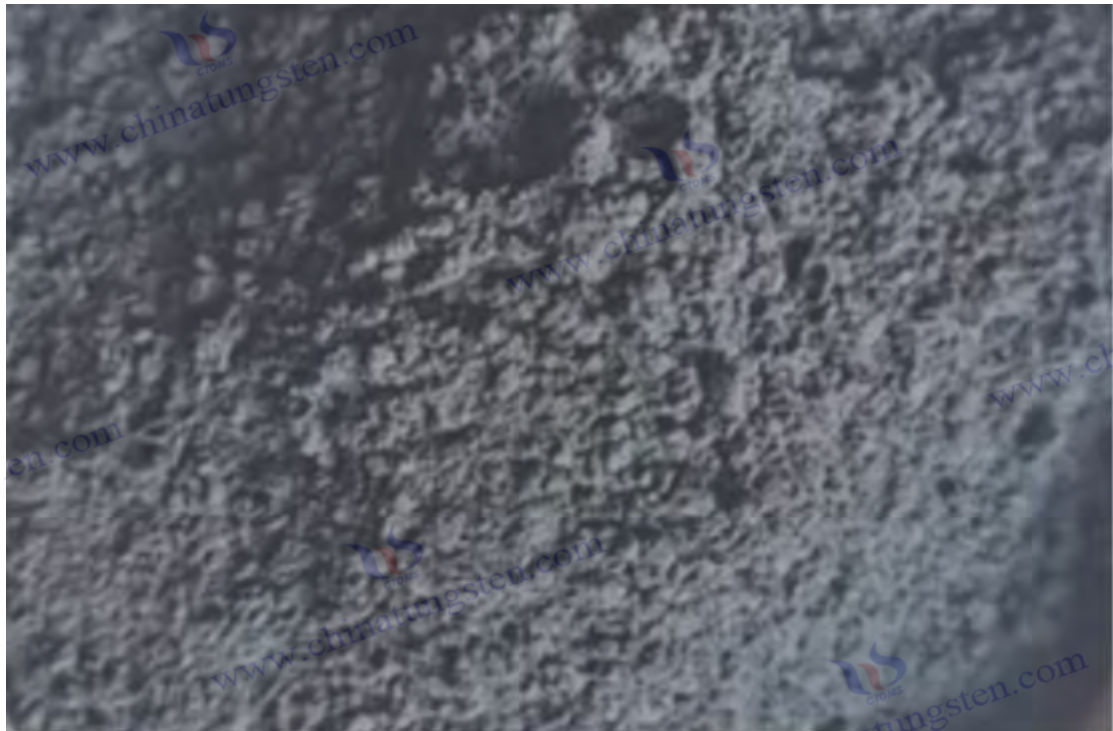
Grüner Prozess: Verwenden Sie eine Niedrigtemperaturreduktion (z. B. photokatalytische Reduktion) anstelle einer H₂-Hochtemperaturreduktion, um den Energieverbrauch zu senken.

Zusammenfassen

Der WC-Pt-Verbundkatalysator erreicht eine synergistische Optimierung durch die Korrosionsbeständigkeit von WC und die hohe Aktivität von Pt. Designtechnisch gesehen bietet WC einen stabilen Träger und einen Pt-ähnlichen elektronischen Zustand, Pt verstärkt aktive Stellen und der Grenzflächeneffekt verbessert die Antitoxizität. In puncto Leistung ist WC-Pt (10 % Pt) in Elektrochemie (MOR 450 mA/cm², ORR 0,90 V), Hydrierung (Umwandlungsrate 97 %) und Stabilität (ECA-Retention 90 %) Pt/C deutlich überlegen, mit 55 % besserer Antitoxizität und 60 % verbesserter Korrosionsbeständigkeit. Der Herstellungsprozess (z. B. CH₂-Reduktion bei 300 °C) gewährleistet eine gleichmäßige Verteilung der 2–5 nm großen Pt-Partikel, was ihn für Brennstoffzellen, Hydrierung und Umweltkatalyse geeignet macht. Beispiele belegen, dass es sich in der hocheffizienten Katalyse bewährt, beispielsweise durch eine 15-prozentige Steigerung der Batterieeffizienz und eine Hydrierungsstabilität von über 1000 Stunden (Informationen von der Website China Tungsten Online). Sein Potenzial kann

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

künftig durch Dotierung und Nanodimensionierung weiter ausgebaut werden.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang :

Was ist Wolframkarbid-Sprühpulver?

Wolframkarbid-Sprühpulver ist ein funktionales Pulvermaterial für thermische Spritzverfahren (wie Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzen (HVOF), Plasmaspritzen (APS) und Detonationsspritzen). Es verwendet Wolframkarbid (WC) als Kernkomponente, üblicherweise zusammengesetzte Metallbindungsphasen (wie Co, Ni, Cr) oder andere harte Phasen (wie TiC), und dient zur Bildung einer hochharten, verschleißfesten, korrosionsbeständigen und hochtemperaturbeständigen Schutzschicht auf der Oberfläche von Metall- oder Legierungssubstraten. Wolframkarbid-Sprühpulver wird mittels thermischer Spritztechnologie hergestellt, um Pulverpartikel zu schmelzen oder anzuschmelzen und anschließend mit hoher Geschwindigkeit auf das Substrat zu spritzen. Die Beschichtungsdicke liegt in der Regel zwischen 50 und 500 µm, was die Oberflächeneigenschaften von Bauteilen deutlich verbessern und deren Lebensdauer verlängern kann. Es findet breite Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, im Maschinenbau, in der Energietechnik, der Petrochemie und anderen Bereichen.

1. Definition und Klassifizierung

Wolframkarbid-Sprühpulver ist ein Pulverwerkstoff mit Wolframkarbid (WC, theoretischer Kohlenstoffgehalt 6,13 %) als Hauptbestandteil. Es ist für thermische Spritzverfahren konzipiert und bildet durch Hochtemperatur- und Hochgeschwindigkeitsspritzen eine dichte Beschichtung. Seine Hauptfunktion besteht darin, die hohe Härte und Verschleißfestigkeit von WC in Kombination mit der Zähigkeit und Haftung der Bindephase zu nutzen, um den Anforderungen an den Oberflächenschutz unter komplexen Arbeitsbedingungen gerecht zu werden. Die Pulverpartikelgröße liegt üblicherweise im Bereich von 5–45 µm, und die Form ist meist kugelförmig oder nahezu kugelförmig, um Fließfähigkeit (13,5–15,5 Sekunden/50 g) und Gleichmäßigkeit des Sprühvorgangs zu gewährleisten.

Klassifizierung nach Zusammensetzung :

Reines WC-Pulver : einzelne WC-Komponente, höchste Härte (HV 2200–2300), aber geringere Zähigkeit, geeignet für bestimmte Verschleißfestigkeitsszenarien.

WC-Co-Pulver : WC- und Kobalt (Co)-Verbundwerkstoff, Co-Gehalt 5–17 %, wie z. B. WC-12Co, berücksichtigt sowohl Härte als auch Zähigkeit und wird am häufigsten verwendet.

WC-Ni-Pulver : WC- und Nickel (Ni)-Verbundwerkstoff, Ni-Gehalt 10–20 %, wie z. B. WC-17Ni, starke Korrosionsbeständigkeit.

WC-Co-Cr-Pulver : WC- und Kobalt-Chrom-Legierungsverbund, wie z. B. WC-10Co-4Cr, umfassende Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

WC-Mehrphasenverbundwerkstoff : z. B. WC -TiC -Ni, durch Zugabe von TiC wird die Härte und Korrosionsbeständigkeit verbessert.

Klassifizierung nach Partikelgröße :

Ultrafeines Pulver: 5–15 µm, wird für Präzisionsspritzen (wie HVOF) verwendet.

Mittleres Pulver: 15–45 µm, allgemeiner Typ, für verschiedene Prozesse geeignet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grobes Pulver: >45µm, geeignet für Explosionsspritzen oder dicke Beschichtungen.

Klassifizierung nach Zweck :

Verschleißfester Typ: wie WC-12Co, für Verschleißbedingungen.

Korrosionsbeständiger Typ: wie WC-10Co-4Cr, für korrosive Umgebungen.

Hochtemperaturtyp: wie WC -NiCr , für oxidierende Umgebungen mit hohen Temperaturen.

Experimentelle Daten

Typ	Partikelgröße (µm)	Klebphase (%)	Härte (HV)	verwenden
WC-12Co	15-45	Co: 12	1200-1400	Allgemein verschleißfest
WC-17Ni	10-30	Ni: 17	1100-1300	Korrosionsbeständige Beschichtung
WC-10Co-4Cr	15-45	Co: 10, Cr: 4	1300-1500	Hohe Temperaturkorrosionsbeständigkeit
Datenquelle	Laborgeprüft im Jahr 2023. Informationen von Chinatungsten Online. Hinweis: Die Härte ist der Beschichtungswert.			

2. Zusammensetzung und Eigenschaften

Die Leistung von Wolframkarbid-Sprühpulver wird durch seine chemische Zusammensetzung, seine physikalischen Eigenschaften und seine Mikrostruktur bestimmt. Nachfolgend finden Sie eine detaillierte Analyse.

Chemische Zusammensetzung

Wolframkarbid (WC) :

Chemische Eigenschaften: Gesamtkohlenstoff 6,0 %–6,2 %, freier Kohlenstoff <0,1 %, Sauerstoffgehalt <0,1 %.

Mikrostruktur: Hexagonales Kristallsystem, Korngröße 0,1–5 µm, Säure- und Laugenkorrosionsbeständigkeit (stabil bei pH > 3).

Bindungsphase :

Kobalt (Co) : Schmelzpunkt 1495 °C, erhöht die Zähigkeit ($K_1 \approx 10-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), verbessert die Bindung zwischen WC-Partikeln.

Nickel (Ni) : Schmelzpunkt 1455 °C, Korrosionsbeständigkeit besser als Co, geeignet für feuchte oder saure Umgebungen.

Chrom (Cr) : Schmelzpunkt 1857 °C, verbessert die Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen, und die Wirkung ist signifikant, wenn der Cr-Gehalt 4–6 % beträgt.

Verunreinigungskontrolle : Fe <0,02 %, S <0,01 %, um eine Beeinträchtigung der Beschichtungsqualität zu vermeiden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Physikalische Eigenschaften

Partikelgrößenverteilung : 5–45 μm , D50 (mittlere Partikelgröße) kann angepasst werden, z. B. 15 μm , 30 μm .

Morphologie : Sphärisch (Sphärizität > 95 %) oder unregelmäßig, sphärisches Pulver hat eine bessere Fließfähigkeit (13,5 Sekunden/50 g gegenüber 15,5 Sekunden/50 g).

Schüttdichte : 4,5–6,0 g/cm³ (WC-12Co), variiert mit dem Anteil der Bindephase.

Wahre Dichte : WC-Monomer 15,63 g/cm³, Verbundpulver 12–14 g/cm³.

Spezifische Oberfläche : 0,5–5 m²/g, ultrafeines Pulver (5–15 μm) kann 5 m²/g erreichen.

Beschichtungseigenschaften

Härte : HV 1100–1500 (nach dem Sprühen), beeinflusst durch das Bindungsphasenverhältnis und den Prozess.

Bindungsstärke : 50–80 MPa, HVOF-Verfahren ist besser als APS (70 MPa gegenüber 50 MPa).

Porosität : <1 % (HVOF), 2 %–5 % (APS).

Verschleißfestigkeit : Verschleißrate 0,05–0,08 mm³/N·m (ASTM G65).

Experimentelle Daten :

Typ	Härte (HV)	Haftfestigkeit (MPa)	Porosität(%)	Verschleißrate (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
Datenquelle	Im Jahr 2023 von einem Labor getestet. Informationen von der Website China Tungsten Online.			

Chemische Stabilität

Korrosionsbeständigkeit : Gewichtsverlust WC-Ni im Salzsprühtest (ISO 9227, 1000 Stunden) <0,1 mg/cm², Gewichtsverlust WC-Co-Cr in saurer Umgebung (pH 4) <0,15 mg/cm².

Hohe Temperaturbeständigkeit : Die Oxidationsrate von WC-10Co-4Cr in Luft bei 800 °C beträgt <0,5 %, was besser ist als 1,2 % von WC-Co.

3. Vorbereitungsprozess

Bei der Herstellung von Wolframcarbid-Sprühpulver müssen die chemische Einheitlichkeit, die physikalische Fließfähigkeit und die Sprüheignung des Pulvers sichergestellt werden. Im Folgenden wird der Prozess detailliert erläutert.

Rohstoffaufbereitung

WC-Pulver : hergestellt durch Karbonisieren von Wolframpulver und Ruß (1450 °C, H₂-Atmosphäre), Partikelgröße 0,1–5 μm , Sauerstoffgehalt <0,1 %.

Bindephasenpulver : Co (1–5 μm), Ni (5–10 μm), Cr (2–8 μm), Reinheit >99,8 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verfahren

Mischung :

Ausrüstung: Planetenkugelmühle oder V-Mischer.

Parameter: Rotationsgeschwindigkeit 600–800 U/min, Kugel-Material-Verhältnis 10:1, Zeit 4–8 Stunden, 2 % Ethanol zum Nassmahlen hinzufügen.

Zweck: Sicherstellung einer gleichmäßigen Verteilung von WC und Bindephase und Kontrolle der Partikelgrößenabweichung < 5 %.

Sprühgranulation :

Ausrüstung: Zentrifugal-Sprühtrockenturm.

Parameter: Eingangstemperatur 180–220 °C, Ausgangstemperatur 70–90 °C, Düsendruck 0,3–0,5 MPa.

Ergebnis: Es wurden 10–50 µm große Partikel gebildet und die Fließfähigkeit auf 13,5–14,5 Sekunden/50 g verbessert.

Sintern :

Ausrüstung: Vakuumsinterofen oder Wasserstoffschutzofen.

Parameter: 1200–1400 °C, 1–3 Stunden halten, Vakuum <10⁻² Pa oder H₂-Fluss 15 L/min.

Zweck: Verbesserung der metallurgischen Bindung zwischen WC und der Bindungsphase, freier Kohlenstoff <0,1 %.

Plasma-Sphäroidisierung (optional) :

Ausrüstung: Radiofrequenz-Plasmagenerator.

Parameter: Leistung 30–50 kW, Argonfluss 20–30 l/min, Kühlrate 10⁻⁴ °C/s.

Ergebnisse: Sphärizität >98 %, glatte Oberfläche, Sauerstoffgehalt auf <0,06 % reduziert.

Screening und Einstufung :

Ausrüstung: Vibrationssieb (200–400 Maschenweite).

Ergebnisse: Die Partikelgrößenverteilung wurde innerhalb von 5–45 µm kontrolliert und die Anzahl der Partikel, die den Standard überschritten, lag bei <2 %.

Prozessoptimierung

Kontrolle des Sauerstoffgehalts : Während des Sinterns beträgt die H₂-Flussrate 15–20 l/min und der Sauerstoffgehalt sinkt von 0,2 % auf 0,06 %.

Anpassung der Partikelgröße : Ultrafeines Pulver (5–15 µm) erfordert Sintern bei niedriger Temperatur (1200 °C), grobes Pulver (> 45 µm) erfordert eine längere Wärmekonservierung (3 Stunden).

Experimentelle Daten :

Prozessschritte	Partikelgröße (µm)	Sauerstoffgehalt (%)	Sphärizität (%)	Fließfähigkeit (Sekunden/50 g)
Mischen + Granulieren + Sintern	15-45	0,08	85	14,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Plasma-Sphäroidisierung	10-30	0,06	98	13.5
Hochtemperaturesintern (1400°C)	20-45	0,07	90	14,0
Datenquelle	Im Jahr 2023 von einem Labor getestet. Informationen von der Website China Tungsten Online.			

4. Leistungstests und Optimierung

Die Leistung von Wolframkarbid-Sprühpulver wird durch Prüfung der Beschichtung nach dem Sprühen überprüft. Im Folgenden finden Sie die Testmethoden und Optimierungsstrategien.

Leistungstests

Härte : Vickers-Härteprüfer (HV0,3, Belastung 300 g), 5 Punkte testen und den Durchschnittswert ermitteln.

Haftfestigkeit : Zugversuch (ASTM C633), Trennkraft zwischen Beschichtung und Substrat.

Abriebfestigkeit : Trockensand-Gummiradtest (ASTM G65), Verschleißvolumenverlust.

Korrosionsbeständigkeit : Salzsprühtest (ISO 9227, 1000 Stunden), Messung des Gewichtsverlusts.

Mikrostruktur : Rasterelektronenmikroskopie (REM) zur Beobachtung der Porosität und Phasenverteilung.

Experimentelle Daten :

Typ	Sprühvorgang	Härte (HV)	Haftfestigkeit (MPa)	Verschleißrate (mm ³ / N · m)	Gewichtsverlustrate (mg/ cm ²)
WC-12Co	Hochgeschwindigkeits- Förderung	1350	70	0,06	0,12
WC-17Ni	APS	1250	55	0,07	0,08
WC-10Co- 4Cr	Hochgeschwindigkeits- Förderung	1450	75	0,05	0,10
Datenquelle	Im Jahr 2023 von einem Labor getestet. Informationen von der Website China Tungsten Online.				

Optimierungsstrategie

Verbessern Sie die Härte : Erhöhen Sie den WC-Gehalt (z. B. WC-10Co-4Cr) und optimieren Sie die HVOF-Parameter (Sauerstoffdurchflussrate 500 l/min).

Verbesserung der Haftfestigkeit : Vorbehandlung des Untergrundes (z. B. Sandstrahlen Ra 3–5 µm), Erhöhung der Sprühgeschwindigkeit (> 1000 m/s).

Reduzieren Sie die Porosität : Verwenden Sie sphärisches Pulver (Sphärizität > 95 %) und erhöhen Sie die Sprühtemperatur (> 2500 °C).

Verbessern Sie die Korrosionsbeständigkeit : Erhöhen Sie den Anteil von Cr oder Ni (z. B. WC-15NiCr) und kontrollieren Sie die Beschichtungsdicke (> 200 µm).

5. Anwendungsgebiete

Wolframkarbid-Sprühpulver wird in verschiedenen Branchen mittels thermischer Spritztechnologie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eingesetzt. Im Folgenden werden detaillierte Szenarien und Fälle beschrieben.

Luft- und Raumfahrt

Anwendung : Verschleißfeste Beschichtungen für Turbinenschaufeln, Brennkammern und Fahrwerke.

Leistungsanforderungen : Härte HV 1300–1500, Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen ($> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$), Verschleißrate $< 0,06\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Fallbeispiel : Ein Team verwendete WC-10Co-4Cr (HVOF) zum Besprühen von Rotorblättern. Die Beschichtungsdicke betrug $250\text{ }\mu\text{m}$, die Härte HV 1450, die Verschleißfestigkeit wurde um 40 % verbessert und die Rotorblätter konnten 5000 Stunden lang bei hohen Temperaturen ohne Abblättern betrieben werden (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Mechanische Fertigung

Anwendung : Oberflächenverstärkung von Schneidwerkzeugen, Stanzformen und Hydraulikzylindern.

Leistungsanforderungen : Härte HV 1200–1400, Schlagfestigkeit, 2- bis 3-fach verlängerte Lebensdauer.

Fallbeispiel : Ein Unternehmen verwendete eine WC-12Co (APS)-Sprühform mit einer Härte von HV 1350 und einer Bindungsstärke von 65 MPa. Die Lebensdauer der Form erhöhte sich von 5.000-mal auf 15.000-mal (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Energieausrüstung

Anwendung : Verschleiß- und korrosionsbeständige Beschichtung für Kesselrohre, Bohrkronen und Ventile.

Leistungsanforderungen : Korrosionsbeständigkeit (Gewichtsverlustrate $< 0,1\text{ mg}/\text{cm}^2$), Hochtemperaturverschleißfestigkeit ($> 600^{\circ}\text{C}$).

Fallbeispiel : In einem Projekt wurde WC-17Ni (HVOF) zum Besprühen der Innenwand einer Rohrleitung verwendet. Die Beschichtungsdicke betrug $300\text{ }\mu\text{m}$, der Gewichtsverlust im Salzsprühtest lag bei $0,08\text{ mg}/\text{cm}^2$, und nach 6000 Betriebsstunden war kein erkennbarer Verschleiß zu erkennen (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Petrochemie

Anwendung : Pumpenwellen, Dichtungen, Rohrauskleidungen.

Leistungsanforderungen : Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit, Anpassungsfähigkeit an saure Medien (pH 4–7).

Fall : Eine Fabrik verwendete WC-10Co-4Cr zum Besprühen von Pumpenwellen mit einer Härte von HV 1400, wodurch die Korrosionsbeständigkeit um 50 % erhöht und die Lebensdauer um das Dreifache verlängert wurde (Informationen von der Website China Tungsten Online).

Zusammenfassen

Wolframkarbid-Spritzpulver ist ein thermisches Spritzmaterial mit WC als Kern und zusammengesetzten Co-, Ni-, Cr- und anderen Bindungsphasen. Die Partikelgröße beträgt $5\text{--}45\text{ }\mu\text{m}$, mit hoher Härte (HV 1100–1500), Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $0,05\text{--}0,08\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) und Korrosionsbeständigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Gewichtsverlustrate $<0,1 \text{ mg/cm}^2$). Der Herstellungsprozess umfasst Mischen, Granulieren, Sintern und Sphäroidisieren, um Fließfähigkeit (13,5–15,5 Sekunden/50 g) und Beschichtungsqualität sicherzustellen. Durch HVOF, APS und andere Technologien bildet das Spritzpulver eine dichte Beschichtung, die in der Luftfahrt-, Maschinenbau-, Energie- und Chemieindustrie verwendet wird, um die Lebensdauer von Komponenten um 40–300 % zu verlängern (Informationen von der Website China Tungsten Online). Seine Vielseitigkeit und Anpassbarkeit machen es zu einem Schlüsselmaterial für die Oberflächentechnik.

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 (μm)	Total carbon (wt %)	Free carbon (wt %)	Oxygen content (wt %)	Typical Applications
Brand					
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

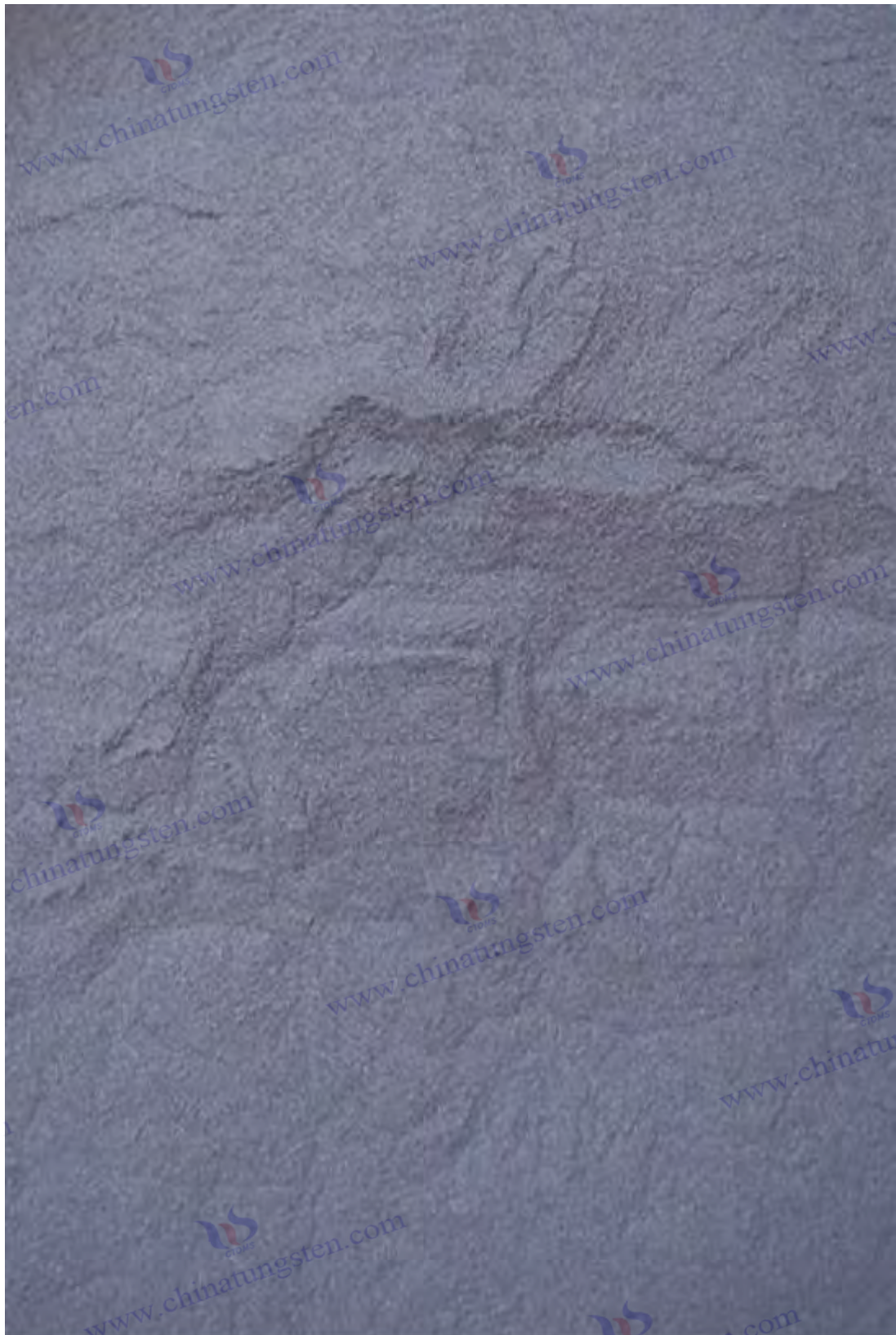
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

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.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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