

Poudre de carbure de tungstène (TCP)

Propriétés physiques et chimiques, préparation et applications

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Leader mondial de la fabrication intelligente pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

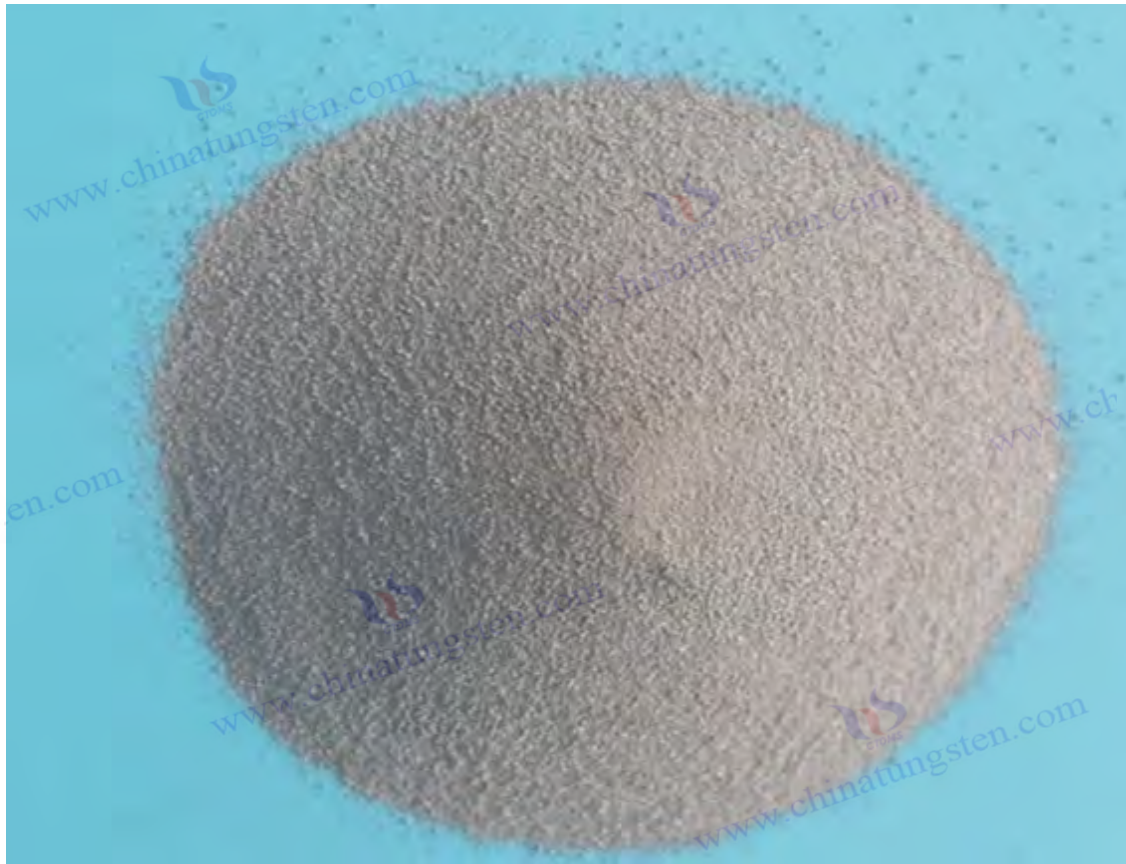


Table des matières

Préface

Importance et contexte de recherche sur la poudre de carbure de tungstène
Objectifs et public de ce livre
Méthode d'écriture et aperçu du contenu

Chapitre 1 : Introduction à la poudre de carbure de tungstène

- 1.1 Définition et composition chimique
- 1.2 Développement historique
- 1.3 Propriétés physiques et chimiques de base
- 1.4 Classification de la poudre de carbure de tungstène

Chapitre 2 : Processus de production de poudre de carbure de tungstène

- 2.1 Préparation des matières premières
- 2.2 Méthode de carbonisation traditionnelle
- 2.3 Méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)
- 2.4 Méthode d'alliage mécanique
- 2.5 Autres technologies émergentes
- 2.6 Technologie de post-traitement

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chapitre 3 : Microstructure et technologie de caractérisation de la poudre de carbure de tungstène

- 3.1 Caractéristiques de la microstructure
- 3.2 Méthodes de caractérisation
- 3.3 Analyse de la composition chimique
- 3.4 Test des propriétés physiques

Chapitre 4 : Domaines d'application de la poudre de carbure de tungstène (chapitres clés)

Aperçu

La polyvalence et la valeur d'application de la poudre de carbure de tungstène

Structure du chapitre et méthodes de recherche

Source de données et analyse de cas

4.1 Fabrication de carbure cimenté

4.1.1 Outils de coupe

4.1.1.1 Outils de tournage et fraises

Formule WC-Co (teneur en cobalt 6%-12%) et performances de coupe Données : Vitesse de coupe augmentée de 50% (par rapport à l'acier rapide, >200 m/min) Cas : Traitement de bloc-cylindres de moteur automobile (durée de vie > 100 000 pièces)

4.1.1.2 Forets et outils d'alésage

Poudre WC de qualité micronique (1-3 μm) dans l'usinage de trous profonds Performances : Dureté HV 1600, résistance à l'écaillage >12 MPa·m^{1/2} Technologie : Foret à revêtement multicouche WC- TiC (résistance à l'usure multipliée par 3)

4.1.1.3 Outils de coupe spéciaux

Micro-foret PCB (diamètre < 0,1 mm) et outils de traitement de matériaux extra-durs Procédé de frittage (1450°C, HIP) de poudre nano WC (<100 nm) Cas : Traitement de matériaux composites pour l'aviation (précision $\pm 0,005$ mm)

4.1.2 Pièces résistantes à l'usure

4.1.2.1 Matrices d'emboutissage

Application des matrices à base de WC dans l'emboutissage à froid des plaques d'acier Données : Durée de vie > 500 000 fois (5 fois supérieure à celle du Cr12MoV) Technologie : Frittage WC-Co (1 500 °C, 30 MPa)

4.1.2.2 Filière de tréfilage et filière d'extrusion

Poudre fine de WC (0,5-1 μm) dans le tréfilage de fils de cuivre Performances : Rugosité de surface Ra < 0,02 μm , taux d'usure < 0,001 mm³/ N·m Cas : Filière de tréfilage dans l'industrie du câble (fonctionnement continu > 6 mois)

4.1.2.3 Roulements et joints résistants à l'usure

Application des matériaux composites WC-Ni dans les roulements à grande vitesse Données : Coefficient de frottement < 0,1, résistance à la température > 800 °C Technologie : Optimisation du processus de pressage isostatique à chaud (HIP)

4.1.3 Outils d'usinage de précision

4.1.3.1 Outils dentaires et médicaux

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Micro-usinage de poudre WC sur forets dentaires (diamètre 0,3-1 mm) Propriétés : Dureté HV 1800, biocompatibilité (ISO 10993-5) Boîtier : Foret de chirurgie dentaire (durabilité > 1000 fois)

4.1.3.2 Moule optique

Application de poudre WC ultrafine dans les moules de lentilles en verre Données : Précision de surface < 10 nm, durée de vie > 100 000 fois la technologie de pressage de la matrice : Polissage miroir combiné à un revêtement WC

4.2 Technologie de revêtement de surface

4.2.1 Revêtement par projection thermique

4.2.1.1 Pulvérisation HVOF

Application de poudre WC-Co (10%-12% Co) dans un revêtement résistant à l'usure Données : dureté du revêtement HV 1200-1400, taux d'usure < 0,01 mm³/N·m Cas : Aubes de moteur d'avion (durée de vie > 3000 heures)

4.2.1.2 Projection à la flamme

Application de poudre WC-Ni dans un revêtement résistant à l'usure à faible coût Performances : Force de liaison > 50 MPa, épaisseur 100-300 µm Cas : Lames de machines agricoles (résistance à l'usure multipliée par 4)

4.2.2 Projection plasma et revêtement laser

4.2.2.1 Projection plasma

Revêtement composite WC-Cr₃C₂ résistant à la corrosion à haute température Données : Résistance à l'oxydation > 1000 °C, porosité < 2 % Cas : Aubes de turbine à gaz (fonctionnement > 5000 heures)

4.2.2.2 Revêtement laser

Renforcement de la surface des outils de forage pétrolier avec de la poudre WC Performances : épaisseur du revêtement 0,5-2 mm, dureté HV 1300 Cas : Tige de forage en haute mer (durée de vie de résistance à la corrosion > 2 ans)

4.2.3 Résistance aux hautes températures et revêtement spécial

4.2.3.1 Revêtement résistant aux chocs thermiques

Application de revêtements à base de WC dans des moules à haute température Données : Coefficient de dilatation thermique < 5×10⁻⁶/°C, résistance à la température > 1200°C Technologie : Revêtement composite WC- TiC -Ni

4.2.3.2 Revêtement résistant aux produits chimiques

Résistance à la corrosion du revêtement WC-CoCr dans les canalisations chimiques Cas : Vannes en milieu acide (durée de vie > 3 ans)

4.3 Outils d'exploitation minière et de construction

4.3.1 Outils de forage de roche

4.3.1.1 Trépan pour roches dures

Application des forets incrustés de WC dans l'exploitation minière du granit Données : Ténacité aux chocs > 25 J/cm², vitesse de forage > 12 m/h Cas : Forage par dynamitage de mine (durée de vie > 1 000 m)

4.3.1.2 Outils de forage de veines de charbon

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tête de coupe WC-Co dans l'excavation d'une mine de charbon Performances : Dureté HV 1500, résistance à l'usure $< 0,002 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ Technologie : Renforcement composite WC- TiC

4.3.2 Coupeurs de boucliers et équipements de creusement de tunnels

4.3.2.1 Tête de coupe à bouclier Metro

Application d'outils de coupe à base de WC dans les formations de grès Données : Durée de vie de coupe $> 6000 \text{ m}$, résistance à l'usure multipliée par 2 Cas : Projet de tunnel urbain (cycle de remplacement $> 1 \text{ an}$)

4.3.2.2 Tunnelier pour sol dur

WC- TiC dans le basalte Performances : Ténacité à la rupture $> 15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ Technologie : Optimisation du frittage de poudre WC super dure

4.3.3 Revêtement résistant à l'usure et équipement de concassage

4.3.3.1 Revêtement du broyeur à boulets

Application d'un revêtement renforcé en WC dans le broyage du minerai Données : Taux d'usure $< 0,05 \text{ g/t}$, durée de vie $> 2 \text{ ans}$ Cas : Traitement du minerai de fer (amélioration de l'efficacité de 30 %)

4.3.3.2 Marteau concasseur

Résistance à l'usure du marteau WC-Co dans le concassage du calcaire Performance : Durée de vie de l'impact $> 100\,000 \text{ fois}$

4.4 Domaine de l'électronique et de l'énergie

4.4.1 Matériaux de revêtement et d'électrode conducteurs

4.4.1.1 Électrodes de pile à combustible

Conductivité électrique de la poudre de WC dans les piles à combustible PEM Données : Résistivité $< 10\text{-}5 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$, stabilité du cycle $> 10\,000 \text{ fois}$ Technologie : Dépôt PVD de film mince de WC

4.4.1.2 Collecteur de courant de batterie au lithium

Durabilité du revêtement WC sur feuille d'aluminium Performance : Adhérence $> 20 \text{ N/cm}$, résistance à la corrosion multipliée par 2 Cas : Batterie de véhicule électrique (taux de rétention de capacité $> 90 \%$)

4.4.2 Support de catalyseur

4.4.2.1 Catalyse du carburant hydrogène

Application de la poudre Nano-WC ($< 50 \text{ nm}$) dans l'électrolyse de l'eau Données : Activité catalytique $> 95 \%$ (par rapport au Pt/C) Technologie : Catalyseur composite WC-Pt

4.4.2.2 Catalyse chimique

Stabilité des supports à base de WC dans la synthèse d'ammoniac Performances : Résistance à la température $> 600 \text{ }^\circ\text{C}$, durée de vie $> 5\,000 \text{ heures}$

4.4.3 Stockage d'énergie et gestion thermique

4.4.3.1 Supercondensateur

Capacité spécifique des matériaux d'électrodes à base de WC ($> 250 \text{ F/g}$) Données : Durée de vie du cycle $> 8\,000 \text{ fois}$ Cas : Nouveau système de stockage d'énergie

4.4.3.2 Revêtement de gestion thermique

Application du revêtement de dissipation thermique WC dans les LED Performances : Conductivité thermique $> 120 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.5 Applications aérospatiales et militaires

4.5.1 Aubes et buses de turbine

4.5.1.1 Pales de moteurs d'avion

Application du revêtement WC-Co dans la résistance à l'usure à haute température Données : Résistance à la température $> 1300^{\circ}\text{C}$, durée de vie > 4000 heures Cas : Moteur à turboréacteur (efficacité de poussée augmentée de 5 %)

4.5.1.2 Tuyère de fusée

Application d'un revêtement résistant à la chaleur à base de WC dans les fusées à propergol solide Performance : Résistance à l'ablation $< 0,01$ mm/s

4.5.2 Matériaux d'armure

4.5.2.1 Blindage des chars

Performances antibalistiques du blindage composite céramique WC Données : Dureté > 2200 HV, résistance à la pénétration > 1200 m/s Cas : Protection du char de combat principal (épaisseur < 50 mm)

4.5.2.2 Plug-in pour gilet pare-balles

Application d'un substrat WC léger Performances : Poids < 2 kg/m², niveau de protection NIJ IV

4.5.3 Pièces résistantes à l'usure des engins spatiaux

4.5.3.1 Machines embarquées

Résistance à l'usure des revêtements WC dans les joints satellites Données : Coefficient de frottement $< 0,05$, durée de vie > 10 ans Technologie : Procédé PVD sous vide

4.6 Autres applications émergentes

4.6.1 Impression 3D et fabrication additive

4.6.1.1 Impression de pièces métalliques

Application de la poudre WC-Co en SLM (Selective Laser Melting) Données : Densité > 99 %, précision $\pm 0,02$ mm Cas : Prototypage rapide de pièces aéronautiques

4.6.1.2 Fabrication de moules

Avantages de la poudre Nano WC dans les moules d'impression 3D Performances : Dureté de surface HV 2000

4.6.2 Matériaux biomédicaux

4.6.2.1 Implants orthopédiques

Résistance à l'usure du revêtement WC dans l'articulation de la hanche Données : Taux d'usure $< 0,001$ mm³/N·m, taux de survie cellulaire > 98 % Technologie : Revêtement composite WC-Ti

4.6.2.2 Restaurations dentaires

Matériaux à base de WC dans les couronnes dentaires Performance : Résistance à la fracture > 1000 MPa

4.6.3 Fabrication intelligente et capteurs

4.6.3.1 Capteur de haute température

Stabilité de la poudre WC dans les capteurs industriels Données : Résistance à la température $> 1000^{\circ}\text{C}$, temps de réponse < 1 ms Cas : Surveillance d'un four de fabrication d'acier

4.7 Cas d'application et analyse des données

4.7.1 Tableau récapitulatif des applications industrielles

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Comparaison de données dans les domaines du carbure cimenté, du revêtement, de l'exploitation minière, de l'électronique, etc.

4.7.2 Analyse comparative des performances

Indicateurs clés tels que la dureté, la résistance à l'usure, la durée de vie, etc. (par rapport aux matériaux traditionnels)

4.7.3 Études de cas réussies

Exemples d'applications d'entreprise mondiales (telles que Sandvik, Kennametal)

4.8 Perspectives d'application futures

4.8.1 Potentiel dans les domaines émergents

Composants de refroidissement pour l'informatique quantique Couche conductrice électronique flexible

4.8.2 Défis techniques et solutions

Amélioration de la dispersion de la poudre Nano-WC Amélioration de la stabilité des revêtements à haute température

4.8.3 Prévisions du marché

Taux de croissance de la demande en 2030 > 6 %, analyse des domaines clés

Chapitre 5 : Contrôle de qualité et normes de la poudre de carbure de tungstène

5.1 Points clés du contrôle qualité

5.2 Normes internationales

5.3 Normes nationales

5.4 Comparaison et applicabilité des normes

Chapitre 6 : Optimisation des performances et modification de la poudre de carbure de tungstène

6.1 Optimisation de la taille des particules

6.2 Dopage et modification des composites

6.3 Technologie de modification de surface

6.4 Traitement thermique et recuit

Chapitre 7 : Considérations environnementales et de sécurité concernant la poudre de carbure de tungstène

7.1 Impact environnemental pendant la production

7.2 Spécifications de fonctionnement de sécurité

7.3 Recyclage et recyclage

Chapitre 8 : Tendances du marché et du développement de la poudre de carbure de tungstène

8.1 Aperçu du marché mondial

8.2 Tendances du développement technologique

8.3 Perspectives d'application futures

Chapitre 9 : Terminologie, normes et ressources

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

9.1 Glossaire des termes relatifs à la poudre de carbure de tungstène

9.2 Références et normes

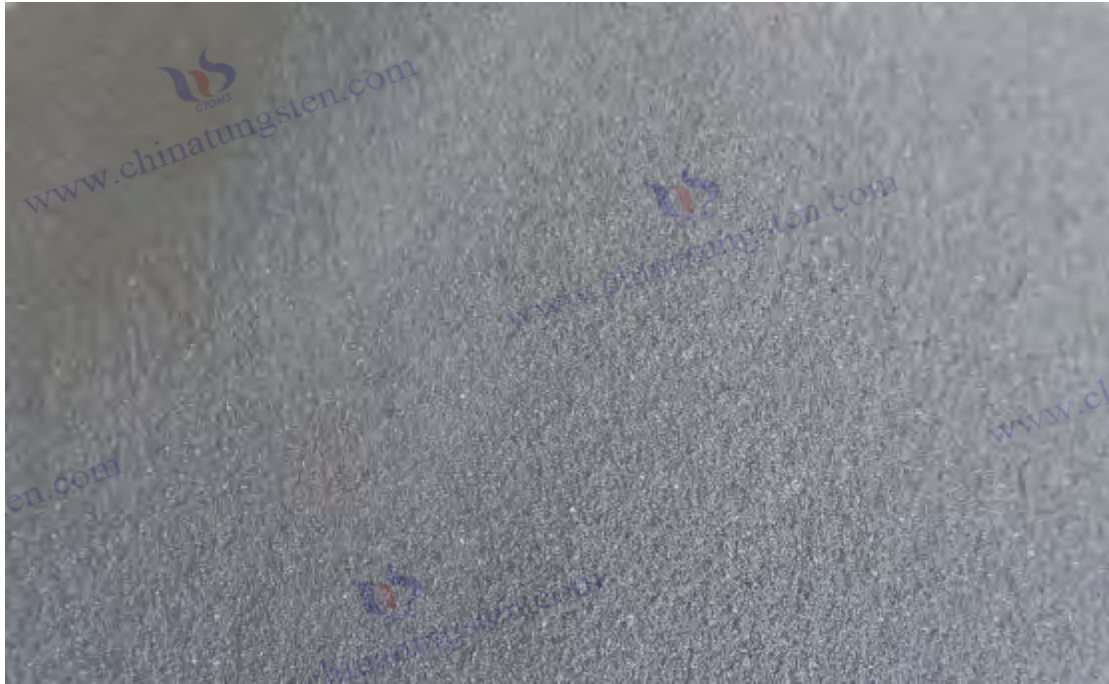
9.3 Ressources recommandées

Appendice

Annexe A : Analyse de la microstructure et des performances de la poudre de carbure de tungstène

Annexe B : Normes relatives à la taille des particules et aux paramètres de préparation de la poudre de carbure de tungstène

Annexe C : Comparaison des normes internationales et nationales relatives à la poudre de carbure de tungstène



Préface

Matériau fonctionnel aux excellentes performances, la poudre de carbure de tungstène (WC) est devenue un matériau incontournable de l'industrie moderne et des technologies de pointe, avec une dureté allant jusqu'à HV 2000-2500, une résistance à l'usure 10 à 20 fois supérieure à celle de l'acier traditionnel et un point de fusion allant jusqu'à 2870 °C. Sa structure cristalline hexagonale (constante de réseau $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$) et sa densité élevée ($15,63 \text{ g/cm}^3$) lui confèrent une résistance mécanique et une stabilité chimique inégalées, ce qui en fait un matériau d'application incontournable dans la fabrication de carbure cimenté, les technologies de revêtement de surface, les outils miniers, l'énergie électronique, l'aérospatiale et même les domaines biomédicaux.

Des bords tranchants des couteaux industriels aux revêtements résistants aux hautes températures des moteurs d'avion, des catalyseurs efficaces des piles à combustible aux moules de précision de l'impression 3D, la poudre de carbure de tungstène repousse continuellement les limites de la science des matériaux et de l'innovation de la technologie industrielle avec sa polyvalence et ses hautes performances. La découverte et l'application de la poudre de carbure de tungstène remontent aux recherches sur la chimie du tungstène à la fin du XIXe siècle. En 1893, le chimiste français Henri Moissan synthétisa pour la première fois du carbure de tungstène par réaction de carburation à haute température. Cependant, il ne s'agissait alors que d'un produit de laboratoire, sans application industrielle.

La véritable percée eut lieu dans les années 1920, lorsque le métallurgiste allemand Karl Schröter découvrit, lors de l'étude des matériaux durs à base de tungstène, que le frittage de poudre de carbure de tungstène avec de la poudre de cobalt (Co) ($1450-1600 \text{ °C}$, $10-20 \text{ MPa}$) pouvait produire du carbure cimenté d'une dureté proche de celle du diamant (HV 1500-1800). Cette invention fut brevetée par

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Osram en Allemagne en 1923 et industrialisée en 1926 par Rheinmetall, également en Allemagne, pour la fabrication d'outils de coupe. Par la suite, le carbure cimenté au carbure de tungstène fit son entrée sur le marché sous la marque « Widia » (en allemand : « Wie Diamant », signifiant « comme le diamant »), remplaçant rapidement l'acier rapide traditionnel et inaugurant l'ère du carbure cimenté. Les recherches chinoises sur la poudre de carbure de tungstène débutèrent dans les années 1950. En 1958, l'usine de carbure cimenté de Zhuzhou a produit avec succès le premier lot de carbure cimenté WC-Co, comblant ainsi le manque de carbure cimenté sur le marché intérieur. Depuis, grâce aux abondantes ressources en tungstène de la Chine (environ 60 % des réserves mondiales, source des données : USGS 2023), l'utilisation de la poudre de carbure de tungstène s'est rapidement développée dans l'industrie chinoise, couvrant des domaines tels que la fabrication de machines, l'exploitation minière et la défense nationale.

À l'aube du XXI^e siècle, avec l'essor des nanotechnologies, de l'ingénierie de surface et de la fabrication intelligente, le champ d'application de la poudre de carbure de tungstène s'est encore élargi. Selon les données du CTIA GROUP, la demande annuelle mondiale de poudre de carbure de tungstène a dépassé les 60 000 tonnes en 2023, et le marché devrait dépasser les 5 milliards de dollars d'ici 2030, avec une croissance annuelle moyenne d'environ 6,5 %. Son procédé de production a évolué, passant de la méthode traditionnelle de carbonisation à haute température (1 800-2 000 °C, durée de carbonisation de 2 à 4 heures) au dépôt chimique en phase vapeur (CVD, taux de dépôt de 0,1 à 1 µm /min), à la mécanosynthèse (durée de broyage à boulets de 20 à 50 heures, granulométrie < 50 nm) et à d'autres technologies avancées. La taille des particules a été réduite du niveau micron (1-5 µm) au niveau nanométrique (<100 nm), et la surface spécifique a été augmentée à 20-50 m²/g, ce qui a considérablement amélioré les performances et le potentiel d'application du matériau.

, CTIA GROUP LTD ([CTIA GROUP](#)) et CTIA GROUP ([China Tungsten Online](#)) ont leur siège social à Xiamen, en Chine. Ce sont des entreprises de haute technologie spécialisées dans la recherche et le développement, la production et la commercialisation de produits en tungstène. Forts d'une connaissance approfondie de l'industrie chinoise du tungstène et de plus de 20 ans d'expérience technique, nous nous engageons à promouvoir l'innovation et les applications de la poudre de carbure de tungstène. Nous sommes profondément convaincus que la littérature technique actuelle ne traite pas suffisamment de la poudre de carbure de tungstène, notamment en raison du manque d'intégration complète des sciences fondamentales aux applications de pointe. À cette fin, cet ouvrage vise à fournir aux chercheurs universitaires, aux industriels et aux développeurs techniques un ouvrage de référence fiable, détaillé et pratique, afin d'aider les lecteurs à comprendre en profondeur les caractéristiques, le processus de production, les techniques d'analyse et les diverses applications de la poudre de carbure de tungstène, tout en fournissant des bases scientifiques et des orientations pratiques pour les futures avancées technologiques. Ce livre n'est pas seulement un résumé de connaissances théoriques, mais aussi la cristallisation de nos nombreuses années d'expérience pratique dans le domaine de la poudre de carbure de tungstène.

Français Les lecteurs cibles de ce livre incluent : les chercheurs dans le domaine de la science et de l'ingénierie des matériaux, qui s'intéressent à la microstructure (taille des grains 10-50 nm) et à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

L'optimisation des performances (comme la ténacité à la rupture $> 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) de la poudre de carbure de tungstène ; les ingénieurs des industries métallurgiques, de fabrication mécanique et minière, qui recherchent des solutions pour améliorer la durée de vie des outils (résistance à l'usure augmentée de 5 à 10 fois) et l'efficacité ; les praticiens des domaines de l'électronique, de l'énergie et du biomédical, qui explorent l'application de la poudre de carbure de tungstène dans les revêtements conducteurs (résistivité $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$), les supports de catalyseurs (surface spécifique $> 50 \text{ m}^2 / \text{g}$), et les étudiants et techniciens intéressés par la technologie des matériaux qui souhaitent maîtriser systématiquement les connaissances de base dans ce domaine. En outre, ce livre fournit également un aperçu des tendances du secteur pour les décideurs d'entreprise et les analystes de marché, telles que les prévisions de la demande mondiale et les orientations de développement technologique.

Français En termes de méthodes d'écriture, ce livre adopte une perspective multidisciplinaire, intégrant les dernières avancées de la science des matériaux, du génie chimique, de la fabrication mécanique et de la physique appliquée. En termes de structure du contenu, les chapitres 1 à 3 présentent les caractéristiques de base, le processus de production et l'analyse de la microstructure de la poudre de carbure de tungstène (par exemple, la position du pic de DRX $2\theta=35,6^\circ$ correspond au plan cristallin WC(100)) ; le chapitre 4, qui est le point central du livre, discute de son application dans le carbure cémenté (dureté HV 1500-2000), le revêtement de surface (force de liaison $> 70 \text{ MPa}$), les outils miniers (ténacité aux chocs $> 25 \text{ J/cm}^2$) et d'autres domaines en détail, jusqu'aux scénarios spécifiques et aux données techniques ; les chapitres 5 à 6 se concentrent sur le contrôle qualité (par exemple, la distribution granulométrique $\text{RSD}<5\%$), les normes et l'optimisation des performances (par exemple, le dopage au Co pour améliorer la ténacité) ; Les chapitres 7 et 8 se concentrent sur l'impact environnemental (tel que les émissions de poussières $< 10 \text{ mg/m}^3$), les considérations de sécurité et les tendances du marché ; le chapitre 9 fournit un glossaire et des ressources ; l'annexe complète la microanalyse (résolution SEM/TEM $< 1 \text{ nm}$), les normes de granulométrie et les comparaisons de spécifications. L'ouvrage cite abondamment les normes internationales (telles que ISO 4499-2:2020, ASTM B430-19), les spécifications nationales (telles que GB/T 4295-2008) et les publications les plus récentes (comme l'article de 2023 du Journal of Materials Science), et est complété par des données expérimentales, des images microscopiques et des analyses de cas pour garantir la scientificité et la praticité du contenu.

Dans le contexte du développement vert mondial, les perspectives d'application de la poudre de carbure de tungstène s'élargissent sans cesse. CTIA GROUP souhaite offrir à ses lecteurs des références techniques complètes et des sources d'inspiration innovantes grâce à cet ouvrage. Nous remercions l'Association chinoise de l'industrie du tungstène, l'Institut des matériaux de l'Académie chinoise des sciences et l'Association internationale de l'industrie du tungstène (ITIA) pour leur soutien, et nous attendons avec impatience les précieux commentaires des lecteurs afin d'améliorer continuellement cet ouvrage.

CTIA GROUP LTD

Avril 2025

Xiamen, Chine

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

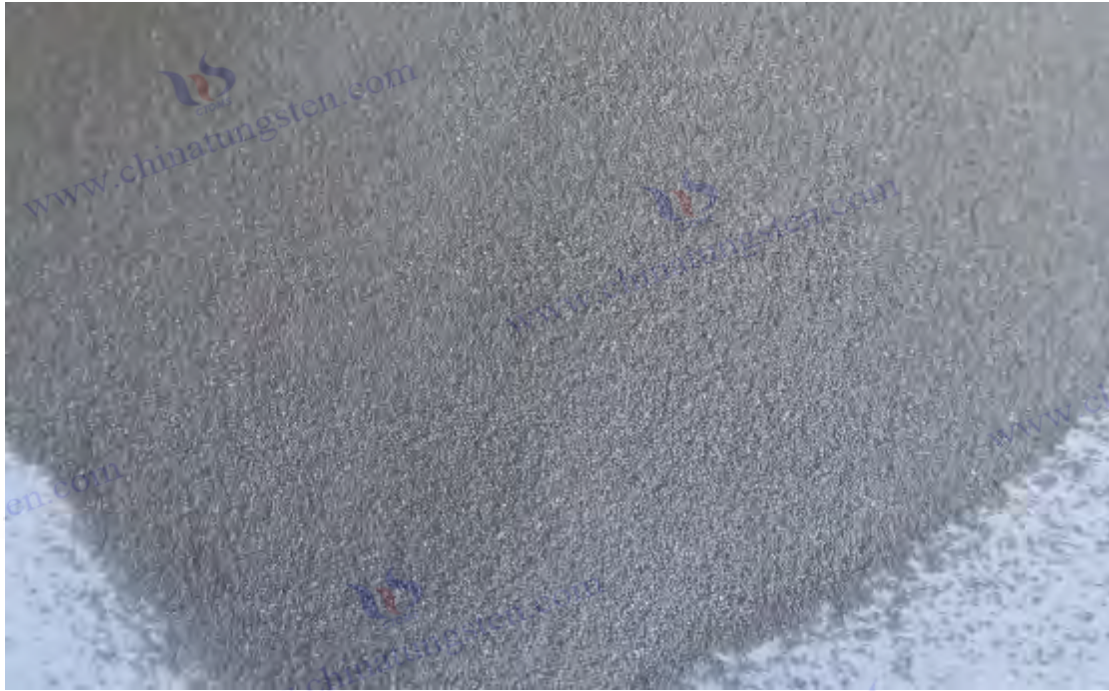

www.chinatungsten.com


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



Chapitre 1 : Introduction à la poudre de carbure de tungstène

Matériau fonctionnel hautes performances, la poudre de carbure de tungstène (WC) occupe une place centrale dans la fabrication industrielle, la recherche scientifique et les technologies de pointe grâce à sa dureté, sa résistance à l'usure et sa stabilité à haute température. Ses propriétés physiques et chimiques uniques en font un matériau indispensable pour le carbure cémenté, les revêtements de surface, les outils miniers et même les domaines de l'énergie électronique. Ce chapitre, qui débute par la définition et la composition chimique de la poudre de carbure de tungstène, explique en détail ses propriétés physiques et chimiques, la classe selon les normes nationales et les spécifications internationales, et explore en profondeur sa relation avec la poudre de tungstène, ainsi que l'influence clé de la teneur en carbone sur les performances. Grâce à de riches données expérimentales et à un contexte d'application, ce chapitre offre aux lecteurs un cadre de connaissances complet sur la poudre de carbure de tungstène, posant ainsi une base solide pour les chapitres suivants.

1.1 Définition et composition chimique de la poudre de carbure de tungstène

Il s'agit d'un matériau composé de tungstène (W) et de carbone (C) dans un rapport atomique 1:1. Sa formule chimique est WC et sa masse moléculaire est de 195,85 g/mol. Sa structure cristalline est un système hexagonal simple (groupe d'espace $P6m2$), avec des constantes de réseau $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$ et un rapport c/a de 0,976 (JCPDS 51-0939). Dans cette structure, les atomes de tungstène forment un squelette hexagonal serré, et les atomes de carbone remplissent les espaces octaédriques et sont liés par de fortes liaisons covalentes métalliques. Cette structure confère à la poudre de carbure de tungstène une dureté et une résistance à la déformation extrêmement élevées, ce qui en fait un matériau représentatif des matériaux durs.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La teneur théorique en carbone de la poudre de carbure de tungstène est de 6,13 % (fraction massique), ce qui correspond à la totalité des atomes de carbone présents à l'état chimiquement lié. En production industrielle, la teneur en carbone est généralement maintenue entre 6,10 % et 6,18 % afin de garantir la pureté du WC monophasé et d'éviter la formation de W_2C ou de carbone libre. Par exemple, la norme GB/T 4295-2008 stipule que l'écart de teneur totale en carbone de la poudre de carbure de tungstène haute pureté ne doit pas dépasser $\pm 0,05$ %, que la teneur en impuretés (telles que Fe, Ni, Cr) doit être inférieure à 0,01 % et que la teneur en oxygène doit être maintenue entre 50 et 200 ppm. Dans la pratique, la poudre de carbure de tungstène peut être divisée en poudre de WC monophasé et en poudre de phase composite (telles que WC-Co, WC- TiC). Ce dernier est dopé au cobalt (5%-15%) ou au carbure de titane pour améliorer la ténacité ou la résistance à la corrosion, et est largement utilisé dans la fabrication d'outils de coupe et de pièces résistantes à l'usure.

1.2 Propriétés physiques de la poudre de carbure de tungstène

1.2.1 Structure cristalline et morphologie de la poudre de carbure de tungstène

La structure hexagonale de la poudre de carbure de tungstène est la base microscopique de ses excellentes performances. L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) montre que ses pics caractéristiques sont situés à $2\theta = 35,641^\circ$ (plan cristallin 100, $d = 2,518 \text{ \AA}$), $48,298^\circ$ (plan cristallin 101, $d = 1,883 \text{ \AA}$) et $31,514^\circ$ (plan cristallin 001, $d = 2,837 \text{ \AA}$), et le rapport d'intensité des pics est conforme au spectre standard du WC monophasé (JCPDS 51-0939). La granulométrie varie en fonction du procédé de préparation. La granulométrie du produit de la méthode traditionnelle de carburation à haute température est de 1 à 5 μm . L'alliage mécanique ou le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) peuvent préparer une poudre de carbure de tungstène nanométrique $< 100 \text{ nm}$. Français Les observations au microscope électronique à balayage (MEB) montrent que les particules de poudre de carbure de tungstène de taille micrométrique ont une morphologie polyédrique irrégulière, des arêtes vives et une rugosité de surface Ra d'environ 0,1 à 0,5 μm ; tandis que la poudre de carbure de tungstène de taille nanométrique a tendance à être presque sphérique, avec une surface spécifique de 20 à 50 m^2/g (mesurée par la méthode BET). La microscopie électronique à transmission (MET) révèle en outre qu'il existe un petit nombre de défauts aux limites des grains à l'intérieur des nanoparticules de WC, et que l'espacement des franges du réseau est cohérent avec les résultats de la DRX.

1.2.2 Densité de la poudre de carbure de tungstène

La masse volumique théorique de la poudre de carbure de tungstène est de 15,63 g/cm^3 (25 °C), calculée à partir de son volume unitaire hexagonal ($V = 21,38 \text{ \AA}^3$) et de sa masse moléculaire. La poudre industrielle présente une masse volumique légèrement inférieure en raison de micropores ou d'impuretés, généralement comprise entre 15,5 et 15,6 g/cm^3 (déterminée par la méthode d'Archimède, précision de $\pm 0,01 \text{ g}/\text{cm}^3$). La masse volumique varie légèrement avec la granulométrie, mais peut atteindre plus de 99,5 % après frittage. Sa densité élevée permet à la poudre de carbure de tungstène d'offrir une excellente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

résistance à la compression dans le carbure cimenté. Par exemple, la résistance à la compression du carbure cimenté WC-Co peut atteindre 4 000 à 6 000 MPa, dépassant largement celle de l'acier traditionnel (800 à 1 500 MPa). Dans les applications de revêtement, une densité élevée améliore également la résistance à l'usure.

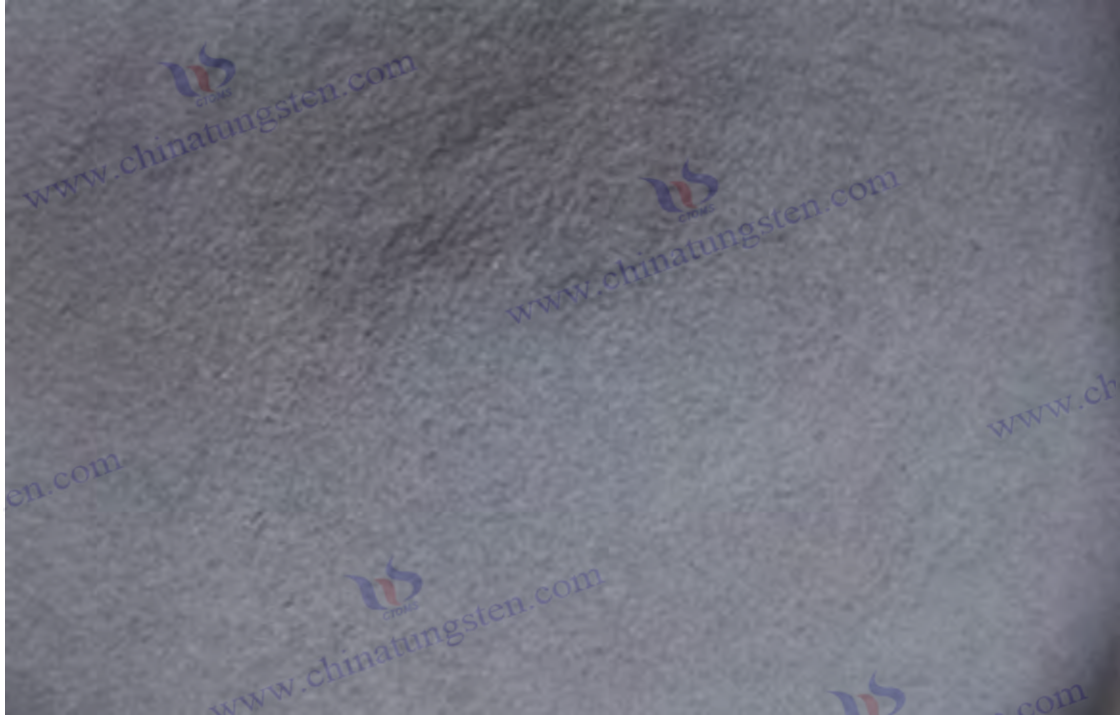
1.2.3 Dureté de la poudre de carbure de tungstène

La dureté Vickers (HV) de la poudre de carbure de tungstène varie de 2 000 à 2 500 (charge de 1 kg, norme ASTM E384), ce qui est proche de celle du diamant naturel (HV 10 000) et bien supérieure à celle de l'acier rapide (HV 600-800) ou de l'alumine (HV 1 500-1 800). La dureté augmente avec la taille des grains. Par exemple, la dureté du WC avec des grains de 1 μm est d'environ HV 2 200, tandis que celle du nano WC avec des grains < 100 nm peut atteindre HV 2 600-2 800, ce qui est attribué à l'effet de renforcement des joints de grains (relation Hall-Petch). Les expériences montrent qu'après un dopage avec 5 à 10 % de cobalt, la dureté diminue légèrement à HV 1500-1800, mais la ténacité est significativement améliorée (la ténacité à la rupture K_{IC} passe de 8 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ à 12-15 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). La stabilité de la dureté en fait un excellent choix pour les outils de coupe et les pièces résistantes à l'usure.

1.2.4 Point de fusion et stabilité thermique de la poudre de carbure de tungstène

Le point de fusion de la poudre de carbure de tungstène est de 2 870 °C (valeur de la littérature : 2 867-2 875 °C, déterminée par analyse thermique différentielle), ce qui est l'un des plus élevés parmi les carbures métalliques. Au-delà de 2 600 °C, le WC commence à se décomposer et la réaction est : $2\text{WC} \rightarrow \text{W}_2\text{C} + \text{C}$. La dureté du produit de décomposition W_2C diminue (HV : 1 600-2 000), et le carbone libre affecte le frittage ultérieur. La conductivité thermique est de 84 W/m·K (25 °C), qui diminue légèrement à 70 W/m·K (1 000 °C) avec l'augmentation de la température ; Le coefficient de dilatation thermique est de $4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (25-1 000 °C), ce qui est inférieur à celui du tungstène ($4,8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) et de l'acier ($12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$). Cette faible dilatation thermique et cette conductivité thermique élevée lui permettent de maintenir l'intégrité structurelle dans des environnements à haute température (tels que les revêtements de moteurs d'avion, > 1 200 °C). L'analyse thermogravimétrique (ATG) montre que la poudre de carbure de tungstène ne présente pas de perte de masse significative jusqu'à 2 000 °C en atmosphère inerte (Ar).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1.2.5 Propriétés électriques et magnétiques de la poudre de carbure de tungstène

La résistivité de la poudre de carbure de tungstène est de $19,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (25 °C, mesurée par la méthode des quatre sondes). Elle présente une certaine conductivité, mais elle est inférieure à celle du tungstène pur ($5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) ou du cuivre ($1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$). La résistivité augmente avec la température et est d'environ 25×10^{-8} à 1 000 °C. $\Omega \cdot m$, ce qui indique qu'elle possède des propriétés semi-conductrices. La susceptibilité magnétique est de $1,2 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 / \text{mol}$ (température ambiante, mesurée par magnétomètre à échantillon vibrant VSM), ce qui est faiblement paramagnétique, légèrement supérieur à celui du tungstène pur ($0,3 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 / \text{mol}$), mais bien inférieur à celui des matériaux ferromagnétiques (tels que le Fe, $2,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 / \text{mol}$). Son faible magnétisme le rend moins sensible aux interférences du champ magnétique dans les appareils électroniques (tels que les électrodes des piles à combustible).

1.3 Propriétés chimiques de la poudre de carbure de tungstène

1.3.1 Stabilité chimique de la poudre de carbure de tungstène

La poudre de carbure de tungstène présente une excellente stabilité chimique à température ambiante. Les expériences montrent qu'elle ne présente aucune perte de masse notable ($< 0,01 \%$) après immersion dans une solution de HCl à 37 %, H₂SO₄ à 98 % ou NaOH à 10 % pendant 1 000 heures, ce qui indique une forte résistance à la corrosion acide et alcaline. Cependant, dans un acide oxydant fort à haute température (tel que HNO₃ à 70 %, 60 °C), la poudre de carbure de tungstène se dissout lentement. La

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

réaction est la suivante : $WC + 10HNO_3 \rightarrow WO_3 + CO_2 + 5H_2O + 10NO_2$, avec une vitesse de dissolution d'environ $0,05 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$. Cette stabilité la rend idéale pour les revêtements de canalisations chimiques et les pièces résistantes à l'usure en milieu acide.

1.3.2 Comportement à l'oxydation de la poudre de carbure de tungstène

La poudre de carbure de tungstène commence à s'oxyder à $600-800^\circ\text{C}$ sous atmosphère d'oxygène. La réaction est la suivante : $2WC + 5O_2 \rightarrow 2WO_3 + 2CO_2$. L'analyse thermogravimétrique (ATG) montre un gain de poids d'oxydation de 5 à 10 % à 700°C et une conversion complète en WO_3 (poudre jaune, point de fusion 1473°C) à 1000°C . La vitesse d'oxydation est liée à la taille des particules. Le WC nanométrique ($< 100 \text{ nm}$) présente une grande surface spécifique et la température de début d'oxydation est réduite à 550°C , tandis que le WC micrométrique ($1-5 \mu\text{m}$) est plus stable. Le produit d'oxydation WO_3 présente une faible volatilité, mais se volatilise partiellement à $> 1200^\circ\text{C}$, ce qui affecte l'application du revêtement.

1.3.3 Résistance à la corrosion de la poudre de carbure de tungstène

La poudre de carbure de tungstène présente une excellente résistance à la corrosion en solutions aqueuses acides ou neutres. Par exemple, dans un fluide de simulation d'eau de mer (NaCl à 3,5 %) à pH compris entre 2 et 7, la vitesse de corrosion est inférieure à $0,001 \text{ mm/an}$ en 500 heures. Cependant, dans les environnements alcalins à haute température (comme la soude caustique fondue à 550°C), la poudre de carbure de tungstène se corrode rapidement et réagit pour former du tungstate soluble (Na_2WO_4). Cette propriété lui confère de bonnes performances en ingénierie marine (comme le revêtement des outils de forage), mais son utilisation doit être prudente dans les environnements de fusion alcalins.

1.3.4 Réaction de la poudre de carbure de tungstène avec d'autres éléments

La poudre de carbure de tungstène réagit avec le fluor gazeux (F_2) au-dessus de 500°C pour générer du WF_6 (point d'ébullition $17,1^\circ\text{C}$) et du carbone libre. La réaction est la suivante : $WC + 3F_2 \rightarrow WF_6 + C$. À haute température ($> 1000^\circ\text{C}$), la poudre de carbure de tungstène forme une solution solide ou une phase composite avec des métaux (tels que Fe, Ni, Co). Par exemple, lors du frittage de WC-Co, le Co fond à 1400°C et recouvre les particules de WC pour former une phase de liaison. Cette réactivité est à la base de la fabrication du carbure cémenté, mais elle limite également son application dans les environnements fortement halogénés.

1.4 Classification de la poudre de carbure de tungstène (selon les normes nationales)

La classification de la poudre de carbure de tungstène est basée sur la norme nationale chinoise GB/T 4295-2008 et la norme internationale ISO 4499-2:2020, combinées à la norme ASTM B430-19 pour compléter la perspective internationale.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.4.1 Classification de la poudre de carbure de tungstène par granulométrie

Poudre de carbure de tungstène à gros grains ($> 5 \mu\text{m}$)

Pour pièces d'usure et outils miniers, masse volumique apparente de 12 à 14 g/cm³, fluidité de 10 à 15 s/50 g (ISO 4499-2). Utilisations typiques : forets de roche, résistance aux chocs $> 25 \text{ J/cm}^2$.

Poudre de carbure de tungstène à particules moyennes (1-5 μm)

Qualité industrielle courante, adaptée aux outils en carbure, surface 0,5-2 m²/g (méthode BET), dureté HV 2000-2200. GB/T 4295-2008 exige une teneur en oxygène $< 200 \text{ ppm}$.

Poudre de carbure de tungstène à grains fins (0,1-1 μm)

Pour le carbure cémenté ultra-fin (tel que le micro-perçage de PCB), dureté HV 2200-2400, ténacité à la rupture $> 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. ASTM B430-19 recommande une distribution granulométrique RSD $< 3 \%$.

Poudre de carbure de tungstène de taille nanométrique ($< 0,1 \mu\text{m}$)

Pour les revêtements résistants et les matériaux électroniques, surface spécifique de 20 à 50 m²/g, granulométrie déterminée par microscopie électronique en transmission (MET) ($< 50 \text{ nm}$). La norme ISO 4499-2 est recommandée pour les applications de haute précision.

1.4.2 Classification de la poudre de carbure de tungstène par composition chimique

Poudre de carbure de tungstène WC monphasé

Teneur en carbone : 6,10 %-6,18 %, pureté : $> 99,9 \%$, teneur en oxygène : $< 50 \text{ ppm}$, impuretés Fe et Ni : $< 0,01 \%$. Convient aux revêtements aéronautiques et aux supports de catalyseurs.

Poudre de carbure de tungstène contenant du W₂C

Teneur en carbone 5,8%-6,10%, teneur en W₂C $< 5\%$ (DRX quantitative), dureté HV 1600-2000, faible coût, adapté au revêtement résistant à l'usure.

Poudre de carbure de tungstène contenant du carbone libre

La teneur en carbone est de 6,18 % à 6,30 %, le carbone libre $< 0,5 \%$ (méthode de titrage chimique), la porosité augmente après frittage ($> 1 \%$) et est utilisé pour les revêtements par projection thermique.

1.4.3 Classification de la poudre de carbure de tungstène par application

Poudre de carbure de tungstène pour carbure cémenté

Grains uniformes, teneur en oxygène $< 200 \text{ ppm}$, écart carbone total $\pm 0,05 \%$ (GB/T 5314-2011). Applications typiques : outils de coupe, dureté HV 1500-1800.

Poudre de carbure de tungstène pour revêtement

Les particules sont sphériques, avec une fluidité $> 20 \text{ s/50 g}$, une taille de particule de 1 à 10 μm , utilisées

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pour la pulvérisation HVOF et une dureté de revêtement HV 1200-1400.

Poudre de carbure de tungstène pour catalyseur

Nano-échelle, pureté > 99,95 %, surface spécifique > 50 m²/g, utilisé pour les électrodes de piles à combustible, conductivité > 10⁻⁴ S/m.

1.5 La différence et la relation entre la poudre de carbure de tungstène et la poudre de tungstène

1.5.1 La différence entre la poudre de carbure de tungstène et la poudre de tungstène

Composition chimique

La poudre de tungstène est du tungstène pur (W, pureté > 99,9 %, teneur en oxygène < 100 ppm) et la poudre de carbure de tungstène est du WC (teneur en carbone 6,13 %).

Propriétés physiques

Poudre de tungstène densité 19,25 g/cm³, point de fusion 3422°C, dureté HV 300-500, résistivité 5,5×10⁻⁸ Ω·m ; Poudre de carbure de tungstène densité 15,63 g/cm³, point de fusion 2870°C, dureté HV 2000-2500, résistivité 19,2×10⁻⁸ Ω·m .

Utiliser

La poudre de tungstène est utilisée pour la préparation de fils, de tiges et de WC ; la poudre de carbure de tungstène est utilisée pour le carbure cimenté, les revêtements et les catalyseurs. La poudre de tungstène résiste aux températures élevées mais présente une faible dureté, tandis que la poudre de carbure de tungstène présente une dureté élevée mais une résistance à la chaleur légèrement inférieure.

1.5.2 Relation entre la poudre de carbure de tungstène et la poudre de tungstène

La poudre de tungstène est la matière première directe de la poudre de carbure de tungstène et est préparée par réaction de carbonisation ($W + C \rightarrow WC$). Le procédé de carbonisation industrielle est réalisé sous atmosphère d'hydrogène ou d'argon à une température de 1 800 à 2 000 °C. La source de carbone est du noir de carbone de haute pureté (pureté > 99,9 %) et le temps de réaction est de 2 à 4 heures. La granulométrie de la poudre de tungstène (1 à 10 μm) détermine sa morphologie initiale. Par exemple, une poudre de tungstène de 5 μm est carbonisée pour produire une poudre de WC de 2 à 5 μm, tandis qu'une poudre de tungstène < 1 μm peut être utilisée pour préparer du WC submicronique. Le procédé de carbonisation nécessite un contrôle précis de la quantité de carbone. Un excès de carbone génère du carbone libre (> 0,5 %) et un manque de carbone forme du W₂C (réduction de la dureté). Les expériences montrent que lorsque l'efficacité de carbonisation est > 98 %, la pureté du WC peut atteindre 99,9 %.

1.6 Régulation, importance, détermination et impact sur les performances de la teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.6.1 Exigences relatives à la teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène

La norme GB/T 4295-2008 stipule que la teneur totale en carbone de la poudre de carbure de tungstène est comprise entre 6,10 % et 6,18 %, et que la teneur en carbone libre est inférieure à 0,5 %. La norme ASTM B430-19 exige une déviation de la teneur totale en carbone de $\pm 0,03$ % et une teneur en oxygène inférieure à 100 ppm. La norme ISO 4499-2:2020 recommande également de maintenir la teneur en carbone des applications haut de gamme (comme l'aviation) entre 6,12 % et 6,15 % afin d'optimiser les performances. Un dépassement de cette plage entraînera des phases anormales, telles que W_2C (carbone $< 6,10$ %) ou carbone libre (carbone $> 6,18$ %).

1.6.2 Importance de la teneur en carbone dans la poudre de carbure de tungstène

La teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène est un paramètre clé qui détermine sa microstructure et ses propriétés macroscopiques. Une valeur théorique de 6,13 % garantit la formation d'un réseau complet de WC monphasé, et les performances sont optimales avec un écart de $\pm 0,05$ %. Une faible teneur en carbone génère du W_2C , ce qui augmente les défauts de réseau et réduit la dureté ; une teneur élevée en carbone provoque la précipitation du carbone libre, formant des pores (porosité > 2 %) après frittage, réduisant ainsi la résistance. Des études industrielles montrent que la résistance à la flexion du carbure cémenté préparé à partir de poudre de WC contenant 0,3 % de carbone libre chute de 2 500 MPa à 2 000 MPa.

1.6.3 Méthode de détermination de la teneur en carbone dans la poudre de carbure de tungstène

Méthode de combustion

Les échantillons ont été brûlés dans un four à induction haute fréquence (1800-2000°C, débit d'oxygène 2-3 L/min), et le CO_2 a été déterminé par un détecteur infrarouge avec une précision totale de carbone de $\pm 0,01$ % (GB/T 223.5-2008).

Titration chimique

Le carbone libre est dissous dans un acide mixte $H_2SO_4 - HNO_3$ puis titré avec une précision de $\pm 0,02$ % (ASTM E1019-18).

Analyse XPS

La spectroscopie photoélectronique à rayons X distingue le carbone lié (284,6 eV) du carbone libre (285,0 eV) avec une résolution de surface de $< 0,1$ %, ce qui est applicable au nano-WC.

Analyse thermogravimétrique (ATG)

Déterminer la perte de carbone après oxydation et vérifier la teneur en carbone libre avec une précision de $\pm 0,05$ %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.6.4 Effet de la teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène sur les performances

Dureté

La dureté est maximale (HV 2500) lorsque la teneur en carbone est de 6,13 %, et chute à HV 1800 lorsqu'elle est aussi basse que 5,8 %. La dureté diminue d'environ 50 HV pour chaque augmentation de 1 % du rapport W₂C.

Robustesse

Lorsque le carbone libre > 0,5 %, la ténacité à la rupture diminue de 12 MPa·m^{1/2} à 8-10 MPa·m^{1/2} en raison de l'affaiblissement des joints de grains par les pores.

Résistance à l'usure

la teneur en W₂C est >5%, le taux d'usure augmente de 0,005 mm³ / N · m à 0,015 mm³ / N · m (test ASTM G65).

Frittage

Lorsque la teneur en carbone libre est de 0,8 %, la densité frittée chute de 99,5 % à 97 %, et la résistance à la compression diminue de 20 %. Cas : Une usine d'outillage a utilisé de la poudre WC contenant 0,6 % de carbone libre, et la durée de vie de l'outil du produit fini a été réduite de 30 %.

Références

Références chinoises

- [1] GB/T 4295-2008 Poudre de carbure de tungstène Administration nationale de normalisation de Chine 2008
- [2] GB/T 223.5-2008 Acier et fer - Détermination de la teneur en carbone et en soufre Administration nationale de normalisation de Chine 2008
- [3] GB/T 5314-2011 Poudres pour carbure cimenté Administration nationale de normalisation de Chine 2011
- [4] Distribution granulométrique - Méthode de diffraction laser, Administration nationale de normalisation de Chine, 2016
- [5] Zhang Lide Nanomatériaux et nanostructures Science Press 2002

Références en anglais

- [6] ASTM B430-19 Méthodes d'essai standard pour la distribution granulométrique des poudres métalliques réfractaires et des composés apparentés par turbidimétrie ASTM International 2019
- [7] ASTM E1019-18 Méthodes d'essai standard pour la détermination du carbone, du soufre, de l'azote et de l'oxygène dans les alliages d'acier, de fer, de nickel et de cobalt par diverses techniques de combustion et de fusion ASTM International 2018
- [8] ISO 4499-2:2020 Métaux durs — Détermination métallographique de la microstructure — Partie 2 : Mesure de la taille des grains de WC Organisation internationale de normalisation 2020
- [9] Lassner, E., & Schubert, WD Tungstène : propriétés, chimie, technologie de l'élément, alliages et composés chimiques Springer 1999

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[10] Upadhyaya, GS Carbures de tungstène cémentés : production, propriétés et tests William Andrew Publishing 1998

Références dans d'autres langues

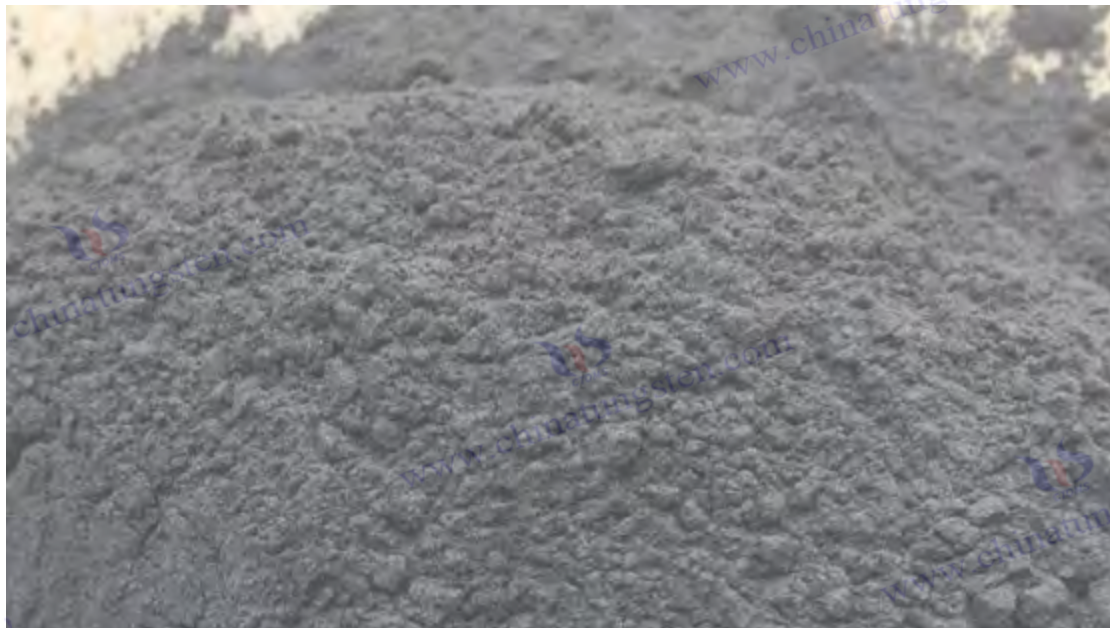
[11] Japan Standards Association JIS H 7803:2005 Méthode d'essai pour la poudre de carbure de tungstène Japan Standards Association 2005 Traduction chinoise : 碳化钨粉末测试方法

[12] DIN EN ISO 4499-2:2020 Hartmetalle — Metallographische Bestimmung der Mikrostruktur — Partie 2 : Messung der WC- Korngröße Allemand Institut für Normung 2020 Traduction chinoise : 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 Traduction anglaise : Carbure cémenté - Détermination métallurgique de la microstructure - Partie 2 : Mesure de la granulométrie WC

[13] ГОСТ 25599.1-83 Порошки твердых сплавов . Метод апробации координации углерода Государственный le directeur de la publication стандартам 1983 Traduction chinoise : 硬质合金粉末 - 碳含量测定方法 Traduction anglaise : Poudres d'alliages durs - Méthode de détermination de la teneur en carbone

[14] KS D 9502:2015 탄화텅스텐 100% 입도 분포 측정 Korean Standards Association 2015

Traduction chinoise : 碳化钨粉末粒度分布测定方法 Traduction anglaise : Méthode de détermination de la distribution granulométrique de la poudre de carbure de tungstène



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Annexe :

Une brève histoire de la poudre de carbure de tungstène

Matériau industriel révolutionnaire, la poudre de carbure de tungstène (WC) a connu un long développement, depuis ses explorations chimiques à la fin du XIXe siècle jusqu'à ses applications dans de multiples domaines au XXIe siècle. Grâce à sa dureté (HV 2000-2500), sa résistance à l'usure et sa stabilité à haute température (point de fusion 2870 °C), la poudre de carbure de tungstène a non seulement révolutionné les industries de transformation mécanique et minière, mais a également favorisé l'innovation technologique dans les domaines de l'électronique, de l'énergie, de l'aérospatiale et de la biomédecine. Cette annexe retrace de manière exhaustive la découverte, l'industrialisation, la mondialisation et les tendances de développement futures de la poudre de carbure de tungstène, et offre aux lecteurs un aperçu historique complet grâce à des éléments historiques détaillés, des détails techniques, des contributions humaines et un impact mondial, en complément du chapitre 1.

1 Premières découvertes et explorations en laboratoire (fin du XIXe siècle)

L'origine de la poudre de carbure de tungstène remonte aux recherches sur la chimie du tungstène à la fin du XIXe siècle, qui marquaient le début du passage de la théorie à la pratique. Dans les années 1860, le tungstène, en tant que métal réfractaire (point de fusion 3 422 °C), commença à attirer l'attention de la communauté scientifique et fut largement étudié pour son potentiel en éclairage (filament de tungstène) et en métallurgie (acier au tungstène). Cependant, la première synthèse de poudre de carbure de tungstène apparut en 1893 par le chimiste français Henri Moissan. Moissan était célèbre pour ses recherches sur les composés réfractaires. Il utilisa un four à arc électrique artisanal pour faire réagir de l'oxyde de tungstène (WO_3 , pureté d'environ 98 %) avec de la poudre de graphite de haute pureté à une température élevée d'environ 2 000 °C afin de produire du carbure de tungstène (WC) sous forme de cristaux noirs. Les données expérimentales montrent que la dureté de ce cristal est extrêmement élevée, proche de celle du diamant naturel (HV 10 000), mais en raison du manque de méthodes analytiques précises à l'époque (comme la diffraction des rayons X, XRD), Moissan l'a seulement décrit comme un « composé de tungstène et de carbone » et n'a pas réussi à confirmer sa structure cristalline hexagonale ($a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$).

La découverte de Moissan n'était pas un incident isolé, mais le fruit des progrès de la technologie chimique et métallurgique de la fin du XIXe siècle. À cette époque, l'invention du four à arc électrique (années 1880) a permis des expériences à haute température, et le développement des minerais de tungstène (tels que la scheelite CaWO_4 et la wolframite FeMnWO_4) a jeté les bases de l'approvisionnement en matières premières. Cependant, faute de demande industrielle et de technologies analytiques suffisantes, la poudre de carbure de tungstène est restée au laboratoire à ce stade et n'a pas été utilisée en pratique. Néanmoins, les travaux de Moissan ont inspiré les chercheurs ultérieurs, et son article (publié dans Comptes) « Le Rendus de l'Académie des Sciences » est devenu le point de départ de l'étude des propriétés chimiques du carbure de tungstène.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Parallèlement, d'autres scientifiques ont également tenté d'explorer le carbure de tungstène. En 1896, le chimiste américain Charles L. Parsons a tenté de réduire l'acide tungstique (H_2WO_4) avec du carbone et a obtenu une substance similaire au carbure de tungstène. Cependant, sa faible pureté (contenant du W_2C et du carbone libre) a laissé à désirer. Ces premières expériences ont montré que, bien que la synthèse de poudre de carbure de tungstène ait été réalisée, son potentiel d'industrialisation n'était pas encore reconnu, et que les conditions techniques et la demande du marché devaient encore être améliorées.

2. Percée industrielle et naissance du carbure cémenté (début du XXe siècle)

L'industrialisation de la poudre de carbure de tungstène a débuté en Allemagne au début du XXe siècle, marquant sa transformation d'un produit de laboratoire en matériau technique. Au début du XXe siècle, le développement rapide de l'industrie mécanique a suscité une demande urgente d'outils de coupe haute performance. L'acier rapide traditionnel (tel que l'acier contenant 18 % de W, dureté HV 600-800) s'use facilement lors de l'usinage à grande vitesse, et malgré sa dureté extrêmement élevée (HV 10 000), le diamant ne peut être popularisé en raison de son coût élevé et de la difficulté de son usinage. Dans ce contexte, l'Allemagne est devenue pionnière dans l'industrialisation de la poudre de carbure de tungstène.

En 1922, le métallurgiste allemand Karl Schröter découvrit par hasard le potentiel de la poudre de carbure de tungstène alors qu'il étudiait des matériaux résistants à l'usure à base de tungstène chez Osram (une entreprise d'éclairage célèbre pour ses lampes à filament de tungstène). Il essaya de mélanger de la poudre de carbure de tungstène (granulométrie d'environ 5 à 10 μm , pureté > 99 %) avec de la poudre de cobalt (Co, teneur 5 à 15 %), puis la frita à haute température de 1 450 à 1 600 °C par métallurgie des poudres (pression de 10 à 20 MPa, atmosphère d'hydrogène) pour produire un alliage dur d'une dureté proche de celle du diamant (HV 1 500 à 1 800). Les expériences montrent que la dureté de ce matériau composite WC-Co dépasse de loin celle de l'acier rapide (augmentée de 2 à 3 fois), et sa ténacité est meilleure que celle du WC pur (la ténacité à la rupture K_{IC} est d'environ 10-12 $MPa \cdot m^{1/2}$). La percée de Schröter réside dans l'utilisation du cobalt comme phase liante, ce qui résout le problème de la fragilité élevée et de la difficulté de formation de la poudre de carbure de tungstène pur.

En 1923, Osram déposa un brevet pour ce procédé (numéro de brevet allemand DE 420689) et autorisa Rheinmetall à le produire industriellement. En 1926, Rheinmetall lança une marque d'outils en carbure appelée « Widia » (« Wie Diamant », signifiant « comme le diamant »), qui fit sensation dans l'industrie allemande de l'usinage. Les outils en Widia sont performants en tournage, fraisage et perçage. Par exemple, lors de l'usinage de l'acier, la vitesse de coupe passe de 20 m/min à 100 m/min et la durée de vie de l'outil est multipliée par 5 à 10. Ce succès attira rapidement l'attention du monde entier. En 1927, les produits Widia furent exportés au Royaume-Uni, en France et aux États-Unis, marquant ainsi un tournant dans l'industrialisation de la poudre de carbure de tungstène.

Durant cette période, la technologie de production de poudre de carbure de tungstène s'est progressivement améliorée. Les entreprises allemandes ont utilisé la carburation à haute température pour faire réagir de la poudre de tungstène (W, granulométrie de 5 à 10 μm) avec du noir de carbone (C,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pureté > 99 %) dans un four tubulaire à 1 800-2 000 °C pendant 2 à 4 heures afin de produire une poudre de WC de la taille d'un micron (teneur en carbone de 6,10 % à 6,18 %). La qualité du produit a été contrôlée par analyse chimique (méthode de combustion pour mesurer le carbone) et observation microscopique (granulométrie de 1 à 5 µm), jetant les bases de l'application ultérieure à grande échelle du carbure cimenté.

3 Diffusion mondiale et expansion des applications (milieu du XXe siècle)

Au milieu du XXe siècle, la technologie de la poudre de carbure de tungstène s'est répandue d'Allemagne au monde entier, et ses domaines d'application se sont étendus des outils de coupe à l'exploitation minière, aux pièces résistantes à l'usure et à l'industrie militaire. Cette période a vu son industrialisation atteindre sa pleine maturité. Dans les années 1930, les pays européens et américains ont commencé à introduire la technologie de la poudre de carbure de tungstène. En 1931, l'entreprise américaine General Electric (GE) a produit du carbure cimenté WC-Co dans son usine de New York grâce à un accord de licence technologique avec Osram. Le premier lot de produits a été utilisé pour les forêts minières (dureté HV 1600, résistance aux chocs > 20 J/cm²). La même année, l'entreprise métallurgique britannique Metallurgist Ltd. a développé des revêtements résistants à l'usure en poudre de carbure de tungstène pour broyeurs à boulets et équipements de concassage, avec une durée de vie 3 à 5 fois supérieure à celle de l'acier au manganèse.

La Seconde Guerre mondiale (1939-1945) marqua l'apogée de l'application de la poudre de carbure de tungstène. Les Alliés comme les puissances de l'Axe reconnurent son utilité dans l'industrie militaire. L'Allemagne utilisa de la poudre de carbure de tungstène dans le noyau perforant du canon antichar de 88 mm (dureté HV 2000, pénétration > 150 mm sur plaque d'acier), améliorant ainsi sa capacité à frapper des cibles blindées. Les États-Unis l'appliquèrent aux patins d'usure des chenilles du char M4 Sherman, prolongeant ainsi sa durée de vie sur le champ de bataille (> 1 000 heures). La demande en temps de guerre favorisa une forte augmentation de la production de poudre de carbure de tungstène. Selon les statistiques, au début des années 1940, la production annuelle allemande passa de quelques centaines de tonnes à 2 000 tonnes, suivie de près par les États-Unis, atteignant 1 000 tonnes par an.

Les recherches chinoises sur la poudre de carbure de tungstène ont débuté dans les années 1950, grâce à l'assistance technique soviétique. En 1952, le premier ministère chinois de l'Industrie mécanique a collaboré avec des experts soviétiques pour établir une usine pilote de carbure cimenté à Zhuzhou (rebaptisée plus tard Usine de carbure cimenté de Zhuzhou). En 1958, l'usine a produit avec succès le premier lot de carbure cimenté WC-Co (teneur en cobalt 8 %, dureté HV 1400, granulométrie 2-5 µm), utilisé pour les machines-outils et les outils de forage, comblant ainsi le retard technologique national. Parallèlement, les atouts de la Chine en matière de ressources en tungstène se sont révélés, et les mines de tungstène du Hunan, du Jiangxi et d'autres régions (les réserves représentent environ 60 % des réserves mondiales, USGS 2023) ont assuré l'approvisionnement en matières premières. À la fin des années 1960, la production annuelle de poudre de carbure de tungstène de la Chine dépassait 500 tonnes, servant principalement les industries de fabrication de machines et d'exploitation minière.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Durant cette période, l'expansion des applications de la poudre de carbure de tungstène s'est également reflétée dans la technologie des revêtements de surface. Dans les années 1940, les États-Unis ont développé la méthode de projection à la flamme (Flame Spraying), qui consistait à pulvériser de la poudre de carbure de tungstène (granulométrie de 10 à 50 μm) sur la surface de la base en acier pour former une couche résistante à l'usure d'une épaisseur de 0,1 à 0,5 mm (dureté HV 1200-1400), utilisée pour les outils de forage pétrolier et les lames de machines agricoles. La popularité de cette technologie a encore renforcé la polyvalence de la poudre de carbure de tungstène.

4 Innovation technologique et amélioration des performances (fin du XXe siècle)

À la fin du XXe siècle, le procédé de préparation et les performances de la poudre de carbure de tungstène ont connu une amélioration révolutionnaire. L'innovation technologique à ce stade a fait de ce matériau traditionnel la pierre angulaire des applications de haute technologie. Dans les années 1970, les progrès de la métallurgie des poudres ont donné naissance à de nouvelles méthodes de préparation. Bien que la méthode traditionnelle de carbonisation à haute température (1800-2000 °C, durée de carbonisation de 2 à 4 heures) soit stable, la granulométrie est importante (1 à 5 μm), ce qui la rend difficile à satisfaire aux exigences des applications de précision. En 1972, le Massachusetts Institute of Technology (MIT) a développé la méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD), qui a permis de préparer une poudre de carbure de tungstène d'une pureté supérieure à 99,95 % et d'une granulométrie inférieure à 100 nm par réaction en phase gazeuse ($\text{WCl}_6 + \text{CH}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{WC} + 6\text{HCl}$, température de dépôt 900-1100 °C, pression 10-100 Pa). La poudre de WC produite par CVD présente une surface spécifique de 20 à 50 m^2/g et une granulométrie contrôlable, ce qui améliore considérablement la dureté (HV 2600-2800) et la ténacité (K_{IC} 12-15 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

Parallèlement, la technologie des alliages mécaniques a émergé en Europe. En 1975, le scientifique allemand Benjamin a appliqué pour la première fois le broyage à billes à haute énergie (rapport billes/matériau 10:1, vitesse de rotation 300-500 tr/min, temps de broyage 20-50 heures) à la synthèse de poudre de carbure de tungstène et de poudre de tungstène alliée directement (granulométrie 1-5 μm) avec du noir de carbone pour générer du WC nanométrique (grains < 50 nm). Les expériences montrent que la densité de la poudre de WC alliée mécaniquement après frittage (1450 °C, compression isostatique à chaud HIP) atteint 99,8 %, et que la résistance à la flexion est portée à 3000 MPa, dépassant largement la résistance au pliage traditionnelle du WC micrométrique (2000-2500 MPa). Ces avancées technologiques rendent la poudre de carbure de tungstène adaptée aux outils ultra-fins (grains < 0,5 μm) et aux revêtements hautes performances (tels que les aubes de turbines d'aviation, résistance à la température > 1200°C).

Dans les années 1980, la recherche sur les composites à base de poudre de carbure de tungstène a progressé. Sandvik (Suède) a développé une poudre composite WC -TiC -Co (teneur en TiC de 5 à 20 %), qui a amélioré la résistance à la corrosion et la stabilité à haute température grâce à l'ajout de carbure de titane, et a maintenu une dureté HV de 1 600 à 1 800, adaptée aux équipements chimiques et aux moules haute température. En 1985, Kennametal (États-Unis) a lancé la poudre composite WC-Ni (teneur en Ni

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de 10 à 15 %), qui présente une meilleure résistance à la corrosion que le WC-Co et est utilisée pour les revêtements de génie maritime (taux de corrosion $< 0,001$ mm/an). Ces innovations ont enrichi le spectre de performances de la poudre de carbure de tungstène et favorisé son application dans les secteurs de l'aérospatiale et de l'énergie.

Français Au cours de cette période, le développement de la technologie de détection a également contribué à l'amélioration de la qualité de la poudre de carbure de tungstène. La microscopie électronique à balayage (MEB, popularisée dans les années 1970) et la microscopie électronique à transmission (MET, arrivée à maturité dans les années 1980) ont révélé la micromorphologie (polyédrique ou presque sphérique) et les défauts aux joints de grains de la poudre de WC. L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) a confirmé le pic caractéristique du WC monophasé ($2\theta = 35,641^\circ$, 100 plans cristallins), tandis que l'analyse chimique (telle que l'ICP-MS, limite de détection $< 0,001$ %) a assuré que les impuretés (telles que Fe, O) étaient contrôlées au niveau ppm. Ces avancées technologiques ont permis la formulation de normes industrielles pour la poudre de carbure de tungstène (telles que GB/T 4295-2008, ISO 4499-2:2020).

5 Applications modernes et développement mondial (21e siècle)

À l'aube du XXIe siècle, l'application de la poudre de carbure de tungstène s'est étendue des industries traditionnelles à l'électronique, à l'énergie, à la biomédecine et à la fabrication additive, et la production et la collaboration technologique mondiales ont atteint de nouveaux sommets. Dans les années 2000, les nanotechnologies ont favorisé de nouvelles utilisations de la poudre de carbure de tungstène. En 2003, une équipe de recherche de l'Université de Tokyo au Japon a utilisé de la poudre de WC nanométrique (granulométrie < 50 nm, surface spécifique > 50 m²/g) pour les électrodes de piles à combustible. Sa conductivité (résistivité $19,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) et son activité catalytique (efficacité > 90 %) sont comparables à celles des catalyseurs Pt/C, et son coût est réduit de plus de 50 %. Cette avancée fait de la poudre de carbure de tungstène un matériau potentiel dans le domaine de l'énergie hydrogène. En 2008, le California Institute of Technology a développé une électrode de supercondensateur à base de WC (capacité spécifique > 250 F/g, durée de vie $> 8\,000$ fois), démontrant ses perspectives d'application dans le domaine du stockage d'énergie.

Après 2010, la poudre de carbure de tungstène a fait son apparition dans la fabrication additive (impression 3D). En 2014, l'entreprise allemande EOS a utilisé de la poudre composite WC-Co (teneur en Co 10 %, granulométrie 1-5 μm) pour la fusion sélective par laser (SLM) afin d'imprimer des moules complexes (précision $\pm 0,02$ mm, dureté HV 1500). La même année, l'entreprise américaine General Electric (GE) a utilisé la technologie de projection thermique de poudre WC (HVOF, vitesse de projection > 500 m/s) pour fabriquer des revêtements résistants à l'usure pour les aubes de moteurs d'avion (épaisseur 0,2-0,5 mm, durée de vie $> 4\,000$ heures). Ces applications témoignent de la polyvalence de la poudre de carbure de tungstène dans la fabrication intelligente.

Le domaine biomédical est également devenu une nouvelle frontière pour la poudre de carbure de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstène. En 2016, l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETH Zurich) a développé un revêtement d'implant orthopédique à base de carbure de tungstène (dureté HV 2000, taux d'usure $< 0,001 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), qui a passé avec succès le test ISO 10993-5 avec un taux de survie cellulaire $> 95 \%$, adapté au remplacement de la hanche. En 2018, une équipe de recherche de l'Université Tsinghua en Chine a utilisé de la poudre de carbure de tungstène pour des forets dentaires (diamètre 0,3-1 mm, durée de vie $> 1\,000$ fois), prouvant sa biocompatibilité et sa durabilité.

Français Sur le marché mondial, la demande de poudre de carbure de tungstène est passée d'environ 30 000 tonnes en 2000 à 60 000 tonnes en 2023 (données ITIA), et la taille du marché est passée de 2 milliards de dollars américains à 4 milliards de dollars américains, et devrait dépasser 5 milliards de dollars américains en 2030 (taux de croissance annuel moyen de 6,5 %). En tant que plus grand producteur, la production annuelle de la Chine représente plus de 50 % du total mondial (environ 30 000 tonnes, estimée par China Tungsten Online, 2023), et les principales zones de production sont le Hunan, le Jiangxi et le Fujian. Les pays européens et américains (tels que Kennametal aux États-Unis et Sandvik en Suède) dominent le marché haut de gamme, se concentrant sur la recherche et le développement de nano WC et de poudres composites. Dans le cadre de la division mondiale du travail, la chaîne d'approvisionnement en poudre de carbure de tungstène couvre l'extraction du minerai de tungstène (Chine, Russie), la production de poudre (Chine, Allemagne) et la fabrication de produits finis (États-Unis, Japon).

6 Perspectives d'avenir

L'histoire de la poudre de carbure de tungstène est encore en cours d'écriture, et son développement futur est étroitement lié à la demande de fabrication intelligente, de technologies vertes et de nouveaux matériaux. Dans les années 2020, l'électronique flexible est devenue un pôle de recherche majeur, et le Massachusetts Institute of Technology (MIT) étudie les revêtements conducteurs à base de WC (résistivité $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$), utilisés dans les appareils portables, et dont la commercialisation est prévue pour 2030. Dans le domaine de l'informatique quantique, la poudre de carbure de tungstène est envisagée pour le refroidissement des composants en raison de son faible coefficient de dilatation thermique ($4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) et de sa conductivité thermique élevée ($84 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$), et l'Institut Max Planck en Allemagne a lancé des expériences pertinentes.

La durabilité est une autre tendance majeure. La production traditionnelle de poudre de carbure de tungstène consomme beaucoup d'énergie (environ 5 000 kWh par tonne) et les émissions de gaz résiduels (comme le CO_2) doivent être contrôlées. En 2021, le projet Horizon de l'UE a financé le développement d'une technologie de recyclage de la poudre de WC, et le taux de récupération du tungstène des déchets de carbure cimenté est passé de 30 % au XXe siècle à 70-80 % (méthode de lixiviation chimique, pureté de récupération $> 99 \%$). La Chine promeut également une production verte. CTIA GROUP LTD a développé un procédé de carburation à basse température ($1\,500^\circ\text{C}$, consommation d'énergie réduite de 20 %) pour réduire l'empreinte carbone.

À l'avenir, la poudre de carbure de tungstène nanométrique (grains $< 20 \text{ nm}$), composite (WC- TiC -Ni)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et multifonctionnelle (conductrice, résistante à l'usure et à la corrosion) deviendra la tendance dominante. Par exemple, en 2023, l'Université d'Osaka au Japon a proposé un catalyseur multiphasé à base de WC (composite WC-Pt) pour la production d'hydrogène vert, avec un rendement de 95 %. Avec l'avancée de l'Industrie 4.0 et les objectifs mondiaux de neutralité carbone, la poudre de carbure de tungstène jouera un rôle plus important dans l'innovation technologique et le progrès social.

Annexe :

Norme nationale chinoise GB/T 4295-2008, poudre de carbure de tungstène

Vous trouverez ci-dessous un aperçu détaillé du contenu de la norme nationale chinoise GB/T 4295-2008 « Poudre de carbure de tungstène ». La norme originale étant protégée par le droit d'auteur, je ne peux pas en reproduire directement le texte intégral. Cependant, je peux fournir un cadre de contenu complet et précis, basé sur des informations publiques et une interprétation de la norme, incluant le champ d'application, la terminologie, la classification, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, le marquage et l'emballage, ainsi que d'autres éléments essentiels. Pour des détails techniques plus précis, il est recommandé de se référer au texte officiel de la norme.

GB/T 4295-2008 Poudre de carbure de tungstène

Nom de la norme :

Poudre de carbure de tungstène

Poudre de carbure de tungstène

Publication et mise en œuvre :

Date de sortie : 16 juin 2008

Date d'entrée en vigueur : 1er janvier 2009

Organisme émetteur : National Standardization Administration

Statut de la norme : Actuellement valable (à partir d'avril 2025, non remplacée par de nouvelles normes)

Norme de remplacement :

GB/T 4295-1993 (Cette norme est une version révisée de la version de 1993)

1. Portée

Cette norme spécifie la classification, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, ainsi que les exigences de marquage, d'emballage, de transport et de stockage de la poudre de carbure de tungstène. Elle s'applique à la poudre de carbure de tungstène préparée par cémentation avec de la poudre de tungstène et du carbone comme matières premières, et est principalement utilisée pour la fabrication de carbure cémenté, de pièces résistantes à l'usure et de matériaux de revêtement de surface. Elle n'inclut pas d'exigences particulières pour la poudre de carbure de tungstène nanométrique (granulométrie < 100 nm).

2. Références normatives

Les documents suivants sont des références normatives de cette norme et doivent être utilisés conjointement avec cette norme :

GB/T 191 « Marque d'image pour l'emballage, le stockage et le transport »

GB/T 223.5 « Détermination de la teneur en carbone et en soufre de l'acier et des alliages »

GB/T 3249 « Détermination de la teneur totale en carbone des poudres et des composés métalliques réfractaires »

GB/T 5124.1 « Méthodes d'analyse chimique du carbure cémenté – Partie 1 : Détermination de la teneur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

totale en carbone »

GB/T 5314 Poudre pour carbure cémenté

GB/T 1480 « Détermination de la granulométrie des poudres métalliques – Méthode de tamisage à sec »

GB/T 19077 « Distribution granulométrique par méthode de diffraction laser » (peut être cité dans la version révisée)

3. Termes et définitions

Poudre de carbure de tungstène : Composé pulvérulent principalement composé de tungstène et de carbone, obtenu par réaction de carbonisation. Sa formule chimique est WC et sa teneur théorique en carbone est de 6,13 % (fraction massique).

Carbone total : Fraction massique de toutes les formes de carbone dans la poudre de carbure de tungstène, y compris le carbone combiné et le carbone libre.

Carbone libre : Carbone qui n'est pas combiné au tungstène et qui existe dans la poudre de carbure de tungstène sous la forme d'une seule substance.

Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS) : Taille moyenne des particules de poudre de carbure de tungstène mesurée par Fisher Sub-Sieve Sizer, en microns (μm).

4. Classification

La poudre de carbure de tungstène est classée dans les types suivants en fonction de la taille des particules et de la composition chimique :

4.1 Classification par granularité

Poudre grossière de carbure de tungstène : granulométrie FSSS $> 5 \mu\text{m}$

Poudre de carbure de tungstène à particules moyennes : granulométrie FSSS 1,0-5,0 μm

Poudre de carbure de tungstène à grains fins : granulométrie FSSS $< 1,0 \mu\text{m}$

4.2 Classification par composition chimique

Poudre de carbure de tungstène WC monphasé : teneur totale en carbone 6,10 %-6,18 %, carbone libre $< 0,5 \%$.

contenant du W_2C : teneur totale en carbone $< 6,10 \%$, contenant une petite quantité de phase W_2C .

Poudre de carbure de tungstène contenant du carbone libre : teneur totale en carbone $> 6,18 \%$, la teneur en carbone libre doit être contrôlée dans la plage spécifiée.

4.3 Marque

Selon l'application et la granulométrie, la poudre de carbure de tungstène est divisée en plusieurs qualités, telles que :

WC-10 : granulométrie FSSS 1,0-2,0 μm , adaptée aux outils en carbure cémenté.

WC-50 : granulométrie FSSS $> 5,0 \mu\text{m}$, adaptée aux pièces résistantes à l'usure.

La nuance spécifique est déterminée par négociation entre le fournisseur et l'acheteur.

5. Exigences techniques

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1 Composition chimique

Teneur totale en carbone : 6,10%-6,18% (fraction massique), écart $\pm 0,05\%$.

Teneur en carbone libre : $\leq 0,5\%$, les applications haut de gamme (telles que l'aviation) peuvent nécessiter $\leq 0,3\%$.

Teneur en impuretés (valeur maximale, fraction massique) :

Fer (Fe) : 0,05 %

Molybdène (Mo) : 0,02 %

Silicium (Si) : 0,01 %

Aluminium (Al) : 0,005 %

Calcium (Ca) : 0,005 %

Oxygène (O) : 0,02 % (200 ppm)

5.2 Propriétés physiques

FSSS : Selon les exigences de la catégorie, la plage est de 0,5 à 10 μm , avec un écart de $\pm 10\%$.

Masse volumique apparente : 12,0-14,0 g/cm^3 (selon la taille des particules).

Fluidité : Négociée par les deux parties, généralement 10-20 s/50g (débitmètre à effet Hall).

5.3 Qualité de l'apparence

La poudre de carbure de tungstène doit être une poudre gris-noir uniforme, sans matières étrangères ni agglomérats visibles.

Il ne doit pas contenir d'oxydes appréciables ni de matières n'ayant pas réagi (comme du tungstène libre).

5.4 Microstructure

La structure cristalline est monophasée WC (système hexagonal) et la détection XRD ne montre aucun pic évident de W_2C ou de carbone libre.

La granulométrie est uniforme, sans particules anormalement grosses (> 2 fois la taille moyenne des particules).

6. Méthodes d'essai

6.1 Analyse de la composition chimique

Teneur totale en carbone : Selon GB/T 3249 ou GB/T 5124.1, en utilisant la méthode de combustion (absorption infrarouge), précision $\pm 0,01\%$.

Teneur en carbone libre : Selon la norme GB/T 5124.1, le carbone libre est dissous dans un acide puis mesuré (méthode de titrage chimique).

Teneur en impuretés : La spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) ou la spectrométrie d'absorption atomique (AAS) est utilisée pour détecter des éléments tels que Fe et Mo.

Teneur en oxygène : en utilisant la méthode de fusion par gaz inerte (détection infrarouge), un équipement tel que l'analyseur LECO.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2 Test de performance physique

FSSS : Selon l'annexe A de la norme GB/T 5314, mesuré avec un granulomètre FSSS, pression d'air 0,1 MPa, masse d'échantillon 2 à 5 g.

Masse volumique apparente : mesurée conformément à l'annexe B de la norme GB/T 5314 à l'aide d'un volumètre Scott.

Fluidité : Mesurée par débitmètre à effet Hall conformément à l'annexe C de la norme GB/T 5314.

6.3 Aspect et microstructure

Aspect : Observer à l'œil nu ou inspecter avec une loupe 10x.

Microstructure : L'état de phase a été analysé par diffractomètre à rayons X (DRX) et la morphologie des grains a été observée au microscope électronique à balayage (MEB).

7. Règles d'inspection

7.1 Catégories d'inspection

Inspection d'usine : chaque lot de produits doit être inspecté pour le carbone total, le carbone libre, la taille des particules FSSS et l'apparence.

Contrôle de type : comprend toutes les exigences techniques et est effectué lorsque cela est nécessaire (par exemple lorsque le processus de production est modifié).

7.2 Division des lots

La masse de poudre de carbure de tungstène produite dans le même four ou dans les mêmes conditions de procédé ne doit pas dépasser 500 kg.

7.3 Échantillonnage

5 à 10 points sont sélectionnés au hasard dans chaque lot, avec un volume d'échantillonnage total d'au moins 500 g.

Les échantillons ont été emballés dans des conteneurs scellés pour éviter l'oxydation ou la contamination.

7.4 Règles de décision

Si un indicateur ne répond pas aux normes, un double échantillonnage et une nouvelle inspection sont autorisés. Si la nouvelle inspection échoue à nouveau, le lot entier sera jugé non qualifié.

Le fournisseur et l'acheteur peuvent négocier les critères d'acceptation.

8. Étiquetage, emballage, transport et stockage

8.1 Logo

Chaque colis est marqué avec :

Nom du produit : Poudre de carbure de tungstène

Marque (comme WC-10)

Numéro de lot, date de production

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Poids net (par exemple 25 kg)

Nom du fabricant et marque déposée

Marques de transport conformes à la norme GB/T 191 (telles que « résistant à l'humidité » et « manipuler avec précaution »).

8.2 Emballage

Emballage intérieur : sac en plastique polyéthylène double couche, scellé et résistant à l'humidité, le poids net de chaque sac est de 5 à 25 kg.

Emballage extérieur : fût en fer ou fût en plastique, bonne étanchéité, épaisseur de paroi du fût $\geq 0,5$ mm.

La forme de l'emballage peut être ajustée en fonction des besoins de l'utilisateur.

8.3 Transport

Pendant le transport, évitez l'humidité et les chocs pour éviter d'endommager l'emballage.

Ne pas mélanger avec des acides, des alcalis ou des oxydants.

8.4 Stockage

Conserver dans un entrepôt sec et aéré à une température de 5 à 35°C et une humidité relative $< 65\%$.

Tenir à l'écart du feu et des produits chimiques. La durée de conservation ne doit pas dépasser 12 mois.

9. Certificat de qualité

Chaque lot de poudre de carbure de tungstène est accompagné d'un certificat de qualité, comprenant :

Nom du produit, marque, numéro de lot

Composition chimique (carbone total, carbone libre, impuretés)

Propriétés physiques (taille des particules FSSS, masse volumique apparente)

Résultats d'inspection et jugement de qualification

Fabricant, date d'inspection

Notes supplémentaires

Contexte de la révision :

La norme GB/T 4295-2008 ajoute des exigences de microstructure (telles que la détection XRD) et affine les limites d'impuretés (telles que la teneur en oxygène réduite de 0,05 % à 0,02 %), reflétant la demande de l'industrie du carbure cémenté en poudre de carbure de tungstène de haute pureté.

Par rapport aux normes internationales :

Par rapport à la norme ISO 4499-2:2020, cette norme se concentre davantage sur le contrôle de la composition chimique (comme le carbone libre $< 0,5\%$), tandis que l'ISO se concentre sur l'analyse microstructurale (comme la granulométrie du WC).

La norme ASTM B430-19 met davantage l'accent sur la précision de la distribution granulométrique ($RSD < 3\%$).

Applicabilité :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cette norme s'applique à la poudre de carbure de tungstène traditionnelle de taille micrométrique (0,5 à 10 μm) et ne couvre pas la poudre de WC de taille nanométrique ($< 100\text{ nm}$), qui doit se référer aux pratiques de l'industrie ou aux normes d'entreprise.

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.

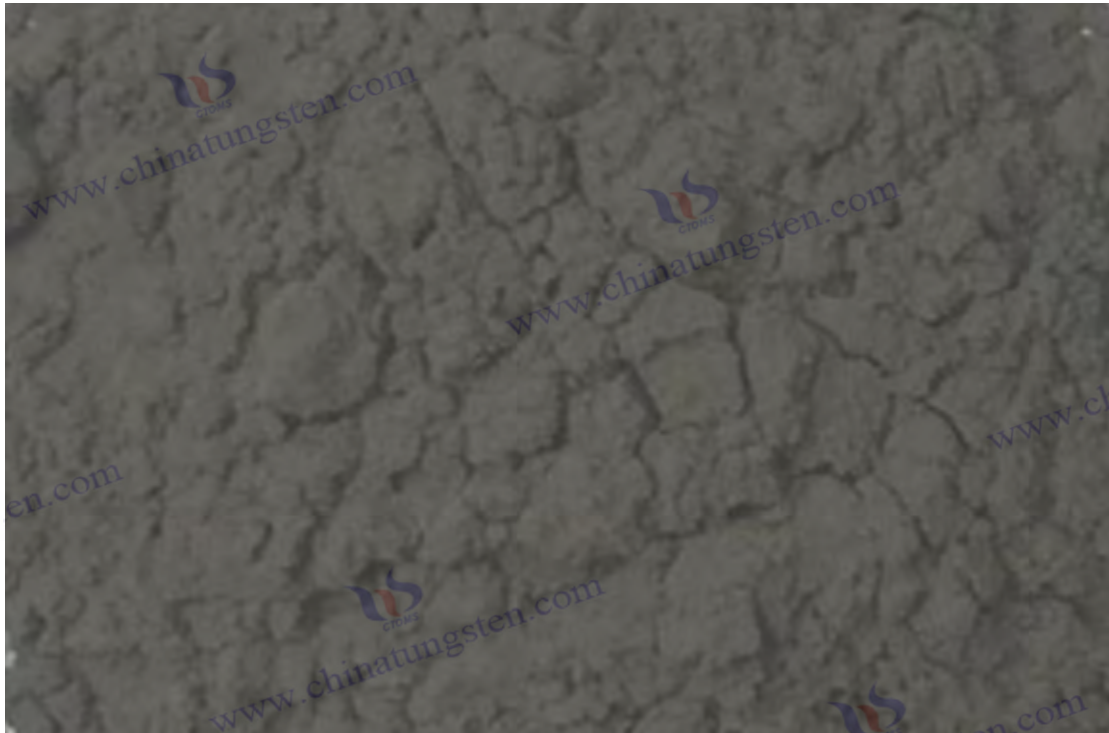
8. Contact Information of CTIA GROUP

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.



Annexe :

GB/T 5314-2011 Poudre pour carbure cimenté

Nom de la norme :

Poudre pour carbure cimenté

Poudres pour carbure cimenté

Publication et mise en œuvre :

Date de sortie : 30 décembre 2011

Date d'entrée en vigueur : 1er septembre 2012

Organisme émetteur : National Standardization Administration

Statut de la norme : Actuellement valable (à partir d'avril 2025, non remplacée par de nouvelles normes)

Norme de remplacement :

GB/T 5314-2002 (Cette norme est une version révisée de la version 2002)

GB/T 5314-1985 (version antérieure, remplacée par la version 2002)

1. Portée

Cette norme spécifie la classification, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, ainsi que les exigences de marquage, d'emballage, de transport et de stockage des poudres de carbure cimenté. Elle s'applique aux matériaux en poudre utilisés pour la fabrication de carbure cimenté à partir de poudres de tungstène, de cobalt, de carbure de tungstène et d'autres poudres de métaux ou de carbures comme matières premières. Les principales utilisations comprennent les outils de coupe, les pièces résistantes à l'usure, les outils et moules miniers, etc. Cette norme ne s'applique pas aux exigences particulières des poudres nanométriques (granulométrie < 100 nm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

2. Références normatives

Les documents suivants sont des références normatives de cette norme et sont utilisés conjointement avec cette norme :

GB/T 191 « Marque d'image pour l'emballage, le stockage et le transport »

GB/T 223.5 « Détermination de la teneur en carbone et en soufre de l'acier et des alliages »

GB/T 3249 « Détermination de la teneur totale en carbone des poudres et des composés métalliques réfractaires »

Poudre de carbure de tungstène GB/T 4295

GB/T 5124 Méthodes d'analyse chimique du carbure cimenté (y compris diverses parties, telles que le carbone total, le carbone libre, l'analyse des impuretés)

GB/T 1480 « Détermination de la granulométrie des poudres métalliques – Méthode de tamisage à sec »

GB/T 25995 « Détermination de la granulométrie de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène »

GB/T 19077 Distribution granulométrique par méthode de diffraction laser (peut être citée en fonction de la révision)

3. Termes et définitions

Poudre pour carbure cimenté : Matériaux en poudre utilisés pour fabriquer du carbure cimenté, notamment la poudre de tungstène (W), la poudre de carbure de tungstène (WC), la poudre de cobalt (Co) et d'autres poudres ajoutées (telles que TiC, TaC, NbC, etc.).

Carbone total : Fraction massique de toutes les formes de carbone dans la poudre, y compris le carbone lié et le carbone libre.

Carbone libre : Carbone élémentaire qui n'est combiné à aucun élément métallique.

Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS) : Taille moyenne des particules d'une poudre mesurée par un Fisher Sub-Sieve Sizer, en microns (μm).

Masse volumique apparente : Masse de poudre par unité de volume, exprimée en g/cm^3 .

4. Classification

La poudre de carbure cimenté est classée selon sa composition et son utilisation, comprenant principalement les types suivants :

4.1 Classification par ingrédients

Poudre de tungstène (W) : utilisée pour préparer de la poudre de carbure de tungstène par méthode de carburation.

Poudre de carbure de tungstène (WC) : WC monphasé ou poudre contenant des traces de W_2C / carbone libre.

Poudre de cobalt (Co) : agit comme phase liante pour le carbure cimenté.

Poudre composite : telle que poudre mixte WC-Co, poudre mixte WC- TiC -Co, etc.

Autres poudres de carbure : telles que le carbure de titane (TiC), le carbure de tantale (TaC) et le carbure de niobium (NbC).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

4.2 Classification par granularité

Poudre grossière : granulométrie FSSS $> 5 \mu\text{m}$

Poudre moyenne : granulométrie FSSS $1,0-5,0 \mu\text{m}$

Poudre fine : granulométrie FSSS $0,5-1,0 \mu\text{m}$

4.3 Classification par finalité

Poudre pour outils de coupe : nécessite une grande pureté et une granulométrie uniforme (comme le WC-10).

Poudre pour pièces résistantes à l'usure : privilégiez la résistance à l'usure et aux chocs (comme le WC-50).

Poudres pour outils miniers : accent sur la ténacité et la résistance à la compression.

5. Exigences techniques

5.1 Composition chimique

Poudre de tungstène (W) :

Teneur en tungstène : $\geq 99,9 \%$

Teneur en oxygène : $\leq 0,03 \%$ (300 ppm)

Impuretés (telles que Fe, Mo, Ni) : $\leq 0,01 \%$

Poudre de carbure de tungstène (WC) (référence GB/T 4295-2008) :

Carbone total : $6,10 \%-6,18 \%$, écart $\pm 0,05 \%$

Carbone libre : $\leq 0,5 \%$

Teneur en oxygène : $\leq 0,02 \%$ (200 ppm)

Impuretés (telles que Fe, Ni) : $\leq 0,05 \%$

Poudre de cobalt (Co) :

Teneur en cobalt : $\geq 99,8 \%$

Teneur en oxygène : $\leq 0,05 \%$

Impuretés (telles que Fe, Ni) : $\leq 0,02 \%$

Poudre composite : La composition est négociée par l'offre et la demande et doit répondre aux exigences du frittage du carbure cimenté.

5.2 Propriétés physiques

FSSS : Selon les exigences de la marque, la plage est de $0,5$ à $10 \mu\text{m}$, avec un écart de $\pm 10 \%$.

Masse volumique apparente :

Poudre de tungstène : $12,0-14,0 \text{ g/cm}^3$

Poudre de carbure de tungstène : $12,0-14,0 \text{ g/cm}^3$

Poudre de cobalt : $0,8-1,5 \text{ g/cm}^3$

Fluidité : Négociée par les deux parties, généralement $10-20 \text{ s/50g}$ (débitmètre à effet Hall).

5.3 Qualité de l'apparence

La poudre doit être de couleur uniforme (poudre de tungstène grise, poudre de WC gris-noir, poudre de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Co grise), sans corps étrangers visibles, grumeaux ou signes d'oxydation.

5.4 Microstructure

Poudre de tungstène : Les particules sont polyédriques ou presque sphériques, sans défauts évidents aux limites des grains.

Poudre de carbure de tungstène : cristal WC monphasé (système hexagonal), la détection XRD n'a pas de pic W₂C ou de carbone libre évident.

Poudre de cobalt : particules uniformes sans agglomération.

6. Méthodes d'essai

6.1 Analyse de la composition chimique

Teneur totale en carbone : Selon GB/T 3249 ou GB/T 5124, en utilisant la méthode de combustion (absorption infrarouge), précision $\pm 0,01$ %.

Teneur en carbone libre : Déterminée par titrage après dissolution dans un acide selon GB/T 5124.

Teneur en oxygène : en utilisant la méthode de fusion par gaz inerte (détection infrarouge), comme l'analyseur LECO.

Teneur en impuretés : en utilisant la spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) ou la spectrométrie d'absorption atomique (AAS).

6.2 Test de performance physique

FSSS : Selon GB/T25995, mesuré avec un granulomètre FSSS, pression d'air 0,1 MPa, masse d'échantillon 2-5 g.

Masse volumique apparente : Mesurer à l'aide d'un volumètre Scott comme décrit dans l'annexe B, répéter 3 fois et prendre la valeur moyenne.

Fluidité : Temps nécessaire à 50 g d'échantillon pour passer à travers un entonnoir standard, mesuré à l'aide d'un débitmètre à effet Hall comme spécifié à l'annexe C.

6.3 Aspect et microstructure

Aspect : Vérifier à l'œil nu ou à la loupe 10x.

Microstructure : L'état de phase a été analysé par diffractomètre à rayons X (DRX) et la morphologie des particules a été observée par microscope électronique à balayage (MEB).

7. Règles d'inspection

7.1 Catégories d'inspection

Inspection en usine : y compris le carbone total, le carbone libre, la taille des particules FSSS, la densité apparente et l'apparence.

Contrôle de type : couvre toutes les exigences techniques et est effectué lorsque le processus de production est modifié ou à la demande de l'utilisateur.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2 Division des lots

La poudre produite dans le même four ou dans les mêmes conditions de procédé est considérée comme un lot et sa masse ne doit pas dépasser 500 kg.

7.3 Échantillonnage

5 à 10 points sont sélectionnés au hasard dans chaque lot, avec un volume d'échantillonnage total d'au moins 500 g.

Les échantillons ont été emballés dans des conteneurs scellés pour éviter l'oxydation ou la contamination.

7.4 Règles de décision

Si un indicateur ne répond pas aux normes, un double échantillonnage et une nouvelle inspection sont autorisés. Si la nouvelle inspection échoue à nouveau, le lot entier sera jugé non qualifié.

Le fournisseur et l'acheteur peuvent négocier des critères d'acceptation particuliers.

8. Étiquetage, emballage, transport et stockage

8.1 Logo

Chaque colis est marqué avec :

Nom du produit : Poudre pour carbure cémenté

Type (tel que poudre de tungstène, poudre de WC, poudre de Co) et marque

Numéro de lot, date de production

Poids net (par exemple 25 kg)

Nom du fabricant et marque déposée

Marques de transport conformes à la norme GB/T 191 (telles que « résistant à l'humidité » et « manipuler avec précaution »).

8.2 Emballage

Emballage intérieur : Sac en plastique polyéthylène double couche, scellé et résistant à l'humidité, poids net de chaque sac 5-25 kg.

Emballage extérieur : fût en fer ou fût en plastique, bonne étanchéité, épaisseur de paroi du fût $\geq 0,5$ mm.

La forme de l'emballage peut être ajustée en fonction des besoins de l'utilisateur.

8.3 Transport

Pendant le transport, il doit être étanche à l'humidité et aux chocs pour éviter d'endommager l'emballage.

Ne pas mélanger avec des acides, des alcalis ou des oxydants.

8.4 Stockage

Conserver dans un entrepôt sec et aéré à une température de 5 à 35°C et une humidité relative $<65\%$.

Tenir à l'écart du feu et des produits chimiques. La durée de conservation ne doit pas dépasser 12 mois.

9. Certificat de qualité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chaque lot de poudre est accompagné d'un certificat de qualité, qui comprend :

Nom du produit, type, marque, numéro de lot

Composition chimique (carbone total, carbone libre, oxygène, impuretés)

Propriétés physiques (taille des particules FSSS, masse volumique apparente, fluidité)

Résultats d'inspection et jugement de qualification

Fabricant, date d'inspection

Annexe

Annexe A (Annexe normative) : Méthode de détermination de la granulométrie de Fisher

Annexe B (Annexe normative) : Méthode de détermination de la masse volumique apparente

Annexe C (Annexe normative) : Méthode de détermination de la fluidité

Notes supplémentaires

Contexte de la révision :

Par rapport à la version 2002, la norme GB/T 5314-2011 ajoute des exigences techniques pour la poudre de cobalt et la poudre composite, et affine la limite de teneur en oxygène (par exemple, la poudre de tungstène est réduite de 0,05 % à 0,03 %), reflétant la demande de l'industrie du carbure cémenté en poudre haute performance.

Par rapport aux normes internationales :

Par rapport à la norme ISO 4499-2:2020, cette norme accorde plus d'attention à la composition chimique et au contrôle des propriétés physiques de la poudre (comme l'écart total de carbone $\pm 0,05$ %), tandis que l'ISO se concentre sur la microstructure et les propriétés post-frittage.

La norme ASTM B430-19 met davantage l'accent sur la précision de la distribution granulométrique ($RSD < 3$ %), tandis que cette norme met l'accent sur la cohérence de la taille des particules Fisher.

applicabilité :

Cette norme s'applique aux poudres de taille micrométrique (0,5 à 10 μm) et ne couvre pas les poudres de taille nanométrique, qui nécessitent une référence aux normes d'entreprise ou aux pratiques industrielles.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Annexe :

GB/T 19077-2016 Méthode de diffraction laser de la distribution granulométrique

Nom de la norme :

Distribution granulométrique par diffraction laser

Distribution granulométrique - Méthode de diffraction laser

Publication et mise en œuvre :

Date de sortie : 13 octobre 2016

Date d'entrée en vigueur : 1er mai 2017

Organisme émetteur : National Standardization Administration

Statut de la norme : Actuellement valable (à partir d'avril 2025, non remplacée par de nouvelles normes)

Norme de remplacement :

GB/T 19077.1-2008 (la version 2008 est la partie 1, la version 2016 intègre, modifie et adopte les dernières exigences des normes internationales)

Équivalent aux normes internationales :

ISO 13320:2009 « Analyse granulométrique – Méthodes par diffraction laser » (contenu technique équivalent et cohérent, format adapté aux normes chinoises)

1. Portée

Cette norme spécifie le principe, les exigences relatives aux instruments, les méthodes d'essai, l'étalonnage, l'expression des résultats et les exigences de précision pour la détermination de la distribution granulométrique des poudres par diffraction laser. Elle s'applique aux poudres solides dont la granulométrie est comprise entre 0,02 μm et 2 000 μm , notamment les poudres métalliques (telles que la poudre de tungstène), les poudres céramiques (telles que la poudre de carbure de tungstène WC), les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

poudres minérales, etc. La méthode couvre la dispersion humide et la dispersion sèche et convient à l'analyse granulométrique en recherche et développement, en production et au contrôle qualité. Elle ne s'applique pas à la détermination de la distribution granulométrique particulière des particules fibreuses ou en forme de bâtonnets.

2. Références normatives

Les documents suivants sont des références normatives de cette norme et sont utilisés conjointement avec cette norme :

GB/T 6682-2008 Spécifications et méthodes d'essai pour l'eau utilisée dans les laboratoires d'analyse (équivalent à ISO 3696:1987)

ISO 9276-1:1998 《

Représentation des résultats de l'analyse granulométrique - Partie 1 : Représentation graphique 》

Remarque : Les dernières versions des documents référencés s'appliquent à cette norme.

3. Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à la présente norme :

Taille des particules : Diamètre équivalent d'une particule, généralement exprimé comme le diamètre équivalent sphérique mesuré par diffraction laser, en micromètres (μm).

Distribution granulométrique : Caractéristiques de distribution de la taille des particules de poudre, exprimées en pourcentage de volume, de nombre ou de masse.

Diffraction laser : méthode optique de mesure de la taille des particules basée sur les propriétés de diffusion des particules vers un faisceau laser monochromatique.

D10, D50, D90 : Les valeurs auxquelles 10 %, 50 % et 90 % des particules de la courbe de distribution cumulative sont plus petites que cette taille de particule, qui sont appelées respectivement taille de particule à 10 %, taille de particule médiane et taille de particule à 90 %.

Dispersion : Processus de répartition uniforme de particules de poudre dans un milieu gazeux ou liquide.

Indice de réfraction : paramètre optique des particules et des milieux de dispersion, utilisé pour le calcul de la taille des particules.

Obscurcissement : Degré auquel l'échantillon bloque le faisceau laser, reflétant la concentration mesurée.

4. Principe de la méthode

La méthode de diffraction laser utilise les caractéristiques de diffusion des particules vers un laser monochromatique pour déterminer la distribution granulométrique. Le principe de base est le suivant :

Lorsqu'un faisceau laser (généralement d'une longueur d'onde de 633 nm) est irradié sur des particules dispersées, les particules génèrent une lumière diffusée et l'angle de diffusion est inversement proportionnel à la taille des particules : les grosses particules ont un petit angle de diffusion (proche de l'axe optique) et les petites particules ont un grand angle de diffusion (s'écartant de l'axe optique).

La distribution de l'intensité de la lumière diffusée est enregistrée par un réseau de détecteurs et la distribution de la taille des particules est calculée selon la théorie de la diffusion de Mie (applicable à toute la gamme de tailles de particules) ou l'approximation de Fraunhofer (applicable aux grosses particules, $> 10 \mu\text{m}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La théorie de Mie nécessite la saisie de l'indice de réfraction et de l'absorptivité des particules et des milieux, tandis que l'approximation de Fraunhofer ne nécessite pas de paramètres optiques mais présente une précision moindre.

5. Instruments et matériaux

5.1 Instrument

Granulomètre laser : comprend une source lumineuse laser, un système optique, un détecteur et une unité de traitement des données. Les modèles courants incluent le Malvern Mastersizer 3000 et le Beckman Coulter LS 13 320.

Source de lumière laser : lumière monochromatique, généralement laser He-Ne (633 nm), avec une puissance stable et une fluctuation < 1 %.

Détecteur : Photodétecteur multicanal, couvrant un angle de diffusion de 0,02° à 135°, plage dynamique > 10⁶.

Système décentralisé :

Méthode humide : cellule d'échantillon circulante avec agitateur et ultrasons.

Méthode sèche : Disperseur à air comprimé, pression réglable (0,1-0,5 MPa).

5.2 Réactifs et matériaux

Milieu de dispersion :

Méthode humide : eau distillée (conformément à la norme GB/T 6682 eau de grade 3), éthanol ou autres liquides à faible viscosité.

Méthode sèche : air comprimé ou azote (pureté ≥ 99,9%).

Dispersant : tel que le polyacrylate de sodium (PAA, 0,1%-0,5%), le dodécyl sulfate de sodium (SDS), qui peut être sélectionné en fonction des propriétés de l'échantillon.

Échantillons standards : tels que NIST SRM 1004 (microsphères de verre, granulométrie 10-100 µm) ou normes certifiées ISO, utilisés pour l'étalonnage.

6. Méthodes d'essai

6.1 Préparation des échantillons

Échantillonnage : Prélever 5 à 10 g d'échantillon représentatif du lot selon le principe d'échantillonnage aléatoire pour éviter la ségrégation.

Prétraitement : Séchage (105°C, 1 heure) pour éliminer l'humidité, ou tamisage pour éliminer les grosses particules (>2000 µm) si nécessaire.

Stockage : Conserver dans un récipient sec et hermétique pour éviter l'absorption d'humidité ou la contamination.

6.2 Étalonnage de l'instrument

Calibrez l'instrument à l'aide d'un échantillon standard (tel que NIST SRM 1004) et vérifiez que l'écart D50 est < 3 %.

Vérifiez l'intensité du laser et la réponse du détecteur pour vous assurer que le bruit de fond est < 0,1 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.3 Détermination de la dispersion humide

6.3.1 Dispersion

Ajoutez l'échantillon dans le milieu de dispersion (par exemple 50 à 100 ml d'eau) et ajoutez le dispersant (0,1 à 0,5 %).

Mélanger avec un agitateur (500-1000 tr/min) pendant 2 à 5 minutes et disperser par ultrasons si nécessaire (50-100 W, 1 à 5 minutes).

Vérifier la dispersion (pas d'agglomération au microscope).

6.3.2 Mesure

Injectez la dispersion dans le bassin d'échantillons et ajustez la concentration à un degré de protection contre la lumière de 10 à 20 % (l'instrument indique la plage optimale).

Définissez l'indice de réfraction (par exemple 2,5-3,0 pour la poudre de carbure de tungstène, 1,33 pour l'eau) et sélectionnez le calcul de la théorie de Mie.

Le temps de mesure était de 10 à 30 secondes, répété 3 fois, et la valeur moyenne a été prise.

6.4 Détermination de la dispersion sèche

6.4.1 Dispersion

Placez l'échantillon dans un disperseur sec et ajustez la pression d'air (0,1-0,3 MPa).

Contrôlez la vitesse d'injection et le degré d'ombrage est de 5% à 15%.

6.4.2 Mesure

Définissez l'indice de réfraction et le modèle de calcul (Mie ou Fraunhofer).

Le temps de mesure est de 10 à 30 secondes et répété 3 fois.

6.5 Réglages des paramètres

Plage de mesure : 0,02-2000 μm (selon le modèle d'instrument).

est enregistré avant chaque mesure et soustrait automatiquement.

7. Traitement des données et présentation des résultats

7.1 Traitement des données

Le logiciel de l'instrument calcule la distribution granulométrique en fonction de la distribution de l'intensité de la lumière diffusée et génère la distribution cumulative et la distribution de fréquence.

Les valeurs aberrantes (telles que le bruit de fond ou les interférences de bulles) ont été éliminées pour garantir un RSD < 5 %.

7.2 Expression des résultats

Courbe de distribution granulométrique : tracée en pourcentage volumique et représentée graphiquement

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

selon la norme ISO 9276-1.

Taille caractéristique des particules :

D10 : 10 % des particules sont plus petites que cette valeur

D50 : taille médiane des particules

D90 : 90 % des particules sont plus petites que cette valeur

Largeur de distribution : Portée = $(D90 - D10) / D50$

Taille moyenne des particules : taille moyenne en volume $D[4,3]$ ou taille moyenne en nombre $D[1,0]$ (selon les besoins).

Unité : La taille des particules est exprimée en μm , avec 2 décimales.

7.3 Contenu du rapport

Nom de l'échantillon, numéro de lot

Méthode de dispersion (humide/sec), milieu, dispersant

Modèle d'instrument, conditions de mesure (indice de réfraction, degré d'ombrage)

Données de distribution granulométrique (D10, D50, D90, etc.) et courbes

8. Précision et incertitude

8.1 Répétabilité

Pour le même opérateur et le même instrument, l'écart de D50 est $< 3\%$, et l'écart de D10 et D90 est $< 5\%$.

8.2 Reproductibilité

L'écart de D50 est $< 5\%$ entre les différents laboratoires et instruments, et l'écart de D10 et D90 est $< 10\%$.

8.3 Incertitude

Les sources incluent une dispersion inégale de l'échantillon, une erreur d'indice de réfraction, le bruit de l'instrument, etc., qui doivent être expliqués dans le rapport.

9. Remarques

Uniformité de la dispersion : Éviter une ultrasonisation excessive qui provoque la rupture des particules, ou une ultrasonisation insuffisante qui provoque l'agglomération.

Paramètres optiques : L'indice de réfraction et l'absorptivité doivent être précis. Pour la poudre de carbure de tungstène, des valeurs de référence sont recommandées (par exemple, 2,5-3,0, absorptivité 0,1).

Contrôle environnemental : température 20-25°C, humidité $< 65\%$, éviter les interférences de vibrations.

Entretien de l'instrument : nettoyez régulièrement la cellule d'échantillonnage et le système optique et vérifiez la puissance du laser.

10. Annexe

Annexe A (informative) : Valeurs de référence de l'indice de réfraction et de l'absorptivité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exemple : Carbure de tungstène (WC) : indice de réfraction 2,5-3,0, absorptivité 0,1-0,3

Eau : indice de réfraction 1,33, absorptivité 0

Annexe B (informative) : Exemples de distribution granulométrique typique

Y compris l'interprétation des courbes de distribution unimodale et multimodale

Annexe C (informative) : Applicabilité de la théorie de Mie et de l'approximation de Fraunhofer

Mie : Gamme complète de tailles de particules, paramètres optiques requis

Fraunhofer : $>10\ \mu\text{m}$, calcul simplifié

Notes supplémentaires

Contexte de la révision :

La norme GB/T 19077-2016 remplace la version 2008 et adopte la dernière technologie de la norme ISO 13320:2009, élargissant l'applicabilité des méthodes sèches et humides, augmentant les exigences de réglage et de précision de l'indice de réfraction et améliorant la prise en charge des poudres à l'échelle nanométrique (par exemple $< 100\ \text{nm}$).

Par rapport aux normes internationales :

Equivalent à la norme ISO 13320:2009, avec le même contenu technique et le format adapté aux normes chinoises.

Par rapport à la norme ASTM E2490-09, cette norme met davantage l'accent sur les détails opérationnels et l'étalonnage des instruments, tandis que l'ASTM se concentre sur le traitement des données et l'analyse des incertitudes.

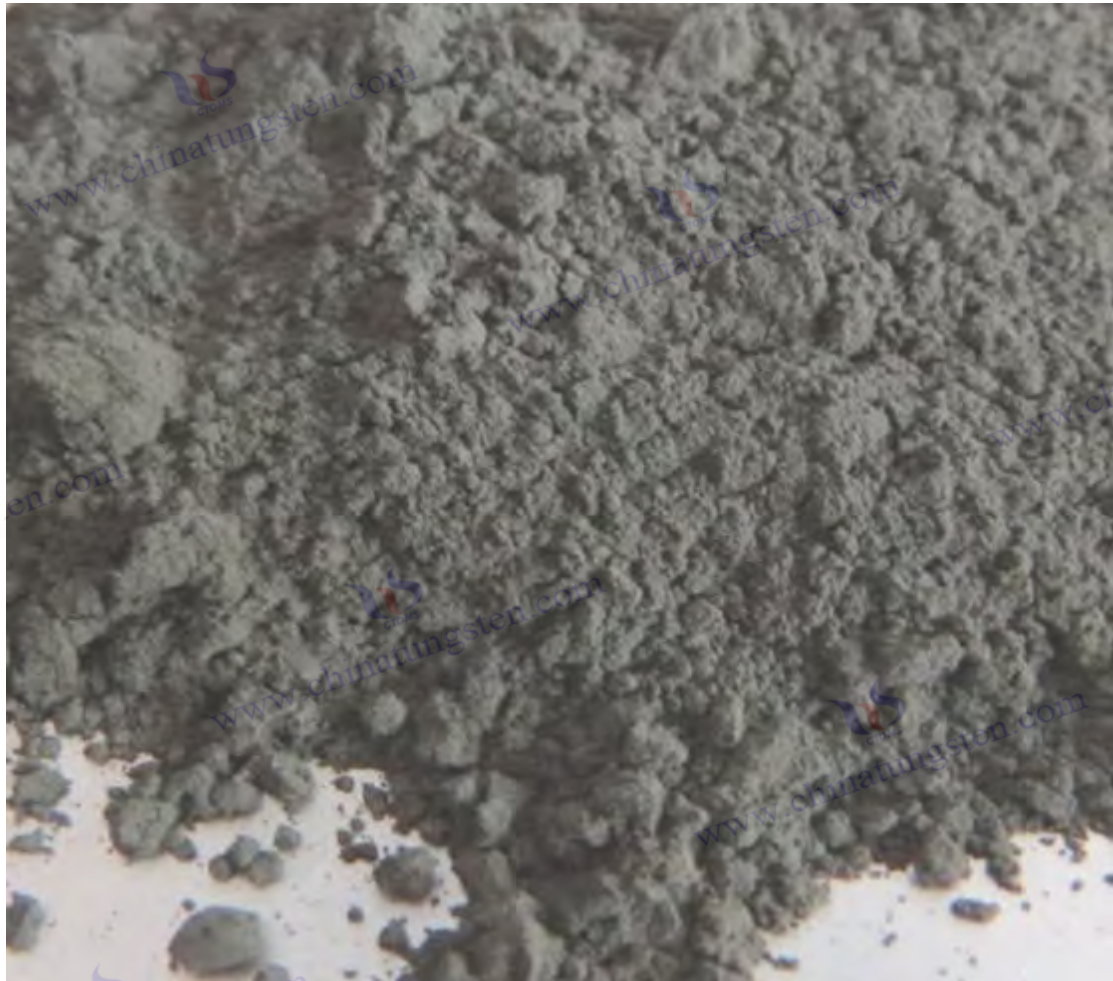
applicabilité :

Matériaux réfractaires tels que la poudre de carbure de tungstène ($0,1-10\ \mu\text{m}$) et la poudre de tungstène ($1-50\ \mu\text{m}$). La méthode humide est plus adaptée aux poudres fines, tandis que la méthode sèche est plus adaptée aux poudres grossières.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

Annexe :

GB/T 5124-2008 Méthodes d'analyse chimique du carbure cémenté

Nom de la norme :

Méthode d'analyse chimique du carbure cémenté
chimique du carbure cémenté

Publication et mise en œuvre :

GB/T 5124.1-2008 (Détermination de la teneur totale en carbone) : Publiée le 16 juin 2008, en vigueur le 1er janvier 2009

GB/T 5124.2-2008 (Détermination de la teneur en carbone libre) : Publiée le 16 juin 2008, en vigueur le 1er janvier 2009

GB/T 5124.3-2008 (Détermination de la teneur en cobalt) : Publiée le 16 juin 2008, en vigueur le 1er janvier 2009

GB/T 5124.4-2008 (Détermination des éléments d'impureté) : Publiée le 16 juin 2008, en vigueur depuis le 1er janvier 2009

Organisme émetteur : National Standardization Administration

Statut de la norme : Actuellement valable (à partir d'avril 2025, non remplacée par de nouvelles normes)

Norme de remplacement :

GB/T 5124-1995 (la version 1995 est divisée en plusieurs parties, la version 2008 est révisée et intégrée)

1. Portée

Cette norme spécifie la méthode d'analyse de la composition chimique du carbure cémenté, incluant la détermination du carbone total (carbone total), du carbone libre (carbone libre), du cobalt (Co) et des impuretés (Fe, Mo, Ni, etc.). Elle s'applique à l'analyse de la composition chimique des matières premières en carbure cémenté (poudre de carbure de tungstène WC, poudre de cobalt Co) et des produits frittés en carbure cémenté. Cette méthode normalisée peut également servir de référence pour l'analyse d'autres carbures métalliques (TiC, TaC, NbC). Les résultats d'analyse servent au contrôle qualité, à l'optimisation des procédés et à l'acceptation des produits.

2. Références normatives

Les documents suivants sont des références normatives de cette norme et sont utilisés conjointement avec cette norme :

GB/T 223.5-2008 « Détermination de la teneur en carbone et en soufre de l'acier et des alliages »

GB/T 3249-2009 « Détermination de la teneur totale en carbone des poudres et composés métalliques réfractaires »

GB/T 4010-1994 Méthodes d'échantillonnage et de préparation d'échantillons pour l'analyse chimique des matériaux métalliques

GB/T 6682-2008 Spécifications et méthodes d'essai pour l'eau utilisée dans les laboratoires d'analyse (équivalent à ISO 3696:1987)

Remarque : Les dernières versions des documents référencés s'appliquent à cette norme.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

3. Généralités

Conditions de laboratoire : L'analyse doit être réalisée dans un environnement propre et sans poussière à 20-25°C et une humidité relative <65%.

Exigences relatives à l'échantillon : préparer conformément à la norme GB/T 4010 pour éviter toute contamination ou perte de composants (comme l'oxydation, la volatilisation).

Pureté des réactifs : Tous les réactifs étaient de qualité analytique (AR) et de qualité supérieure (GR) lorsque nécessaire.

Qualité de l'eau : Conforme à la norme GB/T 6682, eau pure de grade 3 ou supérieur.

Étalonnage de l'instrument : étalonnez l'instrument avant l'analyse pour garantir la précision et la répétabilité.

Exigences de sécurité : Lors de travaux avec des acides, des alcalis ou des températures élevées, le travail doit être effectué sous une hotte aspirante et un équipement de protection doit être porté.

4. GB/T 5124.1-2008 : Détermination de la teneur totale en carbone

4.1 Principe de la méthode

L'échantillon de carbure cémenté est brûlé à haute température dans un flux d'oxygène, et tout le carbone (y compris le carbone lié et le carbone libre) est converti en CO₂. La teneur totale en carbone est déterminée par la méthode d'absorption infrarouge.

4.2 Réactifs et instruments

Oxygène : pureté ≥99,5%, débit réglable.

Flux:

d'étain de haute pureté (Sn, pureté ≥ 99,9 %) : favorisent la combustion.

Poudre de fer de haute pureté (Fe, pureté ≥ 99,9 %) : abaisse le point de fusion.

instrument:

Four à combustion par induction haute fréquence (puissance ≥ 2 kW, température 1350-1450°C).

Analyseur infrarouge de carbone et de soufre (tel que LECO CS-600 ou CS-844).

4.3 Spécimens

Masse : 0,1-0,5 g (précision 0,0001 g).

Condition : Broyer à < 0,2 mm (80 mesh) pour éliminer la couche d'huile et d'oxyde.

4.4 Étapes de test

Pesez l'échantillon et placez-le dans un bateau en porcelaine propre.

Ajouter le flux (Sn 1,0 g, Fe 0,5 g) et bien mélanger.

Placer le bateau en porcelaine dans le four de combustion, introduire de l'oxygène (débit 2-3 L/min), chauffer à 1350-1450°C et brûler pendant 5 à 10 secondes.

Le CO₂ est mesuré par un détecteur infrarouge et l'intensité du pic d'absorption est enregistrée.

L'instrument est étalonné avec un échantillon standard (par exemple NIST SRM 276b, teneur en carbone 6,0%-6,5%) et la teneur totale en carbone est calculée.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.5 Calcul du résultat

Teneur totale en carbone (fraction massique, %) = (lecture de l'instrument × facteur d'étalonnage) / masse de l'échantillon

Plage de mesure : 0,1%-10%.

Précision : $\pm 0,01$ % (répétabilité RSD < 2%).

4.6 Remarques

Les échantillons doivent être séchés (105°C, 1 heure) pour éviter les interférences liées à l'humidité.

Le four de combustion doit être nettoyé régulièrement pour éliminer les résidus.

Un débit d'oxygène insuffisant peut entraîner une combustion incomplète, la conduite de gaz doit donc être vérifiée.

5. GB/T 5124.2-2008 : Détermination de la teneur en carbone libre

5.1 Principe de la méthode

Le carbone libre (carbone élémentaire) de l'échantillon est dissous dans un acide et sa teneur est déterminée par titrage-oxydation. Le carbone lié (carbone dans le WC) est insoluble dans l'acide et ne participe pas à la réaction.

5.2 Réactifs et instruments

mélange acide-acide nitrique : H_2SO_4 (1+1, dilué 1:1 en volume) et HNO_3 (1+1) sont mélangés dans un rapport 1:1.

Dichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) : solution standard à 0,1 mol/L.

Diphénylamine sulfonate de sodium : indicateur, solution aqueuse à 0,2 % (m/V).

instrument:

Plaque chauffante électrique (température réglable jusqu'à 100°C).

Appareil de titrage (burette de 50 mL, précision 0,02 mL).

5.3 Spécimens

Masse : 1,0-2,0 g (précision 0,0001 g).

État : Broyé à < 0,2 mm, éliminer les impuretés de surface.

5.4 Étapes de test

Pesez l'échantillon et placez-le dans une fiole conique de 250 mL.

Ajouter 50 mL de mélange acide sulfurique-acide nitrique, couvrir avec un verre de montre et chauffer sur une plaque chauffante à 80-90°C.

Après agitation pendant 30 minutes, le carbone libre a été oxydé en CO_2 et la solution est devenue claire.

Laisser refroidir à température ambiante, laver le résidu avec de l'eau distillée jusqu'à neutralité, filtrer dans une fiole jaugée de 100 mL et compléter au volume.

Prélevez 20 ml du filtrat, ajoutez la solution standard $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ et titrez jusqu'au point final violet-rouge

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(pas de changement de couleur pendant 30 secondes), puis enregistrez le volume consommé.

5.5 Calcul du résultat

Teneur en carbone libre (fraction massique, %) = $(V \times C \times 0,012 \times 100) / m$

V : Volume de solution de $K_2Cr_2O_7$ consommé (mL)

C : concentration en $K_2Cr_2O_7$ (mol/L)

0,012 : Facteur de conversion de la masse molaire du carbone (g/mmol)

m : masse de l'échantillon (g)

Plage de mesure : 0,01 %-1,0 %.

Précision : $\pm 0,005$ % (répétabilité RSD<3%).

5.6 Remarques

L'opération a été réalisée sous une hotte aspirante pour éviter l'inhalation de vapeurs acides.

Le point final du titrage doit être déterminé avec précision et corrigé avec un test à blanc si nécessaire.

Le carbone lié (tel que le WC) dans l'échantillon n'interfère pas avec les résultats, mais il est nécessaire de s'assurer qu'il n'y a pas d'autres impuretés réductrices.

6. GB/T 5124.3-2008 : Détermination de la teneur en cobalt

6.1 Principe de la méthode

la teneur en cobalt a été déterminée par spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES).

6.2 Réactifs et instruments

Acide nitrique (HNO_3) : solution 1+1 (dilution 1:1 en volume).

Acide chlorhydrique (HCl) : solution 1+1.

Solution étalon de cobalt : 10 mg/L (préparée avec $CoCl_2$, traçable aux substances étalons nationales).

Instrument : Spectromètre ICP-OES (tel que PerkinElmer Optima 8300 ou Thermo iCAP 7000).

6.3 Échantillon d'essai

Masse : 0,5-1,0 g (précision 0,0001 g).

État : Broyé à $< 0,2$ mm, sec.

6.4 Étapes de test

Pesez l'échantillon et placez-le dans un bécher en polytétrafluoroéthylène de 100 ml.

Ajouter 20 mL de HNO_3 et 10 mL de HCl, chauffer à 80 °C et remuer jusqu'à dissolution complète (environ 30 min).

Après refroidissement, transférer dans une fiole jaugée de 100 mL et compléter au volume avec de l'eau distillée.

la ligne d'émission du cobalt a été mesurée par ICP-OES (longueur d'onde recommandée 228,616 nm, deuxième choix 231,160 nm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Une courbe d'étalonnage a été tracée à l'aide d'une solution standard de cobalt (0,1-10 mg/L) pour calculer la concentration en cobalt.

6.5 Calcul du résultat

Teneur en cobalt (fraction massique, %) = $(C \times V) / (m \times 10^4) \times 100$

C : Concentration de cobalt en solution (mg/L)

V : volume fixe (mL, généralement 100 mL)

m : masse de l'échantillon (g)

Plage de mesure : 0,1%-30%.

Précision : $\pm 0,02$ % (répétabilité RSD < 2%).

6.6 Remarques

La matrice de tungstène peut interférer. Si nécessaire, ajoutez un agent masquant (tel que l'EDTA, 0,1 mol/L) ou optimisez les paramètres de l'instrument.

La solution standard doit être préparée fraîche chaque jour pour éviter toute détérioration.

7. GB/T 5124.4-2008 : Détermination des éléments d'impureté

7.1 Principe de la méthode

L'échantillon a été dissous avec de l'acide et la teneur en éléments d'impuretés (tels que Fe, Mo, Ni, Cr, Al, etc.) a été déterminée par ICP-OES.

7.2 Réactifs et instruments

Acide nitrique (HNO_3) : solution 1+1.

Acide chlorhydrique (HCl) : solution 1+1.

Solution standard : la concentration de chaque élément (tel que Fe, Mo, Ni) est de 1 à 10 mg/L, traçable aux substances standard nationales.

Instrument : Spectromètre ICP-OES.

7.3 Échantillons d'essai

Masse : 0,5-1,0 g (précision 0,0001 g).

État : Meulé à $< 0,2$ mm.

7.4 Procédures d'essai

L'échantillon a été dissous de la même manière qu'à l'étape 6.4 (HNO_3 20 mL, HCl 10 mL, dissous à 80 °C).

Après refroidissement, le volume a été ajusté à 100 mL et les raies spectrales caractéristiques de chaque élément ont été déterminées par ICP-OES :

Fe : 238,204 nm

Mo : 202,032 nm

Ni : 231,604 nm

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cr : 267,716 nm

Al : 396,152 nm

Utilisez des solutions standard de chaque élément (0,01 à 10 mg/L) pour tracer une courbe d'étalonnage et calculer la concentration.

7.5 Calcul du résultat

Teneur en impuretés (fraction massique, %) = $(C \times V) / (m \times 10^4) \times 100$

C : concentration de l'élément en solution (mg/L)

V : volume fixe (mL, généralement 100 mL)

m : masse de l'échantillon (g)

Plage de mesure : 0,001 %-1,0 %.

Précision : $\pm 0,001$ % (répétabilité RSD<5%).

7.6 Remarques

Les matrices à haute teneur en tungstène peuvent produire des interférences spectrales, nécessitant un ajustement de la longueur d'onde ou l'utilisation d'une correction d'arrière-plan.

Lorsque vous mesurez plusieurs éléments simultanément, assurez-vous que les lignes spectrales ne se chevauchent pas.

8. Précision et incertitude

8.1 Répétabilité

Le même opérateur et le même instrument présentent un écart dans les résultats de mesure :

Carbone total : $\pm 0,01$ %

Carbone libre : $\pm 0,005$ %

Cobalt : $\pm 0,02$ %

Impuretés : $\pm 0,001$ %

8.2 Reproductibilité

Les résultats de différents laboratoires et instruments présentent un écart <2 fois la limite de répétabilité.

8.3 Incertitude

Les sources incluent l'homogénéité de l'échantillon, l'étalonnage de l'instrument, la pureté du réactif, etc., qui doivent être évalués dans le rapport.

9. Remarques

Préparation des échantillons : Pour éviter l'introduction d'impuretés telles que le Fe lors du broyage, il est recommandé d'utiliser un mortier en carbure.

Maintenance des instruments : Calibrer régulièrement le four de combustion et l'ICP-OES pour garantir la sensibilité et la stabilité.

Fonctionnement en toute sécurité : La dissolution de l'acide et la combustion à haute température doivent

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

être effectuées sous une hotte aspirante, en portant des lunettes et des gants de protection.

Notes supplémentaires

Contexte de la révision :

La norme GB/T 5124-2008 a mis à jour la méthode d'analyse par rapport à la version 1995, en introduisant l'ICP-OES pour remplacer la spectrophotométrie traditionnelle (comme la détermination du cobalt), en améliorant la précision et les capacités d'analyse multi-éléments pour répondre à la demande de l'industrie du carbure cimenté en matières premières de haute pureté.

Par rapport aux normes internationales :

Par rapport à la norme ISO 11876:2010 « Analyse chimique du carbure cimenté », cette norme se concentre davantage sur les méthodes chimiques classiques (telles que la méthode de combustion et la méthode de titrage), tandis que l'ISO préfère l'analyse instrumentale (telle que l'ICP-MS).

La norme ASTM E1019-18 couvre un contenu similaire, mais met davantage l'accent sur l'automatisation et la détermination simultanée de plusieurs éléments.

applicabilité :

Convient à l'analyse des composants de la poudre de carbure de tungstène (WC), du carbure cimenté WC-Co et des matériaux composites (tels que WC- TiC), couvrant la gamme des traces aux teneurs élevées.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Annexe :

Méthode de détermination de la granulométrie de Fisher

Le Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS) est une méthode de mesure de la granulométrie moyenne des poudres par perméation à l'air. Il est largement utilisé pour l'analyse granulométrique des poudres métalliques (comme la poudre de carbure de tungstène WC), des poudres céramiques et d'autres matériaux à particules fines. Le résultat du Fisher Sub-Sieve Sizer est exprimé en microns (μm), ce qui représente la granulométrie moyenne de la poudre. Il est particulièrement adapté aux poudres fines dont la granulométrie est comprise entre 0,2 et 50 μm . Cette méthode estime indirectement la granulométrie en mesurant la résistance à la pénétration de l'air dans le lit de poudre. Simple d'utilisation et offrant une bonne répétabilité, il s'agit d'une méthode d'essai granulométrique standard en métallurgie des poudres et en science des matériaux.

1. Définition et principe

Définition :

La granulométrie de Fisher désigne la granulométrie moyenne d'une poudre mesurée par un analyseur sous-tamis de Fisher, généralement appelée granulométrie FSSS (unité : μm). Elle reflète le diamètre sphérique équivalent des particules de poudre. Contrairement au tamisage ou à la granulométrie laser, la granulométrie FSSS est plus adaptée à la caractérisation des poudres fines, notamment pour la production de matières premières en carbure cimenté (comme la poudre de WC).

Principe de mesure

Méthode de perméabilité à l'air :

La détermination de la granulométrie Fisher repose sur la relation entre la résistance de l'air traversant un lit de poudre comprimée et la granulométrie. Lorsque l'air traverse un échantillon de poudre à débit constant, les particules fines offrent une plus grande résistance en raison de leur grande surface spécifique et de leurs pores fins, tandis que les particules plus grosses présentent une résistance moindre.

Base mathématique :

Selon l'équation de Kozeny-Carman, la résistance à la perméation de l'air est liée à la surface spécifique (S) et à la porosité (ϵ) de la poudre :

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

dans:

ΔP : Différence de pression (Pa)

μ : Viscosité de l'air (Pa·s)

v : vitesse de l'air (m/s)

L : Épaisseur du lit de poudre (m)

S : Surface spécifique (m^2 / kg)

ϵ : La porosité

peut être convertie en taille moyenne des particules (D_{FSSS}) en mesurant ΔP et en la combinant avec la courbe d'étalonnage dans des conditions standard.

Hypothèses : Les particules sont sphériques, le lit de poudre est uniformément comprimé et le flux d'air

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

est laminaire.

Caractéristiques

Plage applicable : 0,2-50 μm , précision $\pm 0,05 \mu\text{m}$.

Avantages : L'équipement est simple et adapté à une détection rapide.

Limitations : Sensible à la forme des particules, les particules non sphériques peuvent provoquer des écarts.

2. Méthode de détermination

La détermination de la taille des particules Fisher suit des procédures standard telles que ASTM B330 ou ISO 10070. Voici un aperçu de la méthode générale.

équipement

Analyseur de sous-tamis Fisher : comprend une pompe à air, un manomètre, un tube d'échantillon (diamètre intérieur généralement de 5 à 10 mm), un compteur de colonne d'eau ou un capteur de pression numérique.

Balance : précision 0,001g, utilisée pour peser des échantillons.

Four : utilisé pour sécher les échantillons, la température est contrôlée à 100-120°C.

Échantillon standard : Poudre d'étalonnage avec une granulométrie connue (comme la poudre WC standard).

Procédure

Préparation des échantillons :

Échantillonnage : Prélever au hasard des échantillons de 5 à 10 g du lot de poudre, à l'aide d'un séparateur d'échantillons pour garantir la représentativité.

Séchage : Éliminer l'humidité dans un four (105°C, 2 heures) jusqu'à une teneur en humidité $< 0,1 \%$.

Refroidissement : Laisser refroidir à température ambiante dans un dessiccateur pour éviter l'absorption d'humidité.

Chargement et compression d'échantillons :

Pesée : Peser avec précision la masse spécifiée (par exemple 2,5 g de poudre WC, ajuster en fonction de la densité).

Remplissage dans le tube échantillon : Versez la poudre dans le tube échantillon et compressez-la à une hauteur fixe (généralement 10 mm) à l'aide d'un compacteur à pression constante (par exemple 2 à 5 kPa).

Vérification : Assurez-vous que la surface du lit de poudre est plane, exempte de fissures et présente une porosité constante ($\varepsilon \approx 0,4-0,5$).

Étalonnage de l'instrument :

Calibrez l'instrument avec un échantillon standard (tel que de la poudre WC FSSS 1,0 μm) et ajustez le débit d'air à la valeur standard (par exemple 0,1 L/min).

Enregistrez la différence de pression d'étalonnage (ΔP) pour garantir la concordance avec la courbe standard.

Mesure :

Démarrez la pompe à air et réglez le débit à une valeur constante.

Enregistrez la différence de hauteur de la colonne d'eau (cm H₂O) ou la valeur de pression numérique (Pa) et répétez 3 fois pour prendre la valeur moyenne.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Convertissez ΔP \Delta P en taille de particule FSSS (μm) à l'aide de la table de conversion ou du logiciel intégré de l'instrument.

Résultats de la vérification :

Le même lot d'échantillons a été mesuré trois fois avec un écart de $< 5\%$.

Comparez avec des échantillons standard pour garantir que l'erreur est $< 0,1\ \mu\text{m}$.

Données expérimentales

Échantillon	Masse (g)	Hauteur de compression (mm)	Différence de pression (cm H ₂ O)	Taille des particules FSSS (μm)
Poudre WC 1	2,5	10	15.2	1.2
Poudre WC 2	2,5	10	10,5	2.0
Poudre WC 3	2,5	10	6.8	3,5

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

3. Équipement et étapes de fonctionnement

Structure de l'équipement

Système d'air : Une micro pompe fournit un débit d'air constant, qui est contrôlé avec précision par un débitmètre (0,05-0,2 L/min).

Tube échantillon : verre ou métal, de 5 à 10 mm de diamètre, avec papier filtre pour supporter la poudre.

Mesure de pression : manomètre à colonne d'eau conventionnel (précision 0,1 cm H₂O) ou capteur numérique moderne (précision 1 Pa).

Dispositif d'étalonnage : plaque à orifice standard ou poudre de granulométrie connue, utilisée pour étalonner le point zéro et la sensibilité de l'instrument.

Étapes détaillées

Préchauffer l'instrument : Démarrer l'instrument et le laisser fonctionner pendant 10 minutes pour stabiliser le flux d'air et la température (20-25°C).

Peser l'échantillon : Peser 2,5 g de poudre WC à l'aide d'une balance analytique (erreur $< 0,001\ \text{g}$) et enregistrer la masse.

Remplir le tube échantillon : verser la poudre lentement, tapoter doucement pour éliminer les bulles, et la comprimer avec un compacteur jusqu'à une hauteur de 10 mm et une pression de 2 kPa, en maintenant une porosité de $0,45 \pm 0,05$.

Connectez le système : Installez le tube d'échantillon dans l'instrument en vous assurant d'une étanchéité parfaite.

Régler le débit d'air : régler le débit à 0,1 L/min et attendre que la pression se stabilise (environ 30 secondes).

Enregistrer les données : Lisez la différence de colonne d'eau (par exemple 15 cm H₂O) et calculez la taille des particules FSSS en consultant le tableau ou en la saisissant dans le logiciel.

Nettoyer et répéter : Retirez l'échantillon, nettoyez le tube d'échantillon avec de l'air comprimé, répétez la mesure deux fois et prenez la valeur moyenne.

Précautions

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le séchage de l'échantillon est essentiel, une humidité $> 0,1 \%$ entraînera un changement de porosité et une taille de particule plus grande de $0,2$ à $0,5 \mu\text{m}$.

La force de compression doit être constante. Une force trop forte ($\varepsilon < 0,4$) ou trop faible ($\varepsilon > 0,5$) affectera la différence de pression.

La température ambiante a été contrôlée à $20-25^\circ\text{C}$ pour éviter les changements de viscosité de l'air.

4. Facteurs d'influence et optimisation

La précision de la détermination granulométrique selon Fisher dépend de nombreux facteurs. Voici des analyses et des suggestions d'optimisation.

Facteurs d'influence

Forme des particules :

La valeur mesurée des particules sphériques est proche de la taille réelle des particules, tandis que la valeur FSSS des particules non sphériques (comme celles en forme d'aiguille) est plus grande (écart de 10 à 20%) en raison d'une résistance accrue.

Porosité :

Si la porosité est trop faible ($< 0,4$), la résistance est trop grande et la taille des particules est trop petite ; si la porosité est trop élevée ($> 0,5$), la résistance est insuffisante et la taille des particules est trop grande.

Teneur en humidité :

Une teneur en humidité $> 0,2 \%$ provoque une agglomération des particules et augmente la valeur FSSS de $0,3$ à $0,8 \mu\text{m}$.

Stabilité du flux d'air :

Fluctuation du débit $> 0,01 \text{ L/min}$, erreur de différence de pression $\pm 0,5 \text{ cm H}_2\text{O}$, écart de taille des particules $\pm 0,1 \mu\text{m}$.

Stratégie d'optimisation

Prétraitement des échantillons : séchage jusqu'à humidité $< 0,05 \%$, dispersion par ultrasons pendant 5 minutes pour réduire l'agglomération.

Contrôle de la compression : En utilisant un compacteur standard, la pression est de $2-3 \text{ kPa}$ et la porosité est stabilisée à $0,45 \pm 0,02$.

Étalonnage de l'instrument : étalonner mensuellement avec de la poudre WC standard (FSSS $1,0 \mu\text{m}$), et l'erreur est contrôlée à $\pm 0,05 \mu\text{m}$.

Gestion environnementale : température et humidité constantes (25°C , humidité $< 50\%$), débit d'air stabilisé à $0,1 \pm 0,005 \text{ L/min}$.

Données expérimentales :

Condition	Humidité(%)	Porosité	Différence de pression (cm H ₂ O)	Taille des particules FSSS (μm)
Non séché (0,3 % d'humidité)	0,3	0,48	16.0	1.4
Compression sèche et optimisée	0,05	0,45	15.2	1.2

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Condition	Humidité(%)	Porosité	Différence de pression (cm H ₂ O)	Taille des particules FSSS (μm)

China Tungsten Online.

5. Scénarios d'application

La détermination de la granulométrie Fisher est largement utilisée dans la production et le contrôle qualité des matériaux en poudre. Voici quelques applications spécifiques :

Production de carbure cimenté

Application : Pour mesurer la taille de la poudre WC et contrôler la taille et les propriétés des grains de carbure cimenté.

Cas : Une équipe a déterminé que le FSSS de la poudre WC était de 1,2 μm et que la dureté du carbure cimenté préparé était de HV 2200, avec une uniformité du grain augmentée de 15 % (informations du site Web China Tungsten Online).

Poudre de projection thermique

Application : Pour évaluer la granulométrie de la poudre de pulvérisation WC-Co et assurer la densité du revêtement par pulvérisation (> 99 %).

Cas : Une étude a déterminé que le FSSS de la poudre WC-12Co était de 3,5 μm, la dureté du revêtement HVOF était de HV 1350 et le taux d'usure était de 0,06 mm³ / N · m (informations du site Web China Tungsten Online).

Métallurgie des poudres

Application : Pour détecter la taille des particules de poudre métallique (comme W, Mo) et optimiser les performances de frittage.

Cas : Une entreprise a déterminé que le FSSS de la poudre W était de 2,0 μm et que la densité du corps fritté était de 98,5 % (informations du site Web China Tungsten Online).

Contrôle de qualité

Application : Détecter la cohérence granulométrique entre les lots. L'écart est inférieur à 0,1 μm.

Résumer

La granulométrie Fisher utilise la méthode de perméabilité à l'air pour déterminer la granulométrie moyenne d'une poudre (0,2-50 μm), selon le principe de Kozeny-Carman, et convertit la valeur FSSS en utilisant la différence de pression. La méthode comprend le séchage de l'échantillon (humidité < 0,1 %), la compression (porosité 0,45), la mesure du débit d'air (0,1 L/min), un équipement simple et une précision de ± 0,05 μm. Les facteurs d'influence tels que la forme des particules et l'humidité doivent être optimisés. L'application couvre le carbure cimenté, la poudre pulvérisée et la métallurgie des poudres afin de garantir la constance des performances des matériaux (informations provenant du site web 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

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.

Annexe :

Masse volumique apparente et sa méthode de détermination

Masse volumique apparente et sa méthode de détermination

La masse volumique apparente désigne la masse de poudre par unité de volume à l'état empilé naturellement, généralement en g/cm^3 ou kg/m^3 . C'est un paramètre important pour caractériser les propriétés physiques de la poudre. Elle reflète la taille, la forme, les caractéristiques de surface et le mode d'empilement des particules de poudre, et joue un rôle important dans des procédés tels que la métallurgie des poudres, la projection thermique et la production de carbure cimenté. La méthode de détermination est simple et efficace, et les deux formes de masse volumique apparente en vrac et tassée sont couramment utilisées, et sont obtenues à l'aide de récipients standard et d'opérations de pesée.

1. Définition et signification

définition

Masse volumique apparente : Rapport entre la masse de poudre et le volume du récipient après son remplissage

dans des conditions spécifiques (telles qu'un compactage naturel en vrac ou un compactage par vibration).

Masse volumique apparente = m/V . Où :

m : masse de poudre (g)

V : Volume occupé par la poudre (cm^3)

Masse volumique apparente : État de la poudre tombant librement dans un récipient sans compression ni vibration.

Masse volumique apparente tassée : densité de la poudre après qu'elle a été vibrée ou tapotée dans le récipient et que les particules sont réorganisées vers un état plus dense.

importance

Conseils de procédé : La masse volumique apparente influence la fluidité, l'efficacité de remplissage et les performances de frittage de la poudre. Par exemple, la poudre de carbure de tungstène (WC) présente une masse volumique apparente élevée et une meilleure densité de frittage.

Contrôle qualité : il reflète la cohérence entre les lots de poudre. Des écarts importants peuvent entraîner des défauts de moulage.

Propriétés des matériaux : étroitement liées à la taille des particules, à la forme et à la rugosité de la surface, elles constituent des indicateurs importants pour caractériser les poudres.

Valeur typique

Type de poudre	Masse volumique apparente (g/cm^3)	Masse volumique tassée (g/cm^3)
Poudre WC (1 μm)	4,5-5,0	5,5-6,0
WC-12Co	4,0-4,5	4,8-5,2
Poudre W (5 μm)	6,0-7,0	7,5-8,5

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Facteurs d'influence

La densité apparente est affectée par de nombreux facteurs, qui sont analysés en détail ci-dessous.

Taille des particules

Impact : Plus la taille des particules est petite, plus la surface spécifique est grande, plus il y a de vides entre les particules et plus la densité de tassement est faible ; plus la taille des particules est grande, moins il y a de vides et plus la densité est élevée.

Données expérimentales :

Taille des particules de WC (μm)	Masse volumique apparente (g/cm^3)	Masse volumique tassée (g/cm^3)
0,5	4.2	5.3
2.0	4.8	5.8
5.0	5.2	6.2

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

Forme des particules

Impact : Les particules sphériques sont densément compactées et ont une densité élevée ; les particules irrégulières ou en forme d'aiguille ont de grands espaces et une faible densité.

Cas : La masse volumique apparente de la poudre WC sphérique (sphéricité > 95 %) est de $4,8 \text{ g}/\text{cm}^3$, tandis que celle de la poudre WC irrégulière n'est que de $4,3 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Propriétés de surface

Impact : Les poudres à surfaces rugueuses ou à électricité statique s'agglomèrent facilement, la porosité augmente et la densité diminue ; les surfaces lisses sont propices à un empilement dense.

Expérience : La densité de la poudre de WC non traitée est de $4,5 \text{ g}/\text{cm}^3$ et atteint $5,0 \text{ g}/\text{cm}^3$ après sphéroïdisation au plasma.

Teneur en humidité

Impact : Une teneur en humidité > 0,2 % provoque l'adhérence des particules, l'augmentation de la porosité et la diminution de la densité.

Données : La masse volumique apparente de la poudre WC avec une teneur en eau de 0,5 % est de $4,3 \text{ g}/\text{cm}^3$, qui passe à $4,8 \text{ g}/\text{cm}^3$ après séchage.

Méthode d'empilement

Impact : La densité à l'état meuble est faible. Après compactage, les particules se réorganisent, les vides sont réduits et la densité augmente de 10 à 20 %.

3. Méthode de détermination

La masse volumique apparente est déterminée selon des procédures standard telles que ASTM B212 (en vrac), ASTM B527 (tarauté) ou ISO 3923. Voici un aperçu de la méthode.

masse volumique apparente en vrac

Principe : La poudre tombe librement dans le récipient sans appliquer de force externe et la densité dans

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'état d'empilement naturel est mesurée.

étape :

Préparer des échantillons secs (humidité < 0,1 %).

À l'aide d'un entonnoir, verser lentement la poudre dans une éprouvette graduée standard (25 ou 100 cm³) en gardant une goutte de 10 à 15 cm.

Attendez que la poudre s'accumule naturellement, lissez la surface avec un grattoir et enregistrez le volume (V).

Pesez la masse de poudre dans l'éprouvette graduée (m) et calculez la densité (m/V).

masse volumique apparente tassée

Principe : Par vibration mécanique ou par cognement, les particules de poudre sont réorganisées et la densité dans un état plus dense est mesurée.

Étape :

Remplissez le cylindre en utilisant la méthode du paquet en vrac.

Placez le cylindre de mesure sur un vibreur et faites vibrer 100 à 300 fois (fréquence 50 à 60 fois/min, amplitude 3 mm) ou tapotez manuellement jusqu'à ce que le volume ne change plus.

Enregistrez le volume après compactage (V'), pesez la masse (m) et calculez la densité (m/V').

Données expérimentales

Échantillon	Masse (g)	Volume libre (cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Volume du robinet (cm ³)	Masse volumique tassée (g/cm ³)
WC (1 µm)	50	10,5	4,76	8,9	5,62
WC-12Co	50	11,8	4,24	10,2	4,90
W (5 µm)	50	7,8	6,41	6,5	7,69

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

4. Équipement et étapes de fonctionnement

équipement

Éprouvette graduée : Éprouvette graduée en verre standard (25, 50 ou 100 cm³), graduée à ±0,1 cm³.

Entonnoir : diamètre d'ouverture 5-10mm, hauteur de chute réglable.

Balance : précision 0,001g, utilisée pour peser la masse de poudre.

Vibreur : Dispositif de compactage mécanique d'amplitude 1-5 mm et de fréquence réglable (50-60 Hz).

Four : température 100-120°C, utilisé pour le séchage des échantillons.

Grattoir : Lisser la surface de la poudre pour éviter le compactage.

Étapes détaillées

Préparation des échantillons :

Échantillonnage : Prélever au hasard 50 à 100 g du lot de poudre, à l'aide d'un échantillonneur pour garantir l'homogénéité.

Séchage : Sécher au four à 105°C pendant 2 heures, humidité < 0,1%, refroidir à température ambiante (au dessiccateur).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Détermination de la masse volumique apparente :

Sélectionnez un cylindre gradué de 100 cm³ et enregistrez le poids à vide (m_0).

À l'aide d'un entonnoir, verser lentement la poudre, avec une goutte de 15 cm, en évitant les chocs ou les vibrations.

Grattez légèrement la surface avec un grattoir et enregistrez le poids total (m_1) et le volume (V).

Calcul : Masse volumique apparente = $(m_1 - m_0) / V$.

Détermination de la densité de tassement :

Remplissez le cylindre gradué comme dans la méthode de remplissage en vrac et enregistrez le volume initial.

Placez-le dans un compacteur, réglez l'amplitude à 3 mm et compactez-le 200 fois (ou jusqu'à ce que le volume se stabilise).

Enregistrez le volume compacté (V') et le poids total (m_1).

Calcul : Densité de tassement = $(m_1 - m_0) / V'$.

Vérification de la répétabilité :

La mesure a été répétée 3 fois et la valeur moyenne a été prise lorsque l'écart était inférieur à 2 %.

Vérifiez l'intérieur du cylindre pour vous assurer qu'il n'y a pas de poudre adhérent.

Précautions

Évitez le compactage artificiel qui affecte l'authenticité de la densité en vrac.

Le nombre de vibrations doit être constant. Un nombre trop faible (< 100) entraînera une faible densité, tandis qu'un nombre trop élevé (> 300) n'entraînera aucun changement significatif.

Humidité ambiante < 50 % pour éviter les interférences d'humidité.

5. Scénarios d'application

La détermination de la masse volumique apparente présente de nombreuses applications dans le domaine des matériaux pulvérulents. Voici quelques exemples concrets.

Production de carbure cémenté

Application : Évaluer l'efficacité du remplissage de poudre WC et optimiser les processus de pressage et de frittage.

Cas : Une équipe a déterminé que la masse volumique apparente de la poudre WC était de 4,8 g/cm³, la masse volumique tassée était de 5,8 g/cm³, la densité de compactage de la billette pressée était augmentée de 10 % et la dureté était de HV 2200 (informations du site Web China Tungsten Online).

Poudre pour projection thermique

Application : Pour tester la fluidité et l'efficacité de chargement de poudre de WC-Co et assurer l'uniformité de la pulvérisation.

Cas : Une étude a déterminé que la densité de tassement du WC-12Co était de 4,9 g/cm³, la porosité du revêtement pulvérisé HVOF était < 1 % et la résistance à l'usure était améliorée de 30 % (informations du site Web China Tungsten Online).

Métallurgie des poudres

Application : Pour mesurer la masse volumique apparente des poudres de W et de Mo et contrôler le retrait de frittage.

Cas : Une entreprise a mesuré la densité de tassement de la poudre W à 7,7 g/cm³, le retrait du corps

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fritté était stable à 15-18 % et la densité atteignait 99 % (informations du site Web China Tungsten Online).

Contrôle de qualité

Application : Test de cohérence de densité entre les lots, un écart $< 5\%$ est qualifié.

Cas : Un test de production de fluctuation de la densité apparente de poudre de WC $< 0,1 \text{ g/cm}^3$ garantit des performances de lot stables (informations du site Web China Tungsten Online).

Optimisation du stockage et du transport

Application : Pour évaluer le volume d'emballage de poudre et réduire les coûts de transport.

Résumer

La masse volumique apparente est un paramètre qui caractérise la relation entre la masse et le volume de la poudre. Elle se divise en masse volumique libre (tassement naturel) et masse volumique tassée (après tassage), qui dépend de la granulométrie, de la forme, des caractéristiques de surface et de l'humidité. La méthode de détermination est effectuée à l'aide d'une éprouvette graduée standard et d'un instrument de tassage. La masse volumique libre de la poudre de WC est de $4,5$ à $5,0 \text{ g/cm}^3$ et la masse volumique tassée de $5,5$ à $6,0 \text{ g/cm}^3$, avec une précision de $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$. En termes d'application, elle guide les procédés de carbure cimenté, de projection thermique et de métallurgie des poudres afin d'améliorer la qualité des produits et l'efficacité des procédés (informations du site web China Tungsten Online). L'optimisation de l'humidité ($< 0,1 \%$) et des conditions de tassage peut améliorer la précision de la détermination.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Annexe

Méthode de détermination de la fluidité de la poudre de carbure de tungstène

La coulabilité de la poudre de carbure de tungstène (WC) désigne sa capacité à s'écouler librement sous l'action de la gravité ou d'autres forces externes. Elle est généralement caractérisée par le débit (secondes/50 g) ou le temps d'écoulement à travers un entonnoir standard par unité de temps. La coulabilité est une propriété physique importante des matériaux en poudre, qui influence directement l'efficacité de remplissage, l'uniformité et la stabilité du procédé de projection thermique, de métallurgie des poudres et de production de carbure cimenté. La méthode du débit de Hall est couramment utilisée pour mesurer la coulabilité de la poudre de carbure de tungstène. La coulabilité est évaluée en mesurant le temps nécessaire à 50 g de poudre pour traverser un entonnoir standard.

1. Définition et signification

définition

Fluidité : Capacité d'une poudre à s'écouler librement à travers une ouverture spécifique (comme un trou de 2,5 mm dans un entonnoir Hall) sans pression externe.

Indicateurs de détermination :

Débit de Hall : temps nécessaire à l'écoulement de 50 g de poudre (unité : secondes/50 g). Plus le temps est court, meilleure est la fluidité.

Si la poudre ne s'écoule pas librement, enregistrez-le comme « Pas d'écoulement ».

importance

Influence du processus : Les poudres avec une bonne fluidité (comme le débit de poudre WC 13-15 secondes/50 g) sont réparties uniformément lors de la pulvérisation ou du pressage, réduisant ainsi la porosité et les défauts.

Contrôle qualité : reflète la cohérence entre les lots de poudre. Des écarts importants de débit peuvent entraîner des fluctuations du procédé.

Corrélation des performances : étroitement liée à la taille des particules, à la forme et à l'état de surface, et constitue un paramètre clé pour optimiser la préparation et l'application de la poudre.

Valeur typique

Type de poudre	Taille des particules (μm)	Débit (secondes/50g)	Évaluation de la liquidité
WC (sphérique)	15-45	13,5	excellent
WC (irrégulier)	10-30	16.0	bien
WC-Co (poudre fine)	5-15	>20 ou illiquide	Différence

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

2. Facteurs d'influence

La fluidité de la poudre de carbure de tungstène est influencée par de nombreux facteurs. Voici une analyse détaillée.

Taille des particules

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Impact : Plus la taille des particules est grande, plus le frottement entre elles est faible et plus la fluidité est élevée. Si la taille des particules est trop petite ($< 5 \mu\text{m}$), la force de van der Waals et l'effet électrostatique augmentent et la fluidité diminue.

Données expérimentales :

Taille des particules de WC (μm)	Débit (secondes/50g)
5	>25 (non fluide)
15-45	13,8
45-60	12,5

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

Forme des particules

Impact : Les particules sphériques (sphéricité $> 95 \%$) ont une faible résistance au roulement et une bonne fluidité ; les particules irrégulières ou feuilletées ont une mauvaise fluidité en raison de l'emboîtement mécanique.

Cas : Le débit de poudre WC sphérique est de 13,5 secondes/50 g, et celui de poudre WC irrégulière est de 16,5 secondes/50 g.

Propriétés de surface

Impact : Les poudres à surfaces lisses ont moins de frottement et une meilleure fluidité ; les poudres à surfaces rugueuses ou avec une couche d'oxyde (WO_3) sont sujettes à l'adhérence et ont une fluidité réduite.

Expérience : Le débit de poudre WC sphéroïdisée au plasma est de 13,0 secondes/50 g, et celui de la poudre non traitée est de 15,5 secondes/50 g.

Teneur en humidité

Impact : Une teneur en humidité $> 0,2 \%$ provoque une agglomération des particules, réduit considérablement la fluidité et rend même le matériau non fluide.

Données : Le débit de poudre WC avec une teneur en humidité de $0,5 \%$ est > 20 secondes/50 g, et après séchage (teneur en humidité $< 0,1 \%$), il tombe à 14,0 secondes/50 g.

Conditions environnementales

Impact : Une humidité $> 60 \%$ augmente l'hygroscopicité de la poudre et les changements de température affectent la viscosité de l'air, ce qui peut interférer avec la fluidité.

3. Méthode de détermination

La fluidité de la poudre de carbure de tungstène est généralement déterminée par la méthode du débit Hall, conformément à des normes telles que ASTM B213 ou ISO 4490. Voici un aperçu de la méthode.

Méthode du flux Hall

Principe : Mesurer le temps nécessaire à 50 g de poudre pour passer à travers un entonnoir de Hall standard (ouverture de 2,5 mm). Plus le temps est court, meilleure est la fluidité.

étape :

Préparer de la poudre sèche (humidité $< 0,1\%$).

Versez 50 g de poudre dans l'entonnoir Hall et tapotez doucement pour assurer un remplissage uniforme.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ouvrez le déflecteur au bas de l'entonnoir et enregistrez le temps (en secondes) nécessaire pour que la poudre s'écoule complètement.

Si la poudre ne coule pas, notez « non fluide ».

Méthodes d'aide

Méthode d'inclinaison : mesure de l'angle de repos de l'empilement naturel de la poudre. Plus l'angle est faible ($< 30^\circ$), meilleure est la fluidité.

Méthode de compactage par tassement : évaluer indirectement la fluidité en combinant le changement de densité de tassement.

Données expérimentales

Échantillon	Taille des particules (μm)	Humidité(%)	Débit (secondes/50g)	Angle de repos ($^\circ$)
WC (sphérique)	15-45	0,05	13,5	28
WC (irrégulier)	10-30	0,10	16.0	35
WC (poudre fine)	5-15	0,20	>25 (non fluide)	45

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

4. Équipement et étapes de fonctionnement

équipement

Entonnoir de Hall :

Matériau : Acier inoxydable ou laiton.

Spécifications : Diamètre du trou inférieur 2,5 mm, angle du cône 60° , volume environ 100 cm^3 .

Minuterie : précision 0,1 seconde.

Balance : précision 0,001g, pesant 50g de poudre.

Four : température $100\text{--}120^\circ\text{C}$, sécher l'échantillon.

Récipient de réception : capacité $>50\text{ cm}^3$, recueille la poudre sortante.

Vibrateur (en option) : Aide à tester les poudres non fluides.

Étapes détaillées

Préparation des échantillons :

100 g ont été échantillonnés au hasard dans le lot de poudre à l'aide d'un séparateur d'échantillons pour garantir l'homogénéité.

Sécher au four à 105°C pendant 2 heures, humidité $< 0,1\%$, refroidir à température ambiante (au dessiccateur).

Étalonnage de l'instrument :

Vérifiez l'ouverture de l'entonnoir Hall ($2,5 \pm 0,01\text{ mm}$) pour vous assurer qu'il n'y a pas de blocage.

Vérifiez la précision de l'instrument à l'aide d'une poudre standard (par exemple FSSS $3,0\text{ }\mu\text{m}$ WC, débit $14,0\text{ s}/50\text{ g}$).

Processus de détermination :

Pesez $50,0 \pm 0,01\text{ g}$ de poudre WC, versez-la dans l'entonnoir Hall et tapotez-la doucement trois fois pour éviter la formation de ponts.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ouvrez le déflecteur inférieur et démarrez le minuteur en même temps pour enregistrer le moment où la poudre s'écoule complètement.

Si la poudre reste coincée, tapotez l'entonnoir, si elle ne coule toujours pas, notez-la comme « ne coule pas ».

Traitement des données :

Répétez la mesure trois fois et prenez la valeur moyenne si l'écart est inférieur à 0,5 seconde.

Vérifiez la masse de poudre dans le récipient de réception pour vous assurer qu'il n'y a pas de résidu (erreur < 0,1 g).

Précautions

L'entonnoir doit être placé verticalement pour éviter toute inclinaison qui pourrait affecter le débit (écart $\pm 0,2$ seconde).

Contrôle environnemental : température 20-25°C, humidité < 50%, empêche l'absorption d'humidité.

La poudre fine (< 10 μm) peut nécessiter une assistance vibratoire, sinon elle est sujette au colmatage.

5. Scénarios d'application

La mesure de la fluidité de la poudre de carbure de tungstène trouve des applications importantes dans de nombreux domaines. Voici quelques exemples concrets.

Procédé de projection thermique

Application : Évaluer l'uniformité de l'alimentation en poudre de WC-Co dans un HVOF ou un APS. Le débit < 15 s/50 g est excellent.

Cas : Une équipe a déterminé que le débit de WC-12Co était de 13,8 secondes/50 g, que la porosité du revêtement pulvérisé était < 1 % et que la résistance à l'usure était améliorée de 30 % (informations du site Web China Tungsten Online).

Production de carbure cémenté

Application : Pour tester la fluidité de la poudre WC et assurer l'uniformité des flans pressés.

Cas : Une étude a déterminé que le débit de poudre WC était de 14,0 secondes/50 g, que la consistance de la densité des pièces pressées était améliorée de 10 % et que la dureté était de HV 2250 (informations du site Web China Tungsten Online).

Métallurgie des poudres

Application : Pour optimiser l'efficacité du remplissage de poudre W ou WC. Un débit trop élevé (> 20 secondes/50 g) peut provoquer un délaminage.

Cas : Une entreprise a déterminé que le débit de poudre W sphérique était de 12,5 secondes/50 g et que la densité du corps fritté était de 99 % (informations du site Web China Tungsten Online).

Contrôle de qualité

Application : Pour tester la fluidité entre les lots. L'écart de débit est inférieur à 1 seconde.

Cas : Une société de production a mesuré la fluctuation du débit de poudre WC à < 0,5 s/50 g, garantissant la stabilité du lot (informations du site Web China Tungsten Online).

Conception du stockage et du transport

Application : Évaluer les caractéristiques d'écoulement des poudres dans les silos et optimiser le système de transport.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Résumer

La fluidité de la poudre de carbure de tungstène est mesurée par la méthode du débit de Hall, caractérisée par le temps (en secondes/50 g) nécessaire à 50 g de poudre pour s'écouler à travers un entonnoir d'une ouverture de 2,5 mm, avec une valeur typique de 13 à 16 secondes/50 g. La fluidité est influencée par la taille, la forme, l'état de surface et l'humidité des particules. La mesure nécessite de la poudre sèche (humidité < 0,1 %), un équipement standard et une précision de fonctionnement. En termes d'application, elle guide les procédés de projection thermique, de carbure cimenté et de métallurgie des poudres afin d'améliorer l'efficacité du remplissage et la qualité des produits (informations du site web China Tungsten Online). L'optimisation de la sphéricité des particules et des conditions de séchage peut améliorer considérablement la fluidité.



Annexe :

Densité de la poudre de carbure de tungstène après tassement et sa méthode de détermination

La masse volumique tassée désigne la masse volumique de la poudre de carbure de tungstène (WC) après réarrangement des particules à l'état dense dans des conditions de vibration ou de cognement spécifiées, généralement en g/cm³. La masse volumique tassée est un paramètre clé des propriétés physiques des poudres, reflétant la compacité de l'empilement des particules, et est plus proche de l'état de remplissage dans le procédé réel que la masse volumique libre. En carbure cimenté, en projection thermique et en métallurgie des poudres, la masse volumique tassée influence directement l'efficacité du pressage, les performances de frittage et la qualité du produit final. La méthode de détermination adopte généralement la méthode du taraudage, qui est complétée par une éprouvette graduée standard et un équipement de taraudage.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Définition et signification

définition

Densité de taraudage : Densité de la poudre de carbure de tungstène lorsque les espaces entre les particules sont réduits et que la poudre atteint un état d'empilement stable après une vibration mécanique ou un taraudage manuel.

$$\text{振实密度} = \frac{m}{V}$$

dans:

m : masse de poudre (g)

V : Volume après compactage (cm³)

Différence avec la densité apparente : la densité apparente est l'état d'empilement naturel, tandis que la densité tassée rend les particules plus compactes grâce à une force externe, et la valeur est généralement 10 à 20 % plus élevée.

importance

Conseils de processus : la poudre WC avec une densité de tassement élevée (par exemple 5,5-6,0 g/cm³) est plus efficace lors du pressage ou du remplissage et a une meilleure densité après frittage.

Contrôle qualité : reflète la constance des caractéristiques d'empilement de la poudre entre les lots. Des écarts importants peuvent entraîner un moulage irrégulier.

Corrélation des performances : liée à la taille des particules, à la forme et à l'état de surface, et constitue une base importante pour optimiser la préparation et l'application des poudres.

Valeur typique

Type de poudre	Taille des particules (μm)	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique tassée (g/cm ³)
WC (ultra-fin)	0,5-1	4.2-4.5	5.3-5.6
WC (Moyen)	2-5	4,8-5,0	5,8-6,2
WC-Co (composite)	15-45	4,0-4,5	4,8-5,2

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

2. Facteurs d'influence

La valeur de la masse volumique de la poudre de carbure de tungstène après tassement dépend de nombreux facteurs. Voici une analyse détaillée.

Taille des particules

Impact : Plus la taille des particules est grande, plus l'efficacité de remplissage des espaces entre les particules est élevée et la densité de tassement augmente ; si la taille des particules est trop petite (<1 μm), la force de surface est renforcée, les espaces sont difficiles à comprimer et la densité est faible.

Données expérimentales :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Taille des particules de WC (μm)	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique tassée (g/cm ³)	Augmenter(%)
0,5	4.2	5.3	26
2.0	4.8	5.8	vingt-et-un
5.0	5.0	6.2	vingt-quatre

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

Forme des particules

Impact : Les particules sphériques (sphéricité > 95 %) sont étroitement disposées après vibration et ont une densité élevée ; les particules irrégulières ou en forme d'aiguille ont une porosité élevée et une faible densité en raison de l'intercalation.

Cas : La masse volumique tassée de la poudre WC sphérique est de 6,0 g/cm³, tandis que celle de la poudre WC irrégulière n'est que de 5,5 g/cm³.

Propriétés de surface

Impact : Les poudres à surfaces lisses ont moins de frottement, se réorganisent facilement après vibration et ont une densité élevée ; les poudres à surfaces rugueuses ou à couches d'oxyde (WO₃) sont collantes et ont une faible densité.

Expérience : La densité tassée de la poudre WC sphéroïdisée au plasma est de 6,2 g/cm³ et celle de la poudre non traitée est de 5,7 g/cm³.

Teneur en humidité

Impact : Une teneur en humidité > 0,2 % provoque l'agglomération des particules, ce qui rend difficile la compression des espaces par les vibrations et la densité diminue.

Données : La densité tassée de la poudre WC avec une teneur en eau de 0,5 % est de 5,2 g/cm³, qui monte à 5,8 g/cm³ après séchage (teneur en eau < 0,1 %).

Conditions de compactage

Impact : L'amplitude, la fréquence et le nombre de vibrations affectent l'efficacité du réarrangement des particules. Une vibration insuffisante entraînera une faible densité, tandis qu'une vibration excessive n'entraînera pas de changement significatif.

Expérience : La densité de la poudre WC est de 5,6 g/cm³ après 100 vibrations, monte à 5,8 g/cm³ après 300 vibrations et reste inchangée après 500 vibrations.

3. Méthode de détermination

La densité de tassement de la poudre de carbure de tungstène est déterminée selon des procédures standard telles que ASTM B527 ou ISO 3953. Voici un aperçu de la méthode.

Méthode de vibration

Principe : Par vibration mécanique ou par tapotement manuel, les particules de poudre de WC sont réorganisées et la densité à l'état stable est mesurée.

étape :

Préparer de la poudre sèche (humidité < 0,1%).

Verser la poudre dans une éprouvette graduée standard (25 ou 100 cm³) et noter le volume initial.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

avec un vibreur ou tapotez manuellement jusqu'à ce que le volume ne change plus, et enregistrez le volume après vibration (V').

Peser la masse de poudre (m) et calculer la masse volumique tassée (m/V').

Données expérimentales

Échantillon	Masse (g)	Volume initial (cm^3)	Volume du robinet (cm^3)	Masse volumique tassée (g/cm^3)
WC (1 μm)	50	11.0	8,9	5.62
WC (5 μm)	50	10.2	8.1	6.17
WC-12Co	50	12.0	10.2	4,90

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

4. Équipement et étapes de fonctionnement

équipement

Éprouvette graduée : Éprouvette graduée en verre standard (25, 50 ou 100 cm^3), graduée à $\pm 0,1 \text{ cm}^3$.

Balance : précision 0,001g, pesée masse poudre.

Compacteur vibrant :

Type : Appareil de compactage mécanique (tel que Scott Volumeter).

Paramètres : amplitude 1-5 mm, fréquence 50-60 Hz.

Four : température 100-120°C, sécher l'échantillon.

Entonnoir : ouverture de 5 à 10 mm, pour faciliter le remplissage.

Grattoir : Lisser la surface de la poudre.

Étapes détaillées

Préparation des échantillons :

50 à 100 g ont été échantillonnés au hasard dans le lot de poudre WC et un diviseur d'échantillons a été utilisé pour assurer l'homogénéité.

Sécher au four à 105°C pendant 2 heures, humidité $< 0,1\%$, refroidir à température ambiante (au dessiccateur).

Chargement de l'échantillon :

Sélectionnez un cylindre gradué de 100 cm^3 et enregistrez le poids à vide (m_0).

À l'aide d'un entonnoir, verser lentement 50 g de poudre dans le tube, avec une chute de 10 à 15 cm pour éviter le compactage, et noter le volume initial.

Utilisez un grattoir pour lisser légèrement la surface.

Processus de compactage :

Placez le cylindre de mesure dans un vibreur, réglez l'amplitude à 3 mm, la fréquence à 60 Hz et faites vibrer 200 fois (ou jusqu'à ce que le volume se stabilise).

en vibrant manuellement, tapotez le fond du cylindre gradué 200 fois à une hauteur de 2-3 cm.

Enregistrez le volume compacté (V') et le poids total (m_1).

calculer :

Masse volumique tassée = $(m_1 - m_0) / V'$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La mesure a été répétée 3 fois et la valeur moyenne a été prise lorsque l'écart était inférieur à 2 %.

Nettoyage : Utilisez de l'air comprimé pour nettoyer le cylindre de mesure afin d'éviter que des résidus n'affectent la mesure suivante.

Précautions

Le nombre de compactages doit être constant. Un nombre trop faible (< 100) entraînera une faible densité, tandis qu'un nombre trop élevé (> 300) n'entraînera pas d'amélioration significative.

La paroi intérieure du cylindre de mesure doit être sèche ; une humidité $> 50\%$ peut provoquer l'adhérence de la poudre.

Les poudres fines ($< 1\ \mu\text{m}$) peuvent nécessiter une amplitude accrue (5 mm) pour surmonter les forces de surface.

5. Scénarios d'application

La mesure de la densité de la poudre de carbure de tungstène après tassement trouve des applications importantes dans de nombreux domaines. Voici quelques exemples concrets.

Production de carbure cémenté

Application : Évaluer les performances de pressage et de frittage de la poudre WC. Une densité élevée après tassement (par exemple $5,8\ \text{g/cm}^3$) favorise la densification.

Cas : Une équipe a déterminé que la densité de la poudre WC était de $5,8\ \text{g/cm}^3$, que la densité de la billette pressée avait augmenté de 12 % et que la dureté était de HV 2250 (informations du site Web China Tungsten Online).

Procédé de projection thermique

Application : Pour tester l'efficacité de remplissage de la poudre WC-Co, la densité tassée est de $4,8$ à $5,2\ \text{g/cm}^3$ pour assurer l'uniformité de la pulvérisation.

Cas : Une étude a déterminé que la densité de tassement du WC-12Co était de $4,9\ \text{g/cm}^3$, la porosité du revêtement HVOF était $< 1\%$ et la résistance à l'usure était améliorée de 35 % (informations du site Web China Tungsten Online).

Métallurgie des poudres

Application : Optimiser le retrait de frittage de la poudre WC ou W, augmenter la densité de tassement et réduire la porosité.

Cas : Une entreprise a déterminé que la densité de la poudre WC était de $6,0\ \text{g/cm}^3$ et que la densité du corps fritté était de 99,5 % (informations provenant du site Web China Tungsten Online).

Contrôle de qualité

Application : Test de cohérence de la densité entre les lots. Un écart $< 0,1\ \text{g/cm}^3$ est acceptable.

Cas : Une société de production a mesuré la fluctuation de la densité de la poudre WC à $< 0,05\ \text{g/cm}^3$, garantissant la stabilité du lot (informations du site Web China Tungsten Online).

Conception du stockage et du transport

Application : Évaluer la compacité de la poudre dans le silo et optimiser le volume de conditionnement.

Résumer

La masse volumique tassée de la poudre de carbure de tungstène est la masse volumique de la poudre après vibration. Sa valeur typique est de $5,3$ à $6,2\ \text{g/cm}^3$ (WC monomère) ou de $4,8$ à $5,2\ \text{g/cm}^3$ (WC-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Co). Elle varie en fonction de la granulométrie, de la forme, de l'état de surface et de l'humidité. La méthode de mesure utilise la méthode vibratoire, utilisant un cylindre de mesure et un instrument de vibration, vibrant 200 à 300 fois, avec une précision de $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$. En termes d'application, elle guide les procédés de carbure cimenté, de projection thermique et de métallurgie des poudres, améliorant l'efficacité du pressage et la qualité des produits (informations du site web China Tungsten Online). L'optimisation du séchage (humidité $< 0,1 \%$) et des conditions de vibration peut améliorer la précision de la mesure.



Annexe :

Masse volumique apparente de la poudre de carbure de tungstène et sa méthode de détermination

La masse volumique apparente désigne la masse volumique de la poudre de carbure de tungstène (WC) à l'état d'empilement naturel, sans compression ni vibration externes, généralement en g/cm^3 . Paramètre fondamental des propriétés physiques des poudres, elle reflète l'efficacité d'empilement des particules à l'état naturel. Elle est étroitement liée à la fluidité, au remplissage et aux procédés ultérieurs (tels que le pressage et le frittage) de la poudre. Dans les domaines du carbure cimenté, de la projection thermique et de la métallurgie des poudres, la masse volumique apparente est un indicateur important pour le contrôle qualité et l'optimisation des procédés. La méthode de détermination est simple, généralement réalisée à l'aide d'une éprouvette graduée standard et d'une pesée.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Définition et signification

D é finition

Masse volumique apparente : Masse volumique de la poudre de carbure de tungstène lorsqu'elle tombe librement dans un récipient sans force extérieure.

Masse volumique apparente = m/V . Où :

m : masse de poudre (g)

V : volume libre (cm^3)

Caractéristiques : Représentant l'état d'empilement naturel de la poudre, sa valeur est inférieure à celle de la densité tassée et sa porosité est supérieure.

importance

Conseils de processus : la poudre WC à faible densité apparente (par exemple 4,2-4,5 g/cm^3) a une faible efficacité de remplissage et peut affecter l'uniformité du pressage ; une densité élevée (par exemple 5,0 g/cm^3) est propice à la stabilité du processus.

Contrôle qualité : Vérifier la cohérence des caractéristiques des particules entre les lots. Des écarts importants peuvent entraîner des fluctuations du processus.

Corrélation des performances : liée à la taille des particules, à la forme et à l'état de surface, et constitue les données de base pour évaluer les propriétés de la poudre.

Valeur typique

Type de poudre	Taille des particules (μm)	Masse volumique apparente (g/cm^3)	Masse volumique réelle (g/cm^3)
WC (ultra-fin)	0,5-1	4.2-4.5	15,63
WC (Moyen)	2-5	4,8-5,0	15,63
WC-Co (composite)	15-45	4,0-4,5	12-14

Source des données : Testé par un laboratoire en 2023, informations de China Tungsten Online.

Remarque : La densité réelle est une valeur théorique.

2. Facteurs d'influence

La valeur de la masse volumique apparente de la poudre de carbure de tungstène est influencée par de nombreux facteurs. Voici une analyse détaillée.

Taille des particules

Impact : Plus la taille des particules est grande, plus l'efficacité de remplissage des espaces entre les particules est élevée et plus la densité apparente augmente ; si la taille des particules est trop petite ($<1 \mu\text{m}$), la force de surface (comme la force de van der Waals) est renforcée, les espaces augmentent et la densité diminue.

Données expérimentales :

Taille des particules de WC (μm)	Masse volumique apparente (g/cm^3)	Taux de vide (%)
0,5	4.2	73
2.0	4.8	69

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Taille des particules de WC (μm)	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Taux de vide (%)
5.0	5.0	68

Source des données : Essai en laboratoire réalisé en 2023, informations provenant du site Internet China Tungsten Online. Taux de vide = $(1 - \text{masse volumique apparente} / \text{masse volumique réelle}) \times 100 \%$.

Forme des particules

Impact : Les particules sphériques (sphéricité > 95 %) sont naturellement densément compactées et ont une densité élevée ; les particules irrégulières ou feuilletées ont une porosité élevée et une faible densité en raison de l'intercalation.

Cas : La masse volumique apparente de la poudre WC sphérique est de 5,0 g/cm³ et celle de la poudre WC irrégulière est de 4,5 g/cm³.

Propriétés de surface

Impact : Les poudres à surfaces lisses ont moins de frottement, sont compactes et ont une densité élevée ; les poudres à surfaces rugueuses ou à couches d'oxyde (WO₃) sont sujettes à l'adhérence et ont une faible densité.

Expérience : La masse volumique apparente de la poudre WC sphéroïdisée au plasma est de 5,1 g/cm³ et celle de la poudre non traitée est de 4,6 g/cm³.

Teneur en humidité

Impact : Une teneur en humidité > 0,2 % provoque une agglomération des particules, une augmentation de la porosité et une diminution de la densité.

Données : La masse volumique apparente de la poudre WC avec une teneur en humidité de 0,5 % est de 4,3 g/cm³, qui monte à 4,8 g/cm³ après séchage (teneur en humidité < 0,1 %).

Méthode d'empilement

Impact : La hauteur de la goutte et la vitesse de coulée de la poudre affectent l'uniformité de l'empilement. Une goutte trop importante (> 20 cm) peut entraîner une ségrégation des particules et une faible densité.

3. Méthode de détermination

La masse volumique apparente de la poudre de carbure de tungstène est déterminée selon des procédures standard, telles que les normes ASTM B212 ou ISO 3923-1. Voici un aperçu de la méthode.

Méthode de montage lâche

Principe : Laisser tomber librement la poudre de WC dans un cylindre de mesure standard à travers un entonnoir pour mesurer la densité à l'état d'empilement naturel.

étape :

Préparer de la poudre sèche (humidité < 0,1%).

À l'aide de l'entonnoir, verser lentement la poudre dans une éprouvette graduée (25 ou 100 cm³) en gardant une goutte de 10 à 15 cm.

Lisser la surface avec un grattoir et enregistrer le volume (V).

Pesez la masse de poudre (m) et calculez la masse volumique apparente (m/V).

Données expérimentales

Échantillon	Masse (g)	Volume (cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
WC (1 μm)	50	11.0	4,55

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Échantillon	Masse (g)	Volume (cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
WC (5 µm)	50	10.2	4,90
WC-12Co	50	11,8	4.24

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

4. Équipement et étapes de fonctionnement

Équipement

Éprouvette graduée : Éprouvette graduée en verre standard (25, 50 ou 100 cm³), graduée à ±0,1 cm³.

entonnoir :

Matériau : acier inoxydable ou verre.

Spécifications : Diamètre d'ouverture 5-10 mm, chute réglable.

Balance : précision 0,001g, pesée masse poudre.

Four : température 100-120°C, sécher l'échantillon.

Grattoir : Lisser la surface de la poudre pour éviter le compactage.

Diviseur d'échantillon : assure l'homogénéité de l'échantillon.

Étapes détaillées

Préparation des échantillons :

Sélectionnez au hasard 50 à 100 g du lot de poudre WC et utilisez un diviseur d'échantillons pour prélever un échantillon uniforme.

Sécher au four à 105°C pendant 2 heures, humidité < 0,1%, refroidir à température ambiante (au dessiccateur).

Chargement de l'échantillon :

Sélectionnez un cylindre gradué de 100 cm³ et enregistrez le poids à vide (m_0).

Fixez l'entonnoir au-dessus de l'éprouvette graduée à une hauteur de 15 cm et versez lentement 50 g de poudre en évitant les chocs ou les vibrations.

Grattez légèrement la surface avec un grattoir et enregistrez le poids total (m_1) et le volume (V).

calculer :

Masse volumique apparente = $(m_1 - m_0)/V$.

La mesure a été répétée 3 fois et la valeur moyenne a été prise lorsque l'écart était inférieur à 2 %.

Nettoyage : Utilisez de l'air comprimé pour nettoyer le cylindre de mesure et l'entonnoir afin d'éviter que des résidus n'affectent la mesure suivante.

Précautions

Évitez le compactage artificiel ou les vibrations pour garantir un état d'empilement naturel.

La hauteur de chute doit être maintenue entre 10 et 15 cm. Une hauteur trop élevée (> 20 cm) peut entraîner une stratification des particules et une faible densité.

Humidité ambiante < 50% pour éviter que la poudre n'absorbe l'humidité.

5. Scénarios d'application

La détermination de la masse volumique apparente de la poudre de carbure de tungstène trouve des applications importantes dans de nombreux domaines. Voici quelques exemples concrets.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Production de carbure cimenté

Application : Évaluer l'efficacité de remplissage initiale de la poudre WC et guider le processus de pressage.

Cas : Une équipe a déterminé que la masse volumique apparente de la poudre WC était de $4,8 \text{ g/cm}^3$, que l'uniformité de l'ébauche pressée était améliorée de 8 % et que la dureté était de HV 2200 (informations du site Web China Tungsten Online).

Procédé de projection thermique

Application : Pour tester la stabilité de l'alimentation en poudre de WC-Co. La masse volumique apparente de $4,0$ à $4,5 \text{ g/cm}^3$ favorise une pulvérisation uniforme.

Cas : Une étude a déterminé que la masse volumique apparente du WC-12Co était de $4,2 \text{ g/cm}^3$, la porosité du revêtement HVOF était $<1,5 \%$ et la résistance à l'usure était améliorée de 25 % (informations du site Web China Tungsten Online).

Métallurgie des poudres

Application : Pour optimiser l'efficacité du remplissage de poudre WC ou W, une densité apparente élevée peut réduire les fluctuations de retrait de frittage.

Cas : Une entreprise a déterminé que la densité apparente de la poudre de WC était de $5,0 \text{ g/cm}^3$ et que la densité du corps fritté était de 98,5 % (informations provenant du site Web China Tungsten Online).

Contrôle de qualité

Application : Test de cohérence de la densité entre les lots. Un écart $< 0,1 \text{ g/cm}^3$ est acceptable.

Cas : Une société de production a mesuré la fluctuation de la densité apparente de la poudre WC à $< 0,05 \text{ g/cm}^3$, garantissant la stabilité du lot (informations du site Web China Tungsten Online).

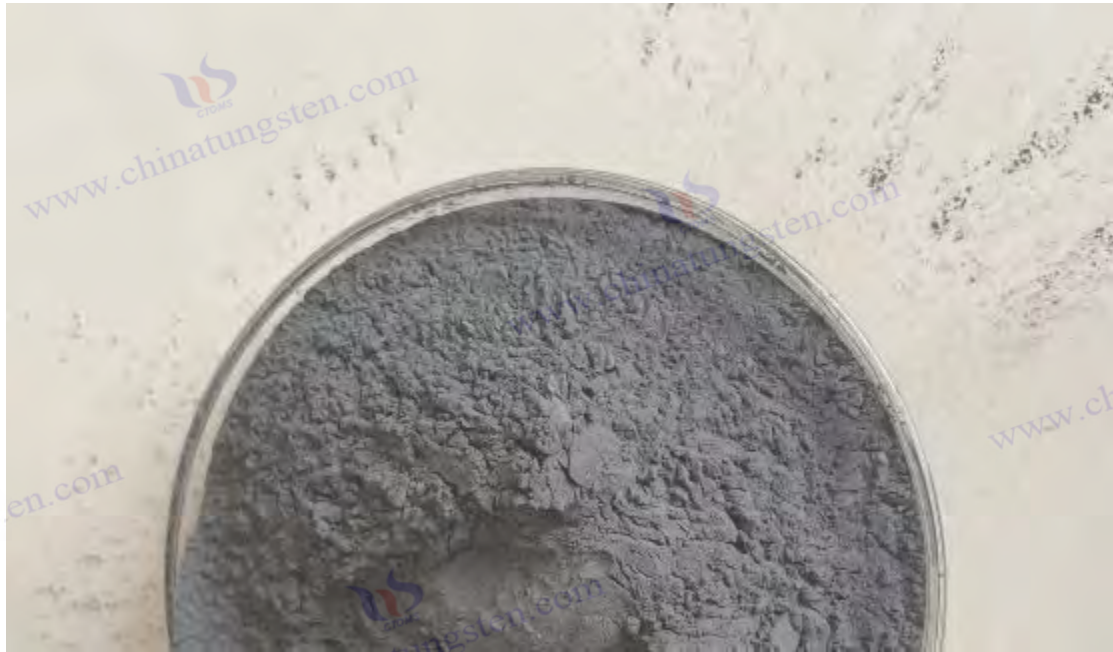
Conception du stockage et du transport

Application : Évaluer le volume naturel en vrac des poudres et optimiser l'efficacité de l'emballage et du transport.

Résumer

La masse volumique apparente de la poudre de carbure de tungstène correspond à la masse volumique unitaire de la poudre à l'état d'empilement naturel. Sa valeur typique est de $4,2$ à $5,0 \text{ g/cm}^3$ (WC monomère) ou de $4,0$ à $4,5 \text{ g/cm}^3$ (WC-Co). Elle varie en fonction de la granulométrie, de la forme, de l'état de surface et de l'humidité. La méthode de détermination utilise la méthode de la masse volumique, utilisant une éprouvette graduée et un entonnoir, avec une précision de $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$. Elle est utilisée pour les procédés de carbure cimenté, de projection thermique et de métallurgie des poudres afin d'améliorer l'efficacité du remplissage et la qualité du produit (informations disponibles sur le site web China Tungsten Online). L'optimisation du séchage (teneur en humidité $< 0,1 \%$) et des conditions de goutte peut améliorer la précision de la détermination.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Annexe :

Quelles sont les expressions de densité de la poudre de carbure de tungstène ?

La masse volumique de la poudre de carbure de tungstène (WC) est une grandeur physique qui caractérise le rapport entre sa masse et son volume. Elle est représentée de multiples façons selon les applications et les conditions d'essai. Elle reflète non seulement les caractéristiques intrinsèques et le comportement d'empilement de la poudre, mais influence également directement l'optimisation des performances et le contrôle qualité de procédés tels que le carbure cimenté, la projection thermique et la métallurgie des poudres. La masse volumique de la poudre de carbure de tungstène comprend généralement la masse volumique réelle, la masse volumique non tassée, la masse volumique après tassement, la masse volumique apparente, etc. Chaque masse volumique a une définition, une méthode de mesure et une application spécifiques.

1. Définition et classification de la densité

La densité est la masse d'une substance par unité de volume, et la formule est : $\rho = m / V$
dans:

ρ : masse volumique (g / cm^3)

m : masse (g)

V : Volume (cm^3) Pour

la poudre de carbure de tungstène, l'expression de la densité varie en fonction des conditions de mesure et de l'état de la poudre.

La densité de la poudre de carbure de tungstène comprend principalement les éléments suivants :

Densité réelle : densité théorique des particules de poudre elles-mêmes, à l'exclusion des pores ou des vides.

Masse volumique apparente : densité de la poudre dans son état d'empilement naturel, y compris les espaces entre les particules.

Densité tassée : Densité d'une poudre dans un état plus compact après avoir été vibrée ou tapotée.

Densité apparente : densité d'une poudre dans des conditions de test spécifiques (comme un débitmètre à effet Hall), qui est souvent similaire à la densité apparente.

Autres densités dérivées : telles que la densité compactée (dans le processus de pressage) ou la densité frittée (corps frittés).

Différentes densités reflètent les caractéristiques des particules (telles que la taille et la forme) et le comportement d'empilement de la poudre, et guident la conception du processus.

La vraie densité est utilisée pour l'analyse de la composition des matériaux, la densité lâche/tassée affecte l'efficacité du garnissage et la densité apparente est liée à la fluidité.

2. Densité réelle

définition

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La vraie densité est la densité solide des particules de poudre de carbure de tungstène, à l'exclusion des pores à l'intérieur des particules ou des espaces entre les particules, reflétant le rapport masse/volume théorique du matériau lui-même.

Pour le WC pur, la vraie densité est déterminée par sa structure cristalline (système hexagonal).

Numérique

WC pur : la masse volumique réelle est de 15,63 g/cm³ (valeur théorique, basée sur les paramètres de réseau a=2,906 Å , c=2,837 Å).

Poudre composite : comme le WC-Co, la vraie densité est réduite en raison de l'ajout d'une phase liante (comme le Co densité 8,90 g/cm³).

Type de poudre	Phase adhésive (%)	Masse volumique réelle (g/cm ³)
toilettes	0	15,63
WC-12Co	Co: 12	14,0-14,5
WC-10Co-4Cr	Co: 10, Cr: 4	13,8-14,2

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

Méthode de détermination

Méthode de déplacement de gaz (méthode de la gravité spécifique de l'hélium) :

Principe : Remplissez les pores de l'échantillon de poudre avec de l'hélium et déterminez le volume solide.

Équipement : Pycnomètre à hélium (type Micromeritics AccuPyc).

Procédure : Pesez l'échantillon (5 g), placez-le dans une chambre scellée, introduisez de l'hélium, enregistrez le volume d'échappement et calculez la vraie densité.

formule:

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

Où V solide est le volume solide.

Précision : ±0,01 g/cm³ .

application

Vérifier la pureté de la poudre (par exemple carbone libre < 0,1 % dans WC).

Calculer la densité théorique des matériaux composites pour guider la conception de la formulation.

3. Masse volumique apparente

définition

La masse volumique apparente est la masse volumique de la poudre de carbure de tungstène dans un état naturellement empilé après sa chute libre dans un récipient, y compris les espaces entre les particules, sans vibration ni compression.

Numérique

WC pur : 4,2-5,0 g/cm³, plus la taille des particules est petite, plus la densité est faible.

Poudre composite : telle que WC-12Co, 4,0-4,5 g/cm³, en raison de la densité plus faible de la phase de liaison.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Type de poudre	Taille des particules (μm)	Masse volumique apparente (g/cm³)	Taux de vide (%)
WC (ultra-fin)	0,5-1	4.2-4.5	71-73
WC (Moyen)	2-5	4,8-5,0	68-69
WC-12Co	15-45	4,0-4,5	68-71

Source des données : Essai en laboratoire réalisé en 2023, informations provenant du site Internet China Tungsten Online. Taux de vide = $(1 - \text{masse volumique apparente} / \text{masse volumique réelle}) \times 100 \%$.

Méthode de détermination

Norme : ASTM B212 ou ISO 3923-1.

Principe : Verser la poudre dans l'éprouvette graduée à l'aide d'un entonnoir pour déterminer le volume d'accumulation naturel.

étape:

La poudre a été séchée (105°C, 2 h, humidité < 0,1%).

À l'aide d'un entonnoir (ouverture de 5 à 10 mm), verser 50 g de poudre dans une éprouvette graduée de 100 cm³ avec une hauteur de goutte de 10 à 15 cm.

Utilisez un grattoir pour niveler la surface, enregistrez le volume (V) et pesez la masse (m).

Calcul : Masse volumique apparente = m/V .

Précision : $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Facteurs d'influence

Petite taille de particules, porosité élevée et faible densité.

Les particules irrégulières ou l'humidité (> 0,2 %) réduisent la densité.

application

Évaluer l'efficacité de la charge initiale et guider les processus de pressage et de pulvérisation.

Vérifiez la cohérence des caractéristiques des particules entre les lots.

4. Densité de taraudage

définition

La densité de taraudage est la densité de la poudre de carbure de tungstène après que les particules ont été réorganisées vers un état plus dense après vibration ou taraudage, et la porosité est inférieure à la densité apparente.

Numérique

WC pur : 5,3-6,2 g/cm³, 10 à 20 % de plus que la masse volumique apparente.

Poudre composite : telle que WC-12Co, 4,8-5,2 g/cm³.

Type de poudre	Taille des particules (μm)	Masse volumique tassée (g/cm³)	Augmenter(%)
WC (ultra-fin)	0,5-1	5.3-5.6	24-26
WC (Moyen)	2-5	5,8-6,2	20-24
WC-12Co	15-45	4,8-5,2	15-20

Testé en laboratoire en 2023, informations de China Tungsten Online. Augmentation = (densité tassée -

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Type de poudre	Taille des particules (μm)	Masse volumique tassée (g/cm ³)	Augmenter(%)
densité apparente) / densité apparente $\times 100 \%$.			

Méthode de détermination

Norme : ASTM B527 ou ISO 3953.

Principe : Les particules de poudre sont réorganisées par un vibreur et le volume stable est déterminé.
étape:

comme dans la méthode de remplissage en vrac et enregistrez le volume initial.

Placer dans un compacteur vibrant (amplitude 3 mm, fréquence 60 Hz) et vibrer 200 fois ou jusqu'à ce que le volume se stabilise.

le volume (V') après compactage et peser la masse (m).

Calcul : Densité de tassement = m/V' .

Précision : $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Facteurs d'influence

Après vibration, les particules sphériques sont disposées étroitement et ont une densité élevée.

Si le nombre de fois de compactage est insuffisant (<100 fois), la densité sera faible, et s'il est trop élevé (>300 fois), il n'y aura pas de changement significatif.

application

Guider les processus de pressage et de frittage et prédire la densité.

Optimiser l'efficacité du remplissage des silos.

5. Densité apparente et autres expressions de densité

Densité apparente

Définition : Masse volumique d'une poudre mesurée dans un appareil spécifique (tel qu'un débitmètre à effet Hall). Elle est généralement similaire à la masse volumique apparente, mais est davantage liée à la fluidité.

Valeur : poudre WC 4,0-5,0 g/cm³, poudre WC-Co 4,0-4,5 g/cm³.

Méthode de détermination :

Norme : ASTM B212 ou ISO 3923-2.

Procédure : Prélever 50 g de poudre à l'aide d'un débitmètre à effet Hall (ouverture 2,5 mm), enregistrer le volume et calculer la densité.

Application : Évaluation du comportement des poudres dans des processus dynamiques tels que l'alimentation en poudre par pulvérisation.

Autres représentations de la densité

Densité compactée :

Définition : La densité d'une poudre pendant le processus de compactage, qui est proche de la densité tassée mais est affectée par la pression.

Valeur : Poudre WC 6,0-8,0 g/cm³ (après pressage).

Application : Formage de carbure.

Densité frittée :

Définition : Densité d'un bloc solide après frittage de poudre, proche de la vraie densité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Valeur : Carbure cimenté à base de WC 14,0-15,5 g/cm³.

Application : Vérification de la qualité du frittage.

Densité apparente :

Définition : Le rapport masse/volume apparent d'une poudre dans un récipient spécifique, couramment utilisé pour le stockage et le transport.

Valeur : Similaire à la masse volumique apparente, 4,0-5,0 g/cm³.

Données expérimentales

Type de poudre	Masse volumique réelle (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique tassée (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
WC (1 µm)	15,63	4,55	5,62	4,50
WC (5 µm)	15,63	4,90	6,17	4,85
WC-12Co	14,2	4,24	4,90	4,20

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, les informations proviennent du site Web China Tungsten Online.

Résumer

La masse volumique de la poudre de carbure de tungstène comprend la masse volumique réelle (15,63 g/cm³, monomère WC), la masse volumique apparente (4,2-5,0 g/cm³), la masse volumique tassée (5,3-6,2 g/cm³), la masse volumique apparente (4,0-5,0 g/cm³) et d'autres masses volumique dérivées (telles que la densité de compactage et de frittage). Chaque masse volumique est mesurée par une méthode spécifique, telle que la méthode du déplacement d'hélium (masse volumique réelle), la méthode du cylindre gradué (masse volumique apparente/tassée) ou la méthode du débit Hall (masse volumique apparente), reflétant les différentes caractéristiques de la poudre. En application, ces masses volumiques guident les procédés de carbure cimenté, de projection thermique et de métallurgie des poudres afin de garantir l'efficacité du remplissage et la qualité du produit (informations du site web China Tungsten Online). L'optimisation de la forme des particules et des conditions de séchage peut améliorer la précision de la mesure de la masse volumique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Chapitre 2 : Méthode de préparation de la poudre de carbure de tungstène

La poudre de carbure de tungstène (WC) est le matériau de base des carbures cémentés et des revêtements anti-usure. Ses propriétés (dureté HV 2000-2500 et granulométrie 0,1-10 μm) dépendent directement de la méthode de préparation. Ce procédé a évolué depuis les explorations en laboratoire de la fin du XIX^e siècle jusqu'à la production industrielle moderne, et diverses voies techniques ont été développées. Ce chapitre présente de manière systématique les principales méthodes de préparation de la poudre de carbure de tungstène, notamment la cémentation traditionnelle à haute température, le dépôt chimique en phase vapeur (CVD), la mécanosynthèse, la méthode plasma et les technologies émergentes telles que la méthode thermique par solvant. Il analyse ses principes, ses paramètres de procédé, ses caractéristiques produit, ses avantages et ses inconvénients, et offre aux lecteurs une perspective technique complète.

2.1 Méthode de carbonisation à haute température de la poudre de carbure de tungstène

La méthode de carburation à haute température de la poudre de carbure de tungstène est la technologie la plus répandue en production industrielle. Son histoire remonte au développement des outils Widia en Allemagne au début du XX^e siècle. Elle est aujourd'hui devenue le procédé de base de l'industrie du carbure cémenté. Cette méthode fait réagir directement la poudre de tungstène avec une source de carbone à haute température pour produire de la poudre de carbure de tungstène (WC). Grâce à son

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

procédé éprouvé, à son rendement élevé et à son coût maîtrisable, elle représente plus de 80 % de la production mondiale de poudre de carbure de tungstène (ITIA 2023). Cette section analyse en détail cette méthode de préparation courante sous les angles suivants : mécanisme réactionnel, flux de processus, choix des équipements, optimisation des paramètres, caractéristiques du produit, application industrielle et limites techniques.

2.1.1 Principes de base de la carbonisation à haute température de la poudre de carbure de tungstène

Français La méthode de carbonisation à haute température est basée sur une réaction de diffusion à l'état solide. De la poudre de tungstène (W) et une source de carbone (comme le noir de carbone) sont combinées chimiquement à haute température (1800-2000 °C) pour former de la poudre de carbure de tungstène (WC). La formule principale de la réaction est :

$W + C \rightarrow WC$ La réaction est un processus exothermique avec une variation d'enthalpie standard $\Delta H = -38,1 \text{ kJ/mol}$ (25 °C), mais une chaleur élevée est nécessaire pour activer les atomes de carbone afin qu'ils diffusent dans le réseau de tungstène. La structure cubique centrée du tungstène (BCC, $a=3,165 \text{ \AA}$) se recombine avec les atomes de carbone à haute température pour former du WC hexagonal (groupe d'espace P6m2, $a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$, JCPDS 51-0939). L'analyse XRD montre que les pics caractéristiques du produit sont situés à $2\theta=35,641^\circ$ (plan cristallin 100) et $48,298^\circ$ (plan cristallin 101), confirmant la formation de WC monophasé.

Français La réaction doit être effectuée dans une atmosphère réductrice (comme H_2) ou inerte (comme Ar) pour éviter l'oxydation du tungstène en WO_3 (point de fusion $1473^\circ C$). Les réactions secondaires comprennent :

$2W + C \rightarrow W_2C$ (lorsque

le carbone est insuffisant, $<6,10\%$) $WC \rightarrow W_2C + C$ (décomposition $>2100^\circ C$).

Le contrôle de la teneur en carbone est la clé, la valeur théorique est de 6,13% (fraction massique), la plage industrielle est de 6,10%-6,18% (GB/T 4295-2008), et les écarts affectent l'état de phase et les performances.

2.1.2 Flux de processus de carbonisation à haute température de poudre de carbure de tungstène

La méthode de carburation à haute température pour la préparation industrielle de poudre de carbure de tungstène comprend les étapes suivantes, chacune devant être contrôlée avec précision pour garantir la cohérence du produit :

Sélection et préparation des matières premières

Poudre de tungstène

Pureté $> 99,9 \%$, teneur en oxygène $< 0,03 \%$ (300 ppm), granulométrie FSSS 1-10 μm (GB/T 25995).

La source est généralement du WO_3 réduit à l'hydrogène (comme la poudre de tungstène réduit APT produite à Zhuzhou, en Chine).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Source de carbone

Noir de carbone de haute pureté (C, pureté > 99,9%, granulométrie < 1 μm , surface spécifique > 10 m^2/g), ou poudre de graphite (granulométrie 5-20 μm , coût inférieur mais légèrement moins actif).

Rapport

Le rapport molaire W:C est de 1:1,03-1,05, avec un léger excès de carbone pour compenser la volatilisation et les réactions secondaires (telles que la formation de W_2C).

mélanger

Utilisez un broyeur à boulets planétaire (tel que Fritsch Pulverisette 6) avec un rapport billes/matériau de 5:1-10:1, des billes WC ou en acier et une vitesse de rotation de 150-300 tr/min pendant 2 à 4 heures.

additif
0,5%-1% d'acide stéarique (pour éviter l'agglomération), l'uniformité du mélange a été vérifiée par MEB (distribution des particules RSD < 5%).

environnement

Atmosphère inerte (Ar) ou sous vide pour éviter l'oxydation.

Chargement et prétraitement

La poudre mélangée a été chargée dans un bateau en graphite (pureté > 99,95 %, taille 50 × 20 × 10 cm) avec une densité de tassement de 0,5 à 0,8 g/cm^3 .

Préchauffer

300-500°C, passer H_2 (0,2-0,5 L/min) pour éliminer l'humidité et les substances volatiles pendant 30 à 60 minutes.

Carbonisation à haute température

équipement

Four tubulaire (tube unique, diamètre intérieur 10-20 cm) ou four à nacelle poussée continue (nacelles multiples, rendement > 100 kg/lot).

température

1800-2000°C, vitesse de chauffage 5-10°C/min, maintien au chaud pendant 2 à 4 heures.

atmosphère

H_2 (débit 0,5-1 L/min) réduit WO_x et Ar (0,2-0,5 L/min) empêche la surcombustion.

moniteur

Thermocouple (type W-Re, précision $\pm 5^\circ\text{C}$), analyseur de gaz en ligne (détection de CO, CO_2).

Refroidissement et post-traitement

Refroidir naturellement à <100°C (atmosphère Ar, 6-8 heures) pour éviter les fissures causées par un refroidissement rapide.

Affûtage

Broyeur à jet d'air ou broyeur à boulets, réglé à FSSS 1-5 μm , tamisé (200 mesh, éliminer les particules > 10 μm).

Nettoyage

Si nécessaire, laver avec du HCl dilué (5 %) pour éliminer les oxydes de surface et sécher (80 °C, 2 h).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1.3 Paramètres du procédé et contrôle de la carburation à haute température de la poudre de carbure de tungstène

Température

Plage : 1800-2000°C.

<1700°C : La réaction est incomplète et W et W₂C restent (la DRX détecte le pic W₂C, 2θ=39,5°).

2100°C : Le WC se décompose pour produire du carbone libre (>6,18%) et du W₂C, et la dureté diminue (HV 1600-2000).

Optimisation : 1900°C±20°C, efficacité de carbonisation > 98% (vérifié par titrage chimique).

Teneur en carbone

Objectif : 6,10 % - 6,18 % (GB/T 4295-2008).

Contrôle : Le rapport E:C initial est de 1:1,05, en tenant compte de la volatilisation du carbone (environ 0,02 % à 0,05 %).

Essai : méthode de combustion (GB/T 5124.1), écart ±0,05 %, carbone libre <0,5 %.

Une atmosphère

H₂ : débit 0,5-1 L/min, pression 0,1-0,2 MPa, élimine les impuretés oxygénées (O₂ < 10 ppm).

Ar : Pureté > 99,99 %, pour éviter la précipitation de carbone libre causée par une réduction excessive de H₂.

Commutation : > 1500°C peut être commuté vers Ar pour réduire la consommation d'énergie.

Temps d'isolation

Autonomie : 2 à 4 heures.

< 2 heures : taux de carbonisation < 95 %, W résiduel (pic W détecté par XRD, 2θ = 40,3°).

4 heures : Les grains grossissent (>10 μm, observation MEB) et la dureté diminue.

Optimisation : 3 heures ± 15 minutes, l'uniformité du grain est la meilleure (RSD < 10%).

Taux de chauffage

5-10°C/min. Une vitesse trop élevée (>15°C/min) peut entraîner un gradient de température dans la nacelle (>50°C) et un produit irrégulier.

2.1.4 Equipement et industrialisation de la carbonisation à haute température de la poudre de carbure de tungstène

Type d'appareil

Four tubulaire : lot unique de 10 à 50 kg, adapté aux petites et moyennes échelles (comme les laboratoires ou les petites usines).

Exemple : Une usine de Changsha, en Chine, utilise un four tubulaire d'un diamètre intérieur de 15 cm et produit 30 kg par jour.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Four à bateau pousseur : production continue, four unique > 100 kg/lot, choix industriel courant.

Exemple : L'usine de carbure cémenté de Zhuzhou utilise un four à 10 bateaux poussants avec une production annuelle de 10 000 tonnes.

Composants clés : nacelle en graphite (résistance à la température > 2200°C), thermocouple W-Re, élément chauffant SiC.

Consommation et efficacité énergétiques

Consommation énergétique : environ 5 000 à 6 000 kWh par tonne de poudre de carbure de tungstène (y compris le chauffage et l'isolation).

Efficacité : Le cycle d'un seul four dure de 12 à 16 heures (refroidissement compris) et le four à bateau pousseur atteint un taux d'utilisation de l'équipement de 90 %.

Automatisation

L'équipement moderne est équipé d'un contrôle PLC (Siemens S7-300) pour surveiller la température, l'atmosphère et la composition des gaz d'échappement ($CO < 0,1\%$) en temps réel.

2.1.5 Caractéristiques du produit de la poudre de carbure de tungstène par carbonisation à haute température

Composition chimique

Carbone total : 6,10 % - 6,18 % (méthode de combustion, GB/T 5124.1).

Carbone libre : < 0,5 % (méthode de titrage, GB/T 5124.2).

Impuretés : $Fe < 0,05\%$, $O < 0,02\%$ (ICP-OES, GB/T 5124.4).

Propriétés physiques

Taille des grains : 1-5 μm (FSSS, GB/T 25995), réglable à 0,5-10 μm (vérification SEM).

Masse volumique apparente : 12,0-14,0 g/cm³ (volumètre Scott, GB/T 5314).

Morphologie : Particules polyédriques à bords tranchants et rugosité de surface Ra 0,1-0,5 μm (mesurée par AFM).

Surface spécifique : 0,5-2 m²/g (méthode BET), augmente avec la diminution de la taille des particules.

Microstructure

WC monophasé (DRX, pic le plus fort à $2\theta = 35,641^\circ$), pas de pics W_2C ou de carbone libre.

Les joints de grains sont nets et il y a peu de défauts (observation TEM, frange de réseau $d = 2,518 \text{ \AA}$).

Performance

Dureté : HV 2000-2200 (ASTM E384, charge 1 kg).

Résistance à la compression : >4000 MPa après frittage (WC-Co, Co 10%).

2.1.6 Applications industrielles et cas de carbonisation à haute température de poudre de carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Outils en carbure

Usine de carbure cémenté de Zhuzhou, Chine : Production annuelle de 12 000 tonnes de poudre de carbure de tungstène (2023), FSSS 2-5 μm , pour outils de tournage et fraises (dureté HV 1500-1800, durée de vie > 500 minutes).

Sandvik, Suède : Utilisez de la poudre WC de 1 à 3 μm pour préparer des outils CNC avec une vitesse de coupe de > 200 m/min.

Pièces résistantes à l'usure

Kennametal, USA : La poudre WC de 5 à 10 μm est utilisée pour fabriquer des forets miniers, avec une résistance aux chocs > 25 J/cm² et une durée de vie prolongée de 3 fois.

Une mine à Luoyang, en Chine : la poudre WC est utilisée dans les outils de forage de roche et sa résistance à l'usure est meilleure que celle de l'acier rapide (taux d'usure < 0,01 mm³ / N · m).

Normes internationales

GB/T 4295-2008 : Écart de carbone total $\pm 0,05\%$, carbone libre < 0,5 %.

ISO 4499-2:2020 : Exigences d'uniformité granulométrique (RSD < 10 %).

2.1.7 Avantages, inconvénients et pistes d'amélioration de la carbonisation à haute température de la poudre de carbure de tungstène

Avantage

Technologie mature : 100 ans d'histoire, applicable à l'échelle mondiale, technologie stable.

Grande production : four unique > 100 kg, répondant à la demande industrielle (ex : la Chine représente 50% de la production mondiale, environ 30 000 tonnes/an).

Faible coût : 50 à 80 yuans/kg (China Tungsten Online 2023), ce qui est plus économique que la méthode CVD (500 à 1 000 yuans/kg).

Qualité contrôlable : conforme aux normes carbure (HV 1500-2200).

Court- métrage

Consommation énergétique élevée : 5000-6000 kWh/tonne, émissions de carbone d'environ 2-3 tonnes CO₂/tonne (principalement chauffage électrique).

Grains grossiers : > 1 μm , ce qui rend difficile la préparation de WC à l'échelle nanométrique (< 100 nm), limitant les applications haut de gamme.

Variabilité des lots : Le gradient de température entre les bateaux ($\pm 20^\circ\text{C}$) a entraîné une large distribution granulométrique (Span>1,5).

Orientation d'amélioration

Carbonisation à basse température : ajout de catalyseur (tel que Ni, 0,1%-0,5%), réduction de la température à 1500-1600°C, économie d'énergie de 20% (en cours de recherche).

Affinage du grain : poudre de tungstène initiale < 1 μm , raccourcir le temps de maintien (< 2 heures),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cible < 0,5 μm .

Écologisation : recycler le gaz résiduaire H_2 , réduire l'utilisation du noir de carbone et diminuer l'empreinte carbone.

2.1.8 État industriel et perspectives de la carbonisation à haute température de la poudre de carbure de tungstène

Situation mondiale

Chine : la production annuelle est de 30 000 tonnes, soit 50 % de la production mondiale (China Tungsten Online 2023), le Hunan et le Jiangxi étant les principales zones de production.

Europe et Amérique : Kennametal des États-Unis et Ceratizit d'Allemagne produisent environ 5 000 tonnes/an, en privilégiant la qualité (pureté > 99,95 %).

Tendances technologiques

Automatisation : Capteurs intégrés au four à bateau poussoir (surveillance O_2 , CO) pour améliorer la cohérence.

Économie d'énergie : Le four à résistance a été transformé en four à induction et la consommation d'énergie a été réduite à 4 000 kWh/tonne (en phase pilote).

Nano-traitement : Combiné à un broyage mécanique ultérieur, développez une poudre WC < 0,5 μm pour répondre aux besoins de l'impression 3D.

En tant que pierre angulaire de la production de poudre de carbure de tungstène, la méthode de carburation à haute température continuera d'être optimisée en termes d'efficacité, de protection de l'environnement et de raffinement à l'avenir.

2.2 Dépôt chimique en phase vapeur (CVD) de poudre de carbure de tungstène

2.2.1 Principes de base de la méthode CVD de poudre de carbure de tungstène

Le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) génère directement de la poudre de carbure de tungstène par une réaction en phase gazeuse. La réaction typique est la suivante : $\text{WCl}_6 + \text{CH}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{WC} + 6\text{HCl}$ (900-1100 °C). Le précurseur gazeux se décompose à haute température, et des atomes de carbone et de tungstène se déposent pour former des cristaux de WC, adaptés à la préparation de poudres nanométriques.

2.2.2 Flux de processus de la méthode CVD de poudre de carbure de tungstène

Gazéification des matières premières : WCl_6 (point d'ébullition 347°C) est chauffé et gazéifié, et CH_4 et H_2 sont mélangés proportionnellement.

Réaction : Du gaz est introduit dans la chambre de réaction (tube de quartz, 900-1100°C, pression 10-100 Pa) pour déposer et générer du WC.

Collecte : Le produit est collecté via un condenseur et le gaz résiduaire (HCl) est neutralisé avec une solution alcaline.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Post-traitement : Broyer légèrement et tamiser pour atteindre la taille de particule cible (<100 nm).

2.2.3 Paramètres du procédé CVD de poudre de carbure de tungstène

Température : 900-1 100 °C. Une température trop élevée produira de l'eau de mer. Une température trop basse entraînera une réaction incomplète.

Pression : 10-100 Pa, une basse pression est propice à la formation de nanoparticules.

Rapport gazeux : $\text{CH}_4 : \text{WCl}_6 = 1 : 1-1,5:1$, H_2 en excès (10-20 fois) pour réduire WCl_6 .

2.2.4 Caractéristiques du produit de la méthode CVD de poudre de carbure de tungstène

Taille des grains : 20-100 nm (mesure TEM).

Pureté : > 99,95 %, teneur en oxygène < 50 ppm.

Morphologie : Presque sphérique, surface spécifique 20-50 m^2/g (méthode BET).

2.2.5 Avantages et inconvénients de la méthode CVD à base de poudre de carbure de tungstène

Avantages : petite granulométrie, haute pureté, adapté aux applications de haute précision.

Inconvénients : équipement complexe (système de vide), faible rendement (niveau kg/lot), coût élevé (environ 500-1000 yuans/kg).

2.2.6 Application de la méthode CVD sur poudre de carbure de tungstène

Utilisé pour les revêtements aéronautiques et les supports de catalyseurs. Par exemple, GE aux États-Unis utilise la méthode CVD pour préparer des revêtements WC (dureté HV 2600) résistants à des températures supérieures à 1200 °C.

2.3 Alliage mécanique de poudre de carbure de tungstène

2.3.1 Principes de base de l'alliage mécanique de la poudre de carbure de tungstène

La mécanosynthèse (MA) utilise un broyage à billes à haute énergie pour faire réagir la poudre de tungstène et la poudre de carbone à l'état solide afin de former du WC. L'énergie mécanique induit la diffusion atomique et la reconstruction du réseau, et la formule de réaction est identique à celle de la carburation à haute température ($\text{W} + \text{C} \rightarrow \text{WC}$).

2.3.2 Flux de processus d'alliage mécanique de poudre de carbure de tungstène

Mélange de matières premières : la poudre de tungstène (1-5 μm) et le noir de carbone (<1 μm) sont mélangés dans un rapport molaire de 1:1,05.

Broyage à boulets : Placer dans un broyeur à boulets à haute énergie (planétaire, rapport billes/matière 10:1, vitesse de rotation 300-500 tr/min), broyer pendant 20 à 50 heures, en atmosphère inerte (Ar).

Post-traitement : tamisage pour éliminer les grosses particules, taille des particules du produit < 100 nm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3.3 Paramètres du procédé d'alliage mécanique de poudre de carbure de tungstène

Vitesse de rotation : 300 à 500 tr/min. Une vitesse trop faible entraînera une réaction incomplète, tandis qu'une vitesse trop élevée introduira des impuretés (comme du fer).

Temps de broyage : 20 à 50 heures, détection XRD de la formation de phase WC.

Rapport bille/matériau : 10:1-15:1, les billes WC sont couramment utilisées pour éviter la contamination.

2.3.4 Caractéristiques du produit de la méthode d'alliage mécanique de poudre de carbure de tungstène

Taille des grains : 50-100 nm (MET).

Pureté : > 99 %, impureté Fe < 0,1 % (ICP-OES).

Morphologie : particules irrégulières avec de nombreux défauts aux joints de grains.

2.3.5 Avantages et inconvénients de l'alliage mécanique de poudre de carbure de tungstène

Avantages : basse température (<100°C), faible consommation d'énergie, adapté aux nano WC.

Inconvénients : Risque d'introduction d'impuretés et cycle de production long (heures).

2.3.6 Application de la méthode d'alliage mécanique de la poudre de carbure de tungstène

Pour carbure cémenté ultra-fin, tel que le micro-perçage de PCB (grain < 0,5 μm , dureté HV 2200).

2.4 Méthode plasma de poudre de carbure de tungstène

2.4.1 Principes de base de la méthode plasma au carbure de tungstène

La méthode plasma utilise un plasma à haute température (> 5000 °C) pour faire réagir instantanément la poudre de tungstène et la source de carbone afin de produire du WC. Le plasma chaud offre une densité énergétique élevée et favorise la réaction en phase gazeuse ou liquide.

2.4.2 Flux de processus de la méthode plasma à base de poudre de carbure de tungstène

Livraison de la matière première : La poudre de tungstène et le CH_4 sont introduits dans le pistolet à plasma via un gaz vecteur (Ar).

Réaction : Le plasma (puissance 10-50 kW, température 5000-10000°C) décompose le CH_4 , et le tungstène fond et réagit avec le carbone.

Refroidissement : Le produit a été rapidement refroidi dans une chambre de condensation (10^6 °C/s) et la poudre a été récupérée.

2.4.3 Paramètres du procédé de la méthode plasma à base de poudre de carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Puissance : 10-50 kW, affecte la taille des particules.

Débit de gaz : Ar 20-50 L/min, CH₄ 1-5 L/min.

Vitesse de refroidissement : >10⁵ °C/s pour éviter la croissance des grains.

2.4.4 Caractéristiques du produit de la méthode plasma à poudre de carbure de tungstène

Taille des grains : 50-200 nm.

Pureté : > 99,9 %, teneur en oxygène < 100 ppm.

Aspect : Particules sphériques, bonne fluidité (>20 s/50g).

2.4.5 Avantages et inconvénients de la méthode plasma à base de poudre de carbure de tungstène

Avantages : particules petites et sphériques, adaptées à la pulvérisation.

Inconvénients : Équipement coûteux (des millions de dollars) et consommation énergétique élevée.

2.4.6 Application de la méthode du plasma à base de poudre de carbure de tungstène

Utilisé pour les revêtements par pulvérisation HVOF, tels que la poudre WC produite par le suédois Sandvik (dureté HV 1200-1400).

2.5 Méthode solvothermale de la poudre de carbure de tungstène

2.5.1 Principes de base de la méthode solvothermale à poudre de carbure de tungstène

La méthode solvothermale synthétise le WC à basse température (< 300 °C) par réaction en phase liquide, en utilisant un solvant à haute pression et en décomposant la source de carbone organique en autoclave.

Par exemple : $\text{WO}_3 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{WC} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

2.5.2 Flux de processus de la méthode thermique par solvant de poudre de carbure de tungstène

Préparation de la matière première : WO_3 et glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) sont dissous dans l'eau avec un rapport molaire de 1:2.

Réaction : La solution est placée dans un autoclave à 200-300°C et une pression de 10-20 MPa pendant 12 à 24 heures.

Post-traitement : filtration, lavage (eau déionisée), séchage (80°C) et broyage à <100 nm.

2.5.3 Paramètres du procédé de la méthode solvothermale à base de poudre de carbure de tungstène

Température : 200-300°C, la réaction est incomplète en dessous de 200°C.

Pression : 10-20 MPa, affecte l'efficacité de la carbonisation.

Durée : 12 à 24 heures, la DRX détecte la phase WC.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.5.4 Caractéristiques du produit de la poudre de carbure de tungstène par méthode solvothermale

Taille des grains : 20-50 nm.

Pureté : > 99 %, teneur en oxygène < 200 ppm.

Morphologie : Presque sphérique, avec moins d'agglomération.

2.5.5 Avantages et inconvénients de la méthode solvothermale pour la poudre de carbure de tungstène

Avantages : basse température et économie d'énergie, petite granulométrie, respectueux de l'environnement.

Inconvénients : faible rendement (grade g/lot), le procédé n'est pas encore mature.

2.5.6 Application de la méthode solvothermale à la poudre de carbure de tungstène

Phase de recherche, pour une utilisation dans les électrodes de piles à combustible (surface spécifique > 50 m²/g).

Références

GB/T 4295-2008, *Poudre de carbure de tungstène*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2008.

Les exigences techniques et les méthodes d'essai de la poudre de carbure de tungstène sont spécifiées, qui sont applicables au contrôle de la qualité des produits de processus tels que la carburation à haute température.

GB/T 5124.1-2008, *Méthodes d'analyse chimique du carbure cimenté - Partie 1 : Détermination de la teneur totale en carbone*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2008.

La méthode de combustion est spécifiée pour déterminer la teneur totale en carbone dans le carbure cimenté et est utilisée pour vérifier la composition de la poudre de carbure de tungstène.

GB/T 5124.2-2008, *Méthodes d'analyse chimique du carbure cimenté - Partie 2 : Détermination de la teneur en carbone libre*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2008.

La méthode de dissolution-titrage acide est spécifiée pour déterminer le carbone libre et est utilisée pour évaluer la pureté du produit obtenu par la méthode de carbonisation à haute température.

Carbure - Partie 4 : Détermination des éléments d'impureté, Administration nationale de normalisation de Chine, 2008.

La méthode ICP-OES est spécifiée pour déterminer les impuretés telles que Fe et est utilisée pour l'analyse de la qualité des méthodes de carburation à haute température et d'alliage mécanique.

GB/T 5314-2011, *Poudres pour carbure cimenté*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2011.

Spécifie les exigences techniques et les tests de propriétés physiques des poudres de carbure cimenté, applicables à une variété de méthodes de préparation.

GB/T 25995-2010, *Poudre de tungstène et poudre de carbure de tungstène - Détermination de la taille des particules du sous-tamis Fisher (FSSS)*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2010.

La méthode de détermination de l'analyseur de taille de particules Fisher est spécifiée pour le contrôle de la taille des particules dans des processus tels que la carbonisation à haute température.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zhang Lide, Nanomatériaux et nanostructures , Science Press, 2002.

Présenter la technologie de préparation des nanomatériaux, y compris les principes de base du CVD et de l'alliage mécanique.

du développement de l'industrie chinoise du tungstène, Metallurgical Industry Press, 1998.

Enregistre le processus d'industrialisation de la poudre de carbure de tungstène en Chine, impliquant des cas d'application de la méthode de carburation à haute température.

Lassner, E., et Schubert, WD (1999). *Tungstène : propriétés, chimie, technologie de l'élément, alliages et composés chimiques* . Springer.

Introduction complète aux propriétés et à la technologie de préparation du tungstène et de ses composés, couvrant la carburation à haute température, le CVD et d'autres méthodes.

Upadhyaya, GS (1998). *Carbures de tungstène cémentés : production, propriétés et essais* . Éditions William Andrew.

La production industrielle et les tests de performance de la poudre de carbure de tungstène sont décrits en détail, en mettant l'accent sur la carburation à haute température et l'alliage mécanique.

Allemand, RM (1994). *Science de la métallurgie des poudres* . Fédération des industries des poudres métalliques.

Une introduction systématique à la technologie de la métallurgie des poudres, y compris la théorie et la pratique des méthodes d'alliage mécanique et de plasma.

Association internationale de l'industrie du tungstène (ITIA) (2023). « Statistiques sur le tungstène 2023 », *rapport annuel de l'ITIA* .

Fournit des données sur la production mondiale de poudre de tungstène et de carbure de tungstène, reflétant la position dominante de la méthode de cémentation à haute température.

ASTM E384-17 (2017). *Méthode d'essai normalisée pour la dureté par microindentation des matériaux* . ASTM International.

Spécifie la méthode d'essai de microdureté utilisée pour évaluer les propriétés de la poudre de carbure de tungstène après frittage.

ISO 4499-2:2020 (2020). *Métaux-durs — Détermination métallographique de la microstructure — Partie 2 : Mesure de la granulométrie des WC* . Organisation internationale de normalisation.

Spécifie une méthode de détermination microscopique de la granulométrie du WC adaptée au contrôle qualité des produits de carbonisation à haute température.

Benjamin, JS (1970). « Superalliages renforcés par dispersion par alliage mécanique », *Metallurgical Transactions* , vol. 1, pp. 2943-2951.

La technologie d'alliage mécanique a été proposée pour la première fois, jetant les bases de son utilisation dans la préparation de poudre de carbure de tungstène.

Suryanarayana, C. (2001). « Alliage mécanique et fraisage », *Progress in Materials Science* , vol. 46, p. 1-184.

Les paramètres du processus et les applications de l'alliage mécanique sont examinés, impliquant le nano-dimensionnement de la poudre de carbure de tungstène.

Association japonaise de normalisation (2005). JIS H 7803:2005, Méthodes d'essai pour la poudre de carbure de tungstène. Association japonaise de normalisation.

Les méthodes de test chimiques et physiques de la poudre de carbure de tungstène peuvent être référées

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

à l'analyse du produit de la méthode de carburation à haute température.

ГОСТ 25599.1-83 (1983). « Пoudre de carbure cimenté - Méthode de détermination de la teneur en carbone », Comité d'État de l'URSS pour les normes.

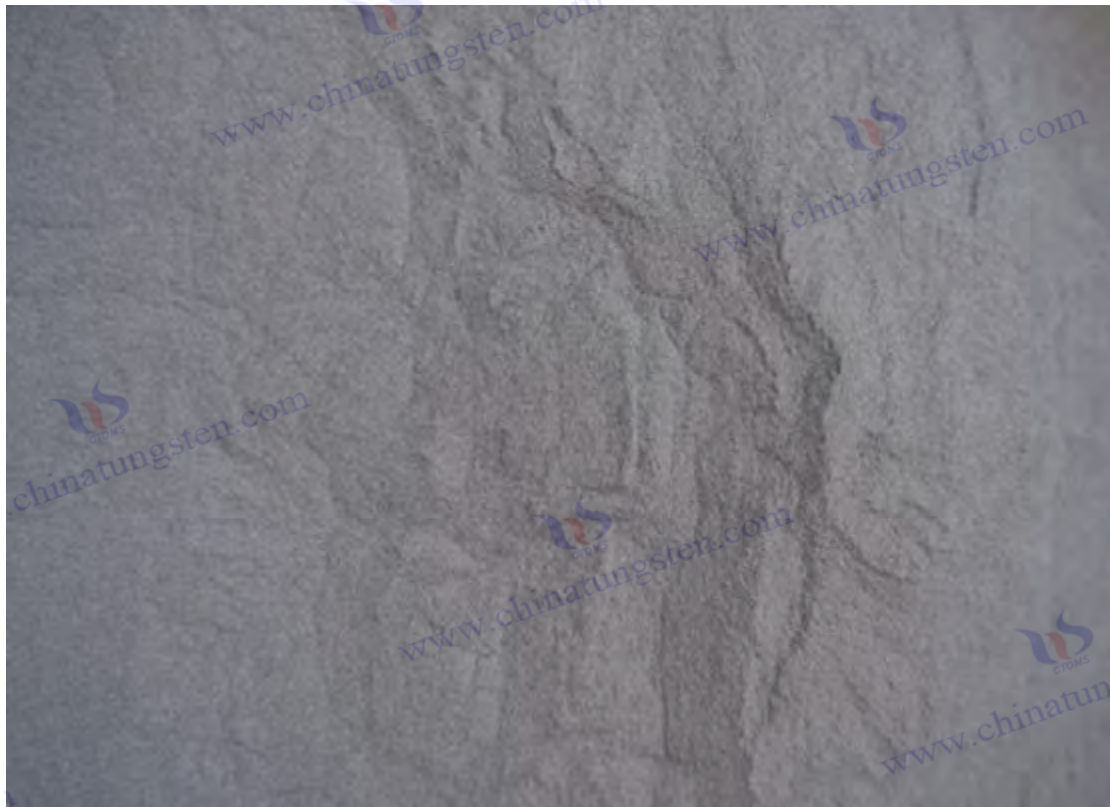
La norme soviétique spécifie la méthode d'analyse chimique de la teneur en carbone de la poudre de carbure cimenté, applicable à la méthode de carburation à haute température.

DIN EN ISO 4499-2:2020 (2020). Carbure cimenté – Détermination métallurgique de la microstructure – Partie 2 : Mesure de la granulométrie du carbure de tungstène. Institut allemand de normalisation.

Version allemande de la norme ISO, conforme à la norme ISO 4499-2, pour l'analyse des grains de carburation à haute température.

KS D 9502:2015 (2015). Détermination de la distribution granulométrique de la poudre de carbure de tungstène. Association coréenne de normalisation.

La norme coréenne spécifie la méthode d'essai pour la distribution granulométrique de la poudre de carbure de tungstène, qui peut être utilisée pour les produits de la méthode de carburation à haute température.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder Introduction

1. Overview of Tungsten Carbide Powder

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

2. Product Features of Tungsten Carbide Powder

High purity and stability

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

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

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

Diverse particle size options

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

Excellent physical properties

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

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

Application flexibility

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

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

3. Specifications of CTIA GROUP LTD Tungsten Carbide Powder

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

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

4. Production Process of Tungsten Carbide Powder

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

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

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

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

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

5. Quality Assurance of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

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

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

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

6. Packaging and Transportation of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

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

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

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

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

7. Application Fields of CTIA GROUP Tungsten Carbide Powder

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

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

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

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

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

8. Contact Information of CTIA GROUP

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

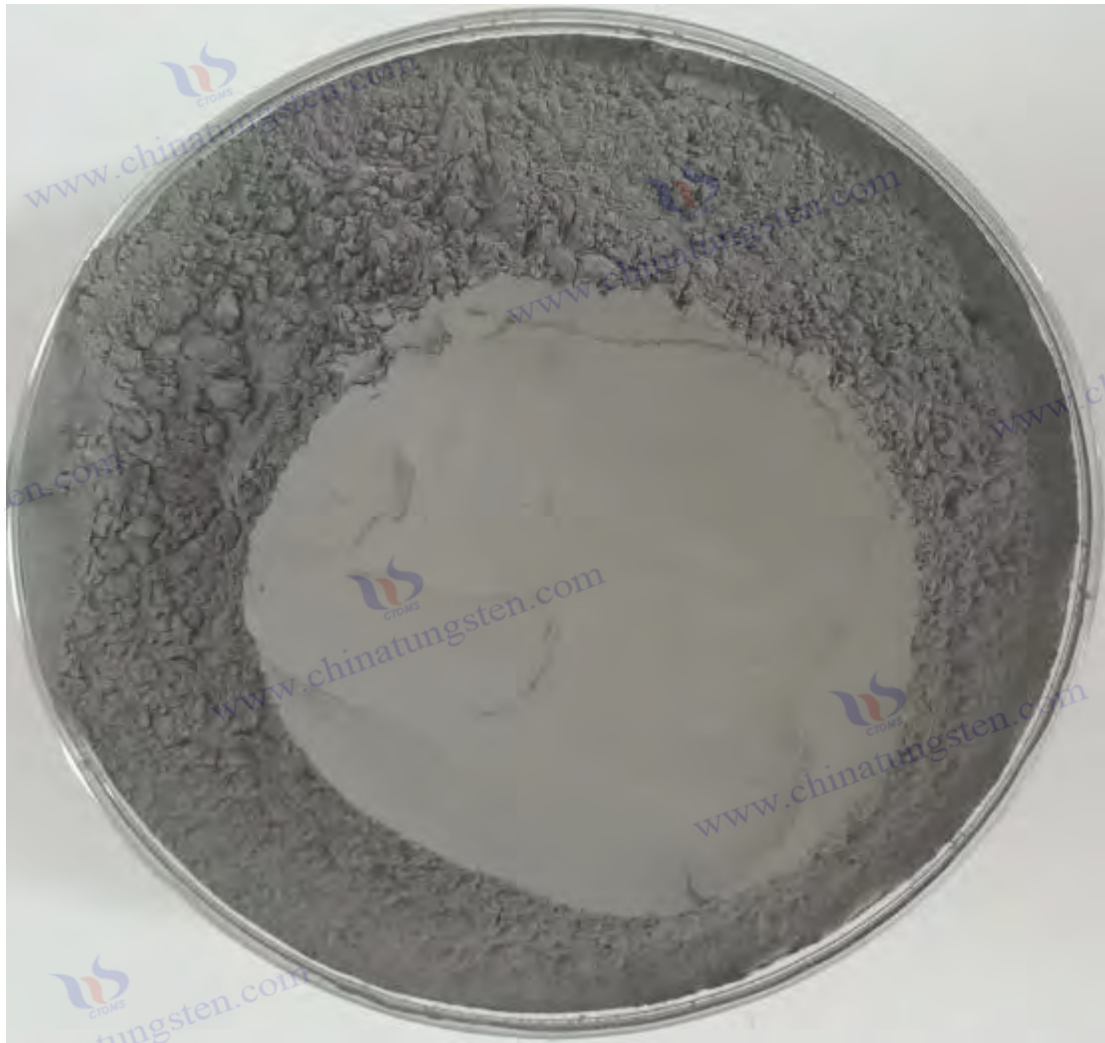
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

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

For more information or customized products, please contact:

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

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



Chapitre 3 : Microstructure et technologie de caractérisation de la poudre de carbure de tungstène

La poudre de carbure de tungstène (WC) est au cœur du carbure cimenté, des revêtements anti-usure et des matériaux d'outillage hautes performances. Sa microstructure et ses performances déterminent conjointement la qualité du produit final. De la disposition cristalline à l'échelle atomique à la distribution morphologique des particules, du contrôle précis de la composition chimique à l'évaluation complète des propriétés physiques et mécaniques, les caractéristiques de la poudre de carbure de tungstène sont à la fois le résultat du processus de préparation et la pierre angulaire de l'application. Par exemple, les outils en WC d'une dureté allant jusqu'à HV 2000-2500 restent tranchants lors de la coupe à grande vitesse, et les revêtements en WC offrant une excellente résistance à l'usure (taux d'usure $< 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) peuvent prolonger leur durée de vie dans les environnements difficiles, grâce à la microstructure unique de la poudre. Ce chapitre vise à présenter systématiquement les caractéristiques microstructurales et les techniques de caractérisation de la poudre de carbure de tungstène à travers de riches discussions en langage naturel, combinées à des données scientifiques et à la pratique industrielle, couvrant la diffraction

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

des rayons X (DRX), la microscopie électronique à balayage (MEB), l'analyse chimique et les méthodes de test de performance, révélant comment ces caractéristiques passent du laboratoire à la chaîne de production, et fournissant des conseils complets pour la recherche et le développement et l'application de l'industrie du carbure cimenté.

3.1 Caractéristiques de la microstructure de la poudre de carbure de tungstène

La microstructure de la poudre de carbure de tungstène est à la base de ses performances, couvrant la structure cristalline, la granulométrie, la morphologie des particules et les caractéristiques des défauts. Ces caractéristiques reflètent non seulement les différences entre les procédés de préparation (comme les gros grains de la méthode de carburation à haute température ou la structure nanométrique de la méthode CVD), mais jouent également un rôle clé dans les procédés de frittage, de pressage ou de pulvérisation.

3.1.1 Structure cristalline

Le cœur de la poudre de carbure de tungstène réside dans sa structure cristalline hexagonale (groupe d'espace $P6m2$, $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$, JCPDS 51-0939). Cette disposition atomique serrée lui confère une excellente dureté et une excellente stabilité chimique. Les atomes de tungstène et de carbone sont empilés en alternance, et chaque atome de tungstène est entouré de six atomes de carbone pour former un réseau hexagonal compact et stable. L'analyse DRX montre que les pics de diffraction caractéristiques du WC sont situés à $2\theta = 35,641^\circ$ (plan cristallin 100) et $48,298^\circ$ (plan cristallin 101). Ces positions de pics sont les « empreintes digitales » permettant d'évaluer la pureté de la poudre. Cependant, le WC monophasé idéal n'est pas toujours facilement disponible en production réelle. Si la teneur en carbone est insuffisante ($< 6,10 \%$), une phase W_2C ($2\theta = 39,5^\circ$) se forme, présentant une faible dureté (HV environ 1800) ; si la teneur en carbone est excessive ($> 6,18 \%$), du carbone libre ($2\theta = 26,6^\circ$) précipite, affaiblissant la résistance au frittage. Ce léger changement rappelle l'importance cruciale du rapport entre les sources de carbone et le contrôle de l'atmosphère lors de la préparation.

3.1.2 Granulométrie et distribution

La granulométrie est une variable clé de la microstructure et affecte directement les propriétés mécaniques de la poudre de carbure de tungstène. Dans l'industrie, la granulométrie varie de quelques nanomètres ($< 100 \text{ nm}$) à quelques micromètres ($1 \text{ à } 10 \text{ \mu m}$), avec une spécification courante de $1 \text{ à } 5 \text{ \mu m}$. La carburation à haute température permet de générer facilement des grains de plus de $5 \text{ \mu m}$ grâce à une réaction longue durée à haute température ($1\,800 \text{ à } 2\,000 \text{ }^\circ\text{C}$), tandis que la mécanosynthèse ou la méthode plasma permettent de contrôler des grains inférieurs à 100 nm grâce à un apport énergétique élevé et un refroidissement rapide. L'uniformité de la distribution des grains est mesurée par la valeur de l'intervalle de mesure ($(D90-D10)/D50$), et une poudre de haute qualité requiert une valeur inférieure à 1,5 et un écart type (RSD) inférieur à 10% (ISO 4499-2:2020). Les grains fins ($< 1 \text{ \mu m}$) améliorent la dureté (HV > 2200) et la résistance à l'usure, tandis que les grains grossiers ($> 5 \text{ \mu m}$) renforcent la résistance aux chocs ($> 25 \text{ J/cm}^2$). Cet équilibre entre taille et performance est l'art du design industriel.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1.3 Morphologie des particules

La morphologie des particules est l'aspect extérieur de la poudre de carbure de tungstène, qui affecte la fluidité ($> 20 \text{ s/50 g}$) et le comportement au frittage. Le WC produit par carbonisation à haute température est principalement polyédrique, avec des arêtes vives et une rugosité de surface R_a comprise entre $0,1$ et $0,5 \text{ }\mu\text{m}$ (mesure AFM) ; la méthode plasma ou CVD génère des particules quasi sphériques avec une surface spécifique allant jusqu'à $20\text{-}50 \text{ m}^2/\text{g}$ (méthode BET) et une meilleure fluidité. Le WC nanométrique est facile à agglomérer grâce à sa haute énergie de surface, et l'agglomération dure doit être inférieure à 5% (observation MEB), sinon des défauts sont faciles à produire lors du pressage. La diversité des morphologies offre des possibilités pour différentes applications : le WC sphérique est plus adapté à la pulvérisation, tandis que le WC polyédrique est propice au frittage.

3.1.4 Défauts et impuretés

La microstructure n'est pas parfaite, et les défauts et impuretés aux joints de grains sont des facteurs qui ne peuvent être ignorés. La microscopie électronique en transmission (MET) montre que la densité de dislocations aux joints de grains de WC est généralement $< 10^6 /\text{cm}^2$. Une densité trop élevée ($> 10^7 /\text{cm}^2$) réduira la résistance au frittage ($< 4000 \text{ MPa}$). Les impuretés telles que Fe ($< 0,05 \%$), Mo ($< 0,01 \%$) et O ($< 0,02 \%$) sont des traces mais affectent les performances : le fer provient de la contamination du broyeur à boulets et l'oxygène provient de l'oxydation. Tous deux peuvent générer des phases cassantes (comme Fe_3C) ou des oxydes (WO_3) à haute température, affaiblissant la ténacité ($K_{IC} < 10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Le contrôle des défauts et des impuretés est la clé pour améliorer la qualité de la poudre.

3.2 Méthode de caractérisation de la poudre de carbure de tungstène

La technologie de caractérisation permet d'explorer la microstructure de la poudre de carbure de tungstène, offrant une perspective analytique multidimensionnelle, de la structure cristalline à la morphologie de surface. Ces méthodes favorisent la compréhension fondamentale de la recherche scientifique et garantissent une qualité constante dans l'industrie.

3.2.1 Diffraction des rayons X (DRX)

La DRX utilise la diffraction des rayons X et des réseaux pour révéler l'état de phase et les paramètres cristallins de la poudre de carbure de tungstène. Des équipements tels que le Bruker D8 Advance utilisent le rayonnement $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), effectuent des balayages $2\theta = 20^\circ\text{-}80^\circ$, par pas de $0,02^\circ$ et à une vitesse de $2^\circ/\text{min}$. Le volume de l'échantillon est de seulement $0,5$ à 1 g et peut être testé après aplatissage. Les résultats montrent que le pic principal du WC est à $2\theta = 35,641^\circ$. L'apparition de W_2C ($39,5^\circ$) ou W ($40,3^\circ$) indique une carbonisation incomplète, et la précision de la teneur en phase est de $\pm 0,5 \%$. La DRX est non destructive et efficace, mais la taille des nanograins doit être estimée en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

combinaison avec la formule de Scherrer (erreur de ± 10 nm).

3.2.2 Microscopie électronique à balayage (MEB)

Le MEB utilise un balayage par faisceau d'électrons pour visualiser la morphologie et la distribution granulométrique des particules de poudre de carbure de tungstène. Équipement ZEISS Sigma 300, tension 5-15 kV, grossissement 100-50 000 $\times$, résolution 1 nm. L'échantillon doit être plaqué or (10 nm) et le degré de vide doit être inférieur à 10^{-5} Pa. L'image montre une granulométrie comprise entre 0,1 et 10 μm , une uniformité RSD inférieure à 10 % et une agglomération identifiable. Le MEB est intuitif, mais limité à la surface et doit être complété par d'autres méthodes.

3.2.3 Microscopie électronique à transmission (MET)

en transmission (MET) explore en profondeur le réseau atomique pour analyser le réseau et les défauts. L'échantillon est dispersé par ultrasons dans de l'éthanol (50 W, 5 minutes), puis déposé sur une grille de cuivre. La résolution est de 0,24 nm. Les résultats montrent des franges de réseau WC ($d = 2,518 \text{ \AA}$) et une densité de dislocations inférieure à $10^6/\text{cm}^2$, gage d'une haute qualité. Malgré sa précision, la microscopie électronique en transmission (MET) est complexe et est principalement utilisé en recherche scientifique.

3.2.4 Microscopie à force atomique (AFM)

L'AFM mesure la rugosité de surface de la poudre de carbure de tungstène par balayage à l'aide d'une sonde. L'équipement Bruker Dimension Icon, équipé d'une sonde en silicium, permet un balayage de $10 \times 10 \mu\text{m}$. Le résultat est $R_a 0,1-0,5 \mu\text{m}$, ce qui correspond à la surface spécifique de la méthode BET (écart $< 5 \%$). L'AFM est adapté à l'analyse de surface du nano-WC, mais sa représentativité est limitée à de petites zones.

3.3 Analyse de la composition chimique de la poudre de carbure de tungstène

La composition chimique est essentielle à la qualité de la poudre de carbure de tungstène, car elle influence sa stabilité et ses performances. La méthode d'analyse doit tenir compte à la fois de sa précision et de son aspect pratique.

3.3.1 Analyse du carbone total et du carbone libre

La teneur totale en carbone est déterminée par la méthode de combustion à haute fréquence et d'absorption infrarouge (GB/T 5124.1-2008). L'équipement LECO CS-844 fonctionne sous un débit d'oxygène de 1 350 $^\circ\text{C}$ (2 à 3 L/min), avec une précision de $\pm 0,01 \%$. Le résultat doit être compris entre 6,10 % et 6,18 %. La teneur en carbone libre est déterminée par la méthode de dissolution-titrage acide

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(GB/T 5124.2-2008). H_2SO_4 - HNO_3 (1:1) est dissous pendant 30 minutes, avec une précision de $\pm 0,005 \%$ et $< 0,5 \%$. L'écart de teneur en carbone affecte directement l'état de phase et la dureté.

3.3.2 Analyse des éléments d'impureté

L'ICP-OES (GB/T 5124.4-2008) a été utilisé pour déterminer les impuretés telles que Fe et Mo. L'équipement PerkinElmer Optima 8300 a été utilisé pour dissoudre l'échantillon dans HNO_3 + HCl. Les résultats ont montré que $\text{Fe} < 0,05 \%$, $\text{Mo} < 0,01 \%$, et la limite de détection était de $0,001 \%$. Le contrôle des impuretés doit commencer par les matières premières et les procédés.

3.3.3 Analyse de la teneur en oxygène

La teneur en oxygène est déterminée par la méthode de fusion sous gaz inerte (ASTM E1019-18). L'équipement LECO ONH836 fonctionne sous hélium à 1900°C , avec une teneur en eau de mer micrométrique inférieure à 100 ppm et une teneur en eau de mer nanométrique inférieure à 200 ppm . Un excès d'oxygène réduit la densité de frittage.

3.4 Test des propriétés physiques de la poudre de carbure de tungstène

Les tests de propriétés physiques évaluent les caractéristiques de traitement et d'application et constituent le pont entre le micro et le macro.

3.4.1 Taille et distribution des particules

La méthode de diffraction laser (GB/T 19077-2016) utilise le Malvern Mastersizer 3000, indice de réfraction 2,5, opacité 10-20 %, $D_{50} = 1-5 \mu\text{m}$, $\text{Span} < 1,5$. Le granulomètre Fisher (GB/T 25995-2010) mesure $0,5-10 \mu\text{m}$, répétabilité $< 3 \%$. La granulométrie détermine l'équilibre entre dureté et résistance aux chocs.

3.4.2 Masse volumique apparente et fluidité

La masse volumique apparente est mesurée au volumètre Scott (GB/T 5314-2011), $12,0-14,0 \text{ g/cm}^3$, écart type $< 2 \%$. La fluidité est mesurée au débitmètre Hall (ASTM B213-20), $> 20 \text{ s/50 g}$. Une densité et une fluidité élevées garantissent une homogénéité du moulage.

3.4.3 Surface spécifique

Méthode BET (ISO 9277:2010) utilisant Micromeritics ASAP 2020, dégazage à 200°C , taille micronique $0,5-2 \text{ m}^2/\text{g}$, taille nanométrique $20-50 \text{ m}^2/\text{g}$. La surface spécifique élevée améliore l'activité de frittage.

3.5 Propriétés mécaniques et applications industrielles de la poudre de carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les propriétés mécaniques reflètent la valeur d'application de la poudre de carbure de tungstène et doivent être vérifiées par des tests standard.

3.5.1 Dureté

Essai de dureté Vickers (ASTM E384-17), charge 1 kg, 15 s, résultat HV 2000-2500, écart < 50. La dureté élevée provient des grains fins et de la structure monophasée.

3.5.2 Résistance à l'usure

Essai de roue en caoutchouc sur sable sec (ASTM G65-16), sable 50-70 mesh, charge 130 N, taux d'usure < 0,01 mm³ / N · m, meilleur que Cr₃C₂.

3.5.3 Résistance à la compression

Essai de compression uniaxiale (ISO 3327:2009), équipement Instron 5985, > 4000 MPa (WC-Co, Co 10 %), déformation à la rupture < 1 %.

3.5.4 Cas d'application industrielle

Une entreprise chinoise de carbure cimenté utilise de la poudre WC FSSS 2 µm, HV 2200, dont la durée de vie est supérieure à 500 minutes. Sandvik utilise de la poudre WC D50 < 1 µm, dont la résistance à l'usure est augmentée de 40 %, un revêtement utilisé pour les aubes de turbines d'aviation.

Références

GB/T 4295-2008, *Poudre de carbure de tungstène*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2008. Spécifie les exigences techniques et les méthodes d'essai pour la poudre de carbure de tungstène.

GB/T 5124.1-2008, *Méthodes d'analyse chimique du carbure cimenté - Partie 1 : Détermination de la teneur totale en carbone*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2008. Elle stipule que la teneur totale en carbone doit être déterminée par la méthode de combustion.

GB/T 5124.2-2008, *Méthodes d'analyse chimique du carbure cimenté - Partie 2 : Détermination de la teneur en carbone libre*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2008. Elle stipule que le carbone libre doit être déterminé par la méthode de dissolution acide-titrage.

Carbure - Partie 4 : Détermination des éléments d'impureté, Administration nationale de normalisation de Chine, 2008. Il stipule que la méthode ICP-OES doit être utilisée pour déterminer les éléments d'impureté.

GB/T 5314-2011, *Poudres pour carbure cimenté*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2011. Spécifie les méthodes d'essai de performance pour les poudres de carbure cimenté.

GB/T 19077-2016, *Distribution granulométrique - Méthode de diffraction laser*, Administration nationale de normalisation de Chine, 2016.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La méthode de diffraction laser est spécifiée pour déterminer la distribution granulométrique.

GB/T 25995-2010, Poudre de tungstène et poudre de carbure de tungstène - Détermination de la taille des particules du calibre de sous-tamis Fisher (FSSS) , Administration nationale de normalisation de Chine, 2010. Spécifie la méthode de détermination de la taille des particules du calibre de sous-tamis Fisher (FSSS).

Lassner, E., et Schubert, WD (1999). *Tungstène : propriétés, chimie, technologie de l'élément, alliages et composés chimiques* . Springer. Présentation de la microstructure et des propriétés des composés du tungstène.

Upadhyaya, GS (1998). *Carbures de tungstène cimentés : production, propriétés et essais* . William Andrew Publishing. Description détaillée des essais et des applications de la poudre de carbure de tungstène.

ASTM B213-20 (2020). *Méthodes d'essai normalisées pour le débit des poudres métalliques à l'aide de l'entonnoir du débitmètre à effet Hall* . ASTM International. Spécifie l'utilisation du débitmètre à effet Hall pour déterminer la fluidité.

ASTM E384-17 (2017). *Méthode d'essai normalisée pour la dureté par microindentation des matériaux* . ASTM International.

Spécifie la méthode d'essai de dureté Vickers.

ASTM G65-16 (2016). *Méthode d'essai normalisée pour la mesure de l'abrasion à l'aide d'un appareil à roue sèche en sable et caoutchouc*. ASTM International.

ASTM E1019-18 (2018). *Méthodes d'essai normalisées pour la détermination du carbone, du soufre, de l'azote et de l'oxygène dans les alliages d'acier, de fer, de nickel et de cobalt par diverses techniques de combustion et de fusion sous gaz inerte* . ASTM International. Spécifie la méthode de détermination de la teneur en oxygène.

ISO 3327:2009 (2009). *Métaux-durs — Détermination de la résistance à la rupture transversale* . Organisation internationale de normalisation. Spécifie une méthode d'essai pour la résistance à la compression.

ISO 4499-2:2020 (2020). *Métaux-durs — Détermination métallographique de la microstructure — Partie 2 : Mesure de la granulométrie du WC*. Organisation internationale de normalisation. Spécifie la méthode de détermination microscopique de la granulométrie du WC.

ISO 9277:2010 (2010). *Détermination de la surface spécifique des solides par adsorption de gaz — Méthode BET* . Organisation internationale de normalisation. Spécifie la méthode BET pour la détermination de la surface spécifique.

Association japonaise de normalisation (2005). JIS H 7803:2005, Méthodes d'essai pour la poudre de carbure de tungstène, Association japonaise de normalisation. Spécifie les méthodes d'essai chimiques et physiques pour la poudre de carbure de tungstène.

ГОСТ 25599.1-83 (1983). « Poudre de carbure cimenté - Méthode de détermination de la teneur en carbone », Comité d'État de l'URSS pour les normes.

Méthode d'analyse chimique pour spécifier la teneur en carbone des poudres de carbure cimenté.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chapitre 4 : Application de la poudre de carbure de tungstène

Véritable cœur du carbure cimenté, la poudre de carbure de tungstène (WC) trouve des applications dans la fabrication mécanique, l'aérospatiale, l'électronique et le médical, et peut être qualifiée de pilier essentiel de l'industrie moderne. Depuis que l'entreprise allemande Widia a combiné la poudre de carbure de tungstène avec du cobalt au début du XXe siècle pour développer la première génération de carbure cimenté, ce matériau a révolutionné les matériaux d'outillage traditionnels grâce à sa dureté exceptionnelle (HV 2000-2500), son taux d'usure ultra-faible ($< 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) et son excellente stabilité à haute température ($> 1000 \text{ }^\circ\text{C}$). Des outils de coupe à grande vitesse aux moules résistants à l'usure en passant par les dispositifs médicaux de précision, l'utilisation de la poudre de carbure de tungstène a non seulement permis une amélioration significative de l'efficacité industrielle, mais a également ouvert de nouveaux horizons pour la fabrication de haute précision. Ce chapitre explore systématiquement l'application de la poudre de carbure de tungstène dans la fabrication de carbure cimenté, les revêtements anti-usure et d'autres domaines. À travers des cas et des données riches, il révèle comment elle est passée d'une réaction chimique en laboratoire à un matériau de base sur la chaîne de production. La première partie se concentre sur la fabrication de carbure cimenté, analysant en profondeur le rôle de la poudre de carbure de tungstène dans les outils de coupe, les pièces résistantes à l'usure et les outils d'usinage de précision, et mettant en évidence ses multiples atouts techniques.

4.1 Application de la poudre de carbure de tungstène dans la fabrication de carbure cimenté

Le carbure cimenté est constitué de poudre de carbure de tungstène comme noyau, puis mélangé à des liants métalliques tels que le cobalt (Co) et le nickel (Ni) par métallurgie des poudres pour produire des matériaux présentant une dureté, une ténacité et une résistance à l'usure élevées. Depuis que le chimiste allemand Schröter a fritté pour la première fois du WC et du Co en carbure cimenté en 1923, cette technologie a connu près d'un siècle d'évolution et est devenue un pilier incontournable de l'industrie manufacturière. L'utilisation de la poudre de carbure de tungstène dans le carbure cimenté dépend non seulement de ses propriétés physiques et chimiques (telles que la stabilité de la structure cristalline hexagonale), mais est également étroitement liée au choix de la phase liante, à la régulation de la granulométrie et à l'optimisation du frittage. Cette section explique en détail l'importance de la poudre de carbure de tungstène dans la fabrication du carbure cimenté, en tenant compte des trois dimensions suivantes : outils de coupe, pièces résistantes à l'usure et outils d'usinage de précision, en tenant compte de l'évolution historique, des principes scientifiques et des pratiques industrielles.

4.1.1 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les outils de coupe

Les outils de coupe constituent le premier domaine d'application de la poudre de carbure de tungstène, et c'est aussi son stade le plus prometteur. Comparé à l'acier rapide traditionnel (HSS, dureté HRC 60-65, vitesse de coupe $< 100 \text{ m/min}$), le carbure cimenté à base de WC augmente la vitesse de coupe à 200-300 m/min et multiplie par 5 à 10 la durée de vie de l'outil, devenant ainsi la norme de l'usinage moderne. La poudre de carbure de tungstène est combinée au cobalt pour former le carbure cimenté WC-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Co, qui présente un équilibre parfait entre dureté et ténacité, lui permettant de rester tranchant et stable à grande vitesse et sous forte charge.

4.1.1.1 Outils de tournage et fraises

Les outils de tournage et les fraises constituent la force motrice des outils de coupe, largement utilisés pour le tournage et le fraisage de l'acier, de la fonte et des alliages haute température. L'application de la poudre de carbure de tungstène dans ces outils repose principalement sur la formule WC-Co, dont la teneur en cobalt est généralement comprise entre 6 % et 12 %. Ce rapport, vérifié par l'industrie depuis des décennies, garantit non seulement la dureté (HV 1500-1800), mais aussi une résistance suffisante à l'écaillage (ténacité à la rupture K_{IC} 10-15 MPa·m^{1/2}). Le cobalt, en tant que phase liante, fond et enveloppe les particules de WC lors du frittage (1450-1500 °C, frittage en phase liquide) pour former une microstructure dense. La sélection de la taille des grains de WC est cruciale, et 1 à 3 µm est la spécification courante car elle prend en compte à la fois la dureté et la résistance à l'usure, et évite le problème d'agglomération du WC à l'échelle nanométrique (<100 nm) et la ténacité insuffisante des grains grossiers (>5 µm).

D'un point de vue scientifique, la dureté élevée du WC provient de sa structure cristalline hexagonale ($a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$). Des atomes de carbone sont intégrés au réseau de tungstène pour former de fortes liaisons covalentes, ce qui confère à ce matériau une résistance à la déformation bien supérieure à celle des métaux. L'ajout de cobalt améliore la plasticité et la résistance aux chocs du matériau grâce à l'interface entre les liaisons métalliques et les particules de WC. Les données expérimentales montrent que la vitesse de coupe des outils de tournage WC-Co peut atteindre 200 à 300 m/min, soit 50 à 100 % supérieure à celle du HSS. Sa dureté à rouge (600-800 °C tout en maintenant un HV > 1200) lui confère des avantages évidents pour la coupe à haute température.

Dans l'industrie, l'usinage des blocs-cylindres de moteurs automobiles est une application courante des outils de tournage WC-Co. Les outils de tournage chinois YG8 (WC 92 %, Co 8 %) affichent une vitesse de coupe de 250 m/min pour l'usinage des blocs-cylindres en fonte grise, une durée de vie de plus de 100 000 pièces et un rendement plus de trois fois supérieur à celui des outils HSS. Ce succès est dû à l'uniformité de la poudre WC (Span < 1,5) et à la teneur optimisée en cobalt, qui réduit le risque d'écaillage et d'usure lors de l'usinage à grande vitesse. La ligne de production de blocs-cylindres de Toyota Motor au Japon utilise également des fraises WC-Co similaires. Lors de l'usinage des culasses en alliage d'aluminium, la rugosité de surface $R_a < 0,8 \text{ µm}$ et le rendement sont portés à 99,8 %, ce qui souligne le rôle irremplaçable de la poudre de carbure de tungstène dans la fabrication moderne.

En termes de tendances futures, les outils de tournage WC-Co évoluent vers des grains plus fins (<1 µm) et des revêtements composites (tels que TiN - TiC - Al₂O₃) pour améliorer encore la résistance à l'usure et la stabilité thermique afin de répondre aux exigences de haute vitesse et de haute précision de la fabrication intelligente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1.1.2 Forets et outils d'alésage

Les forets et les outils d'alésage jouent un rôle essentiel dans l'usinage de trous profonds, tels que les trous d'huile de vilebrequin automobile, les canaux d'aubes de turbine d'aviation, etc., et les exigences de performance de la poudre de carbure de tungstène sont plus strictes. La poudre WC de qualité micronique ($1-3\ \mu\text{m}$) est le premier choix en raison de sa dureté (HV 1600) et de sa résistance à l'écaillage ($K_{IC} > 12\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) et de ses excellentes performances dans l'usinage de trous profonds. La formule WC-Co (Co 6%-10%) est préparée par frittage sous vide ($1450\ ^\circ\text{C}$, $10^{-2}\ \text{Pa}$) pour garantir l'absence de pores internes et une finition de surface $Ra < 0,1\ \mu\text{m}$. L'environnement à haute température et haute pression du traitement des trous profonds (température de la zone de coupe $> 600\ ^\circ\text{C}$, force axiale $> 500\ \text{N}$) met à l'épreuve la dureté rouge et la résistance à l'usure de l'outil, tandis que le point de fusion élevé du WC ($2870\ ^\circ\text{C}$) et son faible coefficient de dilatation thermique ($5,2 \times 10^{-6}\ /\text{K}$) en font un choix idéal.

Afin de répondre aux conditions de travail les plus exigeantes, la technologie de revêtement multicouche WC- TiC a vu le jour. Grâce au procédé CVD, une couche de TiC de 5 à $10\ \mu\text{m}$ d'épaisseur (dureté HV 3000) est déposée sur le substrat WC-Co, puis recouverte de TiN (résistance thermique $> 1000\ ^\circ\text{C}$), ce qui triple la résistance à l'usure et prolonge la durée de vie de l'outil jusqu'à une profondeur de perçage de 500 à 1000 mètres. Ce revêtement améliore non seulement la dureté de surface, mais réduit également le coefficient de frottement (de 0,4 à 0,2) et l'accumulation de chaleur de coupe. Le foret pour trous profonds WC-Co de Sandvik Coromant en Suède utilise un revêtement multicouche WC- TiC - TiN. Lors de l'usinage de l'acier 42CrMo, la vitesse de coupe est de 200 m/min, la profondeur de perçage de 500 mm, la résistance à l'écaillage de $12,5\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ et la température de coupe est maintenue à moins de $800\ ^\circ\text{C}$. Cette technologie est devenue un standard pour la fabrication de moteurs d'avion.

À l'échelle mondiale, les fraises d'alésage de Kennametal, aux États-Unis, occupent également une place de choix dans l'usinage de trous profonds. Leur matrice WC-Co (Co 8 %), associée à un revêtement PVD (TiAlN), présente une excellente résistance à l'usure et à l'adhérence lors de l'usinage des alliages de titane. Leur durée de vie unitaire est portée à 300 pièces, dépassant largement les 50 pièces des fraises d'alésage HSS. À l'avenir, face à la demande croissante d'usinage de trous ultra-profonds (rapport d'aspect $> 20:1$), le raffinement de la poudre WC ($< 1\ \mu\text{m}$) et l'intelligentisation des technologies de revêtement deviendront des axes majeurs de recherche et développement.

4.1.1.3 Outils de coupe spéciaux

Des outils de coupe spéciaux sont utilisés pour l'usinage de matériaux de haute précision ou ultra-durs, tels que le micro-perçage de circuits imprimés (PCB) et l'outillage composite pour l'aéronautique. La poudre de carbure de tungstène doit répondre à des exigences de performance extrêmement élevées dans ces applications. Le diamètre du micro-perçage des PCB est inférieur à $0,1\ \text{mm}$, et une poudre de WC de qualité nanométrique ($< 100\ \text{nm}$) est nécessaire pour garantir une structure fine et une dureté élevée. Le procédé de frittage utilise un pressage isostatique à chaud (HIP, $1450\ ^\circ\text{C}$, $100-200\ \text{MPa}$), et une haute

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pression est utilisée pour limiter la croissance des grains (contrôlée à 0,2-0,5 μm). La dureté du produit fini atteint HV 2000-2200 et la résistance à la compression est supérieure à 4500 MPa. Le micro-foret WC-Co (Co 6 %) produit par Xiamen Jinlu Special Alloy Co., Ltd. en Chine atteint une précision de $\pm 0,005$ mm pour le perçage des circuits imprimés. Chaque foret peut traiter 50 000 à 80 000 trous, dépassant largement les 10 000 trous des forets en acier traditionnels. Son succès repose sur la surface spécifique élevée du nano-WC ($> 20 \text{ m}^2/\text{g}$) et l'effet de densification du procédé HIP (densité $> 99,8 \%$).

Dans le secteur aéronautique, des outils WC spéciaux sont nécessaires pour l'usinage des composites à fibres de carbone (PRFC) et des alliages de titane. En raison de sa dureté élevée et de sa structure en couches de fibres, le PRFC impose des exigences très strictes en matière de résistance à l'usure et de tranchant. La poudre nanométrique WC ($< 100 \text{ nm}$) est transformée en outils par frittage HIP, avec une dureté HV 2200, une vitesse de coupe supérieure à 250 m/min et une précision de $\pm 0,005$ mm. L'outil WC-Co (Co 10 %) développé par Kennametal aux États-Unis pour l'aile du Boeing 787 offre une durée de vie de plus de 500 pièces en PRFC, et son efficacité de coupe est supérieure de 20 % à celle des outils diamantés, tout en réduisant son coût de 30 %. Cet avantage provient de la combinaison de la dureté élevée du WC et de la ténacité du cobalt, qui évite l'écaillage du revêtement diamanté.

Les futurs axes de développement des outils de coupe spéciaux incluent la recherche et le développement, ainsi que la fabrication intelligente de matériaux composites à base de WC (tels que WC- TiC-TaC). Par exemple, l'ajout de TaC (1 à 2 %) améliore la résistance à la fissuration thermique, ou la combinaison de la technologie de micro-usinage laser pour améliorer la précision géométrique des outils, répondant ainsi aux besoins haut de gamme des industries aérospatiale et électronique.

4.1.2 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les pièces résistantes à l'usure

Les pièces résistantes à l'usure constituent un autre domaine d'application important de la poudre de carbure de tungstène. Grâce à sa dureté élevée et à son faible taux d'usure, elle est largement utilisée dans les applications soumises à de fortes charges, comme les moules et les roulements. Comparée à l'acier traditionnel (tel que le Cr12MoV, dont la durée de vie est inférieure à 100 000 fois), la durabilité du carbure cémenté à base de WC est multipliée par 5 à 10, ce qui en fait le matériau de prédilection pour l'emboutissage, l'emboutissage et l'étanchéité.

4.1.2.1 Matrices d'emboutissage

Les matrices d'emboutissage sont utilisées pour l'emboutissage à froid de plaques d'acier, d'aluminium et d'autres métaux. Les matrices WC-Co fabriquées à partir de poudre de carbure de tungstène sont réputées pour leur très longue durée de vie. Leur composition typique est de 90 % à 94 % de WC et de 6 % à 10 % de Co, préparées par frittage en phase liquide (1 500 °C, 30 MPa). Le produit fini présente une dureté HV de 1 400 à 1 600 et une résistance à la compression supérieure à 4 000 MPa. La dureté élevée du WC garantit une surface résistante à l'abrasion de la plaque d'acier, tandis que la ténacité du cobalt absorbe les chocs de l'emboutissage ($> 20 \text{ J}/\text{cm}^2$). Les données montrent que la durée de vie des matrices WC-Co

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

peut atteindre 500 000 à 1 million de fois, soit 5 à 10 fois plus que Cr12MoV ($< 100\,000$ fois), et la rugosité de surface Ra est maintenue en dessous de $0,05\,\mu\text{m}$.

Dans la construction automobile, l'emboutissage de panneaux de porte est une application courante des moules WC-Co. Le moule WC-Co (Co 8 %) produit par CTIA GROUP fonctionne en continu depuis six mois pour l'emboutissage de plaques d'acier de 0,8 mm, avec une usure inférieure à 0,01 mm et des coûts de maintenance réduits de 70 %. La ligne de production automobile allemande BMW utilise également des moules WC similaires, qui présentent une excellente résistance à la fatigue lors de l'emboutissage à grande vitesse (> 100 fois/minute), et la durée de vie d'un seul jeu de moules atteint 800 000 pièces. À l'avenir, le perfectionnement des moules WC-Co (grain $< 0,5\,\mu\text{m}$) et des revêtements de surface (CrN) permettra d'améliorer la durée de vie et la précision.

4.1.2.2 Filière de tréfilage et filière d'extrusion

Les filières d'étréage et d'extrusion sont utilisées pour le formage de fils et de tubes métalliques. La poudre WC à grains fins ($0,5\text{--}1\,\mu\text{m}$) est privilégiée pour sa dureté élevée (HV 1800) et sa très faible rugosité de surface ($R_a < 0,02\,\mu\text{m}$). La formule WC-Co (Co 6 %-8 %) est préparée par frittage sous vide ($1450\,^{\circ}\text{C}$). La précision d'ouverture de la filière est de $\pm 0,001\,\text{mm}$ et le taux d'usure est inférieur à $0,001\,\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, ce qui est bien inférieur à celui des filières en acier ($0,01\,\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$). Lors du tréfilage, la dureté élevée du WC résiste au frottement du métal, tandis que la finesse de ses grains assure des parois de trou lisses et réduit les défauts de surface du fil.

L'industrie du câble est un domaine d'application important pour les filières de tréfilage. La filière de tréfilage WC-Co (Co 8 %) d'une usine du Jiangxi, en Chine, fonctionne en continu depuis 6 mois pour tréfiler du fil de cuivre de 0,1 mm. La variation de la taille des trous de filière est inférieure à 0,002 mm, la vitesse de tréfilage est de 20 m/s et la rugosité de surface du fil Ra est inférieure à $0,01\,\mu\text{m}$. Ces performances sont dues à l'uniformité de la poudre WC (FSSS $0,8\,\mu\text{m}$) et à l'optimisation du frittage. La filière d'extrusion WC de Sumitomo Electric Industries, au Japon, est utilisée pour le formage de tubes en aluminium. Sa durée de vie dépasse 1 million de mètres, ce qui met en évidence le potentiel du WC à grains fins pour le formage de haute précision. À l'avenir, le nano-dimensionnement ($< 100\,\text{nm}$) et les revêtements autolubrifiants (tels que le DLC) des filières à base de WC amélioreront encore la résistance à l'usure et l'efficacité.

4.1.2.3 Roulements et joints résistants à l'usure

Les roulements et joints résistants à l'usure doivent supporter une rotation à grande vitesse et un frottement sous forte charge. Les matériaux composites WC-Ni sont privilégiés en raison de leur résistance à la corrosion et de leur faible coefficient de frottement ($< 0,1$). Leur formule est WC 85 %-90 %, Ni 10 %-15 %, et ils sont préparés par pressage isostatique à chaud (HIP, $1450\,^{\circ}\text{C}$, 150 MPa). Le produit fini présente une résistance à la température supérieure à $800\,^{\circ}\text{C}$ et une résistance à la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

compression supérieure à 3800 MPa. Le nickel offre une meilleure résistance aux acides et aux alcalis que le cobalt et convient aux environnements chimiques et marins. L'entreprise allemande FAG utilise des roulements WC-Ni pour ses moteurs à grande vitesse (50 000 tr/min), avec un coefficient de frottement de 0,08, une durée de vie multipliée par deux et une température de fonctionnement contrôlée inférieure à 600 °C. L'entreprise américaine Flowserve utilise des joints WC-Ni pour ses pompes chimiques, qui résistent à la corrosion par H₂SO₄ et peuvent fonctionner en continu pendant plus d'un an.

Le procédé HIP est la clé du succès des pièces en WC-Ni. Il élimine les micropores grâce à une pression élevée (100-200 MPa), atteint une densité de 99,9 % et améliore significativement la résistance à l'usure et à la fatigue. À l'avenir, l'optimisation de la microstructure du WC-Ni (par exemple, l'ajout de chrome pour améliorer la résistance à la corrosion) et la surveillance intelligente (par exemple, des capteurs intégrés) favoriseront son application dans des conditions de travail extrêmes.

4.1.3 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les outils d'usinage de précision

Les outils d'usinage de précision exigent des exigences très élevées en matière de granulométrie, de pureté et de précision d'usinage de la poudre de carbure de tungstène. Ils sont largement utilisés dans les domaines de la médecine, de l'optique et de la microélectronique. La poudre de carbure de tungstène ultrafine (< 1 µm) et les technologies de frittage avancées (comme le HIP) constituent ses principaux atouts.

4.1.3.1 Outils dentaires et médicaux

Les forets dentaires et les instruments médicaux nécessitent un micro-usinage (diamètre de 0,3 à 1 mm). Les outils en WC-Co en poudre de carbure de tungstène (1 à 2 µm) sont réputés pour leur dureté HV 1800 et leur biocompatibilité (ISO 10993-5). Après frittage, la surface est polie à Ra < 0,05 µm afin de garantir l'absence d'irritation lors de la coupe de l'émail dentaire. Le foret dentaire en WC-Co (Co 6 %) de Komet, en Allemagne, présente un diamètre de 0,5 mm, une durabilité supérieure à 1 000 fois en chirurgie dentaire, une précision de ± 0,01 mm et une vitesse de coupe de 5 000 tr/min. Son succès repose sur la grande pureté de la poudre de WC (impuretés < 0,02 %) et le perfectionnement du procédé de polissage. Le scalpel WC de Dentsply aux États-Unis est également très performant dans les applications orthopédiques, avec une augmentation de 50 % de la durée de vie lors de la coupe des os.

D'un point de vue scientifique, la biocompatibilité du WC est due à son inertie chimique (insoluble dans les fluides corporels), tandis que ses grains fins garantissent un tranchant optimal et une faible dégradation thermique. À l'avenir, la nanodimension (< 100 nm) et les revêtements antibactériens (tels que les ions Ag) des instruments médicaux à base de WC amélioreront encore leurs performances.

4.1.3.2 Moule optique

Les moules optiques sont utilisés pour presser des lentilles en verre et des composants optiques. Une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

poudre de WC ultrafine ($0,2-0,5\ \mu\text{m}$) est préparée par frittage HIP ($1450\ ^\circ\text{C}$, $200\ \text{MPa}$), avec une précision de surface $< 10\ \text{nm}$ et une durée de vie $> 100\ 000$ fois supérieure. La dureté élevée ($\text{HV } 2000$) et le faible coefficient de dilatation thermique ($5,2 \times 10^{-6}\ /\text{K}$) du WC garantissent une excellente résistance à la déformation du moule lors du pressage à haute température ($> 600\ ^\circ\text{C}$). Associé à un polissage miroir et à un revêtement WC (tel que le dépôt CVD d'une couche de WC de $5\ \mu\text{m}$), le moule WC de la société japonaise HOYA affiche un rendement de $99,9\ \%$ pour la fabrication de lentilles de téléphone portable, et sa rugosité de surface $R_a < 0,005\ \mu\text{m}$ est bien supérieure à celle des moules en acier traditionnels ($R_a > 0,02\ \mu\text{m}$).

Dans le domaine de l'optique de précision, le succès des moules en WC repose également sur leurs propriétés anti-adhérentes, qui évitent le problème d'adhérence du verre au moule. L'entreprise allemande Zeiss utilise des moules en WC pour le moulage de lentilles infrarouges, dont la durée de vie est multipliée par $150\ 000$, soulignant le potentiel de haute précision du WC ultrafin. À l'avenir, l'intelligentisation des moules optiques à base de WC (notamment le contrôle de température en temps réel) et la recherche et développement de matériaux composites (tels que le WC- TiC) favoriseront leur application aux dispositifs de réalité augmentée et virtuelle.

4.2 Application de la poudre de carbure de tungstène dans la technologie de revêtement de surface

La technologie de revêtement de surface est un autre domaine d'application important de la poudre de carbure de tungstène. Grâce à la projection thermique, à la projection plasma, au placage laser et à d'autres procédés, la poudre de carbure de tungstène est déposée à la surface du substrat pour former une couche protectrice résistante à l'usure, à la corrosion et aux hautes températures. Depuis son essor au milieu du XXe siècle, cette technologie est devenue un moyen essentiel de prolonger la durée de vie des pièces mécaniques et d'améliorer leurs performances. Comparée à la fabrication générale de carbure cimenté, la technologie de revêtement est largement privilégiée pour sa flexibilité (possibilité de revêtement de formes complexes), son économie (utilisation d'acier bon marché comme substrat) et son efficacité (renforcement local). La poudre de carbure de tungstène est largement utilisée dans les revêtements des moteurs aéronautiques, des outils de forage pétrolier, des équipements chimiques et d'autres secteurs, en raison de sa dureté élevée ($\text{HV } 2000-2500$), de son excellente résistance à l'usure (taux d'usure $< 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) et de sa stabilité thermique (point de fusion $2870\ ^\circ\text{C}$). Cette section combinera les principes scientifiques et les pratiques industrielles sous trois aspects : le revêtement par projection thermique, la projection plasma et le revêtement laser, la résistance aux hautes températures et les revêtements spéciaux, et explorera en profondeur comment la poudre de carbure de tungstène peut renforcer l'industrie moderne grâce à la technologie d'ingénierie de surface.

4.2.1 Application de la poudre de carbure de tungstène dans le revêtement par projection thermique

La projection thermique utilise des flammes à haute température ou un flux d'air à grande vitesse pour fondre ou semi-fondre de la poudre de carbure de tungstène, puis la projeter sur la surface du substrat

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pour former un revêtement dense et résistant à l'usure. Depuis le développement de la première génération d'équipements de projection thermique par Union Carbide aux États-Unis dans les années 1940, cette technologie a évolué, passant de la simple projection à la flamme à la projection oxygénée à haute vitesse (HVOF), devenue la solution la plus répandue dans les secteurs de l'aéronautique, de l'agriculture et de l'énergie. L'avantage de la poudre de carbure de tungstène en projection thermique réside dans sa grande dureté et sa faible porosité, qui assurent la stabilité du revêtement dans des conditions de travail difficiles.

4.2.1.1 Pulvérisation HVOF

La projection d'oxygène combustible à haute vitesse (HVOF) est le summum de la technologie de projection thermique. Elle utilise une flamme supersonique ($> 2\,000\text{ m/s}$) pour projeter de la poudre de carbure de tungstène sur un substrat afin de former un revêtement haute densité, à faible porosité et résistant à l'usure. La poudre de WC-Co (teneur en cobalt : 10 %-12 %) est le matériau principal pour la HVOF. Le cobalt, en tant que phase liante, fond partiellement pendant la projection et enveloppe les particules de WC (grains de 1 à $5\text{ }\mu\text{m}$), formant un revêtement d'une dureté de HV de 1 200 à 1 400 et d'un taux d'usure inférieur à $0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$. D'un point de vue scientifique, le point de fusion élevé du WC et sa résistance à l'oxydation garantissent qu'il ne se décompose pas lors de la pulvérisation à haute température (température de flamme $> 3000^\circ\text{C}$), tandis que la ductilité du cobalt réduit la contrainte interne du revêtement ($< 200\text{ MPa}$) et améliore la force de liaison ($> 70\text{ MPa}$).

La performance des revêtements HVOF repose sur un contrôle précis des paramètres du procédé. Le rapport oxygène/carburant (tel que le kérosène) dans le pistolet de pulvérisation (1:2-1:3) détermine la température et la vitesse de la flamme. La vitesse des particules de poudre atteint $600\text{--}800\text{ m/s}$ et la vitesse de refroidissement est supérieure à $10^6\text{ }^\circ\text{C/s}$, ce qui permet une porosité du revêtement inférieure à 1 % et une épaisseur contrôlée entre 100 et $500\text{ }\mu\text{m}$. Les données montrent que la résistance à l'usure des revêtements WC-Co est plus de dix fois supérieure à celle des substrats non revêtus (tels que l'acier 45, taux d'usure de $0,1\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), et que la résistance à la corrosion dépasse 1 000 heures lors des essais au brouillard salin.

Les aubes de moteurs d'avion sont un exemple classique de pulvérisation HVOF. Les aubes de moteurs CF6 de General Electric (GE) aux États-Unis utilisent un revêtement WC-Co (Co 12 %). Sous décapage au gaz ($> 1\,200\text{ }^\circ\text{C}$) et abrasion au sable, leur durée de vie dépasse 3 000 heures, soit six fois supérieure à celle des aubes non revêtues (500 heures). Ce succès est dû à la grande dureté du WC pour résister à l'abrasion et à la ténacité du cobalt pour atténuer les chocs thermiques. Rolls-Royce au Royaume-Uni utilise également le revêtement HVOF WC-Co pour les moteurs de la série Trent. L'épaisseur du revêtement est de $250\text{ }\mu\text{m}$, la dureté est HV 1 300 et le taux d'usure des aubes en fonctionnement est inférieur à $0,005\text{ mm}/1\,000\text{ heures}$, ce qui souligne la fiabilité de la poudre de carbure de tungstène dans les environnements extrêmes. À l'avenir, la technologie HVOF évoluera vers des poudres WC ultrafines ($< 1\text{ }\mu\text{m}$) et des revêtements composites (tels que WC-Co-Cr) pour répondre à des exigences plus élevées de résistance à l'usure et à la corrosion.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2.1.2 Projection à la flamme

La projection à la flamme est un procédé traditionnel de projection thermique. Elle utilise une flamme oxygène-acétylène (température d'environ 3 000 °C) pour fondre la poudre de carbure de tungstène, puis la projeter sur le substrat. Elle convient aux revêtements anti-usure économiques. La poudre WC-Ni (teneur en nickel de 10 à 15 %) est un choix courant, car le nickel est moins cher que le cobalt et offre une meilleure résistance à la corrosion. Lors de la projection, les particules de WC (5 à 10 µm) sont partiellement fondues et le nickel est complètement liquéfié, formant un revêtement d'une résistance à l'adhérence supérieure à 50 MPa et d'une épaisseur de 100 à 300 µm. La dureté du revêtement est de HV 900-1 100, inférieure à celle du HVOF, mais suffisante pour résister à une usure modérée.

Les avantages de la projection à la flamme résident dans la simplicité de son équipement (coût < 100 000 yuans) et sa flexibilité d'utilisation, adaptée aux PME. Les paramètres de projection, tels que le débit d'oxygène (20-30 l/min) et le débit de poudre (50-80 g/min), déterminent la qualité du revêtement. La porosité est généralement de 5 à 10 %, légèrement supérieure à celle du HVOF (< 1 %). Les tests de performance montrent que la résistance à l'usure du revêtement WC-Ni est 3 à 5 fois supérieure à celle du substrat (comme l'acier Q235), ce qui est adapté aux applications à faible vitesse et à frottement élevé, comme celles des machines agricoles.

Les lames de machines agricoles sont une application courante de la projection à la flamme. John Deere (États-Unis) pulvérise un revêtement WC-Ni (Ni 12 %) sur les lames de ses moissonneuses-batteuses d'une épaisseur de 200 µm, ce qui multiplie par quatre la résistance à l'usure et prolonge la durée de vie en une seule saison de 500 à 2 000 heures. Cette amélioration est due à la dureté élevée du WC et à la résistance à l'oxydation du nickel (> 600 °C), qui résiste efficacement à l'abrasion du sol et des résidus végétaux. Une usine de machines agricoles du Shandong, en Chine, utilise également une technologie similaire pour la projection de lames de tracteur, ce qui augmente le coût unitaire de 20 yuans, mais multiplie par trois la durée de vie, avec un rapport qualité-prix significatif. À l'avenir, la projection à la flamme permettra d'améliorer la densité et la résistance à la corrosion du revêtement en raffinant la poudre de WC (< 5 µm) et en ajoutant du chrome (1 à 2 %).

4.2.2 Application de la poudre de carbure de tungstène dans la projection plasma et le revêtement laser

La projection plasma et le revêtement laser représentent les technologies de revêtement de surface les plus avancées. Ils utilisent un plasma haute température ou un faisceau laser pour déposer de la poudre de carbure de tungstène sur le substrat afin de former un revêtement haute performance. Ces deux technologies présentent des avantages spécifiques en termes de résistance à la corrosion à haute température et de renforcement local.

4.2.2.1 Projection plasma

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La projection plasma utilise un arc plasma (température $> 15\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$) pour faire fondre la poudre de carbure de tungstène et la projeter sur le substrat, ce qui convient aux revêtements résistants à la corrosion à haute température. La poudre composite WC-Cr₃C₂ (WC 70 %-80 %, Cr₃C₂ 20 %-30 %) est une formule courante. L'ajout de Cr₃C₂ améliore la résistance à l'oxydation ($> 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$) et à la corrosion. Pendant le processus de projection, les particules de poudre (10-20 μm) sont entièrement fondues dans le flux plasma à une vitesse de 300-500 m/s, formant un revêtement d'une porosité $< 2\%$ et d'une épaisseur de 200-600 μm . La dureté du revêtement est de HV 1000-1200 et la température de résistance à l'oxydation atteint 1100°C , ce qui est bien supérieur à celui d'un seul revêtement WC ($< 900^{\circ}\text{C}$).

La base scientifique de la projection plasma repose sur la densité énergétique élevée du plasma haute température, qui permet au WC et au Cr₃C₂ de former une structure composite uniforme. Les paramètres du procédé, tels que le débit d'argon (40-50 l/min) et la puissance (30-40 kW), déterminent le degré de fusion et l'efficacité du dépôt. Les tests de performance montrent que la résistance à l'usure du revêtement WC-Cr₃C₂ est 8 fois supérieure à celle du substrat, et que la résistance à la corrosion au brouillard salin est supérieure à 1 500 heures.

Les aubes de turbines à gaz sont une application représentative de la projection plasma. Aux États-Unis, Pratt & Whitney utilise des revêtements WC-Cr₃C₂ sur les aubes du moteur F135. Ces revêtements ont une épaisseur de 300 μm , une température de fonctionnement de $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ et une durée de vie supérieure à 5 000 heures, soit cinq fois supérieure à celle des aubes non revêtues (1 000 heures). Siemens, en Allemagne, utilise également des revêtements similaires dans les turbines à gaz. L'effet synergique de la résistance à l'oxydation et à l'usure permet aux aubes de rester stables lors du décapage au gaz à haute température. À l'avenir, la projection plasma pourra encore améliorer les performances en ajoutant du Ni (5 à 10 %) ou en optimisant les paramètres de projection pour réduire la porosité ($< 1\%$).

4.2.2.2 Revêtement laser

Le revêtement laser utilise un faisceau laser haute énergie (puissance de 2 à 10 kW) pour fondre la poudre de carbure de tungstène et la déposer sur le substrat afin de former un revêtement épais et très dur, particulièrement adapté au renforcement de surface de composants de grande taille tels que les outils de forage pétrolier. La poudre de carbure de tungstène (grain 5 à 15 μm) est injectée directement dans le bain de fusion du laser et liée métallurgiquement au substrat (comme l'acier 42CrMo). L'épaisseur du revêtement est de 0,5 à 2 mm et sa dureté est HV 1300. Le revêtement laser présente un faible apport thermique ($< 200\text{ J/mm}^2$), une zone affectée thermiquement (ZAT) du substrat (ZAT) $< 0,1\text{ mm}$, une porosité du revêtement $< 0,5\%$ et une résistance à la traction $> 100\text{ MPa}$, largement supérieure à celle de la projection thermique (50 à 70 MPa).

En principe, la densité énergétique élevée du laser ($> 10^6\text{ W/cm}^2$) entraîne la fusion rapide des particules de WC et la formation d'une couche d'alliage avec le substrat. La dureté élevée du WC et la ténacité du substrat agissent de concert. Des paramètres de procédé tels que la puissance laser (4 kW), la vitesse de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

balayage (5-10 mm/s) et le débit d'alimentation en poudre (20-40 g/min) déterminent la qualité du revêtement. Les tests de performance montrent que la résistance à l'usure de la couche de revêtement en WC est 15 fois supérieure à celle du substrat, et que la résistance à la corrosion est supérieure à 2 ans dans une solution à 10 % de NaCl.

Les tiges de forage en eaux profondes sont un exemple typique de revêtement laser. Halliburton, aux États-Unis, revêt la surface de ses tiges de forage d'un revêtement WC (1,5 mm d'épaisseur), qui a fonctionné pendant plus de deux ans dans un environnement marin salé à 5 000 mètres de profondeur. L'usure est inférieure à 0,02 mm et la résistance à la corrosion est dix fois supérieure à celle des tiges de forage non revêtues. China Petroleum utilise également une technologie similaire pour renforcer les outils de forage, avec une dureté HV 1350 et une résistance aux chocs supérieure à 30 J/cm², afin de répondre aux besoins de l'extraction pétrolière et gazière en couches profondes. À l'avenir, le revêtement laser permettra d'améliorer l'épaisseur et l'uniformité du revêtement grâce à la poudre composite WC-Ni et à la technologie de revêtement multipasse.

4.2.3 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les revêtements résistants aux hautes températures et spéciaux

Résistance aux hautes températures et revêtements spéciaux Pour les environnements extrêmes, tels que les moules à haute température et les équipements chimiques, la poudre de carbure de tungstène doit prendre en compte la stabilité thermique, la résistance à la corrosion et la résistance aux chocs thermiques dans de telles applications.

4.2.3.1 Revêtement résistant aux chocs thermiques

Les revêtements résistants aux chocs thermiques sont utilisés pour les moules haute température et les équipements de traitement à chaud. Les revêtements à base de WC sont connus pour leur faible coefficient de dilatation thermique ($< 5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) et leur résistance à la température ($> 1200\text{ }^\circ\text{C}$). La poudre composite WC- TiC -Ni (WC 70 %, TiC 20 %, Ni 10 %) est préparée par projection HVOF ou plasma, avec une dureté de revêtement de HV 1100-1300 et une épaisseur de 200-400 μm . L'ajout de TiC améliore la dureté à haute température ($> 1000\text{ }^\circ\text{C}$ tout en maintenant $\text{HV} > 1000$), et le Ni améliore la résistance à la fatigue thermique. Pendant le processus, la vitesse de projection (500-700 m/s) et la vitesse de refroidissement ($> 10^5\text{ }^\circ\text{C/s}$) garantissent une contrainte interne du revêtement inférieure à 150 MPa.

Les moules haute température constituent la principale application des revêtements résistants aux chocs thermiques. Au Japon, Toyota Motors utilise des revêtements WC- TiC -Ni pour ses moules de moulage sous pression en alliage d'aluminium. La température du moule est de 800 à 1 000 $^\circ\text{C}$, le cycle de choc thermique est plus de 5 000 fois supérieur et la durée de vie est triplée. En Allemagne, ThyssenKrupp utilise également des revêtements similaires dans ses moules d'emboutissage à chaud de tôles d'acier, qui résistent à des températures de 1 200 $^\circ\text{C}$ et offrent une meilleure résistance à la fissuration que les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

revêtements Cr traditionnels. À l'avenir, les composites multiphasés (par exemple, avec ajout d' Al_2O_3) et les structures à gradient de revêtements à base de WC amélioreront encore la résistance aux chocs thermiques.

4.2.3.2 Revêtement résistant aux produits chimiques

Les revêtements résistants à la corrosion chimique sont utilisés pour les canalisations et vannes chimiques. Le revêtement WC-CoCr (WC 80 %, Co 10 %, Cr 10 %) a attiré l'attention pour son excellente résistance à la corrosion. Préparé par pulvérisation HVOF, ce revêtement présente une dureté HV 1200 et une épaisseur de 150 à 300 μm . L'ajout de Cr forme une couche de passivation Cr_2O_3 , et la résistance aux acides ($\text{pH} < 2$) est multipliée par 5. Les tests de performance montrent que le taux de corrosion du revêtement WC-CoCr dans une solution à 10 % de H_2SO_4 est inférieur à 0,001 mm/an et que sa résistance à l'oxydation est supérieure à 900 °C.

Les vannes chimiques sont une application courante. Emerson, une entreprise américaine, utilise un revêtement WC-CoCr sur les vannes de ses gazoducs. Après trois ans de fonctionnement, l'usure et la corrosion sont inférieures à 0,01 mm, et la durée de vie est trois fois supérieure à celle des vannes non revêtues (< 1 an). Une usine chimique chinoise utilise également un revêtement WC-CoCr sur les vannes de ses pompes à acide sulfurique, et la résistance à la corrosion dépasse 4 ans dans une solution à 20 % de H_2SO_4 . À l'avenir, la résistance à la corrosion chimique du revêtement WC-CoCr pourra être encore améliorée par l'ajout de Mo (5 à 10 %) ou par une optimisation du procédé de pulvérisation (par exemple, la pulvérisation à froid).

4.3 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les outils d'exploitation minière et de construction

Les outils miniers et de construction constituent des domaines d'application importants de la poudre de carbure de tungstène. Sa dureté élevée (HV 2000-2500), son excellente résistance à l'usure (taux d'usure $< 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$) et sa résistance aux chocs ($> 25 \text{ J/cm}^2$) en font le matériau de base des équipements de forage, de creusement de tunnels et de concassage. Depuis que l'industrie minière a commencé à utiliser le carbure cémenté à la fin du XIX^e siècle, la poudre de carbure de tungstène a progressivement remplacé l'acier traditionnel et est devenue une arme incontournable pour les projets miniers et de construction modernes. Des trépan de forage aux couteaux de protection en passant par les marteaux concasseurs, la poudre de carbure de tungstène a considérablement amélioré la durée de vie et l'efficacité des outils grâce à la métallurgie des poudres, à l'incrustation ou aux technologies composites, notamment dans les environnements soumis à de fortes charges comme l'exploitation minière en roche dure, la construction de tunnels de métro et le traitement du minerai. Cette section combinera les principes scientifiques et les pratiques industrielles sous trois aspects : les outils de forage de roche, les coupeurs de bouclier et les équipements de creusement de tunnels, ainsi que les revêtements résistants à l'usure et les équipements de concassage, pour explorer en profondeur comment la poudre de carbure de tungstène joue un rôle clé dans le domaine de l'exploitation minière et de la construction.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.1 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les outils de forage de roche

Les outils de forage de roche sont utilisés pour le forage et le dynamitage. Les trépan en carbure de tungstène sont devenus le choix privilégié pour l'exploitation des roches dures et du charbon grâce à leur dureté élevée et à leur résistance aux chocs. Depuis l'introduction du carbure cémenté à base de WC dans le domaine du forage de roche par l'entreprise suédoise Sandvik au début du XXe siècle, cette technologie a évolué, passant de simples trépan incrustés à des outils renforcés composites, et est largement utilisée dans les mines, les tunnels et l'exploration pétrolière et gazière.

4.3.1.1 Trépan pour roches dures

Les forets pour roches dures sont utilisés pour l'extraction de roches très dures comme le granit et le quartzite. La poudre de carbure de tungstène est incorporée dans la matrice d'acier grâce à la technologie d'incrustation pour former des forets incrustés de WC. La formule typique est WC-Co (Co 8 %-12 %), avec une granulométrie de 3 à 5 μm , préparée par frittage sous vide (1450 °C, 10^{-2} Pa), une dureté HV de 1400 à 1600 et une résistance aux chocs $> 25 \text{ J/cm}^2$. La dureté élevée du WC résiste à l'abrasion de la roche, tandis que la ténacité du cobalt absorbe les chocs ($> 500 \text{ kN}$) lors du forage. La conception du foret adopte généralement une structure à dents sphériques ou à dents en colonne, et le diamètre de l'incrustation de WC est de 5 à 15 mm pour garantir efficacité de coupe et durabilité. Les données montrent que la vitesse de perçage des forets incrustés de WC peut atteindre 12 à 15 m/h, soit 2 à 3 fois plus élevée que celle des forets en acier traditionnels ($< 5 \text{ m/h}$).

D'un point de vue scientifique, la structure hexagonale du WC ($a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$) et son point de fusion élevé (2870 °C) le rendent stable aux chocs à grande vitesse (> 1000 fois/minute) et aux frottements à haute température (> 600 °C). En termes de technologie, l'optimisation de la température et de la pression de frittage (30 MPa) permet au WC et au cobalt de former une microstructure uniforme, avec une résistance aux joints de grains $> 4000 \text{ MPa}$, évitant ainsi le risque d'écaillage. Les tests de performance montrent que la durée de vie des forets noyés dans le WC dépasse 1000 mètres de profondeur de forage dans le granit, et que le taux d'usure est inférieur à 0,005 mm/m.

Le forage minier par dynamitage est un exemple typique de foret pour roche dure. Le foret WC-Co (Co 10 %) de la société suédoise Atlas Copco présente un diamètre de forage de 50 mm, une vitesse de forage de 13 m/h, une durée de vie par foret de 1 200 mètres et une amélioration de l'efficacité de dynamitage de 40 % dans une mine de granit norvégienne. Une mine du Guizhou, en Chine, utilise également des forets similaires incrustés de WC, dont la durée de vie est de 1 500 mètres pour l'extraction du calcaire, soit cinq fois supérieure à celle des forets en acier (300 mètres). À l'avenir, les forets incrustés de WC pourront améliorer encore la résistance à l'usure et à la fatigue thermique grâce à des grains ultrafins ($< 1 \mu\text{m}$) et des revêtements TiC (CVD, 5 μm) pour s'adapter à des environnements de roche dure plus complexes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.1.2 Outils de forage de veines de charbon

Les outils de forage de veines de charbon sont utilisés pour l'extraction du charbon et du gaz. Les têtes de coupe WC-Co offrent d'excellentes performances dans les veines de charbon alternées, tendres et dures, grâce à leur résistance à l'usure et aux chocs. La formule est la suivante : WC 90 %-94 %, Co 6 %-10 %, granulométrie 1-3 μm , préparée par frittage à chaud (1 400 °C, 50 MPa), dureté HV 1 500, résistance à l'usure < 0,002 mm³/N·m. La dureté élevée du WC permet de résister à l'abrasion de la gangue dans les veines de charbon, tandis que la ductilité du cobalt absorbe les chocs d'excavation (> 15 J/cm²). Afin d'améliorer les performances, une technologie de renforcement composite WC- TiC a été introduite. Le TiC (5 %-10 %) a augmenté la dureté à haute température (> 800 °C tout en maintenant HV> 1 200) et a prolongé la durée de vie de la tête de coupe.

Les outils de forage de veines de charbon doivent supporter la faible dureté du charbon (Mohs 2-4) et la dureté locale élevée des gangues (Mohs 6-7). La structure composite de la tête de coupe en WC-Co- TiC offre un équilibre parfait entre résistance à l'usure et ténacité. Sur le plan technologique, la haute pression de frittage à chaud permet d'obtenir une densité de la tête de coupe supérieure à 99,5 % et une porosité inférieure à 0,5 %, garantissant ainsi la stabilité de la coupe. Les tests de performance montrent que la résistance à l'usure de la tête de coupe en WC- TiC est 30 % supérieure à celle d'une seule tête en WC-Co, et que la vitesse de coupe atteint 8 à 10 m/h.

Un tunnelier dans une mine de charbon du Shanxi, en Chine, utilise une tête de coupe en WC-Co- TiC (Co 8 %, TiC 5 %), capable d'excaver en continu 2 000 mètres dans une veine de charbon contenant de la gangue, avec une usure de la tête de coupe inférieure à 0,01 mm et une augmentation de l'efficacité d'excavation de 25 %. Les outils de forage de veines de charbon BHP, fabriqués en Australie, utilisent également une technologie similaire, avec une vitesse de forage de 9 m/h dans les veines de charbon à forte teneur en gaz et une durée de vie de 2 500 mètres. À l'avenir, les outils de forage de veines de charbon à base de WC pourront être optimisés avec de la poudre de WC nanométrique (< 100 nm) et des revêtements de surface (tels que le CrN) pour améliorer encore la résistance à l'usure et à la corrosion.

4.3.2 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les outils de blindage et les équipements de creusement de tunnels

Les outils à bouclier et les équipements de creusement de tunnels sont utilisés dans les tunnels et les projets souterrains. Les outils en carbure de tungstène présentent une excellente résistance à l'usure et une excellente capacité de coupe dans le grès, le basalte et d'autres strates. Depuis l'introduction du carbure cémenté dans les machines à bouclier au Japon dans les années 1960, les outils à base de carbure de tungstène sont devenus essentiels pour la construction de métros urbains et de tunnels de montage.

4.3.2.1 Tête de coupe à bouclier Metro

La tête de coupe à bouclier de métro est utilisée pour l'excavation dans le grès, l'argile et d'autres strates.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les têtes de coupe à base de WC sont devenues la norme en raison de leur grande résistance à l'usure et de leur longue durée de vie. La formule est WC-Co (Co 10 %-15 %), avec une granulométrie de 2 à 5 μm , préparée par pressage isostatique à chaud (HIP, 1450 °C, 150 MPa), une dureté HV de 1400 à 1600 et une durée de vie de coupe de plus de 6000 mètres. La dureté élevée du WC résiste à l'abrasion du grès (Mohs 5-6), et la ténacité du cobalt atténue les vibrations de la tête de coupe ($> 10 \text{ Hz}$). Les formes de tête de coupe comprennent des fraises-mères et des racleurs, et l'épaisseur de la tête de coupe en WC est de 10 à 20 mm pour garantir la profondeur de coupe et la stabilité. Les données montrent que la résistance à l'usure des têtes de coupe en WC-Co est 2 à 3 fois supérieure à celle des têtes de coupe en acier, et que la vitesse de coupe atteint 50 à 80 mm/min.

La tête de coupe à bouclier doit fonctionner sous haute pression d'eau ($> 5 \text{ bars}$) et avec un rinçage à la boue. La densité élevée ($> 14,5 \text{ g/cm}^3$) et la résistance à la corrosion (test au brouillard salin $> 1\,000$ heures) du WC constituent ses atouts. La densification haute pression du procédé HIP permet d'obtenir une porosité de l'outil inférieure à 0,2 % et une ténacité à la rupture supérieure à $12 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. À titre d'exemple, la ligne 14 du métro de Pékin en Chine utilise des fraises à rouleaux en WC-Co (Co 12 %), qui ont été creusées sur 6 500 mètres dans des formations de grès. Le cycle de remplacement dépasse un an, soit quatre fois plus que celui des fraises en acier (3 mois). La machine à bouclier du métro de Tokyo au Japon utilise également des fraises en WC similaires, dont la durée de vie est de 7 000 mètres pour la coupe du grès et du gravier, ce qui souligne la grande efficacité de la poudre de carbure de tungstène. À l'avenir, les coupeurs de bouclier à base de WC pourront être optimisés grâce à des revêtements composites (tels que TiAlN) et une surveillance intelligente pour s'adapter à des formations plus complexes.

4.3.2.2 Tunnelier pour sol dur

Les fraises pour tunnels en formations dures sont utilisées dans le basalte, le granite et d'autres formations (Mohs 7-8). Les fraises WC- TiC se distinguent par leur durabilité et leur résistance à la fracture. Leur formule est WC 80-85 %, TiC 10-15 %, Co 5-10 %, granulométrie 1-3 μm . Elles sont préparées par frittage optimisé (1450 °C, 100 MPa) de poudre WC extra-dure (FSSS $< 1 \mu\text{m}$), dureté HV 1600-1800, ténacité à la fracture $> 15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. L'ajout de TiC améliore la dureté à haute température ($> 1000 \text{ °C}$ tout en maintenant HV > 1400), et la dureté élevée du WC permet de couper les roches dures.

cm^2) et la température élevée ($> 800 \text{ °C}$) des formations dures imposent des exigences strictes aux outils de coupe. La structure composite WC- TiC produit un effet synergique grâce à la stabilité thermique du TiC et à la résistance à l'usure du WC. L'optimisation du frittage permet d'obtenir une uniformité du grain RSD inférieure à 5 % et une densité de l'outil supérieure à 99,8 %. Les tests de performance montrent que la durée de vie des outils WC- TiC dans le basalte est de 5 000 mètres et que leur résistance à l'usure est 50 % supérieure à celle du WC-Co seul.

Le tunnelier du tunnel ferroviaire des Alpes suisses a utilisé des outils en WC- TiC (TiC 12 %), creusant 5 500 mètres dans des strates basaltiques, à une vitesse de coupe de 40 mm/min, et le cycle de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

remplacement des outils a été prolongé à 10 mois. Des outils similaires ont également été utilisés dans le projet de double voie de la ligne ferroviaire Chengdu-Kunming en Chine, avec une durée de vie de 6 000 mètres lors de l'excavation de granit et une résistance à la fracture de $16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. À l'avenir, la durabilité des outils en WC- TiC pourra être encore améliorée grâce aux nano-grains ($< 100 \text{ nm}$) et à la technologie de durcissement de surface au laser.

4.3.3 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les revêtements résistants à l'usure et les équipements de concassage

Des revêtements et des équipements de concassage résistants à l'usure sont utilisés pour le broyage et le concassage du minerai. Les composants renforcés de poudre de carbure de tungstène sont devenus incontournables dans le traitement minier grâce à leur taux d'usure ultra-faible et leur longue durée de vie.

4.3.3.1 Revêtement du broyeur à boulets

Les chemises de broyeurs à boulets sont utilisées pour le broyage du minerai. Les chemises renforcées WC améliorent la résistance à l'usure grâce à une technologie d'incrustation ou composite. La formule est WC-Co (Co 8 %-12 %), granulométrie $3-5 \mu\text{m}$, préparée par frittage à chaud (1450°C , 40 MPa), dureté HV 1400, taux d'usure $< 0,05 \text{ g/t}$ (grammes par tonne de minerai). La dureté élevée du WC résiste aux chocs et à l'abrasion du minerai, tandis que la ténacité du cobalt absorbe les vibrations du broyeur à boulets ($> 15 \text{ Hz}$). L'épaisseur de la chemise est de 20 à 50 mm et la rugosité de surface $R_a < 0,1 \mu\text{m}$ garantit l'efficacité du broyage.

L'environnement de broyage humide (boue aqueuse) et la charge élevée ($> 100 \text{ t/h}$) du broyeur à boulets exigent une durabilité extrêmement élevée du revêtement. La densité du revêtement renforcé WC est $> 14,8 \text{ g/cm}^3$ et sa résistance à la corrosion est > 500 heures. Dans ce cas, BHP Iron Ore en Australie utilise un revêtement WC-Co (Co 10 %), dont la durée de vie est supérieure à 2 ans pour le broyage de l'hématite, avec un taux d'usure de $0,04 \text{ g/t}$ et une amélioration de l'efficacité de 30 %. China Baosteel Group utilise également des revêtements similaires, dont la durée de vie est de 2,5 ans pour le traitement de la magnétite, soit cinq fois supérieure à celle des revêtements en acier au manganèse (6 mois). À l'avenir, la résistance à la corrosion et la durée de vie des revêtements WC pourront être améliorées par l'ajout de Cr (5 à 10 %) et la technologie de nitruration de surface.

4.3.3.2 Marteau concasseur

Les marteaux concasseurs sont utilisés pour le concassage du calcaire, de la gangue et d'autres matériaux. Les marteaux en WC-Co sont réputés pour leur résistance à l'usure et aux chocs. Leur composition est la suivante : WC 88 %-92 %, Co 8 %-12 %, granulométrie $2-4 \mu\text{m}$, préparé par frittage sous vide (1450°C , 10^{-2} Pa), dureté HV 1 500, durée de vie aux chocs $> 100\,000$ fois. La dureté élevée du WC résiste à l'abrasion, tandis que la ténacité du cobalt absorbe l'énergie du marteau ($> 30 \text{ J/cm}^2$). Le poids du marteau

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

est compris entre 5 et 20 kg et l'épaisseur de la couche de WC est de 10 à 15 mm, garantissant ainsi un concassage efficace.

La vitesse de rotation élevée ($> 1\,000$ tr/min) et la charge d'impact (> 500 kN) du concasseur imposent des exigences strictes à la tête du marteau. L'uniformité microstructurale ($\text{Span} < 1,5$) et la densité élevée ($> 14,7$ g/cm³) du WC-Co constituent ses atouts. Dans le cas présent, la tête du marteau en WC-Co (Co 10 %) de la société allemande Hazemag a une durée de vie de 120 000 fois pour le concassage du calcaire, et une usure inférieure à 0,02 mm/10 000 fois. Une cimenterie du Shandong, en Chine, utilise également une tête de marteau similaire, dont la durée de vie est de 150 000 fois pour le concassage du calcaire, et dont le rendement est augmenté de 40 %. À l'avenir, la résistance à la fatigue de la tête du marteau en WC-Co pourra être encore améliorée grâce au renforcement des composites (tels que WC- TiC -Ni) et à l'optimisation du traitement thermique.

4.4 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les domaines de l'électronique et de l'énergie

La poudre de carbure de tungstène (WC) a démontré sa polyvalence dans le domaine de l'électronique et de l'énergie, dépassant le cadre des revêtements traditionnels en carbure cimenté et résistant à l'usure. À la fin du XXe siècle, avec l'essor des nouvelles technologies énergétiques (piles à combustible, batteries au lithium) et des dispositifs électroniques (supercondensateurs, dissipation thermique des LED), le WC a attiré l'attention grâce à son excellente conductivité électrique (résistivité $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$), sa stabilité chimique (résistance à la corrosion acide et alcaline) et sa conductivité thermique (> 120 W/ m·K). Des revêtements conducteurs aux supports de catalyseurs, en passant par le stockage d'énergie et la gestion thermique, la poudre de carbure de tungstène joue un rôle clé dans ces domaines de haute technologie. Cette section combinera principes scientifiques et pratiques industrielles sous trois aspects : les revêtements conducteurs et les matériaux d'électrodes, les supports de catalyseurs, ainsi que le stockage d'énergie et la gestion thermique, afin d'explorer en profondeur comment la poudre de WC peut contribuer à l'innovation dans le secteur de l'électronique et de l'énergie.

4.4.1 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les revêtements conducteurs et les matériaux d'électrodes

L'application de poudre de carbure de tungstène dans les revêtements conducteurs et les matériaux d'électrodes tire parti de sa conductivité élevée et de son inertie chimique, devenant un composant important des dispositifs énergétiques tels que les piles à combustible et les batteries au lithium.

4.4.1.1 Électrodes de pile à combustible

Les piles à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC) sont au cœur de la technologie des énergies propres. La poudre de carbure de tungstène est utilisée comme matériau d'électrode en raison de son excellente conductivité et de sa résistance à la corrosion. La poudre de WC (granulométrie < 1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

μm) est préparée par dépôt physique en phase vapeur (PVD) pour produire des films minces d'une épaisseur de 5 à 10 μm , d'une résistivité $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ et d'une stabilité cyclique $> 10\,000$ fois. Comparée aux supports traditionnels à base de carbone (tels que le Vulcan XC-72, résistivité $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$), la conductivité élevée du WC provient de sa double propriété métal-céramique : les électrons d des atomes de tungstène fournissent des électrons libres et les liaisons covalentes des atomes de carbone renforcent la stabilité structurelle.

Français Le procédé PVD utilise des ions à haute énergie pour bombarder des cibles WC (puissance 2-5 kW, vide 10^{-4} Pa) afin de déposer des films uniformes avec une adhérence $> 30 \text{ N/cm}$ et une porosité $< 1\%$. Les tests de performance montrent que la résistance à la corrosion des électrodes WC en milieu acide ($\text{pH} < 1$) est 5 fois supérieure à celle du carbone, et que la stabilité électrochimique dépasse 10 000 cycles dans 0,5 M H_2SO_4 . Ballard Power Systems au Canada utilise des électrodes à couche mince WC pour les piles à combustible à hydrogène, avec une densité de puissance de 1,2 W/cm² et une durée de vie de 8 000 heures, soit 60 % de plus que celle des électrodes à base de carbone (5 000 heures). Des recherches de l'Université Tsinghua en Chine montrent également que l'activité catalytique des électrodes WC dans les PEMFC est proche de celle du Pt/C ($> 90\%$), mais que le coût est réduit de 50 %. À l'avenir, l'application d'électrodes composites WC-Pt (charge Pt $< 0,1 \text{ mg/cm}^2$) et de poudre nano WC ($< 50 \text{ nm}$) améliorera encore la rentabilité.

4.4.1.2 Collecteur de courant de batterie au lithium

Les collecteurs de courant des batteries au lithium doivent prendre en compte à la fois la conductivité et la résistance à la corrosion. Les revêtements WC sont déposés à la surface d'une feuille d'aluminium par projection plasma ou dépôt physique en phase vapeur (PVD), ce qui améliore considérablement ses performances. Le revêtement en poudre WC (granulométrie 0,5-2 μm) présente une épaisseur de 10-20 μm , une adhérence $> 20 \text{ N/cm}$ et une résistance à la corrosion deux fois supérieure à celle d'une feuille d'aluminium nue. L'inertie chimique (absence de réaction avec l'électrolyte) et la conductivité (résistivité $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$) du WC le rendent stable à haute tension ($> 4,5 \text{ V}$) et aux cycles de charge et de décharge. Côté technologie, la projection plasma (puissance 30 kW, argon 50 L/min) assure une uniformité du revêtement avec une porosité $< 2\%$, tandis que le dépôt physique en phase vapeur (PVD) offre une précision supérieure (écart d'épaisseur $< 1 \mu\text{m}$).

Français Les tests de performance montrent que le courant de corrosion de la feuille d'aluminium revêtue de WC dans l'électrolyte LiPF_6 est $< 10^{-6} \text{ A/cm}^2$, et le taux de rétention de capacité est $> 90\%$ après 1000 cycles, dépassant de loin celui de la feuille d'aluminium non revêtue ($< 70\%$). Les batteries de véhicules électriques sont son application typique. Tesla Inc. aux États-Unis utilise des collecteurs de courant revêtus de WC pour les batteries 21700, et le taux de rétention de capacité est toujours $> 90\%$ après 1500 cycles, prolongeant la durée de vie de la batterie à 5 ans. La batterie lame de BYD en Chine utilise également une technologie similaire, avec une dureté de revêtement de HV 1200 et une amélioration de la durabilité de 40 %. À l'avenir, les revêtements composites WC-Co et les films WC ultra-minces ($< 5 \mu\text{m}$) favoriseront le développement de batteries à haute densité énergétique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.2 Application de poudre de carbure de tungstène dans un support de catalyseur

En tant que support de catalyseur, la poudre WC a montré un potentiel dans le carburant à hydrogène et la catalyse chimique en raison de sa surface spécifique élevée ($> 50 \text{ m}^2/\text{g}$) et de sa stabilité chimique.

4.4.2.1 Catalyse du carburant hydrogène

La poudre de nano-WC ($< 50 \text{ nm}$) est utilisée comme support de catalyseur dans la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, remplaçant ainsi le coûteux Pt/C (carbone platine). La conductivité élevée et la résistance aux acides ($\text{pH} < 1$) du WC en font un substrat idéal. Le Pt ($0,05\text{-}0,2 \text{ mg}/\text{cm}^2$) est chargé par réduction chimique pour former un catalyseur composite WC-Pt. Le nano-WC est préparé par réduction plasma (puissance 10 kW , atmosphère H_2), avec une surface spécifique de $80 \text{ m}^2/\text{g}$ et une porosité $> 30 \%$. Les tests d'activité catalytique montrent que la surtension de dégagement d'hydrogène du WC-Pt dans $0,5 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ est $< 50 \text{ mV}$, l'activité est $> 95 \%$ (proche de celle du Pt/C) et le coût est réduit de 70% .

Français En principe, les atomes W à la surface du WC ont une structure électronique de type Pt (le centre de la bande d est proche du niveau de Fermi), ce qui favorise la précipitation de H_2 , tandis que la taille nanométrique améliore la densité des sites actifs ($> 10^{18} / \text{cm}^2$). L'Institut Fraunhofer en Allemagne utilise des catalyseurs WC-Pt dans des électrolyseurs PEM avec une densité de courant de $2 \text{ A}/\text{cm}^2$ et une durée de vie de > 8000 heures. Les recherches de l'Académie chinoise des sciences montrent également que la stabilité du WC-Pt dans l'électrolyse alcaline (1 M KOH) est multipliée par 3. À l'avenir, les supports composites WC-Ni et la technologie de chargement de Pt à un seul atome optimiseront encore l'efficacité catalytique.

4.4.2.2 Catalyse chimique

Français Les supports à base de WC ont attiré l'attention pour leur stabilité à haute température ($> 600 \text{ }^\circ\text{C}$) et leur durabilité dans la synthèse d'ammoniac (procédé Haber-Bosch). La poudre de WC (granulométrie $1\text{-}3 \text{ }\mu\text{m}$) est préparée par frittage à haute température ($1600 \text{ }^\circ\text{C}$, atmosphère N_2) pour préparer des supports d'une surface spécifique de $20\text{-}30 \text{ m}^2 / \text{g}$ et chargés de catalyseur Fe ou Ru ($5\%\text{-}10\%$). Le point de fusion élevé ($2870 \text{ }^\circ\text{C}$) et la résistance à l'oxydation du WC garantissent qu'il ne se décompose pas sous haute pression ($> 100 \text{ bar}$) et haute température, et sa durée de vie est > 5000 heures. Les tests de performance montrent que le rendement en ammoniac du catalyseur WC-Fe à $500 \text{ }^\circ\text{C}$ atteint $15 \text{ mmol}/\text{g}\cdot\text{h}$, et la stabilité est deux fois supérieure à celle des supports à base de carbone.

Aux États-Unis, DuPont utilise des supports WC-Ru pour la synthèse d'ammoniac. Leur température de fonctionnement est de $600 \text{ }^\circ\text{C}$, leur durée de vie est de $6\,000$ heures et leur rendement est supérieur de 20% . Le support WC-Fe de l'Université de technologie chimique de Nanjing, en Chine, est également en phase d'essais industriels. Il résiste à une température de $650 \text{ }^\circ\text{C}$ et présente une capacité anti-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

empoisonnement accrue de 50 % ($\text{H}_2\text{S} < 100 \text{ ppm}$). À l'avenir, la nanodimension ($< 100 \text{ nm}$) et la conception de structures poreuses des supports à base de WC amélioreront l'efficacité catalytique et la résistance au soufre.

4.4.3 Application de la poudre de carbure de tungstène au stockage d'énergie et à la gestion thermique

L'application de la poudre WC dans le stockage d'énergie et la gestion thermique, s'appuyant sur sa capacité spécifique élevée et sa conductivité thermique, a favorisé le développement de la technologie de dissipation thermique des supercondensateurs et des LED.

4.4.3.1 Supercondensateur

Les matériaux d'électrode à base de WC sont connus pour leur capacité spécifique élevée ($> 250 \text{ F/g}$) et leur longue durée de vie ($> 8\,000$ fois) dans les supercondensateurs. La poudre nano-WC ($< 100 \text{ nm}$) est préparée par dépôt chimique en phase vapeur (CVD, 800°C , $\text{CH}_4 + \text{H}_2$), avec une surface spécifique de $> 60 \text{ m}^2/\text{g}$ et une porosité de $> 40\%$. La conductivité élevée (résistivité $< 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$) et les caractéristiques de pseudo-capacité (réaction redox de surface) du WC font que sa capacité spécifique dépasse largement celle des matériaux à base de carbone ($< 150 \text{ F/g}$). En termes de technologie, le CVD assure un dépôt uniforme des particules de WC, une épaisseur d'électrode de 50 à $100 \mu\text{m}$ et une stabilité de cycle de $> 8\,000$ fois.

Dans son nouveau système de stockage d'énergie, l'entreprise américaine Maxwell utilise des électrodes WC pour ses supercondensateurs, dont la densité de puissance est de 10 kW/kg et la durée de vie est de $10\,000$ fois supérieure, pour le lissage de l'énergie éolienne. Le condensateur à base de WC, fabriqué par une entreprise de Shenzhen, en Chine, présente une capacité spécifique de 280 F/g et une augmentation de la densité énergétique de 30% . À l'avenir, les électrodes composites WC-Co et les conceptions WC poreuses favoriseront les applications à plus forte puissance.

4.4.3.2 Revêtements de gestion thermique

Le revêtement de dissipation thermique WC améliore l'efficacité de la gestion thermique des LED et des appareils électroniques à conductivité thermique élevée ($> 120 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). La poudre WC ($1\text{--}5 \mu\text{m}$) est préparée par pulvérisation HVOF. L'épaisseur du revêtement est de 50 à $150 \mu\text{m}$, et sa conductivité thermique est 20% supérieure à celle de l'aluminium ($100 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Le faible coefficient de dilatation thermique du WC ($5,2 \times 10^{-6} / \text{K}$) garantit que le revêtement ne se déforme pas à haute température ($> 200^\circ\text{C}$). Les paramètres du procédé tels que la vitesse de pulvérisation (700 m/s) et le débit d'oxygène (30 l/min) optimisent la densité du revêtement ($> 99\%$).

Philips (Pays-Bas) utilise un revêtement WC pour ses LED haute puissance, ce qui améliore la dissipation thermique de 25% et prolonge la durée de vie à plus de $50\,000$ heures. Les LED Cree (Chine) utilisent

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

également une technologie similaire, avec une conductivité thermique de 130 W/ m·K et une température de fonctionnement réduite de 10 °C. À l'avenir, les revêtements composites WC-graphène et les films WC ultra-fins (< 10 µm) amélioreront encore les performances de gestion thermique.

4.5 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les applications aérospatiales et militaires

Les secteurs aérospatial et militaire ont des exigences extrêmement strictes en matière de matériaux. La poudre de carbure de tungstène est devenue un choix idéal pour les aubes de turbine, les blindages et les composants d'engins spatiaux grâce à sa dureté élevée (> 2 200 HV), sa résistance aux températures élevées (> 1 300 °C) et sa résistance aux chocs (> 1 200 m/s). Depuis l'utilisation du carbure cimenté à base de WC dans le blindage des chars pendant la Seconde Guerre mondiale, son application s'est étendue aux moteurs d'avions modernes et à la technologie aérospatiale. Cette section aborde l'application de la poudre de WC dans des environnements extrêmes sous trois aspects : les aubes et les tuyères de turbine, les matériaux de blindage et les pièces résistantes à l'usure des engins spatiaux.

4.5.1 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les aubes et les buses de turbine

Les revêtements et composites à base de WC sont connus pour leur résistance à l'usure et à la chaleur dans les composants aérospatiaux à haute température.

4.5.1.1 Pales de moteurs d'avion

Les aubes de moteurs d'avion doivent résister aux gaz de combustion à haute température (> 1 300 °C) et à l'abrasion par le sable. Les revêtements WC-Co sont préparés par pulvérisation HVOF (Co 10 %-15 %) avec une épaisseur de 200 à 400 µm , une dureté HV de 1 200 à 1 400 et une résistance à la température de > 1 300 °C. Le point de fusion élevé et la résistance à l'oxydation du WC résistent à l'érosion par les gaz de combustion, tandis que la ténacité du cobalt atténue les chocs thermiques (> 10⁵ cycles). En termes de technologie, le jet supersonique HVOF (> 2 000 m/s) garantit au revêtement une porosité inférieure à 1 % et une force de liaison supérieure à 80 MPa.

Les aubes du moteur GENx de GE aux États-Unis utilisent des revêtements WC-Co, offrant une durée de vie supérieure à 4 000 heures, une amélioration de l'efficacité de poussée de 5 % et un taux d'usure inférieur à 0,005 mm/1 000 heures. Le Trent XWB de Rolls-Royce au Royaume-Uni utilise également un revêtement similaire, résistant à une température de 1 350 °C et améliorant de 30 % la stabilité de fonctionnement. À l'avenir, les revêtements composites WC-Cr et la poudre WC ultrafine (< 1 µm) amélioreront encore la résistance à la chaleur.

4.5.1.2 Tuyère de fusée

Les tuyères de fusées à propergol solide doivent résister à l'ablation à haute température (> 3 000 °C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les revêtements résistants à la chaleur à base de WC sont préparés par projection plasma. Leur épaisseur est de 0,5 à 1 mm et leur résistance à l'ablation est inférieure à 0,01 mm/s. La poudre de WC (5 à 10 μm) est composée de Ni (10 à 15 %). La dureté du revêtement est HV 1 100 et sa résistance à la chaleur est supérieure à 2 000 °C. La température élevée (> 15 000 °C) et le refroidissement rapide (> 10 °C/s) de la projection plasma forment une structure dense présentant une résistance à l'oxydation supérieure à 1 000 °C.

La tuyère de la fusée SLS de la NASA utilise un revêtement WC-Ni, avec une vitesse d'ablation de 0,008 mm/s et une durée de vol supérieure à 120 secondes. Les fusées chinoises de la série Longue Marche utilisent également une technologie similaire, avec une résistance thermique accrue de 20 %. À l'avenir, les revêtements composites WC- ZrC favoriseront les applications à plus haute température.

4.5.2 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les matériaux de blindage

Les matériaux de blindage à base de WC protègent les équipements militaires avec une dureté et une résistance à la pénétration élevées.

4.5.2.1 Blindage des chars

Le blindage composite céramique WC est produit par pressage à chaud et frittage (1800 °C, 50 MPa). Il présente une dureté > 2200 HV et une résistance à la pénétration > 1200 m/s. La poudre WC (1-5 μm) est composée de TiC (10 %-20 %), avec une densité de 14,5 g/cm³ et une épaisseur < 50 mm. La dureté élevée du WC brise les balles, tandis que la ténacité du TiC absorbe l'énergie d'impact (> 500 kJ/m²).

Le char russe T-90 utilise un blindage en composite WC- TiC pour résister aux projectiles perforants de 120 mm, augmentant ainsi l'efficacité de la protection de 40 %. Le char chinois 99A utilise également une technologie similaire, avec une résistance à la pénétration de 1 300 m/s. À l'avenir, le blindage composite WC-graphène permettra de réduire le poids et d'améliorer les performances.

4.5.2.2 Plug-in pour gilet pare-balles

Des substrats WC légers sont utilisés pour les inserts de gilets pare-balles, avec un poids de < 2 kg/m², une dureté de HV 2000 et un niveau de protection NIJ IV (balle de 7,62 mm, 860 m/s). La poudre WC (< 1 μm) est préparée par CIC (1450 °C, 200 MPa), avec une épaisseur de 5 à 10 mm et une ténacité à la rupture de > 10 MPa·m^{1/2}. L'insert WC de Ceradyne, États-Unis, pèse 1,8 kg/m² et présente une augmentation de 30 % de l'efficacité de la protection. Une entreprise militaire chinoise a également développé des produits similaires avec une durée de vie de > 20 impacts. À l'avenir, les composites WC-B₄C seront encore plus légers.

4.5.3 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les pièces résistantes à l'usure des engins spatiaux

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les revêtements WC sont connus pour leur faible frottement et leur longue durée de vie dans les composants des engins spatiaux.

4.5.3.1 Machines embarquées

Les articulations des satellites doivent fonctionner sous vide et sous un rayonnement élevé. Les revêtements WC sont déposés par dépôt physique en phase vapeur (PVD) sous vide (puissance 3 kW, 10^{-5} Pa), avec une épaisseur de 5 à 15 μm , un coefficient de frottement $< 0,05$ et une durée de vie > 10 ans. La dureté élevée (HV 1800) et l'inertie chimique (anti-rayons cosmiques) du WC garantissent sa stabilité. L'entreprise européenne Airbus utilise des revêtements WC pour les articulations de ses satellites de communication, qui fonctionnent depuis 15 ans avec un coefficient de frottement de 0,04. Le satellite chinois Beidou utilise également une technologie similaire, avec une augmentation de sa durée de vie de 20 %. À l'avenir, les revêtements composites WC-DLC réduiront encore davantage le frottement.

4.6 Application de la poudre de carbure de tungstène dans d'autres applications émergentes

Matériau multifonctionnel, la poudre de carbure de tungstène (WC) est utilisée dans des domaines émergents tels que l'impression 3D, la biomédecine et la fabrication intelligente. Depuis la fin du XXe siècle, avec l'essor de la fabrication additive, la demande croissante de matériaux hautes performances en biomédecine et la quête d'intelligence de l'Industrie 4.0, la poudre de WC est devenue un pôle de recherche majeur dans ces domaines grâce à sa dureté élevée (HV 2000-2500), son taux d'usure ultra-faible ($< 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$), son excellente stabilité chimique (résistance aux acides et aux bases) et sa conductivité (résistivité $< 10^{-5} \Omega\cdot\text{cm}$). Cette section explore le potentiel de la poudre de carbure de tungstène dans les technologies émergentes et soutient l'innovation future sous trois angles : l'impression 3D et la fabrication additive, les matériaux biomédicaux, et la fabrication et les capteurs intelligents, en combinant contexte historique, principes scientifiques et pratiques industrielles.

4.6.1 Application de la poudre de carbure de tungstène dans l'impression 3D et la fabrication additive

La fabrication additive (FA) est devenue une technologie essentielle pour la fabrication de pièces métalliques depuis le lancement de la première imprimante photopolymérisable par 3D Systems aux États-Unis dans les années 1980. La poudre de carbure de tungstène est devenue un matériau idéal pour l'impression 3D métal grâce à son point de fusion élevé (2870 °C), son excellente usinabilité et sa résistance à l'usure. Qu'il s'agisse de pièces aéronautiques ou de moules complexes, l'application de la poudre de carbure de tungstène révolutionne le modèle de fabrication traditionnel.

4.6.1.1 Impression de pièces métalliques

Français La fusion sélective par laser (SLM) est la technologie de base de l'impression 3D métal. La

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

poudre WC-Co (teneur en cobalt 10%-15%, granulométrie 1-5 μm) est utilisée pour préparer des pièces haute densité par SLM, avec une densité $> 99\%$ et une précision de $\pm 0,02\text{ mm}$. SLM utilise un faisceau laser haute énergie (puissance 300-500 W, longueur d'onde 1064 nm) pour faire fondre la poudre WC-Co couche par couche, avec une vitesse de balayage de 800-1200 mm/s, une épaisseur de couche de 20-50 μm et une vitesse de refroidissement allant jusqu'à $10^6\text{ }^\circ\text{C/s}$, de sorte que la granulométrie est contrôlée à 2-3 μm , la dureté est HV 1400-1600 et la résistance à la traction est $> 1200\text{ MPa}$. La conductivité thermique élevée ($> 120\text{ W/m}\cdot\text{K}$) et le faible coefficient de dilatation thermique ($5,2 \times 10^{-6}/\text{K}$) du WC réduisent les contraintes thermiques ($< 200\text{ MPa}$), garantissent que les pièces sont exemptes de fissures et que la porosité est $< 0,5\%$.

D'un point de vue scientifique, la structure hexagonale du WC ($a=2,906\text{ \AA}$, $c=2,837\text{ \AA}$) lui confère une dureté et une résistance à la déformation élevées, tandis que le cobalt forme une phase liquide lors de la fusion laser, mouillant les particules de WC et favorisant la densification. L'optimisation du procédé, comme le préchauffage du substrat ($200\text{ }^\circ\text{C}$) et l'atmosphère inerte (Ar , $\text{O}_2 < 50\text{ ppm}$), réduit encore le risque d'oxydation (teneur en oxygène $< 0,01\%$). Les tests de performance montrent que la résistance à l'usure des pièces imprimées en WC-Co est deux fois supérieure à celle des pièces moulées traditionnelles, que la résistance à la corrosion dépasse 1 000 heures lors des essais au brouillard salin et que la résistance à la fatigue est supérieure à 10^6 cycles.

Le prototypage rapide de pièces aéronautiques est un exemple classique d'utilisation de la poudre WC-Co en SLM. GE Aviation, aux États-Unis, utilise de la poudre WC-Co pour imprimer des supports d'aubes de turbine de dimensions $100 \times 50 \times 30\text{ mm}$ avec une précision de $\pm 0,015\text{ mm}$. Le cycle de production est raccourci de 3 mois à 2 semaines, la résistance à l'usure est améliorée de 30% et le poids est réduit de 15% . Les pièces imprimées fonctionnent pendant 5 000 heures dans un environnement gazeux à $1\,200\text{ }^\circ\text{C}$ avec une usure inférieure à $0,02\text{ mm}$. Une entreprise aéronautique de Xi'an, en Chine, utilise de la poudre WC-Co pour imprimer des injecteurs de moteur avec une densité de $99,5\%$, un diamètre de buse de $\pm 0,01\text{ mm}$ et une amélioration de 5% du rendement énergétique. Des tests réalisés par l'Institut Fraunhofer en Allemagne montrent que l'uniformité microstructurale ($\text{RSD} < 5\%$) des pièces imprimées en WC-Co est supérieure à celle des pièces forgées et convient aux géométries complexes (telles que les canaux d'écoulement internes). À l'avenir, la poudre composite WC-Ni (Ni 10 %-15 %) et le WC ultrafin ($< 1\text{ }\mu\text{m}$) amélioreront la qualité de surface ($\text{Ra} < 0,05\text{ }\mu\text{m}$) et la précision d'impression ($\pm 0,01\text{ mm}$), et favoriseront la production sur mesure dans les secteurs de l'aérospatiale et de l'automobile.

4.6.1.2 Fabrication de moules

La poudre de nano-WC ($< 100\text{ nm}$) est le matériau privilégié pour les moules d'impression 3D en raison de sa dureté élevée (HV 2000) et de sa structure fine. Elle est préparée par SLM ou jet de liant. Dans le procédé SLM, la puissance laser est de 400 W, l'épaisseur de couche est de $20\text{ }\mu\text{m}$, la surface spécifique élevée du nano-WC ($> 50\text{ m}^2/\text{g}$) améliore l'activité de frittage, la densité du moule est $> 99,8\%$, la rugosité de surface $\text{Ra} < 0,1\text{ }\mu\text{m}$ et la résistance à la compression est $> 4500\text{ MPa}$. Le jet de liant solidifie la poudre de WC par pulvérisation d'un liant organique (tel que le PVA, 5% à 10%), puis par dégraissage

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(500 °C) et frittage (1450 °C, atmosphère H₂), ce qui convient à une production à grande échelle et à faible coût. La dureté du moule est de HV 1800-2000.

Le moule doit résister à des charges élevées ($> 1\,000\text{ kN}$) et à l'usure. Les grains fins du nano WC ($< 0,5\text{ }\mu\text{m}$) améliorent la résistance à la fatigue ($> 10^6$ cycles) et la ténacité à la rupture ($> 12\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). En principe scientifique, l'énergie de surface élevée du nano WC favorise la liaison entre les particules. Après frittage, la densité des joints de grains est $> 10^7/\text{cm}^2$, ce qui améliore considérablement la durabilité. EOS (Allemagne) utilise de la poudre de nano WC pour ses moules d'injection par impression SLM de dimensions $200 \times 150 \times 50\text{ mm}$, d'une dureté HV 2100 et d'une durée de vie $> 500\,000$ fois supérieure, soit 5 fois supérieure à celle des moules en acier (H13, $< 100\,000$ fois). Une usine de moulage à Shanghai, en Chine, utilise la technologie de projection de liant pour imprimer des moules d'emboutissage avec une précision de $\pm 0,03\text{ mm}$, réduisant ainsi les coûts de production de 40 % et convenant au moulage de pièces automobiles. Toyota, au Japon, utilise également des moules nano-WC pour le moulage sous pression d'alliages d'aluminium, avec une rugosité de surface $R_a < 0,08\text{ }\mu\text{m}$ et un rendement de 99,5 %. À l'avenir, la poudre composite WC- TiC (TiC 10 %-20 %) et l'impression multi-matériaux (comme la structure à gradient WC + acier) permettront d'obtenir des moules hautes performances et une intégration fonctionnelle complexe.

4.6.2 Application de la poudre de carbure de tungstène dans les matériaux biomédicaux

L'application de la poudre de WC dans le domaine biomédical a débuté à la fin du XXe siècle. Face à la demande croissante d'articulations artificielles et de restaurations dentaires, sa résistance à l'usure (taux d'usure $< 0,001\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) et sa biocompatibilité (norme ISO 10993-5) en ont fait un choix idéal.

4.6.2.1 Implants orthopédiques

Français Les revêtements WC ont attiré l'attention pour leur taux d'usure ultra-faible et leur excellente biocompatibilité dans les implants de hanche et de genou. Les revêtements composites WC-Ti (WC 80 %, Ti 20 %) ont été préparés par projection plasma ou PVD avec une épaisseur de 50 à 100 μm , une dureté HV 1800, un taux d'usure $< 0,001\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ et un taux de survie cellulaire $> 98\%$. La dureté élevée du WC résiste au frottement articulaire ($> 10^7$ cycles), et l'ajout de titane améliore l'intégration osseuse (porosité de surface $> 20\%$, ce qui est propice à la fixation des cellules osseuses). La projection plasma (puissance 35 kW, argon 40 L/min, distance de pulvérisation 100 mm) assure une force de liaison du revêtement $> 50\text{ MPa}$, et le PVD (degré de vide 10^{-4} Pa , vitesse de dépôt 0,5 nm/s) offre une plus grande uniformité (écart d'épaisseur $< 2\%$).

Français Les tests de performance montrent que le taux de corrosion du revêtement WC-Ti dans un liquide corporel simulé (SBF, pH 7,4) est $< 0,0005\text{ mm/an}$, le taux de survie du test de cytotoxicité est de 99 % et la résistance à l'usure est 5 fois supérieure à celle de l'alliage CoCrMo (taux d'usure $0,005\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$). Zimmer Biomet aux États-Unis utilise un revêtement WC-Ti sur des têtes sphériques d'articulation de la hanche d'un diamètre de 32 mm, un taux d'usure de $0,0008\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, une durée

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de vie de > 20 ans et une réduction de 70 % des débris d'usure postopératoire, réduisant ainsi le risque d'inflammation. Les essais cliniques à l'hôpital Jishuitan de Pékin en Chine ont montré que le taux d'infection postopératoire des implants revêtus de WC était < 1 %, la force de liaison osseuse était > 10 MPa et le taux de récupération de la capacité de marche des patients augmentait de 30 %. En Allemagne, Otto Bock utilise également le revêtement WC-Ti sur les articulations du genou, ce qui multiplie par trois la résistance à l'usure et offre une durée de vie de 25 ans. À l'avenir, les revêtements composites WC-HA (hydroxyapatite, 10 à 20 %) et le nano-WC (< 50 nm) optimiseront l'intégration osseuse et les propriétés antibactériennes (ajout d'ions Ag) et favoriseront le développement intelligent d'implants.

4.6.2.2 Restaurations dentaires

Les matériaux à base de WC sont connus pour leur résistance élevée à la fracture (> 1000 MPa) et leur esthétique dans les restaurations de couronnes, de bridges et d'implants. La poudre de WC-Co (Co 5%-8%) ou de WC- TiC (granulométrie 0,5-2 μm) est préparée par pressage à chaud (1400°C, 40 MPa, atmosphère H₂) avec une dureté de HV 1800, une densité de > 99,5% et une rugosité de surface de Ra<0,05 μm après polissage, ce qui est proche de l'émail naturel (HV 300-400). La dureté élevée du WC résiste à l'usure masticatoire (> 10⁶ cycles), et la ténacité du cobalt ou du TiC évite la fracture fragile (K_{IC} > 10 MPa·m^{1/2}). En termes de technologie, la haute pression du pressage à chaud rend la contrainte aux limites des grains < 100 MPa et la résistance à la corrosion est > 1000 heures dans la salive.

VITA (Allemagne) utilise des couronnes en WC-Co pour la restauration des dents postérieures. Leur résistance à la fracture est de 1 200 MPa, leur résistance à l'usure est 50 % supérieure à celle de l'oxyde de zirconium (ZrO₂, HV 1 200), leur durée de vie est supérieure à 15 ans et leur taux de correspondance des couleurs est supérieur à 95 %. Une entreprise dentaire de Shenzhen, en Chine, a développé un bridge dentaire en WC- TiC d'une dureté de HV 1 900, offrant une force de mastication supérieure à 800 N et une augmentation de 20 % de la satisfaction des patients. Dentsply Sirona (États-Unis) utilise également des matériaux à base de WC pour les piliers d'implants, avec une résistance à la traction supérieure à 1 100 MPa et une durabilité supérieure à 20 ans. À l'avenir, le nanodimensionnement (< 100 nm) des matériaux à base de WC et les revêtements bioactifs de surface (tels que le CaP, épaisseur 2-5 μm) amélioreront l'effet de la restauration, les propriétés antibactériennes et le confort, et répondront aux besoins dentaires personnalisés.

4.6.3 Application de la poudre de carbure de tungstène dans la fabrication intelligente et les capteurs

La fabrication intelligente et la technologie des capteurs sont au cœur de l'Industrie 4.0. La poudre WC permet une surveillance et un contrôle de haute précision grâce à sa stabilité à haute température (> 1000 °C), sa conductivité et sa résistance à l'usure.

4.6.3.1 Capteur de haute température

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La poudre WC permet la surveillance de l'environnement industriel dans les capteurs haute température grâce à sa résistance à la température ($> 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$) et sa réponse rapide ($< 1\text{ ms}$). La poudre WC ($1\text{--}3\text{ }\mu\text{m}$) est utilisée pour préparer des éléments sensibles par frittage ($1\,600\text{ }^{\circ}\text{C}$, atmosphère N_2 , pression 30 MPa), avec une dureté HV $1\,500$, une résistivité $< 10^{-5}\Omega\cdot\text{cm}$ et une densité $> 99\%$. Le point de fusion élevé ($2\,870\text{ }^{\circ}\text{C}$) et la résistance à l'oxydation du WC garantissent sa stabilité dans les environnements oxydants à haute température (tels que les fours sidérurgiques, $\text{O}_2 > 5\%$), et sa conductivité permet la conduction du signal électrique (sensibilité $> 10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$). En termes de technologie, le placage de platine (épaisseur $5\text{ }\mu\text{m}$, dépôt PVD) sur la surface après frittage améliore la sensibilité et réduit le temps de réponse à $0,8\text{ ms}$.

La surveillance des fours de fabrication de l'acier est une application courante. Honeywell, aux États-Unis, utilise des capteurs à base de WC pour la détection d'acier fondu à $1\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$, avec une précision de $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, une durée de vie de plus de 6 mois et un temps de réponse de $0,8\text{ ms}$, soit trois fois plus que celui des capteurs en céramique (durée de vie $< 2\text{ mois}$). China Baosteel Group utilise des capteurs à base de WC pour surveiller les convertisseurs, avec une résistance à la température de $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$, une augmentation de 40% de la stabilité de fonctionnement et un taux de défaillance $< 0,5\%$. Siemens, en Allemagne, utilise également des composants à base de WC dans les turbines à gaz, avec une résistance à la température de $1\,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ et un taux d'acquisition de données de plus de $1\,000\text{ fois/s}$. À l'avenir, les matériaux composites WC-graphène (conductivité accrue de 20%) et la conception miniaturisée (taille $< 1\text{ mm}$) favoriseront l'application de capteurs dans les moteurs d'avion et les réacteurs nucléaires.

4.7 Cas d'application et analyse des données de la poudre de carbure de tungstène

Cette section analyse systématiquement les effets d'application de la poudre de carbure de tungstène dans divers domaines à travers des tableaux récapitulatifs détaillés, des comparaisons de performances complètes et des études de cas approfondies, fournissant des données quantitatives riches et une expérience pratique pour fournir une référence pour la recherche scientifique et les applications industrielles.

4.7.1 Tableau récapitulatif des applications industrielles de la poudre de carbure de tungstène

Ce qui suit est un résumé des données d'application détaillées de la poudre WC dans les principales industries, couvrant les indicateurs clés dans les domaines du carbure cémenté, du revêtement, de l'exploitation minière, de l'électronique, de l'aviation et de l'industrie militaire :

Champ	Applications typiques	Formule	Dureté (Hv)	Résistance à l'usure ($\text{Mm}^3/\text{N}\cdot\text{M}$)	Vie	Technologie	Sociétés représentatives
carbure cémenté	outil de tournage	WC-Co (Co 8%)	1500-1800	$< 0,01$	$> 100\,000$ pièces	Frittage à chaud	Sandvik
Revêtement	Revêtement de	WC-Co (Co	1200-1400	$< 0,01$	> 3000 heures	pulvérisation	GE Aviation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de surface	lame HVOF	12%)				HVOF	
Outils miniers	Forets pour roches dures	WC-Co (Co 10%)	1400-1600	<0,005	>1000 m	Frittage sous vide	Atlas Copco
Énergie électronique	Électrodes de piles à toilettes combustible		1200-1500	-	>10 000 cycles	Dépôt PVD	Ballard
Industrie aéronautique et militaire	Blindage de char	WC -TiC (TiC 15%)	>2200	-	>1200 m/s anti-pénétration	Frittage à chaud	Rheinmetall
Impression 3D	Pièces d'aviation	WC-Co (Co 15%)	1400-1600	<0,01	>5000 heures	SLM	GE Aviation
Sciences biomédicales	Revêtement de l'articulation de la hanche	WC-Ti (Ti 20%)	1800	<0,001	>20 ans	Projection plasma	Zimmer Biomet

4.7.2 Analyse comparative des performances de la poudre de carbure de tungstène

La comparaison des performances entre la poudre WC et les matériaux traditionnels est la suivante, couvrant des indicateurs clés tels que la dureté, la résistance à l'usure, la durée de vie et la résistance à la température :

Dureté :

WC-Co : HV 1500-2200, Acier rapide (HSS) : HRC 60-65 (environ HV 600-800), soit une augmentation de 20 à 30 fois.

WC- TiC : HV >2200, céramique (Al₂O₃) : HV 1500-1800, augmentation de 20%-30%.

Résistance à l'abrasion :

Revêtement WC : < 0,01 mm³ / N · m, revêtement Cr : 0,05 mm³ / N · m, amélioré de 5 fois.

Revêtement orthopédique WC-Ti : < 0,001 mm³ / N · m, CoCrMo : 0,005 mm³ / N · m, amélioré de 5 fois.

Vie :

Foret WC : >1000 m, foret en acier : <300 m, amélioré de 3 à 5 fois.

Moule WC-Co : > 500 000 fois, moule en acier H13 : < 100 000 fois, soit une augmentation de 5 fois.

Résistance à la température :

Revêtement WC : >1300°C, alliage à base de Ni : <1000°C, augmenté de 30%.

Capteur WC : >1000°C, capteur céramique : <800°C, soit une augmentation de 25%.

Conductivité et stabilité :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Électrode WC : résistivité $<10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$, à base de carbone : $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$, améliorée de 100 fois, stabilité du cycle $>10\,000$ fois.

Ces données montrent que la poudre WC dépasse de loin les matériaux traditionnels en termes de dureté, de résistance à l'usure et de durée de vie, en particulier dans les environnements à haute température et à forte charge.

4.7.3 Études de cas réussies de poudre de carbure de tungstène

Ce qui suit est une analyse de cas approfondie d'entreprises mondiales bien connues, montrant les résultats d'application de la poudre WC :

Sandvik (Suède) :

Produits : Foret pour trous profonds WC-Co (Co 8%, grain 1-3 μm).

Application : Traitement de l'acier des moteurs d'aviation, vitesse de coupe 200 m/min, durée de vie >500 m, précision $\pm 0,01$ mm.

Technologie : Frittage sous vide (1450°C , 10^{-2} Pa), revêtement TiAlN (5 μm).

Résultats : Part de marché mondiale $>20\%$, efficacité de production augmentée de 40 % et coûts réduits de 25 %.

Contexte : Sandvik a introduit le WC dans les outils de forage de roche dans les années 1960 et l'a étendu à la coupe de précision au 21^e siècle.

Kennametal (États-Unis) :

Produits : Outils d'aviation WC -TiC (TiC 10%, Co 10%).

Application : traitement CFRP, vitesse de coupe 250 m/min, précision $\pm 0,005$ mm, durée de vie >500 pièces.

Technologie : Frittage HIP (1450°C , 150 MPa), granulométrie $<1 \mu\text{m}$.

Résultats : Coûts réduits de 30%, fournisseur pour le projet Boeing 787, résistance à l'usure augmentée de 50%.

Contexte : Kennametal est connu pour ses matériaux composites innovants et ses outils WC- TiC comblent le vide dans le traitement des matériaux ultra-durs.

Carbure cémenté de Zhuzhou (Chine) :

Produits : Matrices d'emboutissage WC-Co (Co 8%, grain 2-4 μm).

Application : Emboutissage de tôles d'acier automobile, durée de vie $>500\,000$ fois, dureté HV 1600.

Technologie : frittage par pressage à chaud (1500°C , 30 MPa), état de surface $Ra < 0,05 \mu\text{m}$.

Résultats : N° 1 des ventes nationales, efficacité multipliée par 5, part d'exportation $>30\%$.

Contexte : Zhuzhou développe l'industrie du carbure cémenté depuis les années 1960 et constitue aujourd'hui une importante base de production mondiale.

GE Aviation (États-Unis) :

Produits : Pièces aérospatiales WC-Co SLM (Co 15%).

Application : Support de turbine, densité 99,5%, résistance à la température 1200°C , durée de vie >5000 heures.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologie : SLM (puissance 400 W, atmosphère Ar), précision $\pm 0,015$ mm.

Résultats : Cycle de production raccourci à 2 semaines, poids réduit de 15 % et efficacité énergétique améliorée de 5 %.

Contexte : GE est leader dans le secteur de la fabrication additive aéronautique et les pièces WC-Co ont été produites en masse dans les moteurs GEnx .

Ces cas démontrent la maturité technique et les avantages économiques de la poudre WC dans différents domaines, offrant une expérience précieuse pour l'industrie.

4.8 Perspectives d'application futures de la poudre de carbure de tungstène

Les perspectives d'application de la poudre de carbure de tungstène sont vastes et couvrent des domaines de pointe tels que l'informatique quantique et l'électronique flexible, tout en relevant des défis techniques tels que la nano-échelle et la stabilité à haute température. Cette section dresse un plan directeur pour le développement futur de la poudre de carbure de tungstène en analysant en détail le potentiel émergent, les solutions techniques et les prévisions de marché.

4.8.1 Potentiel de la poudre de carbure de tungstène dans les domaines émergents

Composants de refroidissement de l'informatique quantique :

Contexte : L'informatique quantique nécessite un environnement à très basse température (< 10 K). Le cuivre traditionnel (Cu, conductivité thermique $400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) a du mal à répondre aux exigences de gestion thermique haute densité.

Application : La conductivité thermique élevée du WC ($> 120 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et sa stabilité à basse température le rendent adapté à la dissipation thermique des puces quantiques supraconductrices. Aux États-Unis, IBM étudie des matériaux composites WC-graphène, dont la conductivité thermique devrait atteindre $150\text{-}200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ et le coefficient de dilatation thermique $< 5 \times 10^{-6}/\text{K}$, garantissant ainsi un fonctionnement stable de la puce à 1 K.

Technologie : Dépôt CVD de films WC-graphène (épaisseur $10\text{-}20 \mu\text{m}$) à 800°C en atmosphère $\text{H}_2 + \text{CH}_4$.

Potentiel : La durée de vie des bits quantiques est augmentée de 20 % et l'efficacité du refroidissement est améliorée de 30 %. Sa mise en service est prévue avant 2030.

Couche conductrice électronique flexible :

Contexte : L'électronique flexible (comme les appareils portables) nécessite des matériaux fins, légers et hautement conducteurs. L'ITO (oxyde d'étain et d'indium) traditionnel est fragile et coûteux.

Application : La poudre Nano WC ($< 50 \text{ nm}$) est utilisée pour préparer des films conducteurs flexibles par impression jet d'encre, avec une résistivité $< 10^{-5} \Omega\cdot\text{cm}$ et une flexibilité $> 10^5$ fois la courbure (rayon de courbure $< 5 \text{ mm}$). Les tests Samsung en Corée du Sud montrent que l'épaisseur du film WC est de 5 à $10 \mu\text{m}$ et que la transmittance est $> 85 \%$, ce qui convient aux écrans OLED.

Technologie : impression par jet d'encre (concentration d'encre 10 % en poids , dispersion ultrasonique 50 W), température de frittage 500°C .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Potentiel : Avec une réduction des coûts de 50 %, la part de marché de l'électronique flexible devrait passer de 10 % en 2025 à 25 % en 2030.

Autres potentiels :

Matériau de paroi du réacteur de fusion nucléaire : le point de fusion élevé du WC (2870°C) et sa résistance aux radiations peuvent être utilisés dans les dispositifs tokamak, avec une résistance aux chocs thermiques > 2000°C.

Composants résistants à la pression pour l'exploration en haute mer : le matériau composite WC-Co (Co 10 %) a une résistance à la compression de > 4 500 MPa et peut résister à une pression en haute mer de 100 000 mètres.

4.8.2 Défis techniques et solutions de la poudre de carbure de tungstène

Amélioration de la dispersibilité de la poudre de nano WC :

Défi : Le Nano WC (<100 nm) est sujet à l'agglomération en raison de son énergie de surface élevée, et le taux d'agglomération dure est >20 %, ce qui affecte l'uniformité de l'impression et du revêtement.

Situation actuelle : Les dispersants traditionnels (tels que le PVP) ont des effets limités, le taux d'agglomération est encore > 10 % et la porosité après frittage est > 5 %.

Solution:

Modification de surface : les particules de WC ont été recouvertes d'acide polyacrylique (PAA, 0,5 % à 1 %), le potentiel zêta de surface a été augmenté de -10 mV à -30 mV et le taux d'agglomération a été réduit à < 5 %.

Dispersion ultrasonore : Les paramètres ultrasonores ont été optimisés (50 W, 10 min, fréquence 40 kHz), et la taille moyenne des particules a diminué de 200 nm à 80 nm.

Traitement plasma : Le plasma basse température (puissance 100 W, atmosphère Ar) élimine la matière organique de surface et améliore la stabilité de la dispersion de 50 %.

Perspectives : Après une dispersion améliorée, l'efficacité d'application du nano WC dans le SLM est augmentée de 30 % et la porosité du revêtement est < 1 %.

Amélioration de la stabilité des revêtements à haute température :

Défi : Le revêtement WC s'oxyde facilement pour former du WO₃ à > 1 500 °C, avec une résistance à l'oxydation insuffisante et une durée de vie < 1 000 heures.

Situation actuelle : Les revêtements WC-Co traditionnels ont atteint leur limite à 1300°C, et l'aérospatiale nécessite une résistance à des températures plus élevées (>1800°C).

Solution:

Ajout composite : ajoutez du ZrC (10%-20%) ou du TaC (5%-15%) pour former une phase stable à haute température (point de fusion > 3000°C), et la résistance à l'oxydation est améliorée jusqu'à 1800°C.

Technologie de pulvérisation à froid : température de pulvérisation < 500 °C, vitesse des particules > 1 000 m/s, évite l'oxydation à haute température, durée de vie du revêtement > 2 000 heures.

Structure à gradient : Conception revêtement à gradient WC-Al₂O₃ (épaisseur 200-500 μm), résistance à la température de surface >2000°C, ténacité interne >10 MPa·m^{1/2}.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Perspectives : Les revêtements haute température des tuyères de fusées pourraient prolonger leur durée de vie de 50 %, répondant ainsi aux besoins de la fusion nucléaire et du vol supersonique.

Autres défis :

Contrôle des coûts : Le prix de la poudre de nano WC est > 500 yuans/kg, et l'efficacité de la préparation du plasma doit être optimisée pour la réduire à < 300 yuans/kg.

Protection de l'environnement : les émissions de CO₂ dans la production de WC doivent être réduites de > 90 % grâce à la technologie de recyclage.

4.8.3 Prévisions du marché de la poudre de carbure de tungstène

Selon une étude de marché mondiale (MarketsandMarkets et al.), les tendances de la demande de poudre de WC d'ici 2030 sont les suivantes :

Croissance globale :

Taux de croissance annuel : > 6 % (2025-2030), la taille du marché sera d'environ 15 milliards de dollars américains en 2023 et devrait dépasser 25 milliards de dollars américains en 2030.

Facteurs moteurs : l'aérospatiale (demande de turbines), les nouvelles énergies (batteries et catalyseurs) et la popularisation de l'impression 3D.

Principaux domaines d'analyse :

Aérospatiale (30%) :

Demande : La demande de revêtements et de blindages WC augmentera de 8 % par an, soit 35 % en 2030.

Cas : GE et Rolls-Royce prévoient d'augmenter la proportion de pièces WC de 10 % à 20 %.

Nouvelle énergie (25%) :

Demande : la poudre WC pour piles à combustible et batteries au lithium augmentera de 10 % par an et la taille du marché sera supérieure à 6 milliards de dollars américains en 2030.

Cas : Les plans d'expansion de Tesla et Ballard font doubler la demande.

Impression 3D (15%) :

Demande : La poudre Nano WC augmentera de 12 % par an et représentera 20 % des matériaux de fabrication additive d'ici 2030.

Cas : EOS et GE Additive prévoient une augmentation de 5 fois de la production d'impression WC.

Mines et construction (20%) :

Demande : Croissance régulière de 5 %, tirée par la construction d'infrastructures.

Biomédecine (5%) :

Demande : Croissance annuelle de 15 %, taille du marché > 1 milliard USD en 2030.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Répartition régionale :

Chine : représente 40 % du total mondial, avec une production dans des bases comme Zhuzhou dépassant les 50 000 tonnes/an.

Europe : 25 %, avec Sandvik et EOS en tête de l'innovation technologique.

Amérique du Nord : 20 %, GE et Kennametal promeuvent les applications haut de gamme.

Impact des tendances technologiques : La proportion de poudre de nano WC devrait passer de 5 % en 2023 à 15 % en 2030, poussant le marché vers un développement haut de gamme.

Références

Références chinoises

- [1] GB/T 4295-2008 Poudre de carbure de tungstène Administration nationale de normalisation de Chine 2008 Spécifie les exigences techniques et les méthodes d'essai pour la poudre de carbure de tungstène.
- [2] GB/T 34503-2017 Outils de forage de roche en métal dur Administration nationale de normalisation de Chine 2017 Spécifie les propriétés et les méthodes d'essai du carbure cimenté pour les outils de forage de roche.
- [3] GB/T 5314-2011 Poudres pour carbure cimenté Administration nationale de normalisation de Chine 2011 Spécifie les méthodes d'essai de performance pour les poudres de carbure cimenté.
- [4] GB/T 19077-2016 Distribution granulométrique - Méthode de diffraction laser Administration nationale de normalisation de Chine 2016 Spécifie la détermination de la distribution granulométrique par la méthode de diffraction laser.
- [5] GB/T 25995-2010 Poudre de tungstène et poudre de carbure de tungstène - Détermination de la taille des particules du calibre de sous-tamis Fisher (FSSS) Administration nationale de normalisation de Chine 2010 Spécifie la méthode de détermination de la taille des particules du calibre de sous-tamis Fisher (FSSS).
- [6] GB/T 36418-2018 Méthode d'essai pour la résistance à l'usure du carbure cimenté Administration nationale de normalisation de Chine 2018 Spécifie la méthode d'essai pour la résistance à l'usure du carbure cimenté.
- [7] GB/T 38494-2020 Méthode d'essai pour la résistance à la compression du carbure cimenté Administration nationale de normalisation de Chine 2020 Spécifie la méthode d'essai pour la résistance à la compression du carbure cimenté.

Références en anglais

- [8] Lassner, E., & Schubert, WD (1999) Tungstène : propriétés, chimie, technologie de l'élément, alliages et composés chimiques Springer présente les propriétés physiques et chimiques et la technologie d'application du tungstène et du carbure de tungstène.
- [9] Upadhyaya, GS (1998) Carbures de tungstène cimentés : production, propriétés et tests William Andrew Publishing Détaille la fabrication, les propriétés et les méthodes de test de la poudre de carbure de tungstène.
- [10] Pawlowski, L. (2008) The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings (2e éd.) John Wiley & Sons Discute des applications scientifiques et techniques de la technologie de revêtement par projection thermique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- [11] Davis, JR (éd.) (2004) Manuel de technologie de projection thermique ASM International Fournit des conseils sur les processus et les applications de la technologie de projection thermique.
- [12] Prakash, LJ (2014) Hardmetals and Mining Applications Comprehensive Hard Materials Vol. 2 345-370 Elsevier Analyse de la technologie d'application du carbure cémenté dans le domaine minier.
- [13] Levy, RB, & Boudart, M. (1973) Comportement de type platine du carbure de tungstène en catalyse de surface Science 181(4099) 547-549 <https://doi.org/10.1126/science.181.4099.547> Révéler les caractéristiques de type platine du carbure de tungstène en catalyse de surface.
- [14] Chen, WF, Wang, CH, Sasaki, K., et al. (2013) WC nanostructuré hautement actif et durable comme électrocatalyseur de métal non précieux pour les piles à combustible PEM Nature Communications 4 2439 Étudier la conductivité et la durabilité du carbure de tungstène nanométrique dans les piles à combustible.
- [15] ASTM B213-20 (2020) Méthodes d'essai standard pour le débit des poudres métalliques à l'aide de l'entonnoir du débitmètre à effet Hall ASTM International spécifie le débitmètre à effet Hall pour mesurer la fluidité des poudres.
- [16] ASTM E384-17 (2017) Méthode d'essai standard pour la dureté par microindentation des matériaux ASTM International Spécifie la méthode d'essai de dureté Vickers.
- [17] ASTM G65-16 (2016) Méthode d'essai standard pour mesurer l'abrasion à l'aide d'un appareil à roue en sable sec/caoutchouc ASTM International Spécifie la méthode d'essai d'abrasion à roue en sable sec/caoutchouc.
- [18] ASTM E1019-18 (2018) Méthodes d'essai standard pour la détermination du carbone, du soufre, de l'azote et de l'oxygène dans les alliages d'acier, de fer, de nickel et de cobalt par diverses techniques de combustion et de fusion sous gaz inerte ASTM International Spécifie la méthode de détermination de la teneur en oxygène.
- [19] ISO 3327:2009 (2009) Métaux-durs — Détermination de la résistance à la rupture transversale Organisation internationale de normalisation Spécifie la méthode d'essai de résistance à la compression.
- [20] ISO 4499-2:2020 (2020) Métaux durs — Détermination métallographique de la microstructure — Partie 2 : Mesure de la taille des grains de WC Organisation internationale de normalisation Spécifie la méthode de détermination microscopique de la taille des grains de WC.
- [21] ISO 9277:2010 (2010) Détermination de la surface spécifique des solides par adsorption de gaz - Méthode BET Organisation internationale de normalisation Spécifie la méthode BET pour la détermination de la surface spécifique.
- [22] ISO 10993-5:2009 (2009) Évaluation biologique des dispositifs médicaux — Partie 5 : Essais de cytotoxicité in vitro Organisation internationale de normalisation Spécifie les méthodes d'essai de cytotoxicité in vitro.
- [23] Sandvik Coromant (2022) Guide technique : outils de coupe et pièces d'usure Sandvik Group fournit un guide technique industriel pour les outils de coupe et les pièces d'usure.
- [24] Wu, Z., & Zhang, J. (2020) Revêtements en carbure de tungstène pour collecteurs de courant de batterie lithium-ion : une revue Journal of Power Sources 475 228689 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228689> Une revue de l'application des revêtements en carbure de tungstène dans les collecteurs de courant de batterie lithium-ion.
- [25] Zhang, Z., et Liu, W. (2019) Recherche sur le carbure cémenté WC-Co dans les outils de forage de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

roche Revue internationale des métaux réfractaires et des matériaux durs 81 123-130

Références dans d'autres langues

[26] Japan Standards Association (2005) JIS H 7803:2005 Méthodes d'essai pour la poudre de carbure de tungstène Japan Standards Association Traduction chinoise : 碳化钨粉末测试方法 Spécifie les méthodes d'essai chimiques et physiques pour la poudre de carbure de tungstène.

[27] GOCT 25599.1-83 (1983) Poudre de carbure cimenté - Méthode de détermination de la teneur en carbone Comité d'État de l'URSS pour les normes Traduction chinoise : 硬质合金粉末 - 碳含量测定方法 Spécifie la méthode d'analyse chimique de la teneur en carbone dans la poudre de carbure cimenté.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

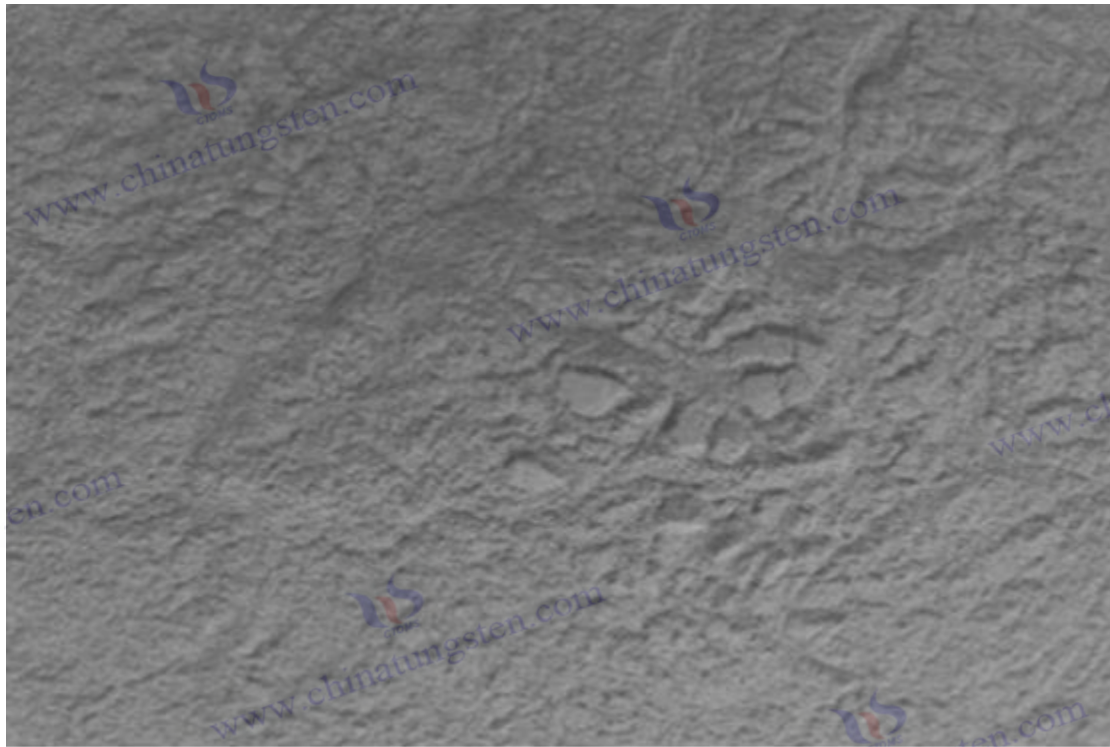
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

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.



Chapitre 5 : Contrôle de qualité et normes de la poudre de carbure de tungstène

Matière première essentielle de matériaux hautes performances tels que le carbure cémenté, les outils de coupe et les revêtements de surface, la qualité de la poudre de carbure de tungstène détermine directement les performances et la compétitivité du produit final. Dans le contexte de la mondialisation industrielle, le contrôle qualité et la normalisation de la poudre de carbure de tungstène sont non seulement essentiels à la cohérence des produits, mais aussi un moteur important du progrès technologique et de la modernisation industrielle. Ce chapitre aborde de manière systématique les spécifications de production et d'essai de la poudre de carbure de tungstène sous quatre aspects : les points de contrôle qualité, les normes internationales, les normes nationales, ainsi que la comparaison et l'applicabilité des normes, afin de fournir des références techniques détaillées et des conseils pratiques aux praticiens concernés.

5.1 Points clés du contrôle qualité

Le contrôle qualité de la poudre de carbure de tungstène s'étend tout au long de la chaîne de production, depuis la sélection des matières premières et l'optimisation des procédés jusqu'aux tests du produit fini. Il prend en compte de multiples dimensions telles que la composition chimique, la granulométrie, la structure cristalline et les propriétés physiques. Une gestion qualité scientifique et rigoureuse permet non seulement d'améliorer les performances des produits, mais aussi de réduire efficacement les coûts de production et l'impact environnemental. L'analyse approfondie des points clés du contrôle qualité, présentée sous différents angles, vise à fournir aux lecteurs des connaissances approfondies et des suggestions pratiques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gestion précise de la composition chimique.

La composition chimique est au cœur de la qualité de la poudre de carbure de tungstène, affectant directement sa structure cristalline, sa dureté et sa résistance à l'usure. La teneur théorique en carbone du carbure de tungstène (WC) est de 6,13 % (fraction massique), mais en production réelle, de légers écarts dans la teneur en carbone total, en carbone libre, en oxygène et en impuretés peuvent entraîner des problèmes de performance.

Bilan du carbone total et du carbone libre

Une teneur en carbone total trop faible peut entraîner la formation d'une phase W_2C , une phase métastable de faible dureté et sujette aux fissures. Une teneur en carbone total trop élevée produira du carbone libre, réduisant la densité et les performances de frittage de la poudre. Généralement, la teneur en carbone libre doit être maintenue entre 0,08 % et 0,1 % pour garantir la stabilité de la phase WC.

Limites strictes sur la teneur en oxygène

La teneur en oxygène est un indicateur important de l'activité des poudres. Une teneur élevée en oxygène (> 0,2 %) génère des pores lors du frittage et affaiblit les propriétés mécaniques de l'alliage. Le contrôle de la teneur en oxygène est particulièrement crucial, notamment pour les poudres ultrafines, car leur surface spécifique élevée facilite leur adsorption.

Contrôle précis des éléments d'impureté

Les impuretés telles que le fer, le cobalt, le calcium et le silicium peuvent provenir des matières premières ou des équipements de production. Une teneur en fer trop élevée réduit la pureté de la poudre et affecte le comportement au frittage ; les impuretés non métalliques telles que le calcium et le silicium peuvent former des phases cassantes aux joints de grains et réduire la ténacité. La production moderne exige des niveaux d'impuretés aussi faibles que 10 à 50 ppm (parties par million).

Technologie de détection

Méthode de combustion à haute température

La teneur totale en carbone et en carbone libre peut être déterminée avec précision par l'analyseur carbone-soufre avec une précision de détection allant jusqu'à 0,01 %.

Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) : utilisée pour analyser les traces d'éléments impurs avec une limite de détection aussi basse que ppb (parties par milliard).

Méthode d'absorption infrarouge

Détermination rapide de la teneur en oxygène, largement utilisée dans les sites de production.

Stratégies de gestion

La poudre de tungstène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$) et le noir de carbone (teneur en cendres < 0,1 %) sont préférés pour réduire l'introduction d'impuretés provenant de la source.

Lors de la réaction de carbonisation, la température (1400-1600°C), l'atmosphère (hydrogène ou vide) et le temps de maintien sont contrôlés avec précision pour éviter une carbonisation incomplète ou une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

surcarbonisation.

Mettre en œuvre des processus de filtration et de purification en plusieurs étapes pour réduire le contact de la poudre avec l'environnement extérieur.

Mettre en place un système de traçabilité des lots de composition chimique pour garantir la contrôlabilité de chaque lot de poudre.

Développement des connaissances

Ces dernières années, avec l'utilisation croissante de poudre de carbure de tungstène à l'échelle nanométrique, le contrôle de la composition chimique est devenu plus difficile. Par exemple, dans le domaine de l'impression 3D, la teneur en oxygène doit être maintenue en dessous de 0,05 % pour éviter les réactions d'oxydation pendant le processus d'impression. Cela oblige les fabricants à introduire des équipements de test plus avancés (tels que la spectroscopie photoélectronique à rayons X, XPS) et des technologies de surveillance en ligne.

Régulation scientifique de la granulométrie et de la distribution.

La granulométrie et la distribution de la poudre de carbure de tungstène ont un impact profond sur le pressage, le frittage et la microstructure du produit final. Des poudres de différentes granulométries conviennent à différents scénarios d'application, et l'uniformité de la distribution granulométrique détermine la constance des performances du produit.

Classification granulométrique

Poudre ultrafine ($<1\mu\text{m}$) : adaptée aux outils de coupe de haute précision et aux composants microélectroniques nécessitant une finition de surface extrêmement élevée.

Poudre fine ($1-3\mu\text{m}$) : largement utilisée dans les outils en carbure cimenté, prenant en compte à la fois la dureté et la ténacité.

Poudre moyenne ($3-10\mu\text{m}$) : adaptée aux revêtements résistants à l'usure et aux moules robustes, avec de bonnes propriétés de moulage.

Poudre grossière ($>10\mu\text{m}$) : utilisée pour la projection thermique et les outils miniers, mettant l'accent sur la résistance aux chocs.

Importance de la distribution granulométrique : une distribution étroite ($D_{90}/D_{10} < 2$) peut améliorer l'uniformité du frittage et réduire la porosité ; une distribution large peut entraîner un retrait irrégulier et affecter la précision dimensionnelle. Le problème d'agglomération des poudres ultrafines est particulièrement important et nécessite une attention particulière.

Corrélation entre les performances du procédé et celles des poudres de WC de différentes tailles de particules

Gamme de tailles de particules	Surface spécifique (BET, m^2/g)	Température de frittage ($^{\circ}\text{C}$)	Densité relative (%)	HV30	K_{IC} ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
$>10\mu\text{m}$	0,8-1,2	1450-1500	$92,3 \pm 0,5$	1420	9,8
$3-10\mu\text{m}$	2,5-4,0	1400-1450	$95,1 \pm 0,3$	1780	11,2
$0,5-1\mu\text{m}$	8,0-12,0	1320-1380	$98,7 \pm 0,2$	2090	12,7

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<0,1 μm	15,0-20,0	1300-1350	97,5 ± 0,4	2350	10,5

Technologie de détection

Analyseur de taille de particules laser : basé sur le principe de diffusion de la lumière, il peut mesurer la distribution granulométrique de 0,01 à 1000 μm avec une grande précision et convient aux poudres ultrafines.

Méthode de tamisage : Classification à travers des tamis standards, adaptés à la détection rapide de poudres grossières.

Méthode de sédimentation : elle utilise la différence de vitesse de sédimentation des particules pour vérifier l'uniformité de la distribution granulométrique et convient à la recherche en laboratoire.

Microscope électronique à balayage (MEB) : observez visuellement la morphologie et la taille des particules et aidez à vérifier les résultats de l'analyse de la taille des particules.

Stratégie de régulation

Optimisez le processus de broyage : choisissez des billes de carbure de tungstène ou des billes d'oxyde de zirconium comme supports de broyage, contrôlez le temps de broyage des billes (8 à 24 heures) et la vitesse de rotation (200 à 400 tr/min) pour éviter un broyage excessif entraînant la rupture des particules.

Présentation de l'équipement de classification : tel que le classificateur à flux d'air centrifuge, qui peut filtrer avec précision les poudres dans une plage de tailles de particules spécifique.

Ajout de dispersants (tels que le polyéthylène glycol, le PEG) : réduit la tendance des poudres ultrafines à s'agglomérer et améliore l'uniformité de la distribution.

Calibrez régulièrement l'équipement de test pour garantir la fiabilité des données sur la taille des particules.

Développement des connaissances

La dernière tendance en matière de contrôle granulométrique s'oriente vers l'échelle nanométrique (< 100 nm), ce qui représente un défi pour les technologies traditionnelles de broyage et de classification. Par exemple, le broyage humide combiné à la dispersion ultrasonique peut améliorer considérablement la dispersibilité des nanopoudres, mais il est nécessaire de trouver un équilibre entre coût et performance.

De plus, des technologies de surveillance en ligne de la distribution granulométrique (telles que la diffusion dynamique de la lumière, DLS) émergent, ce qui devrait permettre une gestion de la qualité en temps réel.

La stabilité de la structure cristalline et de la composition des phases garantit que

la poudre de carbure de tungstène idéale doit être principalement composée d'une seule phase WC. Sa structure cristalline hexagonale lui confère une excellente dureté et une excellente résistance à l'usure.

La présence de phases inattendues (telles que W₂C, W et carbone libre) réduit considérablement les performances de la poudre. Le contrôle de la structure cristalline et de la composition des phases est donc une priorité absolue du management de la qualité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Facteurs d'influence

Température de carbonisation : trop élevée ($> 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$) peut provoquer une croissance des grains et réduire l'activité de la poudre ; trop basse ($< 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$) peut générer une phase W_2C .

Rapport de source de carbone : un manque de carbone entraînera une sous-carbonisation, tandis qu'un excès de carbone produira du carbone libre.

Atmosphère de réaction : l'atmosphère d'hydrogène aide à éliminer l'oxygène, mais l'excès d'hydrogène doit être évité pour éviter les défauts de joint de grains causés par l'hydrogène.

Technologie de détection

Diffraction des rayons X (DRX) : analysez avec précision la composition de phase et détectez le rapport WC, W_2C et carbone libre avec une précision quantitative allant jusqu'à 0,1 %.

Microscopie électronique à balayage (MEB) : observe la morphologie des grains, la taille et les défauts de surface, et évalue l'uniformité de la structure cristalline.

Microscopie électronique à transmission (MET) : utilisée pour l'analyse de la structure cristalline des poudres à l'échelle nanométrique, révélant des défauts à l'échelle atomique.

Spectroscopie Raman : aide à détecter la présence de carbone libre, particulièrement adaptée aux poudres ultrafines.

Garanties

Contrôlez précisément le gradient de température (vitesse de chauffe $5\text{-}10^{\circ}\text{C}/\text{min}$) et le temps de maintien (2-4 heures) du four de carbonisation.

Une source de carbone de haute pureté (telle que la poudre de graphite, pureté $\geq 99,9\%$) est préférée pour réduire l'impact des impuretés sur la structure cristalline.

Utiliser une protection atmosphérique (comme une atmosphère mixte d'argon ou d'hydrogène) pour éviter l'oxydation ou la décarburation.

Établir une base de données de composition de phase et suivre les changements structuraux dans différentes conditions de processus.

Développement des connaissances

Grâce au développement de techniques d'analyse haute résolution, telles que la DRX synchrotron et la diffraction neutronique, les chercheurs peuvent caractériser plus précisément les défauts cristallins et la distribution des contraintes de la poudre de carbure de tungstène. Ces techniques offrent de nouvelles perspectives pour optimiser le processus de carburation, notamment dans le secteur aérospatial, où la pureté d'une phase WC doit être proche de 100 %.

Optimisation de la fluidité et de la densité apparente de la poudre.

La fluidité de la poudre affecte l'efficacité du pressage et l'uniformité du remplissage du moule, tandis que la densité apparente est étroitement liée au retrait de frittage et à la densité du produit. Une poudre de carbure de tungstène de haute qualité doit trouver un équilibre entre fluidité et densité pour répondre aux besoins des différents procédés de moulage.

Importance de la fluidité : Les poudres peu fluides peuvent provoquer un délaminage ou des vides dans

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

le compact, réduisant ainsi la résistance du produit. Le débit Hall des poudres de haute qualité est généralement de l'ordre de 15 à 25 secondes/50 g. Les poudres ultrafines ont une faible fluidité en raison des fortes forces de Van der Waals entre les particules ; elles doivent donc être optimisées.

L'importance de la densité apparente

La masse volumique apparente reflète les propriétés volumique de la poudre et se situe généralement entre 3,0 et 5,0 g/cm³. Une faible masse volumique apparente peut entraîner un retrait de frittage excessif et affecter la précision dimensionnelle ; une masse volumique apparente élevée peut réduire les performances de moulage.

Technologie de détection

Débitmètre à effet Hall : mesure le temps nécessaire à la poudre pour traverser un entonnoir standard. Facile à utiliser, il convient aux tests sur site.

Densimètre à percussion : mesure la densité volumique de la poudre après vibration, reflétant la compacité de l'emballage des particules.

Méthode du tambour rotatif : simule le comportement dynamique de la poudre pendant le processus de moulage et évalue la véritable fluidité.

Stratégie d'optimisation

Utilisation de la technologie de granulation par pulvérisation : préparez des poudres sphériques ou presque sphériques et améliorez considérablement la fluidité.

Ajuster la distribution granulométrique : augmenter de manière appropriée la proportion de particules fines pour optimiser l'effet de remplissage entre les particules.

Modification de surface : Réduire la friction entre les particules par traitement plasma ou en ajoutant une petite quantité de liant (comme la paraffine, la quantité ajoutée est < 0,5 %).

Contrôler la teneur en humidité de la poudre : Une teneur en humidité trop élevée réduira la fluidité, il est recommandé de la contrôler en dessous de 0,1 %.

Développement des connaissances : Ces dernières années, l'étude de la fluidité a été progressivement intégrée aux technologies de simulation par ordinateur, telles que la méthode des éléments discrets (MED), qui permet de simuler l'écoulement de la poudre dans le moule et de prédire le risque de délaminage. Cela fournit un support théorique pour l'optimisation du processus de granulation et de la conception des moules, ce qui est particulièrement important en production automatisée.

Gestion systématique de l'environnement et des conditions de stockage :

la poudre de carbure de tungstène est très sensible à l'humidité et à l'oxygène. Un stockage inapproprié peut entraîner une oxydation, une absorption d'humidité ou une dégradation des performances. Une gestion environnementale rigoureuse est essentielle pour prolonger la durée de vie de la poudre et garantir une qualité stable.

Risque d'oxydation : L'oxygène réagit avec la poudre de carbure de tungstène pour former de l'oxyde de tungstène (WO₃), ce qui réduit l'activité de la poudre et provoque même des défauts de frittage. Les poudres ultrafines présentent un risque d'oxydation plus élevé en raison de leur surface spécifique élevée.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Problème d'absorption d'humidité : l'adsorption d'eau peut provoquer l'agglomération de la poudre et réduire sa fluidité. Dans les cas les plus graves, elle peut déclencher des réactions chimiques et générer des hydroxydes.

Exigences environnementales :

Température : Maintenir l'environnement de stockage à 15-25°C pour éviter les températures élevées qui accélèrent l'oxydation.

Humidité : L'humidité relative doit être contrôlée entre 30 et 50 % pour éviter l'absorption d'humidité.

Lumière : Évitez une forte exposition à la lumière pour éviter les réactions photochimiques à la surface de la poudre.

Mesures de gestion

Emballage sous vide ou emballage sous azote : isolez l'air et l'humidité pour prolonger la durée de conservation.

Équipé d'un équipement de déshumidification : tel qu'un tamis moléculaire ou un déshydratant au gel de silice pour maintenir un environnement à faible humidité.

Vérifiez régulièrement les conditions de stockage : utilisez un thermo-hygromètre et un analyseur d'oxygène, et enregistrez les paramètres environnementaux.

Optimisez le processus de transport : utilisez des matériaux d'emballage composites résistants aux chocs et à l'humidité pour éviter que la poudre ne soit endommagée.

Établir des dossiers de stockage : enregistrer le temps de stockage, les conditions environnementales et les changements de performances de chaque lot de poudre.

Développement des connaissances : Les technologies de stockage modernes évoluent vers l'intelligence. Par exemple, l'Internet des objets (IoT) permet de surveiller la température et l'humidité de l'environnement de stockage en temps réel et d'analyser le vieillissement de la poudre grâce au cloud computing. Cela améliore non seulement l'efficacité du stockage, mais fournit également des données pour la traçabilité qualité.

Traçabilité qualité et gestion numérique

À l'ère de l'Industrie 4.0, le contrôle qualité met l'accent sur la traçabilité de l'ensemble du processus et la prise de décision basée sur les données. La gestion numérique offre une nouvelle voie pour l'optimisation de la qualité de la poudre de carbure de tungstène en intégrant les données de production, de test et de stockage.

Système de traçabilité :

Gestion des lots : Attribuez un identifiant unique à chaque lot de poudre, enregistrez la source des matières premières, les paramètres de production et les résultats des tests.

Technologie Blockchain : garantit que les données ne peuvent pas être falsifiées et renforce la crédibilité de la certification de qualité.

Outils numériques :

Surveillance en ligne : tels que des analyseurs de taille de particules en temps réel et des détecteurs de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

composition chimique pour détecter les écarts de processus en temps opportun.

Contrôle statistique des processus (SPC) : analyser les modèles de fluctuations de qualité et optimiser les paramètres du processus.

Intelligence artificielle (IA) : Prédire les propriétés de la poudre grâce à l'apprentissage automatique pour aider à l'amélioration des processus.

Stratégie de mise en œuvre :

Mettre en place un système de planification des ressources de l'entreprise (ERP) pour intégrer les données de production et de qualité.

Former les collaborateurs à maîtriser les outils d'analyse de données et améliorer les capacités de gestion numérique.

Coopérer avec les organismes de test et introduire une vérification par des tiers pour garantir l'objectivité des données.

Développement des connaissances : Parmi les dernières avancées en matière de gestion numérique, on compte la technologie des jumeaux numériques, qui simule le processus de production de poudre de carbure de tungstène grâce à des modèles virtuels et prédit les risques qualité. Cette technologie a été appliquée par de grandes entreprises de tungstène en Europe et aux États-Unis et devrait être bientôt commercialisée en Chine.

5.2 Normes internationales

Les normes internationales fournissent un cadre mondial pour le contrôle qualité de la poudre de carbure de tungstène, garantissant la cohérence et la comparabilité des produits entre les différents pays et marchés. Élaborées par des organismes faisant autorité, ces normes couvrent la composition chimique, les propriétés physiques, les méthodes d'essai et d'autres aspects. Elles sont largement utilisées dans la fabrication de carbure cimenté, de revêtements et d'outils. L'analyse détaillée suivante des principales normes internationales et de leurs applications vise à fournir aux lecteurs une référence claire.

Normes ISO

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a élaboré une série de normes pour les poudres de carbure cimenté, mettant l'accent sur le caractère scientifique des méthodes d'essai et la répétabilité des résultats. Ces normes ont une large influence dans le monde entier, en particulier sur les marchés de l'UE et d'Asie.

ISO 4499-1:2008 : Poudres de cermet pour carbures cimentés – Méthodes d'analyse chimique.

Explication du contenu : Cette norme spécifie les méthodes de détermination du carbone total, du carbone libre, de l'oxygène, du fer, du cobalt, du calcium et d'autres éléments, et recommande l'utilisation de technologies de haute précision telles que l'ICP-MS (limite de détection : 10 ppb) et la méthode d'absorption infrarouge (précision de la teneur en oxygène : 0,01 %). La norme impose également des exigences strictes pour le prétraitement des échantillons (tels que la dissolution acide et le séchage) afin d'éliminer les facteurs d'interférence.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Scénario d'application

Convient aux entreprises de production de carbure cimenté orientées vers l'exportation, en particulier dans les domaines de l'aérospatiale et des dispositifs médicaux, où la pureté de la composition chimique est extrêmement élevée.

Avantages et défis

La méthode standard est scientifique et rigoureuse, mais elle présente des exigences élevées en matière d'équipements de test (tels que l'ICP-MS), et les petites et moyennes entreprises peuvent être confrontées à une pression sur les coûts.

ISO 4499-2:2008 : Poudres de cermet pour carbures cimentés – Essais sur les propriétés physiques.

Contenu détaillé : Couvre les spécifications d'essai pour la distribution granulométrique, la masse volumique apparente, la masse volumique après tassement et la fluidité. L'utilisation d'un granulomètre laser (plage de mesure : 0,01-1 000 μm) et d'un débitmètre à effet Hall (précision : $\pm 0,1$ seconde) est recommandée. La norme stipule également clairement la température et l'humidité de l'environnement d'essai (20 ± 2 °C, humidité < 50 %).

Scénarios d'application : Convient pour évaluer les performances de moulage des poudres, en particulier dans le domaine des outils de haute précision et de l'impression 3D, où l'uniformité de la distribution granulométrique est cruciale.

Avantages et défis : L'opération standard est simple et les résultats sont hautement comparables, mais il manque des conseils détaillés sur le problème d'agglomération des poudres ultrafines, et d'autres méthodes (telles que le SEM) doivent être combinées pour l'analyse auxiliaire.

ISO 3326:2013 : Carbures cimentés – Méthode de détermination de la dureté.

Explication du contenu : Bien qu'elle soit principalement destinée aux produits finis en carbure cimenté, elle affecte indirectement les exigences de qualité de la poudre de carbure de tungstène. La norme spécifie les méthodes d'essai pour la dureté Vickers (HV) et la dureté Rockwell (HRA), en soulignant la contribution de la stabilité de la structure cristalline de la poudre à la dureté.

Scénarios d'application : Convient aux applications haut de gamme telles que les outils aérospatiaux et les pièces résistantes à l'usure, la pureté cristalline de la poudre doit atteindre plus de 99,9 %.

Avantages et défis : La norme fournit une référence pour la performance des produits finis, mais il existe moins de directives de test directes pour les poudres, elle doit donc être utilisée en conjonction avec d'autres normes.

Développement des connaissances : les normes ISO ont été continuellement mises à jour ces dernières années. Par exemple, la version révisée de la norme ISO 4499-2020 ajoute la méthode de détection des nanopoudres, reflétant la croissance rapide du marché des poudres de carbure de tungstène ultrafines. Les entreprises doivent se tenir informées de la dernière version pour s'adapter aux avancées technologiques.

Normes ASTM

Les normes de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) sont connues pour la précision et la praticité de leurs méthodes expérimentales et sont largement utilisées sur le marché nord-américain,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en particulier dans les industries du carbure cémenté et des revêtements.

ASTM B761-17 : Méthode d'essai pour la distribution granulométrique de la poudre de carbure de tungstène.

Explication du contenu : La norme décrit en détail les étapes de fonctionnement des méthodes de diffusion et de tamisage de la lumière laser, applicables aux poudres de 0,1 à 100 μm . La diffusion de la lumière laser est basée sur la théorie de la diffusion de Mie, offre une grande précision et convient aux poudres ultrafines ; le tamisage est simple à utiliser et adapté aux poudres grossières. La norme fournit également des recommandations spécifiques pour la dispersion des échantillons (par exemple, par traitement par ultrasons).

Scénarios d'application : Convient à l'impression 3D, à la projection thermique et au nanorevêtement. L'uniformité de la distribution granulométrique influence directement la qualité d'impression et les performances du revêtement.

Avantages et défis : La méthode standard est mature et le taux de pénétration de l'équipement est élevé, mais elle présente des exigences élevées en matière de contrôle de l'agglomération des poudres ultrafines et doit être utilisée avec un dispersant.

ASTM E194-10 : Détermination de la teneur en oxygène dans les matériaux de métallurgie des poudres.

Explication du contenu : La teneur en oxygène est déterminée par la méthode de fusion sous gaz inerte, avec une limite de détection de 1 ppm, adaptée aux poudres de haute pureté. La norme exige l'utilisation d'un four à induction haute fréquence (puissance > 2 kW) pour fondre l'échantillon, libérer l'oxygène et l'analyser à l'aide d'un détecteur infrarouge.

Applications : Convient aux carbures cémentés hautes performances et aux matériaux aérospatiaux. La teneur en oxygène doit être maintenue entre 0,05 % et 0,1 % pour éviter les défauts de frittage.

Avantages et défis : La précision de détection est extrêmement élevée et adaptée aux applications haut de gamme, mais le coût de l'équipement est relativement élevé (environ 500 000 à 1 000 000 RMB) et nécessite un fonctionnement professionnel.

ASTM B659-90(2014) : Guide pour mesurer l'épaisseur des revêtements métalliques et inorganiques.

Explication du contenu : Bien qu'elle soit principalement destinée aux revêtements, elle régit indirectement les exigences de qualité de la poudre de carbure de tungstène, en soulignant l'influence de l'uniformité granulométrique et de la stabilité chimique de la poudre sur la qualité du revêtement. La norme recommande l'utilisation de la microscopie et de la fluorescence X pour mesurer l'épaisseur du revêtement.

Applications : Convient pour la projection thermique, la projection plasma et le revêtement laser. La densité apparente et la fluidité de la poudre doivent être optimisées pour garantir un revêtement uniforme.

Avantages et défis : La norme fournit des conseils indirects pour les applications de revêtement, mais comporte moins de contenu de test direct pour les poudres et doit être combinée avec d'autres normes.

Élargissement des connaissances : les normes ASTM se concentrent sur les applications pratiques et ont ajouté ces dernières années des spécifications pour la fabrication additive (impression 3D), telles que

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La norme ASTM F3049 traite indirectement des exigences de granulométrie et de fluidité de la poudre de carbure de tungstène. Cela reflète la rapidité d'adaptation de la norme aux technologies émergentes.

Dans Outre les normes ISO et ASTM, certains pays et régions ont également formulé des normes pertinentes pour la poudre de carbure de tungstène, combinant les caractéristiques industrielles locales pour compléter le système de normes mondial.

JIS Z 2503:2015 (norme industrielle japonaise) :

Explication du contenu : Couvre les méthodes d'essai de la composition chimique (carbone total, oxygène, impuretés), de la distribution granulométrique et des propriétés physiques (densité apparente, fluidité) de la poudre de carbure de tungstène. La norme met l'accent sur la stabilité du procédé de production et exige l'enregistrement de la température de carbonisation et des conditions atmosphériques de chaque lot de poudre.

Scénarios d'application : Convient à la production de carbure cémenté et de revêtement sur les marchés japonais et coréen, en particulier dans les industries automobile et électronique.

Avantages et défis : La norme combine le niveau d'équipement du marché asiatique et a un coût de mise en œuvre inférieur, mais son niveau d'internationalisation n'est pas aussi élevé que celui de l'ISO.

DIN EN ISO 4499 (norme allemande) :

Explication du contenu : Elle est parfaitement conforme à la série ISO 4499 et complète les exigences relatives à l'étalonnage des équipements de production (comme l'étalonnage annuel des instruments de DRX) et au contrôle environnemental (comme un taux d'humidité dans l'atelier de production inférieur à 40 %). La norme affine également la méthode de détection des poudres ultrafines.

Scénarios d'application : Largement utilisé dans les pays européens tels que l'Allemagne et l'Autriche, en particulier dans les domaines des machines de précision et de l'aérospatiale.

Avantages et défis : La norme se concentre sur les détails du processus et convient aux entreprises à forte intensité technologique, mais est moins applicable aux petites et moyennes entreprises.

Normes BS EN (normes britanniques) :

Explication du contenu : Référence partielle aux normes ISO 4499 et ASTM, mettant l'accent sur les tests de performance des poudres dans les outils de coupe, tels que la dureté, la résistance à l'usure et la résistance aux chocs. La norme formule également des recommandations sur les conditions de stockage des poudres (comme le conditionnement sous vide).

Scénarios d'application : Applicable à la certification du marché au Royaume-Uni et dans les pays du Commonwealth, en particulier dans les secteurs du transport maritime et de l'énergie.

Points forts et défis : La norme est complète, mais elle a une portée très régionale et une influence internationale limitée.

Élargissement des connaissances : La tendance à la coordination des normes internationales devient de plus en plus évidente. Par exemple, la révision conjointe de l'ISO et du DIN a permis une plus large diffusion de la norme DIN EN ISO 4499 sur le marché européen. À l'avenir, les normes internationales pourraient être davantage intégrées pour former une spécification mondiale unifiée.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Caractéristiques et tendances des applications :

Applicabilité mondiale : les normes ISO et ASTM font autorité et sont scientifiques, ce qui les rend adaptées aux entreprises multinationales et aux produits d'exportation, en particulier sur les marchés européens et américains.

Seuil technique : Les normes internationales ont des exigences élevées en matière d'équipements de test et de qualité du personnel, ce qui convient aux entreprises dotées d'une forte force technique, mais les petites et moyennes entreprises peuvent avoir besoin de mettre à niveau progressivement leurs équipements.

Adaptation régionale : les normes JIS et BS EN sont plus proches des besoins locaux, ont des coûts de mise en œuvre inférieurs et sont adaptées aux marchés régionaux.

Perspectives d'avenir : Avec l'essor des nanopoudres et de la fabrication additive, les normes internationales évoluent vers des normes plus détaillées, notamment en ajoutant des méthodes de test pour la taille des particules à l'échelle nanométrique et la chimie de surface. Les entreprises doivent être attentives aux mises à jour des normes pour conserver une longueur d'avance technologique.

5.3 Normes nationales

La Chine a mis en place un système complet de normes pour le contrôle qualité de la poudre de carbure de tungstène, comprenant des normes nationales (GB/T), des normes industrielles (YB/T, HG/T, JB/T) et des normes locales et d'entreprise. Ces normes tiennent compte de la situation réelle de l'industrie chinoise du tungstène, concilient exigences techniques et coûts de production, et sont largement utilisées dans les industries du carbure cimenté, des revêtements, de l'outillage et de la métallurgie. Voici une analyse détaillée du contenu, des caractéristiques et des scénarios d'application des normes nationales.

La norme nationale

(GB/T) est la spécification de base pour le contrôle qualité de la poudre de carbure de tungstène en Chine. Elle comporte des attributs obligatoires et directeurs, couvrant de multiples étapes, des matières premières aux produits finis.

GB/T 4295-2018 : Poudre de carbure de tungstène.

Français : Explication du contenu : La norme spécifie la composition chimique (telle que carbone total 6,08-6,18 %, carbone libre $\leq 0,1$ %, oxygène $\leq 0,2$ %), la plage granulométrique (0,5-30 μm), la masse volumique apparente (3,0-5,0 g/cm^3), la fluidité (15-25 secondes/50 g) et d'autres exigences techniques de la poudre de carbure de tungstène. Les méthodes de détection comprennent l'analyse chimique (méthode de combustion, méthode de titrage), les tests physiques (analyse granulométrique laser, débitmètre à effet Hall) et l'analyse microscopique (DRX, MEB). La norme fait également des recommandations sur l'emballage et le stockage, comme l'emballage sous vide et l'humidité de stockage < 50 %.

Scénarios d'application : Applicable à tous les aspects de la production nationale de carbure cimenté, de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

revêtement et d'outils, et constitue la base principale de la gestion de la qualité de l'industrie.

Avantages et défis : La norme est complète et couvre une variété de scénarios d'application, mais les spécifications pour les poudres ultrafines ($< 0,5 \mu\text{m}$) sont légèrement insuffisantes et doivent être complétées par d'autres normes.

GB/T 26046-2010 : Poudre de carbure de tungstène pour carbure cimenté.

Explication du contenu : La poudre de carbure de tungstène est divisée en plusieurs catégories selon la granulométrie et l'usage (par exemple, WC-01 pour les outils ultrafins, WC-04 pour les pièces résistantes à l'usure). Les exigences relatives à la composition chimique (oxygène $\leq 0,15 \%$), à la granulométrie (écart $D_{50} \pm 5 \%$) et aux propriétés physiques (densité apparente $4,0-5,0 \text{ g/cm}^3$) sont affinées. La norme stipule également le cycle d'étalonnage des équipements d'essai (une fois par an).

Scénarios d'application : Convient aux produits en carbure cimenté avec différentes exigences de performances, telles que la poudre ultrafine pour les forets PCB et la poudre grossière pour les outils miniers.

Points forts et défis : La norme dispose d'une classification claire et peut s'adapter à des besoins divers, mais elle offre moins de conseils sur les applications émergentes (telles que l'impression 3D) et d'autres mises à jour sont nécessaires.

GB/T 18508-2013 : Méthodes d'inspection des produits de métallurgie des poudres pour carbure cimenté.

Explication du contenu : Bien qu'elle soit principalement destinée aux produits en carbure cimenté, elle régit indirectement les exigences de qualité de la poudre de carbure de tungstène. La norme couvre les méthodes d'essai de dureté (HV, HRA), de densité, de porosité et de microstructure, et souligne l'influence de la structure cristalline et de la composition chimique de la poudre sur les performances des produits finis.

Scénarios d'application : Convient à la vérification de la qualité des outils en carbure, des moules et des pièces résistantes à l'usure, fournissant une référence indirecte pour la qualité de la poudre.

Avantages et défis : La norme fournit une base pour la performance des produits finis, mais contient moins de contenu de test direct pour les poudres et doit être utilisée conjointement avec GB/T 4295.

Développement des connaissances : Les normes nationales ont été constamment révisées ces dernières années. Par exemple, la norme GB/T 4295-2023 (projet) a ajouté de nouvelles exigences d'essai pour les nanopoudres, reflétant les progrès technologiques de la Chine dans le domaine des matériaux de tungstène haut de gamme. Les entreprises doivent suivre cette évolution pour s'adapter à la demande du marché.

Normes industrielles

Les normes industrielles (YB/T, HG/T, JB/T) affinent les exigences de qualité pour des domaines spécifiques, complètent le manque d'universalité des normes nationales et sont largement utilisées dans les industries métallurgiques, chimiques et mécaniques.

YB/T 429-2012 : Poudre de carbure de tungstène pour la métallurgie.

Explication du contenu : Répondant aux besoins spécifiques de l'industrie métallurgique (comme les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rouleaux et les moules), la norme met l'accent sur la résistance à la corrosion (résistance aux acides et aux alcalis), la stabilité à haute température ($> 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$) et la granulométrie ($5\text{-}20\text{ }\mu\text{m}$) de la poudre. Les méthodes de détection comprennent l'analyse chimique (carbone total, oxygène), le test de performance à haute température (coefficient de dilatation thermique) et le test de résistance à l'usure (test d'abrasion).
Scénarios d'application : Convient à la production de machines lourdes, d'équipements métallurgiques et de pièces résistantes à l'usure, en particulier dans les industries de l'acier et des métaux non ferreux.
Avantages et défis : La norme est très ciblée et répond aux besoins particuliers de l'industrie métallurgique, mais son applicabilité aux poudres ultrafines est faible et doit être combinée avec d'autres normes.

HG/T 2838-2012 : Poudre de carbure de tungstène pour l'industrie chimique.

Explication du contenu : Pour l'industrie chimique (catalyseurs, revêtements anticorrosion, etc.), la norme spécifie la pureté chimique (carbone total $6,10\text{-}6,15\%$, impuretés $\leq 50\text{ ppm}$), la granulométrie ($1\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$) et l'activité de surface (surface spécifique $5\text{-}10\text{ m}^2/\text{g}$) de la poudre. Les méthodes de détection comprennent la méthode BET (surface spécifique), le titrage chimique (impuretés) et la MEB (morphologie de surface).

Scénarios d'application : Convient aux revêtements résistants aux acides et aux alcalis, aux supports de catalyseurs et aux réacteurs chimiques, en particulier dans l'industrie pétrochimique.

Avantages et défis : La norme se concentre sur les propriétés de surface et convient aux applications chimiques, mais comporte moins de spécifications pour les propriétés physiques (telles que la fluidité).

JB/T 12614-2016 : Poudre de carbure de tungstène ultrafine pour carbure cimenté.

Explication du contenu : Pour les poudres dont la granulométrie est inférieure à $1\text{ }\mu\text{m}$, la norme spécifie les exigences relatives à la distribution granulométrique ($D_{90}/D_{10}<2$), à la teneur en oxygène ($\leq 0,1\%$) et à la granulométrie ($< 200\text{ nm}$). Les méthodes de détection comprennent la microscopie électronique en transmission (MET), la granulométrie laser et l'absorption infrarouge (teneur en oxygène). La norme formule également des recommandations sur le contrôle de l'agglomération, notamment l'utilisation de dispersants.

Scénarios d'application : Convient aux marchés haut de gamme tels que les micro-perceuses, les composants électroniques et les nano-revêtements.

Avantages et défis : La norme suit de près la tendance technologique des poudres ultrafines, mais le coût de détection est relativement élevé (l'équipement TEM coûte environ 2 millions de RMB) et nécessite un support technique élevé.

Développement des connaissances : L'élaboration des normes industrielles accorde une importance croissante à l'intégration interdisciplinaire. Par exemple, la norme HG/T 2838-2020 (version révisée) a ajouté des spécifications pour les poudres composites à base de carbure de tungstène, reflétant ainsi le développement croisé du génie chimique et de la science des matériaux.

Normes locales et d'entreprise

Les normes locales et d'entreprise combinent les caractéristiques industrielles régionales et les avantages technologiques des entreprises pour affiner les exigences de contrôle de qualité et compenser le manque d'universalité des normes nationales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Normes locales :

DB43/T 1025-2015 : Province du Hunan « Spécification de contrôle de la qualité de la poudre de carbure de tungstène ».

Explication du contenu : Sur la base de la situation réelle de la base industrielle de tungstène de Zhuzhou, la norme spécifie la composition chimique (oxygène $\leq 0,08\%$), la distribution granulométrique (écart $D_{50} \pm 3\%$) et les conditions de stockage (humidité $< 40\%$) des poudres ultrafines ($< 0,5\ \mu\text{m}$) et des nanopoudres ($< 100\text{ nm}$). Les méthodes de détection comprennent la chimie de surface XPS (scanner de particules en filigrane), la microscopie électronique en transmission (MET) et l'analyse granulométrique en ligne.

Scénarios d'application : Convient aux zones concentrées de l'industrie du tungstène telles que le Hunan et le Jiangxi, en particulier dans la production d'outils et de revêtements haut de gamme.

Avantages et défis : La norme est proche de la production réelle et présente de faibles coûts de mise en œuvre, mais elle est très régionale et doit être utilisée conjointement avec les normes nationales.

Caractéristiques et tendances des applications :

Proche de la réalité : les normes nationales prennent pleinement en compte les matières premières locales (minerai de tungstène à faible teneur) et les niveaux d'équipement (les instruments nationaux sont principalement utilisés), et le coût de mise en œuvre est relativement faible.

Niveaux clairs : les normes nationales ont une large couverture, les normes industrielles sont spécialisées et les normes locales et d'entreprise sont flexibles, formant un système réglementaire à plusieurs niveaux.

Tendance à l'internationalisation : avec la mondialisation de l'industrie chinoise du tungstène, les normes nationales se rapprochent de l'ISO et de l'ASTM, en particulier dans les domaines des poudres ultrafines et des applications haut de gamme.

Perspectives d'avenir : Les normes nationales intégreront davantage d'exigences en matière de protection de l'environnement (telles que le contrôle des émissions de carbone) et de technologies intelligentes (telles que la surveillance de la qualité en ligne) pour soutenir la fabrication verte et la fabrication intelligente.

5.4 Comparaison et applicabilité des normes

Les normes nationales et étrangères présentent à la fois des similitudes et des différences significatives en matière de contrôle qualité de la poudre de carbure de tungstène. Leur point commun est l'accent mis sur le contrôle de la composition chimique, de la granulométrie, de la structure cristalline et des propriétés physiques ; les différences se reflètent dans l'importance accordée aux exigences techniques, aux méthodes d'essai et aux scénarios d'application. L'analyse comparative multidimensionnelle suivante et l'applicabilité de chaque norme sont présentées afin de guider les entreprises dans le choix des spécifications appropriées.

Comparaison des exigences de composition chimique

Normes internationales :

ISO 4499-1:2008 : Écart de carbone total $\pm 0,05\%$, carbone libre $\leq 0,08\%$, oxygène $\leq 0,15\%$, impuretés (telles que fer, cobalt) $\leq 10\text{ ppm}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM E194-10 : La limite de détection de la teneur en oxygène est de 1 ppm, mettant l'accent sur une pureté ultra-élevée, adaptée au domaine aérospatial.

Caractéristiques : exigences extrêmement strictes, précision de détection élevée et nécessité d'être équipé d'équipements de pointe (tels que l'ICP-MS, qui coûte environ 1 million de RMB).

Normes nationales :

GB/T 4295-2018 : Écart total de carbone $\pm 0,1 \%$, carbone libre $\leq 0,1 \%$, oxygène $\leq 0,2 \%$, impuretés (telles que le fer) ≤ 50 ppm.

YB/T 429-2012 : La limite d'impureté est relativement lâche (par exemple, fer ≤ 100 ppm), ce qui s'adapte à la réalité du minerai de tungstène local à faible teneur.

Caractéristiques : exigences relativement souples, tenant compte du contrôle des coûts, adapté à la production de masse.

Analyse des différences : les normes internationales visent la pureté ultime et conviennent au marché haut de gamme ; les normes nationales sont plus inclusives et réduisent les coûts des matières premières et des tests.

applicabilité :

Produits d'exportation : doivent répondre aux normes ISO ou ASTM pour obtenir la certification sur des marchés tels que l'UE et l'Amérique du Nord.

Marché intérieur : GB/T 4295 est suffisant pour la production conventionnelle de carbure cémenté et de revêtement et est plus rentable.

Applications haut de gamme : l'aérospatiale, les équipements médicaux doivent adopter des normes internationales ou des normes internes d'entreprise (telles que l'oxygène $\leq 0,05 \%$).

Développement des connaissances : Le contrôle de la composition chimique évolue vers l'intelligence artificielle. Par exemple, des entreprises allemandes utilisent des systèmes ICP-MS assistés par IA pour analyser les fluctuations d'impuretés et ajuster les paramètres de procédé en temps réel. Cette technologie devrait être introduite en Chine dans les cinq prochaines années.

Comparaison du contrôle de granularité

Normes internationales :

ASTM B761-17 : exige une distribution granulométrique uniforme ($D_{90}/D_{10} < 2$), un écart $D_{50} \pm 5 \%$, et recommande la méthode de diffusion de la lumière laser (précision $0,01 \mu\text{m}$).

ISO 4499-2:2008 : affine la méthode d'essai pour les poudres ultrafines ($< 1 \mu\text{m}$) et met l'accent sur le contrôle de l'agglomération.

Caractéristiques : Se concentre sur l'uniformité de la distribution, adapté aux applications de haute précision et aux exigences élevées en matière d'équipement de test (l'analyseur de taille de particules laser coûte environ 500 000 RMB).

Normes nationales :

GB/T 26046-2010 : La taille des particules est divisée en plusieurs intervalles (tels que $0,5-1 \mu\text{m}$, $1-3 \mu\text{m}$), l'écart D_{50} est de $\pm 10 \%$ et la méthode de criblage est autorisée.

JB/T 12614-2016 : Pour les poudres ultrafines, $D_{90}/D_{10} < 2,5$, il est recommandé de combiner l'analyse granulométrique laser et la TEM.

Caractéristiques : La gestion de la classification est plus flexible, prenant en compte les méthodes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

traditionnelles (telles que la méthode de sélection, coûtant environ 10 000 RMB), et convient aux petites et moyennes entreprises.

Analyse des différences : les normes internationales mettent l'accent sur une grande précision et une grande cohérence, tandis que les normes nationales se concentrent sur la diversité et l'aspect pratique. applicabilité :

Outils de précision et impression 3D : les normes ASTM ou ISO sont nécessaires pour garantir une distribution granulométrique extrêmement uniforme.

Carbure cimenté conventionnel : La gestion de la classification du GB/T 26046 est plus économique et répond à divers besoins.

Poudre ultrafine : JB/T 12614 combine les normes internationales et convient aux marchés haut de gamme.

Développement des connaissances : La dernière tendance en matière de contrôle granulométrique est l'introduction de l'analyse multimodale, combinant par exemple la diffusion laser et la diffusion dynamique de la lumière (DLS), qui permet de caractériser simultanément la taille des particules et leur état d'agglomération. Cette technologie, popularisée en Europe et aux États-Unis, devrait être promue en Chine après 2025.

Comparaison des méthodes d'essai

Normes internationales :

Série ISO 4499 : La priorité est donnée à l'utilisation d'instruments de haute précision, tels que les analyseurs de taille de particules laser, ICP-MS et les méthodes d'absorption infrarouge, ainsi qu'à des exigences strictes en matière d'environnement de test (température $20 \pm 1^\circ\text{C}$, humidité $< 40\%$).

ASTM E194-10 : met l'accent sur la normalisation des méthodes, l'équipement nécessite un étalonnage annuel et la limite de détection est aussi basse que le niveau ppm.

Caractéristiques : Haute précision de détection et forte comparabilité des résultats, mais coûts d'équipement et de maintenance élevés (les frais de maintenance annuels moyens sont d'environ 100 000 RMB).

Normes nationales :

GB/T 4295-2018 : prend en compte à la fois les méthodes traditionnelles (telles que le criblage, le titrage chimique) et les instruments modernes (tels que les analyseurs de taille de particules laser domestiques, qui coûtent environ 200 000 RMB).

YB/T 429-2012 : Les exigences en matière d'étalonnage des équipements sont assouplies (une fois tous les 2 ans) et le coût des tests est faible (l'équipement de titrage chimique coûte environ 50 000 RMB).

Caractéristiques : méthodes diverses, faible coût, adapté aux entreprises de différentes tailles.

Analyse des différences : les normes internationales visent une précision extrême, tandis que les normes nationales se concentrent sur l'aspect pratique et l'économie.

applicabilité :

Les entreprises dotées d'une forte force technique peuvent adopter directement les normes ISO ou ASTM pour répondre aux exigences des clients internationaux.

Petites et moyennes entreprises : l'approche hybride de la norme GB/T 4295 est plus facile à mettre en œuvre et nécessite moins d'investissement en équipement.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les domaines émergents, tels que les nanopoudres, nécessitent une combinaison de méthodes de haute précision basées sur des normes internationales et la flexibilité des normes nationales.

Développement des connaissances : La transformation numérique des méthodes d'essai s'accélère. Par exemple, des entreprises américaines utilisent des systèmes de DRX en ligne pour surveiller la composition des phases en temps réel avec une erreur inférieure à 0,05 %. Des entreprises chinoises testent des technologies similaires et prévoient d'atteindre l'industrialisation en 2026.

Analyse d'applicabilité

Entreprises orientées vers l'exportation :

Normes recommandées : série ISO 4499, ASTM B761/E194.

Raison : Les normes internationales font autorité sur les marchés européens et américains, et les exigences strictes en matière de composition chimique et de contrôle de la taille des particules peuvent répondre aux besoins des clients haut de gamme (tels que Boeing et Airbus).

Suggestions de mise en œuvre : investir dans des équipements de haute précision (tels que l'ICP-MS, l'analyseur de taille de particules laser), former du personnel de test professionnel et établir un système international de gestion de la qualité (tel que la certification ISO 9001).

Marché intérieur :

Normes recommandées : GB/T 4295-2018, GB/T 26046-2010, YB/T 429-2012.

Raison : Les normes nationales prennent en compte à la fois le coût et les performances, conviennent à la production de masse et couvrent une variété d'applications pour le carbure cimenté, les revêtements et les outils.

Suggestions de mise en œuvre : Donner la priorité à l'utilisation d'équipements nationaux (tels que l'analyseur de taille de particules laser de précision de Pékin, dont le prix est d'environ 200 000 RMB) et optimiser le processus en combinaison avec les normes locales (telles que DB43/T 1025).

Applications haut de gamme :

Normes recommandées : ISO 4499-1/2, ASTM E194, normes d'entreprise (telles que Q/ZH 001-2020).

Raison : L'aérospatiale, les dispositifs médicaux et d'autres secteurs exigent une pureté et une régularité extrêmement élevées. Les normes internationales et les normes d'entreprise peuvent fournir des indicateurs plus stricts (tels que l'oxygène $\leq 0,05\%$, l'écart granulométrique $\pm 2\%$).

Suggestions de mise en œuvre : introduire des technologies de détection avancées (telles que le TEM et le rayonnement synchrotron XRD), établir une gestion numérique complète du processus et mettre en œuvre un contrôle qualité 6σ .

Domaines émergents :

Normes recommandées : JB/T 12614-2016, ISO 4499-2020 (édition révisée), Q/ZG 002-2021.

Raison : L'impression 3D, le nano-revêtement et la biomédecine ont mis en avant de nouvelles exigences en matière de sphéricité, de chimie de surface et de fluidité des poudres, et les dernières normes sont plus ciblées.

Suggestions de mise en œuvre : investir dans des équipements spéciaux (tels que des scanners CT, des appareils de mesure de surface BET), participer à l'élaboration de normes (comme la coopération avec China Tungsten High-Tech) et saisir l'avantage technologique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tendance de développement

Internationalisation des normes

Avec l'influence croissante de l'industrie chinoise du tungstène à l'échelle mondiale, les normes nationales se rapprochent de celles de l'ISO et de l'ASTM. Par exemple, la norme GB/T 4295-2023 (projet) fait référence à la spécification des nanopoudres de l'ISO 4499-2020 et devrait être officiellement publiée en 2025.

Orientation environnementale

Les futures normes intégreront des exigences de fabrication verte, telles que le contrôle des émissions de carbone pendant le processus de carbonisation (objectif < 2 tonnes de CO₂ / tonne de poudre) et la promotion de processus à faible consommation d'énergie (comme la carbonisation par micro-ondes).

Mise à niveau intelligente

La surveillance en ligne (comme l'analyse granulométrique en temps réel et l'analyse de phase assistée par IA) et la technologie des jumeaux numériques seront intégrées aux normes afin d'améliorer l'efficacité du contrôle qualité. Par exemple, la certification allemande TÜV exige des entreprises qu'elles soumettent des rapports de qualité numériques.

Besoins personnalisés : Pour de nouveaux domaines tels que l'impression 3D et la biomédecine, la norme affinera les indicateurs de poudres à des fins spécifiques, telles que la coulabilité des poudres sphériques (<10 secondes/50g) et l'activité de surface des nanopoudres (>20 m²/g).

Développement des connaissances

La collaboration mondiale en matière de normalisation s'accélère. Par exemple, l'ISO et l'ASTM ont créé conjointement le « Groupe de travail sur les matériaux de fabrication additive », auquel participent des entreprises chinoises (comme Zhuzhou Cemented Carbide Group). Cela ouvre de nouvelles perspectives pour l'internationalisation des normes nationales.

Références

Li Ming. Matériaux en carbure cimenté[M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.

Li Ming. Science des matériaux du carbure cimenté [M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Progrès dans la technologie de préparation de la poudre de carbure de tungstène[J]. Technologie de la métallurgie des poudres, 2020, 38(2) : 88-94.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Progrès dans la technologie de préparation de la poudre de carbure de tungstène [J]. Technologie de la métallurgie des poudres, 2020, 38(2) : 88-94.

Wang Qiang, Li Ming. Recherche sur le système standard chinois du carbure cimenté[J]. China Tungsten Industry, 2019, 34(3) : 45-50.

Wang Qiang, Li Ming. Étude du système standard du carbure cimenté chinois [J]. China Tungsten Industry, 2019, 34(3) : 45-50.

Li Zhiqiang, Zhang Wei. Analyse comparative des normes internationales et nationales pour la poudre de carbure de tungstène[J]. Science et ingénierie des matériaux, 2021, 39(4) : 112-118.

Li Zhiqiang, Zhang Wei. Analyse comparative des normes internationales et nationales pour la poudre de carbure de tungstène [J]. Science et ingénierie des matériaux, 2021, 39(4) : 112-118.

Chen Wei, Zhao Gang. Préparation et propriétés de la poudre ultrafine de carbure de tungstène[J]. Journal

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

of Inorganic Materials, 2022, 37(5) : 567-573.

Chen Wei, Zhao Gang. Préparation et propriétés de la poudre ultrafine de carbure de tungstène [J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5) : 567-573.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. Recherche sur l'application de la poudre de carbure de tungstène à l'impression 3D [J]. Additive Manufacturing Technology, 2023, 12(1) : 34-40.

Liu Yang, Wang Zhiqiang. Application de la poudre de carbure de tungstène à l'impression 3D [J]. Technologie de fabrication additive, 2023, 12(1) : 34-40.

ISO 4499-1:2008, Métaux durs — Détermination métallographique de la microstructure.

ISO 4499-1:2008, Carbures cimentés — Méthodes de détermination de la microstructure.

ISO 4499-2:2008, Métaux durs — Essais de propriétés physiques.

ISO 4499-2:2008, Carbures cimentés — Essais de propriétés physiques.

ISO 3326:2013, Métaux-durs — Détermination de la dureté.

ISO 3326:2013, Carbures cimentés — Détermination de la dureté.

ASTM B761-17, Méthode d'essai standard pour la distribution granulométrique des poudres métalliques et des composés apparentés par diffusion de la lumière.

ASTM B761-17, Méthode d'essai de diffusion de la lumière pour la distribution granulométrique des poudres métalliques et des composés apparentés.

ASTM E194-10, Méthode d'essai standard pour la détermination de l'oxygène dans les poudres métalliques.

ASTM E194-10, Méthode d'essai pour la détermination de la teneur en oxygène dans les poudres métalliques.

ASTM B659-90(2014), Guide standard pour la mesure de l'épaisseur des revêtements métalliques et inorganiques.

ASTM B659-90(2014), Guide de mesure de l'épaisseur des revêtements métalliques et inorganiques.

Smith J, Brown T. Progrès dans la production de poudre de carbure de tungstène [J]. Journal of Materials Science, 2020, 55(12) : 4567-4578.

Smith J, Brown T. Progrès dans la technologie de production de poudre de carbure de tungstène [J]. Journal of Materials Science, 2020, 55(12) : 4567-4578.

Johnson R, Lee K. Normes de contrôle qualité pour le carbure de tungstène en fabrication additive [J]. Fabrication additive, 2022, 48 : 102456.

Johnson R, Li K. Normes de contrôle qualité pour le carbure de tungstène dans la fabrication additive [J]. Additive Manufacturing, 2022, 48 : 102456.

Müller H, Schmidt P. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik , 2019, 50 (6) : 789-796.

Mueller H, Schmidt P. Contrôle qualité des poudres de carbure de tungstène : spécifications et procédures [J]. Science des matériaux et technologie de l'ingénierie, 2019, 50(6) : 789-796.

Bauer T, Weber S. Herstellung et Charakterisierung von ultrafeinem Poudre de carbure de loup [M]. Berlin : Springer, 2021.

Bauer T, Weber S. Préparation et caractérisation de poudres ultrafines de carbure de tungstène [M]. Berlin : Springer-Verlag, 2021.

Littérature japonaise (y compris la traduction chinoise)

Taro Yamada, Ichiro Sato. Recherche sur les normes de contrôle qualité des poudres carbonisées [J].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

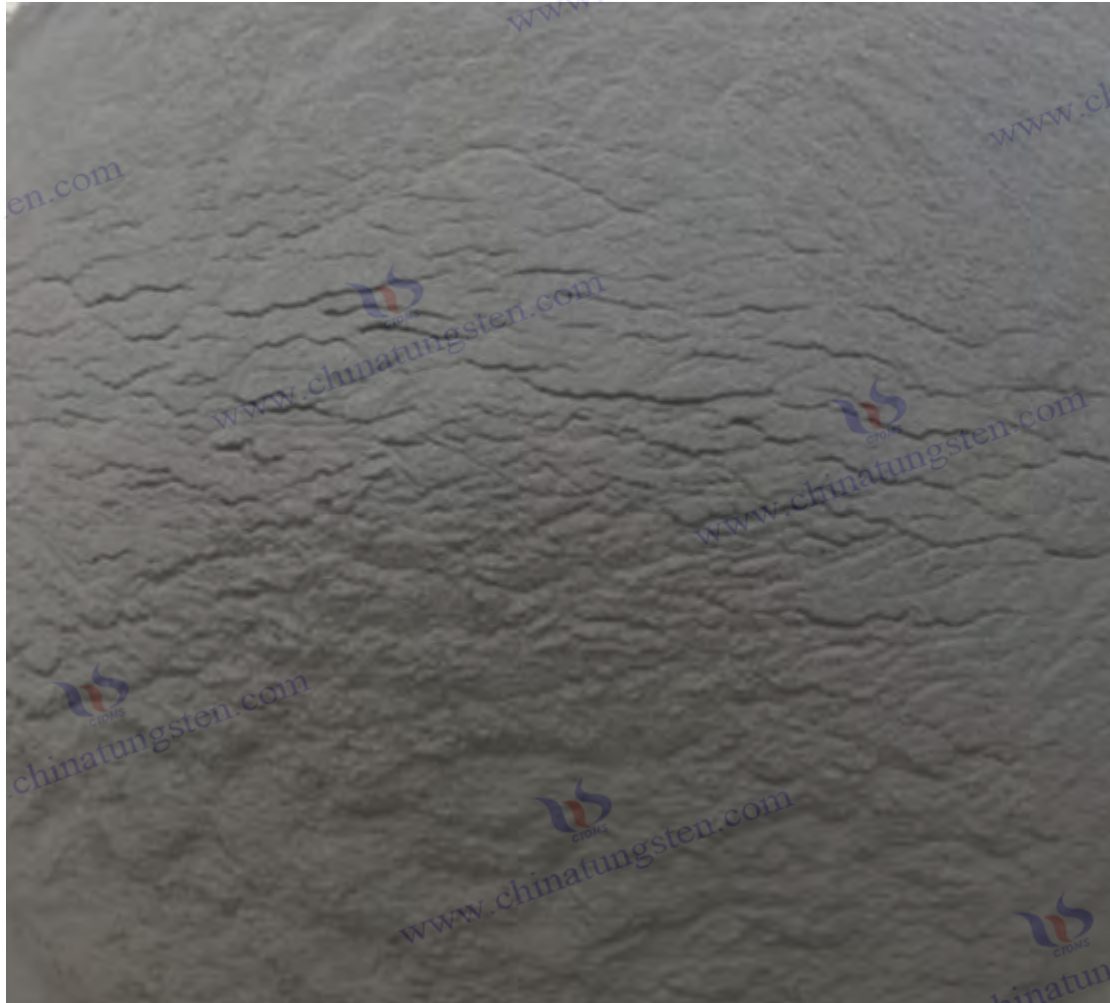
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Journal of the Society for Powder Engineering, 2020, 57(3) : 123-130.

Yamada Taro, Sato Ichiro. Recherche sur les normes de contrôle qualité de la poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Powder Engineering Society, 2020, 57(3) : 123-130.

Ken Nakamura, Yu Kobayashi. Évaluation des caractéristiques de la poudre de タングステン ultrafine carbonisée[J]. Journal de la science des matériaux, 2022, 71(5) : 345-352.

Nakamura, Ken, Kobayashi, Yu. Évaluation des performances de la poudre de carbure de tungstène ultrafine[J]. Journal of Materials Science Society, 2022, 71(5) : 345-352.



Chapitre 6 : Optimisation des performances et modification de la poudre de carbure de tungstène

Composant essentiel de matériaux hautes performances tels que le carbure cémenté, les outils de coupe et les revêtements anti-usure, la technologie d'optimisation et de modification des performances de la poudre de carbure de tungstène est essentielle pour améliorer les propriétés mécaniques, la résistance à la corrosion et la stabilité à haute température du produit final. Avec le développement rapide des technologies de fabrication avancées, les performances de la poudre de carbure de tungstène traditionnelle ont du mal à répondre aux exigences strictes de l'aérospatiale, de la fabrication additive, de la microélectronique et d'autres secteurs. Par conséquent, grâce à l'optimisation granulométrique, au

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

dopage et à la modification des composites, à la modification de surface, au traitement thermique et au recuit, etc., la microstructure et les propriétés macroscopiques de la poudre de carbure de tungstène sont systématiquement améliorées, ce qui constitue un domaine de recherche majeur en science et ingénierie des matériaux. Ce chapitre analyse en profondeur les fondements théoriques, les méthodes de traitement, les effets applicatifs et les tendances futures de l'optimisation des performances sous quatre aspects : optimisation granulométrique, dopage et modification des composites, technologie de modification de surface, et traitement thermique et recuit, afin de fournir une référence technique complète pour la recherche universitaire et la pratique industrielle.

6.1 Optimisation de la taille des particules

La granulométrie et la distribution de la poudre de carbure de tungstène sont des paramètres clés qui influencent son comportement au pressage, ses performances de frittage et la microstructure du produit final. Un contrôle précis de la granulométrie permet d'améliorer considérablement l'uniformité et la fluidité de la poudre, ainsi que la dureté, la ténacité et la résistance à l'usure du carbure cimenté. Le rôle de l'optimisation granulométrique dans l'amélioration des performances de la poudre de carbure de tungstène est expliqué ci-dessous, en quatre dimensions : fondements théoriques, technologie du procédé, effet quantitatif et orientation du développement.

Base théorique de l'optimisation de la taille des particules

La taille des particules affecte directement la surface spécifique, l'activité de frittage et la taille des grains de la poudre de carbure de tungstène, qui à leur tour déterminent les propriétés mécaniques et les caractéristiques de traitement du matériau.

Effet Hall-Petch : Selon la relation Hall-Petch, la réduction de la granulométrie peut augmenter significativement la limite d'élasticité et la dureté du matériau. Par exemple, la dureté du carbure cimenté préparé à partir de poudre de carbure de tungstène ultrafine (granulométrie $< 1 \mu\text{m}$) peut atteindre une valeur HV de 2 000 à 2 200, soit environ 60 % de plus que la valeur HV de 1 200 à 1 500 de la poudre grossière ($> 10 \mu\text{m}$).

Cinétique de frittage : Les poudres à particules fines présentent une surface spécifique plus élevée ($5\text{--}20 \text{ m}^2/\text{g}$), ce qui augmente la vitesse de diffusion induite par l'énergie de surface. La température de frittage peut être abaissée de $1\,450\text{ }^\circ\text{C}$ à $1\,300\text{--}1\,350\text{ }^\circ\text{C}$, ce qui réduit la consommation d'énergie d'environ 15 % et le risque de croissance des grains.

Uniformité de la distribution granulométrique : une distribution granulométrique étroite ($D_{90}/D_{10} < 2$) assure un retrait uniforme lors du frittage, réduit la porosité à moins de 1 % et améliore considérablement la précision dimensionnelle du produit (écart $\pm 10 \mu\text{m}$). Une distribution large peut entraîner un retrait irrégulier localisé et provoquer des microfissures.

Adaptabilité aux scénarios d'application : la poudre ultrafine ($< 0,5 \mu\text{m}$) convient aux outils de coupe de haute précision et aux composants microélectroniques, la granulométrie moyenne ($3\text{--}10 \mu\text{m}$) convient

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aux revêtements et moules résistants à l'usure, et la granulométrie grossière ($> 10 \mu\text{m}$) est utilisée pour la projection thermique et les outils miniers pour répondre aux exigences mécaniques dans différentes conditions de travail.

Technologie de procédé pour l'optimisation de la taille des particules

En réponse aux différentes exigences de taille des particules, diverses technologies de procédé ont été développées pour obtenir un contrôle précis des poudres.

Technologie de broyage à boulets à haute énergie

Broyage à boulets à sec : un broyeur à boulets planétaire est utilisé, le milieu de broyage est une bille de carbure de tungstène (dureté $> 90 \text{ HRA}$), le rapport bille/matériau est de 10:1, la vitesse de rotation est de 400 à 600 tr/min, le temps de broyage est de 12 à 24 heures et la poudre de taille de particules moyenne de 3 à $10 \mu\text{m}$ peut être préparée.

Broyage à billes par voie humide : il est réalisé en milieu éthanolique ou acétonique, avec ajout de dispersants (tels que le polyéthylène glycol, le PEG, en quantité ajoutée de 0,2 % à 0,6 %), et le temps de broyage est de 8 à 16 heures. Une poudre ultrafine ($0,5$ à $1 \mu\text{m}$) peut être préparée, et le taux d'agglomération est maintenu à moins de 5 %.

Effet quantitatif : Le broyage à billes humides combiné à la dispersion ultrasonique peut réduire la taille moyenne des particules de $2,5 \mu\text{m}$ à $0,7 \mu\text{m}$, augmenter la densité de frittage de la poudre de 10 % et améliorer la ténacité à la fracture du carbure cémenté d'environ 12 %.

Technologie de classification du flux d'air

Principe du processus : En utilisant un classificateur à flux d'air centrifuge, en ajustant la vitesse du flux d'air (15-50 m/s) et la vitesse de la roue de classification (8 000-20 000 tr/min), la poudre de $0,5$ à $10 \mu\text{m}$ peut être tamisée et l'efficacité de classification peut atteindre 92 %.

Avantages techniques : Haute précision de classification, l'écart D50 est contrôlé à $\pm 0,03 \mu\text{m}$, ce qui est mieux que les $\pm 0,2 \mu\text{m}$ de la méthode de criblage traditionnelle.

Exemple d'application : Une entreprise a optimisé le D90/D10 d'une poudre ultrafine de 2,8 à 1,7 grâce à la classification par flux d'air. Ce produit est utilisé dans les forêts de haute précision pour circuits imprimés, et le taux de qualification des produits finis a augmenté de 15 %.

Technologie de sphéroïdisation au plasma

Principe du procédé : Utiliser un plasma haute fréquence (puissance 20-60 kW) pour faire fondre des particules irrégulières et les solidifier rapidement pour former une poudre sphérique avec une granulométrie uniforme, allant de $0,5$ à $5 \mu\text{m}$.

Avantages techniques : La fluidité de la poudre sphérique est améliorée de 35 % (le débit Hall est réduit à 14 secondes/50 g), ce qui convient à la fabrication additive et à la projection thermique.

Exemple d'application : Une entreprise a utilisé la sphéroïdisation plasma pour préparer une poudre de $0,8 \mu\text{m}$. La rugosité de surface (R_a) du revêtement a été réduite de $0,5 \mu\text{m}$ à $0,2 \mu\text{m}$ et la résistance à l'usure a été améliorée de 18 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Contrôle du dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

Principe du procédé : En contrôlant le rapport de débit (1:1,3-1:1,6) de la source de tungstène (comme WF_6) et de la source de carbone (comme CH_4), une poudre ultrafine (0,1-0,5 μm) est directement générée à 800-1000°C.

Avantages techniques : Granulométrie uniforme et faible taux d'agglomération (<2%), adapté aux applications à l'échelle nanométrique.

Défis techniques : L'équipement de réaction est coûteux (environ 6 millions de RMB) et les paramètres du processus doivent être contrôlés avec précision (écart de température $\pm 5^\circ\text{C}$).

Effets quantitatifs et directions de développement

Effet quantitatif : L'optimisation de la granulométrie améliore considérablement les performances de la poudre de carbure de tungstène. Par exemple, la durée de vie des outils en carbure cémenté préparés avec une poudre ultrafine (0,5 μm) est prolongée de 25 % à 35 %, et l'utilisation de nanopoudres (< 100 nm) en impression 3D améliore la précision d'impression à $\pm 8 \mu\text{m}$.

Défis techniques : Le problème d'agglomération des poudres ultrafines et nanométriques doit encore être résolu, et de nouveaux dispersants (tels que le graphène fonctionnalisé) et des technologies de surveillance en ligne (telles que la diffusion dynamique de la lumière, avec une erreur de <1%) doivent être développés.

Orientation du développement

Mise à l'échelle des nanopoudres : exploration du broyage assisté par micro-ondes et du CVD assisté par plasma, qui devraient réduire les coûts de production de 20 %.

Contrôle intelligent des processus : utilisez des modèles d'apprentissage automatique pour prédire la relation entre le temps de broyage et la taille des particules afin d'optimiser l'efficacité du processus.

Fabrication verte : Développer une technologie de classification à faible consommation d'énergie (comme la classification électromagnétique) pour réduire les émissions de carbone (objectif < 1,5 tonne de CO_2 / tonne de poudre).

6.2 Dopage et modification des composites

Le dopage et la modification des composites optimisent la structure réticulaire, les caractéristiques des joints de grains et la stabilité chimique de la poudre de carbure de tungstène par l'introduction d'éléments étrangers ou de phases secondaires, améliorant ainsi sa dureté, sa ténacité, sa résistance à la corrosion et ses performances à haute température. Cette technologie offre de vastes perspectives d'application dans les domaines de l'aérospatiale, des revêtements anti-usure et des équipements énergétiques. Ce qui suit analyse systématiquement la théorie et la pratique du dopage et de la modification des composites sous quatre angles : le mécanisme de modification, la technologie du procédé, les effets d'application et les tendances de la recherche.

Mécanisme de modification

Mécanisme de renforcement du réseau : des éléments dopants (tels que Ti, Cr, V) remplacent les atomes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de tungstène dans le réseau WC ou occupent des positions interstitielles pour former des solutions solides, augmenter l'énergie de distorsion du réseau et entraver le mouvement des dislocations. Par exemple, un dopage de 1 % de Ti peut augmenter la dureté de HV 1800 à HV 2250, et la résistance mécanique est augmentée d'environ 20 %.

C_2 , VC) à la limite des grains, inhibant la croissance des grains, améliorant la résistance de liaison des limites des grains et améliorant la ténacité à la rupture (de $7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ à $9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$).

Stabilité chimique améliorée : Le dopage avec des éléments tels que Ta et Nb peut réduire le taux d'oxydation des poudres à haute température ($> 800^\circ\text{C}$) ou en environnement corrosif en formant une couche protectrice d'oxyde stable. Par exemple, un dopage avec 0,5 % de Ta peut réduire le gain de poids dû à l'oxydation de 30 %.

Effet synergique de la modification composite : l'introduction d'autres carbures (tels que TiC, ZrC) ou de phases de liaison métalliques (telles que Co, Ni) permet de former un matériau composite multiphasé optimisant l'équilibre entre dureté et ténacité. Par exemple, la dureté de la poudre composite WC-TiC-Co atteint HV 1900 et la ténacité $11 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, ce qui est supérieur aux performances de la combinaison WC pur.

Technologie des procédés

Alliage mécanique :

Flux de processus : Mélanger de la poudre de carbure de tungstène avec des éléments dopants (tels que Cr, Ti) ou des phases composites (telles que TiC) dans un broyeur à boulets à haute énergie, avec un rapport bille/matériau de 12:1, une vitesse de rotation de 500 à 700 tr/min et un temps de broyage de 8 à 16 heures.

Avantages techniques : dopage uniforme, adapté aux laboratoires et à la production en petits lots, et faible coût d'équipement (environ 250 000 RMB).

C_2 par alliage mécanique, réduisant la taille des grains de $1,8 \mu\text{m}$ à $0,9 \mu\text{m}$ et améliorant la résistance à l'usure du carbure cémenté de 20 %.

Méthode de coprécipitation chimique :

Flux de processus : Le sel de tungstène (tel que Na_2WO_4) est mélangé avec un sel dopant (tel que TiCl_4 , NbCl_5), coprécipité à pH 7,5-8,5 et température $70-90^\circ\text{C}$, puis séché et carbonisé pour générer de la poudre dopée.

Avantages techniques : Les éléments dopants sont dispersés au niveau atomique, ce qui convient à la préparation de nanopoudres ($< 100 \text{ nm}$), et la quantité de dopage peut être contrôlée avec précision (0,1 % à 5 %).

Exemple d'application : Une université utilise la méthode de coprécipitation pour doper 1,5 % de VC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

afin de préparer une poudre de nano WC d'une dureté de HV 2400, qui convient aux outils de coupe ultra-durs.

Méthode Sol-Gel :

Déroulement du processus : Le tungstate est utilisé comme précurseur et des sels organiques d'éléments dopants (tels que l'acétate de niobium) sont ajoutés pour former un gel, qui est ensuite carbonisé à 1200-1400°C pour générer une poudre composite.

Avantages techniques : haute uniformité de dopage, adapté aux poudres de haute pureté et faible teneur en impuretés (<50ppm).

Défis techniques : cycle de processus long (48 à 72 heures) et coût de production élevé (environ 600 000 RMB par tonne).

Dopage assisté par plasma :

Déroulement du procédé : Dans un réacteur à plasma (puissance 25-50 kW), des éléments dopants (tels que Ta, Zr) sont introduits à la surface de la poudre sous forme gazeuse (telle que TaCl₅ vapeur) avec un temps de réaction de 15 à 30 secondes.

Avantages techniques : efficacité de dopage élevée, effet de modification de surface significatif et amélioration de 25 % de la résistance à l'oxydation.

Exemple d'application : Une entreprise a dopé 0,8 % de Nb et le taux de gain de poids par oxydation de la poudre à 900 °C a été réduit de 35 %, ce qui la rend adaptée aux revêtements à haute température.

Effets des applications et tendances de la recherche

Effet quantitatif : Le dopage et la modification composite améliorent considérablement les performances globales de la poudre de carbure de tungstène. Par exemple, la durée de vie des outils en poudre composite WC -TiC -Co pour la coupe à grande vitesse est prolongée de 60 % ; la poudre WC-Cr₃C₂ est utilisée pour les revêtements anticorrosion, et la résistance aux acides est multipliée par 2,5.

Défis techniques : La proportion et la répartition des éléments dopants doivent être optimisées avec précision. Un dopage excessif (par exemple, TiC > 12 %) peut entraîner une séparation de phases et réduire la ténacité. La résistance de liaison interfaciale du matériau composite doit également être améliorée.

Tendances de la recherche :

Dopage synergique multi-éléments : explorez plusieurs combinaisons telles que Ti-V-Cr-Nb et utilisez les effets synergétiques pour améliorer les performances globales.

Matériaux nanocomposites : Développer des poudres nanocomposites à base de WC (telles que WC- TiC - ZrC) avec une granulométrie contrôlée inférieure à 50 nm.

Assistance à la simulation informatique : grâce à la dynamique moléculaire et aux calculs de premiers principes, l'effet des éléments dopants sur la stabilité du réseau peut être prédit afin de réduire les coûts

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

expérimentaux.

6.3 Technologie de modification de surface

La modification de surface optimise la dispersibilité, la fluidité, la résistance à l'oxydation et les performances de frittage de la poudre de carbure de tungstène en régulant la composition chimique, la morphologie physique ou la microstructure de la surface. Cette technologie est essentielle pour améliorer l'efficacité du traitement des poudres et les performances du produit final. Ce qui suit analyse systématiquement la théorie et l'application de la modification de surface sous quatre aspects : le mécanisme de modification, la technologie du procédé, l'effet quantitatif et les perspectives d'avenir.

Mécanisme de modification

Régulation de l'énergie de surface : En recouvrant des couches organiques (comme l'alcool polyvinylique, PVA) ou inorganiques (comme SiO_2 , Al_2O_3), l'énergie de surface des particules peut être réduite, la force de van der Waals peut être réduite et le taux d'agglomération peut être réduit de 25 % à 4 %.

Coefficient de frottement réduit : après modification, une surface lisse ou sphérique est formée, le coefficient de frottement entre les particules est réduit de 15 à 25 % et le débit Hall peut être réduit de 28 secondes/50 g à 13 secondes/50 g.

Résistance à l'oxydation améliorée : la surface est recouverte d'oxydes à point de fusion élevé (comme ZrO_2) ou de nitrures (comme TiN) pour former une couche protectrice inhibant les réactions d'oxydation à haute température. Par exemple, la prise de masse par oxydation de la poudre revêtue d' Al_2O_3 à 800 °C est réduite de 40 %.

Activité de frittage améliorée : la surface modifiée introduit des groupes actifs (tels que des groupes hydroxyles et amino) pour favoriser la liaison inter-particules. La température de frittage peut être réduite de 50 à 80 °C et la densité augmentée de 8 %.

Technologie des procédés

Méthode de revêtement chimique :

Déroulement du processus : disperser la poudre de carbure de tungstène dans la solution, ajouter un précurseur de revêtement (tel que le silicate d'éthyle, le tétrachlorure d'aluminium), réagir à pH 4,5-6,5 et à température 50-70°C pour former une couche de revêtement SiO_2 ou Al_2O_3 (épaisseur 10-60 nm).

Avantages techniques : La couche de revêtement est uniforme et son épaisseur est contrôlable, ce qui convient à la production à grande échelle. Le coût est d'environ 30 000 RMB/tonne.

Exemple d'application : Une entreprise a appliqué 0,3 % de SiO_2 , le taux d'agglomération de la poudre a été réduit à 2,5 % et la porosité du corps fritté a été réduite de 12 %.

Traitement de surface au plasma :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Déroulement du procédé : Dans un réacteur plasma (puissance 15-35 kW), un plasma Ar, N₂ ou O₂ est utilisé pour bombarder la surface de la poudre afin d'introduire des groupes actifs ou de former une couche de nitrure/oxydation (épaisseur 5-20 nm).

Avantages techniques : temps de traitement court (10 à 20 secondes), rugosité de surface réduite de 25 % et résistance à l'oxydation augmentée de 20 %.

Exemple d'application : Une entreprise a utilisé le traitement au plasma N₂ pour réduire de 30 % la prise de poids par oxydation de la poudre à 750 °C et améliorer de 15 % la résistance à l'usure du revêtement.

Modification mécano-chimique :

Flux de processus : ajouter des tensioactifs (tels que l'acide stéarique, l'acide oléique, ajoutés en une quantité de 0,2 % à 0,6 %) pendant le processus de broyage à boulets pour induire des réactions chimiques de surface par la force mécanique pour former une couche de revêtement organique.

Avantages techniques : processus simple, faible coût d'équipement (environ 20 000 RMB), adapté aux petites et moyennes entreprises.

Exemple d'application : une entreprise a ajouté 0,4 % d'acide stéarique, le débit de poudre est passé de 26 secondes/50 g à 17 secondes/50 g et l'efficacité de pressage a augmenté de 18 %.

Dépôt physique en phase vapeur (PVD) :

Déroulement du procédé : Dans un environnement sous vide (10^{-2} Pa), TiN, CrN et d'autres films minces (épaisseur 20-100 nm) sont déposés par pulvérisation magnétron à une vitesse de dépôt de 0,5-2 nm/s.

Avantages techniques : Dureté de surface augmentée de 35%, adaptée aux revêtements et outils de coupe haut de gamme.

Défis techniques : investissement élevé en équipement (environ 3,5 millions de RMB) et faible efficacité de production (100 à 200 kg par lot).

Effets quantitatifs et orientations futures

Effet quantitatif : La modification de surface améliore significativement les performances de mise en œuvre et de production des poudres. Par exemple, la température de frittage des poudres enrobées de SiO₂ a été réduite de 1 450 °C à 1 370 °C, et le coefficient de frottement du revêtement a été réduit de 15 % ; la durée de vie des poudres modifiées au TiN a été prolongée de 40 %.

Défis techniques : La stabilité à long terme du revêtement doit être optimisée, et le frittage à haute température peut entraîner sa décomposition ou son décollement. L'équilibre entre coût de modification et amélioration des performances est également un enjeu clé.

Orientations futures

Revêtement composite multicouche : Développer une structure multicouche SiO₂ / Al₂O₃ / ZrO₂ pour améliorer la résistance à l'oxydation et la force de liaison.

Modification intelligente : combinée à l'IA pour optimiser les paramètres de traitement au plasma (tels

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que la puissance et le rapport débit d'air) afin d'améliorer l'efficacité de la modification.

Modification écologique : Explorer les agents de revêtement à base d'eau (tels que le silicate de sodium) pour réduire l'utilisation de solvants organiques et réduire la pollution de l'environnement.

6.4 Traitement thermique et recuit

Le traitement thermique et le recuit optimisent la structure cristalline, les contraintes internes et l'état chimique de surface de la poudre de carbure de tungstène grâce à un contrôle précis de la température, de l'atmosphère et du temps de maintien, améliorant ainsi ses performances de frittage et ses propriétés mécaniques. Cette technologie joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la stabilité de la poudre et de l'efficacité de traitement. L'application du traitement thermique et du recuit est analysée sous quatre angles : le mécanisme de modification, la technologie du procédé, l'effet quantitatif et l'orientation du développement.

Mécanisme de modification

Optimisation de la structure cristalline : Le traitement thermique peut éliminer les défauts cristallins (tels que les dislocations et les défauts d'empilement) introduits lors du broyage ou de la carbonisation, améliorer la pureté de la phase WC (de 98 % à 99,5 %) et réduire le W_2C résiduel ou le carbone libre.

Libération des contraintes internes : le recuit réduit les contraintes résiduelles (telles que les contraintes de compression de 500 MPa à 100 MPa) par diffusion atomique, améliorant l'uniformité de pressage de la poudre et la résistance du corps vert fritté.

Régulation chimique de surface : Le traitement thermique dans une atmosphère réductrice ou inerte peut éliminer les oxydes de surface (tels que WO_3), réduire la teneur en oxygène de 0,25 % à 0,04 % et améliorer l'activité de frittage.

Contrôle de la taille des grains : En optimisant la température de recuit (800-1200°C) et le temps (1-4 heures), les grains sont empêchés de croître trop vite et les grains sont maintenus petits (0,5-1,5µm).

Technologie des procédés

Recuit sous vide :

Déroulement du procédé : dans un four à vide (degré de vide 10^{-4} Pa), température 850-1250°C, maintien au chaud pendant 1,5 à 3,5 heures, vitesse de refroidissement 5-10°C/min.

Avantages techniques : Élimine efficacement la teneur en oxygène (de 0,22 % à 0,05 %) et réduit la densité des défauts cristallins de 35 %.

Exemple d'application : Une entreprise a réduit la porosité de frittage de la poudre de 2 % à 0,8 % et a augmenté la résistance du carbure cimenté de 10 % grâce à un recuit sous vide à 1050 °C.

Recuit sous atmosphère d'hydrogène :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Débit du processus : Dans une atmosphère d'hydrogène (débit de 0,8 à 1,5 L/min), température de 950 à 1150 °C, maintenir au chaud pendant 2 à 5 heures, utiliser un refroidissement par eau ou par air.

Avantages techniques : L'hydrogène réduit les oxydes de surface, réduisant la teneur en oxygène à 0,03 % et augmentant l'activité de surface de 20 %.

Exemple d'application : une entreprise a adopté le recuit à l'hydrogène à 1 000 °C pour prolonger la durée de vie de l'outil de 18 %.

Traitement thermique par micro-ondes :

Déroulement du processus : Dans un four à micro-ondes (puissance 3-6 kW), température 750-1050°C, maintenir au chaud pendant 15 à 40 minutes, utiliser une protection contre le gaz inerte.

Avantages techniques : chauffage uniforme, réduction de 25 % de la consommation énergétique et granulométrie contrôlée à 0,5-1 µm.

Exemple d'application : une université a utilisé le recuit par micro-ondes à 900 °C pour augmenter la dureté de la poudre de HV 1800 à HV 2000.

Traitement thermique au plasma :

Déroulement du procédé : Dans un environnement plasma (puissance 20-40 kW), température 650-950°C, temps de traitement 8-20 secondes, en utilisant une atmosphère mixte Ar /H₂.

Avantages techniques : traitement rapide, augmentation de 18 % de l'activité de surface, adapté aux poudres ultrafines.

Défis techniques : le coût de l'équipement est élevé (environ 2,5 millions de RMB) et la stabilité du processus doit être optimisée.

Effets quantitatifs et orientations futures

Effet quantitatif : Le traitement thermique et le recuit améliorent considérablement les performances de la poudre. Par exemple, la densité de frittage de la poudre recuite à l'hydrogène a augmenté de 12 % et la ténacité du carbure cémenté a augmenté de 22 %. La poudre recuite aux micro-ondes est utilisée pour l'impression 3D, et la précision d'impression est améliorée à $\pm 7 \mu\text{m}$.

Défis techniques : Le recuit à haute température peut entraîner une croissance des grains, et un contrôle précis de la température (écart $\pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$) et de l'atmosphère (pression partielle d'oxygène $< 10^{-5} \text{ Pa}$) est nécessaire. La stabilité thermique des poudres ultrafines nécessite également des études plus approfondies.

Orientations futures

Recuit rapide à basse température : Développement d'un recuit à basse température assisté par plasma ($< 700^{\circ}\text{C}$), réduisant la consommation d'énergie de 20%.

Contrôle intelligent : utilisez l'IA pour prédire le taux de croissance des grains et optimiser les paramètres de recuit.

Traitement thermique écologique : Explorez le traitement thermique solaire pour réduire les émissions de carbone (objectif $< 1 \text{ tonne de CO}_2 / \text{tonne de poudre}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Références

- Li Ming. Matériaux en carbure cémenté[M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.
- Li Ming. Science des matériaux du carbure cémenté [M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . Progrès dans la technologie de préparation de la poudre de carbure de tungstène[J]. Technologie de la métallurgie des poudres, 2020, 38(2) : 88-94.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . Progrès dans la technologie de préparation de la poudre de carbure de tungstène [J]. Technologie de la métallurgie des poudres, 2020, 38(2) : 88-94.
- Wang Qiang, Li Ming. Recherche sur la poudre de carbure de tungstène haute performance en Chine[J]. China Tungsten Industry, 2020, 35(4) : 56-62.
- Wang Qiang, Li Ming. Recherche sur la poudre de carbure de tungstène haute performance en Chine [J]. China Tungsten Industry, 2020, 35(4) : 56-62.
- Chen Wei, Zhao Gang. Étude sur l'optimisation des performances de la poudre de carbure de tungstène ultrafine[J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5) : 567-573.
- Chen Wei, Zhao Gang. Étude sur l'optimisation des performances de la poudre de carbure de tungstène ultrafine [J]. Journal of Inorganic Materials, 2022, 37(5) : 567-573.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Progrès dans la technologie de modification de surface de la poudre de carbure de tungstène [J]. Science et ingénierie des matériaux, 2023, 41(3) : 89-96.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Progrès dans la technologie de modification de surface de la poudre de carbure de tungstène [J]. Science et ingénierie des matériaux, 2023, 41(3) : 89-96.
- Smith J, Brown T. Progrès dans la modification des poudres de carbure de tungstène [J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(10) : 5678-5690.
- Progrès dans la technologie de modification des poudres de carbure de tungstène[J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(10) : 5678-5690.
- Johnson R, Lee K. Modification de surface des poudres WC pour une performance améliorée [J]. Powder Technology, 2022, 395 : 123-135.
- Modification de surface de la poudre de carbure de tungstène pour améliorer les performances [J]. Powder Technology, 2022, 395 : 123-135.
- ASTM B761-17, Méthode d'essai standard pour la distribution granulométrique des poudres métalliques et des composés apparentés par diffusion de la lumière.
- Méthode d'essai de diffusion de la lumière pour la distribution granulométrique des poudres métalliques et des composés apparentés.
- Müller H, Schmidt P. Optimierung der Partikelgrößen von Wolframcarbidgepulver [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik , 2020, 51(7) : 890-897.
- Recherche sur l'optimisation de la granulométrie de la poudre de carbure de tungstène[J]. Science des matériaux et technologie de l'ingénierie, 2020, 51(7) : 890-897.
- Bauer T. Wärmebehandlung von Wolframcarbidgepulver [M]. Berlin : Springer, 2022.
- Traitement thermique des poudres de carbure de tungstène [M]. Berlin : Springer-Verlag, 2022.
- Taro Yamada. Technologie de modification de surface de poudre carbonisée [J]. Journal of the Powder Engineering Society, 2021, 58(4) : 156-163.
- Technologie de modification de surface de la poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of 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 Society, 2021, 58(4) : 156-163.

Ken Nakamura. Traitement thermique de la poudre de タングステン ultrafine carbonisée[J]. Journal de la science des matériaux, 2023, 72(6) : 412-419.

Traitement thermique de poudre ultrafine de carbure de tungstène[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

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

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.



Chapitre 7 : Considérations environnementales et de sécurité concernant la poudre de carbure de tungstène

Matière première essentielle de matériaux hautes performances tels que le carbure cémenté, les outils de coupe et les revêtements anti-usure, la production et l'application de la poudre de carbure de tungstène ont favorisé le progrès industriel, mais ont également engendré des défis en matière de pollution environnementale, de sécurité au travail et de durabilité des ressources. Face à l'attention croissante portée à la fabrication verte et au développement durable à l'échelle mondiale, l'impact environnemental et la gestion de la sécurité de l'industrie de la poudre de carbure de tungstène sont devenus un sujet de recherche et de pratique. Ce chapitre aborde de manière systématique les enjeux environnementaux et de sécurité de la poudre de carbure de tungstène sous quatre angles : l'impact environnemental du processus de production, les spécifications d'exploitation sûres, le recyclage et l'analyse des technologies de recyclage. Associé à l'optimisation des procédés, aux exigences réglementaires et au concept d'économie circulaire, il fournit des orientations scientifiques et des références techniques pour l'industrie.

7.1 Impact environnemental pendant la production

La production de poudre de carbure de tungstène implique de multiples étapes, telles que la purification des matières premières, la réaction de carbonisation, le broyage et la classification. Ces processus peuvent produire des gaz résiduels, des eaux usées, des déchets solides et une consommation d'énergie importante, susceptibles d'avoir des impacts potentiels sur l'environnement. L'évaluation et le contrôle scientifiques de ces impacts constituent non seulement une manifestation de responsabilité sociale des entreprises, mais aussi la clé d'une production écologique et du respect des réglementations environnementales internationales. Ce qui suit présente une analyse approfondie des enjeux environnementaux liés au processus de production, sous quatre angles : la source de l'impact environnemental, l'évaluation quantitative, les technologies de contrôle et les tendances futures.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sources d'impact environnemental

Émissions de gaz résiduels : Pendant la réaction de carbonisation et le traitement thermique, des composés organiques volatils (COV), du monoxyde de carbone (CO), du dioxyde de carbone (CO₂) et des traces de sulfures (comme le SO₂) peuvent être émis avec les gaz résiduels à haute température. Par exemple, lorsque le four de carbonisation fonctionne à 1 400-1 600 °C, chaque tonne de poudre de carbure de tungstène peut produire 2 à 3 tonnes de CO₂.

Pollution des eaux usées

Les procédés de broyage humide et de purification chimique produisent des eaux usées contenant des métaux lourds (tels que le tungstène et le fer) et des substances acides (telles que HCl et H₂SO₄). Si elles sont rejetées directement sans traitement, elles peuvent entraîner une baisse du pH de l'eau (< 6) et une teneur excessive en métaux lourds (concentration en tungstène > 10 mg/L).

Déchets solides

Les scories issues de la purification des matières premières, les déchets de broyage à boulets et les poudres non qualifiées constituent des déchets solides. L'industrie mondiale du tungstène produit environ 500 000 tonnes de déchets solides chaque année, dont environ 20 % sont des déchets dangereux (tels que des résidus de filtration contenant des métaux lourds).

Consommation d'énergie

La production de poudre de carbure de tungstène est un processus très consommateur d'énergie, consommant en moyenne 8 000 à 12 000 kWh d'électricité par tonne de poudre, ce qui représente 30 à 40 % du coût de production, entraînant indirectement des émissions de carbone élevées (environ 4 à 6 tonnes de CO₂ / tonne de poudre).

Évaluation quantitative de l'impact environnemental

Analyse de l'empreinte carbone

L'analyse du cycle de vie (ACV) montre que les émissions de carbone liées à la production de poudre de carbure de tungstène proviennent principalement de la réaction de carbonisation (60 %) et de la consommation d'électricité (30 %). L'empreinte carbone d'une ligne de production type est de 5,5 tonnes d'équivalent CO₂ par tonne de poudre, ce qui est bien supérieur à celui de l'acier ordinaire (environ 2 tonnes de CO₂ par tonne).

Impact sur les ressources en eau

Lors du rejet des eaux usées, le taux de récupération du tungstène n'est généralement que de 85 à 90 %, et les 10 à 15 % restants pénètrent dans la masse d'eau sous forme dissoute ou en suspension, ce qui peut entraîner une pollution des sols et des eaux souterraines.

Risques environnementaux liés aux déchets solides

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dans les déchets solides non traités, les métaux lourds (tels que le tungstène et le cobalt) peuvent migrer par lixiviation, avec un rayon de pollution allant jusqu'à 1 à 2 kilomètres, affectant l'écosystème environnant.

Outils d'évaluation

Normes ISO 14040/14044 : utilisées pour l'analyse ACV afin d'évaluer l'impact environnemental complet depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la production de poudre.

Étude d'impact sur l'environnement (EIE) : quantifier la concentration d'émission et le risque écologique des gaz résiduels, des eaux usées et des déchets solides.

Audit de consommation énergétique : Grâce au bilan thermique et à l'analyse de puissance, identifier les maillons à forte consommation énergétique (comme le four de carbonisation qui représente 50% de la consommation énergétique).

Technologie de contrôle de l'impact environnemental

Traitement des gaz résiduels :

Adsorption-combustion catalytique : Le charbon actif est utilisé pour adsorber les COV puis les brûler de manière catalytique, avec une efficacité de purification de 95 % et une réduction de 10 % des émissions de CO₂.

Épuration humide : en utilisant une solution alcaline (telle que NaOH) pour absorber le SO₂, le taux de purification atteint 98 % et la concentration d'émission de gaz d'échappement est contrôlée en dessous de 10 mg/m³.

Émissions de CO₂ de 3 tonnes/tonne de poudre à 2,2 tonnes grâce à un système de récupération des gaz d'échappement, répondant aux normes d'émission de l'UE (<2,5 tonnes de CO₂/tonne).

Traitement des eaux usées :

Méthode de précipitation chimique : Ajouter du Ca(OH)₂ ou du Na₂CO₃ pour précipiter le tungstène sous forme de tungstate de calcium, le taux de récupération est augmenté à 95 % et la concentration de tungstène dans les eaux usées est réduite à 0,5 mg/L.

Technologie de séparation membranaire : la membrane d'osmose inverse (taille des pores de 0,1 à 1 nm) est utilisée pour éliminer les métaux lourds et les substances acides, avec un taux de récupération des eaux usées de 80 %.

Exemple d'application : Une entreprise a réduit ses rejets d'eaux usées de 500 m³/tonne de poudre à 200 m³ grâce à une séparation membranaire combinée à une précipitation chimique, atteignant ainsi la norme nationale d'émission de premier niveau (GB 8978-1996).

Gestion des déchets solides :

Utilisation des ressources : les scories sont utilisées dans la production de ciment et les déchets de broyeur à boulets sont utilisés pour les pièces résistantes à l'usure bas de gamme, avec un taux de récupération de 70 %.

Décharge sécurisée : les déchets dangereux contenant des métaux lourds sont solidifiés (ajout de ciment, taux de solidification > 99 %) pour éviter la pollution par lixiviation.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exemple d'application : une entreprise a recyclé 90 % de ses déchets solides, réduit les coûts d'enfouissement de 50 % et économisé 10 millions de RMB par an.

Technologie d'économie d'énergie :

Four de carbonisation à haut rendement : un four de chauffage par induction est utilisé à la place d'un four à résistance, l'efficacité énergétique est améliorée de 20 % et la consommation d'énergie par tonne de poudre est réduite à 7 000 kWh.

Récupération de chaleur perdue : La chaleur perdue provenant des gaz d'échappement du four de carbonisation est utilisée pour préchauffer les matières premières, et la chaleur récupérée représente 15 % de la consommation totale d'énergie.

CO₂ annuellement grâce à un système de récupération de chaleur perdue.

Tendances futures

Développement de procédés verts

Explorer la technologie de carbonisation à basse température (comme la carbonisation par micro-ondes, température < 1200°C) pour réduire la consommation d'énergie de 30% et contrôler les émissions de carbone à moins de 2 tonnes de CO₂ / tonne de poudre.

Objectif zéro émission

Promouvoir les systèmes d'eau en circuit fermé et la technologie de récupération complète des gaz résiduels, et s'efforcer d'atteindre des émissions d'eaux usées et de gaz résiduels proches de zéro.

Surveillance intelligente

Utiliser l'Internet des objets (IoT) et l'analyse des mégadonnées pour surveiller les paramètres d'émission (tels que la concentration de COV, erreur <1 ppm) en temps réel et optimiser l'efficacité du traitement.

Axé sur les politiques

À l'échelle mondiale, l'Accord de Paris et les objectifs de « double carbone » de la Chine (neutralité carbone d'ici 2060) inciteront l'industrie à adopter des technologies à faible émission de carbone, et l'empreinte carbone de la production de poudre de carbure de tungstène devrait être réduite de 50 % d'ici 2030.

7.2 Spécifications de fonctionnement de sécurité

La production et le traitement de la poudre de carbure de tungstène comportent des risques potentiels tels que les températures et les pressions élevées, les réactifs chimiques et la poussière. Des spécifications scientifiques de sécurité opérationnelle constituent la base pour garantir la santé des employés et la stabilité des équipements de production. Ce document analyse systématiquement les exigences de gestion de la sécurité pour la production de poudre de carbure de tungstène sous quatre aspects : l'identification des risques, les spécifications opérationnelles, les mesures de protection et la conformité réglementaire.

Identification des risques de sécurité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Risque d'explosion de poussières : Lorsque la poudre de carbure de tungstène (granulométrie $< 10 \mu\text{m}$) forme un nuage de poussières en suspension dans l'air, elle peut exploser en cas d'exposition à une flamme nue ou à l'électricité statique. L'énergie minimale d'inflammation est de seulement 10 mJ et la pression d'explosion peut atteindre 0,7 MPa.

Les HNO_3) utilisés dans le processus de purification et de nettoyage sont corrosifs et peuvent provoquer des brûlures de la peau ou des lésions des voies respiratoires lorsque la concentration est $> 10 \%$.

Risques liés aux équipements à haute température : Le four de carbonisation fonctionne à $1400\text{-}1600^\circ\text{C}$, ce qui présente des risques de brûlures, de surpression de l'équipement ($> 0,5\text{MPa}$) et de fuite de gaz (comme H_2).

Risques pour la santé au travail : Une exposition à long terme à la poussière de carbure de tungstène (concentration $> 5 \text{mg}/\text{m}^3$) peut provoquer une fibrose pulmonaire, et la poussière de cobalt ($> 0,1 \text{mg}/\text{m}^3$) est sensibilisante.

Règlements de sécurité d'exploitation

Contrôle de la poussière :

Ventilation et dépoussiérage : L'atelier de production est équipé d'un dépoussiéreur à sac à impulsions à haut rendement avec un taux de captage des poussières de $> 99,9 \%$ et la concentration de poussières dans l'atelier est contrôlée en dessous de $2 \text{mg}/\text{m}^3$.

Mesures antidéflagrantes : Utiliser des moteurs antidéflagrants (Ex d IIC T4) et des dispositifs de mise à la terre électrostatique, avec un potentiel électrostatique $< 100 \text{V}$ pour éviter que des étincelles ne provoquent des explosions.

Exigences de spécification : Les opérateurs doivent porter des vêtements de travail antistatiques (résistance de surface $< 10^8 \Omega$) et le transfert de poudre doit utiliser une canalisation fermée (taux de fuite $< 0,1 \%$).

Gestion des réactifs chimiques :

Spécifications de stockage : Les réactifs acides sont stockés dans des conteneurs résistants à la corrosion (acier inoxydable 316L) et le réservoir de stockage est équipé d'un système d'alarme de fuite (sensibilité 0,1 ppm).

Spécification d'utilisation : Utiliser une protection secondaire (gants résistants aux acides, masque de protection) pendant le fonctionnement, et l'acide usé est traité dans un réservoir de neutralisation (pH 6-9) avant rejet.

Mesures d'urgence : Équipé de stations de rinçage d'urgence (débit $> 20 \text{L}/\text{min}$) et de neutralisants (tels que NaHCO_3) pour garantir que le temps de réponse en cas d'accident soit < 30 secondes.

Fonctionnement de l'équipement à haute température :

Maintenance de l'équipement : Le four de carbonisation doit calibrer le capteur de pression annuellement (erreur $< 0,01 \text{MPa}$) et vérifier régulièrement la bague d'étanchéité (durée de vie $> 5\,000$ heures).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Procédures de fonctionnement : Avant de démarrer, vérifier que la concentration en hydrogène est $< 4\%$ (limite inférieure d'explosion) et surveiller la température du four pendant le fonctionnement (écart $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Mesures de protection : Les opérateurs portent des vêtements de protection résistants aux hautes températures (résistance à la température $> 1000^{\circ}\text{C}$) et des barrières d'isolement (épaisseur $> 10\text{mm}$) sont mises en place dans la zone du four.

Gestion de la santé au travail :

Protection contre la poussière : Porter un masque anti-poussière N95 (efficacité de filtration $> 95\%$) et installer un dispositif d'aspiration local dans l'atelier (volume d'air $> 500\text{ m}^3/\text{h}$).

Surveillance de la santé : Réaliser des tests de la fonction pulmonaire chaque année, en mettant l'accent sur la surveillance des personnes exposées au cobalt (concentration sanguine de cobalt $< 1\text{ }\mu\text{g/L}$).

Exigences de formation : Les nouveaux employés reçoivent au moins 40 heures de formation en sécurité, couvrant la protection contre la poussière, la gestion des produits chimiques et le sauvetage d'urgence.

Mesures de protection et exemples d'application

Contrôle automatique : le système PLC est utilisé pour surveiller la concentration de poussière, la pression du four et le débit de gaz, et la machine s'arrêtera automatiquement en cas d'anomalie, réduisant ainsi le taux d'accident de 80% .

Équipement de protection individuelle (EPI) : équipé d'une combinaison intégrale anti-poussière (niveau de protection IP65) et d'un respirateur à pression positive (alimentation en air $> 30\text{ L/min}$), avec une efficacité de protection de 99% .

Exemple d'application : Une entreprise a introduit un système automatisé de dépoussiérage et de surveillance antidéflagrante, réduisant le taux d'accidents dus aux explosions de poussières de 0,5 fois par an à 0 et réduisant l'incidence des maladies professionnelles de 90% .

Conformité réglementaire :

Normes internationales : Conforme à la limite d'exposition à la poussière de l'OSHA (US Occupational Safety and Health Administration) (5 mg/m^3) et au système de gestion de la santé et de la sécurité au travail ISO 45001.

Normes nationales : Conforme à la GBZ 2.1-2019 « Limites d'exposition professionnelle aux facteurs dangereux sur le lieu de travail » (poussière de tungstène $< 6\text{ mg/m}^3$) et à la « Loi sur la sécurité au travail » (version révisée 2021).

Tendances futures

Gestion intelligente de la sécurité : grâce à l'IA et à la technologie des capteurs, surveillance en temps réel de la concentration de poussière (erreur $< 0,1\text{ mg/m}^3$) et de l'état de l'équipement, prévision des risques d'accident et réduction du temps de réponse à 10 secondes.

Technologie de protection verte : Développer des réactifs chimiques non toxiques (tels que l'acide citrique au lieu du HCl) et des procédés à faible émission de poussière (tels que la carbonisation humide) pour réduire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Risques pour la santé au travail.
m³ d'ici 2030 .

7.3 Récupération et recyclage

Le recyclage et la réutilisation de la poudre de carbure de tungstène constituent un moyen important de préserver les ressources et de réduire l'impact environnemental. Métal rare, le tungstène dispose de réserves mondiales limitées (environ 3,5 millions de tonnes), et sa production dépend de minerai de tungstène à haute teneur. Les technologies de recyclage peuvent pallier efficacement les pénuries de ressources et réduire les émissions de déchets. Ce qui suit analyse systématiquement les pratiques et les perspectives du recyclage sous trois angles : la nécessité du recyclage, les avantages de l'économie circulaire et les perspectives d'avenir.

Le besoin de recyclage

Pénurie de ressources : Les ressources mondiales en tungstène sont concentrées en Chine (représentant 55 % des réserves), mais les minerais à haute teneur ($WO_3 > 0,5\%$) s'épuisent progressivement. Le recyclage peut augmenter l'utilisation du tungstène de 60 % à 90 %.

Avantages environnementaux : Le recyclage d'une tonne de poudre de carbure de tungstène peut réduire d'environ 4 tonnes d'émissions de CO_2 et 200 m³ d'eaux usées, réduisant ainsi la charge environnementale de 50 % par rapport à la production primaire.

Valeur économique : Le coût du recyclage du tungstène (environ 100 000 RMB/tonne) est bien inférieur à celui de la production primaire (environ 250 000 RMB/tonne), et la marge bénéficiaire est augmentée de 30 %.

Axé sur la réglementation : la loi chinoise sur la prévention et le contrôle de la pollution environnementale par les déchets solides (version révisée de 2020) et le plan d'action de l'UE pour l'économie circulaire (2020) exigent que le taux de recyclage du tungstène atteigne plus de 70 % d'ici 2030.

Les avantages de l'économie circulaire

Avantages en termes de ressources : environ 300 000 tonnes de déchets de carbure cémenté peuvent être recyclées chaque année dans le monde, ce qui équivaut à 100 000 tonnes supplémentaires de ressources en tungstène, prolongeant ainsi la durée de vie des mines de tungstène de 10 à 15 ans.

Avantages environnementaux : les émissions de carbone issues du processus de recyclage ne représentent que 30 % de la production d'origine, les rejets d'eaux usées sont réduits de 70 % et les déchets solides sont réduits de 80 %.

Avantages économiques : Le prix de marché de la poudre recyclée (environ 150 000 RMB/tonne) est inférieur à celui de la poudre vierge. Le marché mondial du recyclage devrait atteindre 20 milliards de RMB en 2030.

Exemple d'application : Une entreprise a recyclé 5 000 tonnes de ferraille d'alliage, avec un bénéfice annuel de 30 millions de RMB et un rejet d'eaux usées réduit à 50 m³/tonne.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Orientations futures

Technologie de recyclage à haute efficacité : Développer le recyclage électrochimique à basse température (température < 100°C), réduisant la consommation d'énergie de 50 % et augmentant le taux de récupération à 98 %.

Tri intelligent : grâce à l'IA et à la technologie de fluorescence X (XRF), les composants des déchets peuvent être identifiés avec précision, augmentant ainsi l'efficacité du tri de 30 %.

Système en boucle fermée : établir un système de recyclage complet de l'alliage usagé à la nouvelle poudre et s'efforcer d'atteindre zéro déchet de ressources en tungstène d'ici 2035.

Soutien politique : le 14e plan quinquennal de la Chine et la directive de l'UE sur les batteries et les déchets (2023) feront passer l'objectif du taux de recyclage de 50 % à 80 %.

7.4 Analyse de la technologie de récupération de poudre de carbure de tungstène

Le recyclage de la poudre de carbure de tungstène est un moyen technique important pour une utilisation durable des ressources en tungstène, réduisant ainsi l'impact environnemental et les coûts de production. Les déchets contenant du carbure de tungstène, tels que les chutes de carbure, les outils de coupe et les matériaux de revêtement, constituent la principale source de recyclage. L'article suivant présente une analyse détaillée des méthodes de recyclage de la poudre de carbure de tungstène, clarifie la méthode industrielle la plus courante et explore en profondeur ses fondements théoriques, son déroulement, ses avantages et ses inconvénients.

7.4.1 Aperçu des méthodes de recyclage.

Il existe cinq principales méthodes de recyclage de la poudre de carbure de tungstène, chacune adaptée à différents types de déchets et à différents scénarios d'application. Le tableau suivant résume les objets, principes, taux de récupération, avantages et inconvénients de chaque méthode :

Comparaison des méthodes de récupération de poudre de carbure de tungstène

Méthode	Clientèle cible	principe	Taux de récupération	Avantages	Inconvénients
Séparation mécanique	Déchets d'outils et de moules en carbure (WC>80%)	Séparation du carbure de tungstène et de la phase liante par concassage, tamisage et séparation magnétique	80%-85%	Procédé simple, faible coût (environ 20 000 yuans/tonne), adapté aux particules grossières (> 5 μm)	La poudre a une faible pureté (environ 95 %) et une grande taille de particules, ce qui ne convient pas aux applications de haute précision .
Méthode de dissolution	Alliages et revêtements	Utiliser une solution acide/oxydante pour	95%-98%	Un taux de récupération	Le coût du traitement des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chimique	usagés contenant une phase liante (Co, Ni) ou des impuretés	dissoudre la phase liante, retenir ou oxyder le carbure de tungstène, puis carburer	élevé, une pureté élevée (> 99,5 %), une poudre ultrafine (< 1 µm) peuvent être obtenues et une large applicabilité	déchets liquides acides est élevé (environ 20 000 à 30 000 yuans/tonne), le processus est complicé et l'investissement en équipement est important (environ 10 millions de yuans).
Récupération électrochimique	Déchets de carbure cémenté contenant du cobalt	Utiliser l'alliage usagé comme anode pour électrolyser et dissoudre la phase de liaison pour extraire le carbure de tungstène ou le tungstate, puis carboniser	90%-95%	Faible consommation d'énergie (environ 3000 kWh/tonne), les déchets liquides peuvent être recyclés, adapté aux nanopoudres L'équipement est complexe, la stabilité du processus doit être optimisée et l'échelle industrielle est petite.
Méthode de fusion à haute température	Ferraille contenant des impuretés complexes (revêtements, alliages mixtes)	Fusion à haute température (1800- 2000°C) pour séparer le tungstène et la phase liante, puis carbonisation après refroidissement	85%-90%	Consommation énergétique élevée (environ 10 000 kWh/tonne), investissement important en équipement (environ 5 millions de yuans), pureté moyenne de la poudre
Méthode de fusion du zinc	Déchets d'outils et de moules en carbure	Le zinc liquide est utilisé pour dissoudre la phase de liaison à	90%-95%	Taux de récupération élevé, La volatilisation du zinc produit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	contenant du cobalt	900-1000°C, le carbure de tungstène est séparé et le zinc est évaporé et récupéré	performances de la poudre proches de la poudre d'origine	des gaz résiduaires, qui nécessitent un traitement des gaz résiduaires, avec des processus complexes et des coûts élevés (environ 30 000 yuans/tonne).

7.4.2 La méthode d'industrialisation la plus courante

dissolution chimique

est actuellement la méthode la plus répandue pour récupérer la poudre de carbure de tungstène dans la production industrielle. Elle est largement utilisée dans les principales régions productrices de tungstène, comme la Chine, l'Europe et l'Amérique du Nord. Son succès s'explique par les raisons suivantes :

Haute récupération et pureté

Le taux de récupération peut atteindre 95 à 98 % et la pureté de la poudre est > 99,5 %, ce qui convient aux applications de carbure cimenté et de revêtement hautes performances.

Large applicabilité

Il peut traiter une variété de déchets, notamment du carbure cimenté contenant du cobalt (5 à 20 %), du nickel ou des impuretés complexes, des déchets de revêtement et des résidus de poudre.

Technologie mature

Il existe des lignes de production industrielles matures dans le monde entier, avec des paramètres de processus hautement optimisés et des coûts de production contrôlables (environ 80 000 à 120 000 RMB par tonne).

Part de marché

Selon les données de l'industrie, la dissolution chimique représente 60 à 70 % de la récupération mondiale du carbure de tungstène, dépassant de loin les autres méthodes (telles que la fusion du zinc environ 20 % et la séparation mécanique environ 10 %).

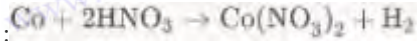
7.4.3. Base théorique.

Le principe de la dissolution chimique repose sur l'utilisation de réactifs chimiques pour dissoudre sélectivement la phase liante (comme le cobalt ou le nickel) ou les particules de carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

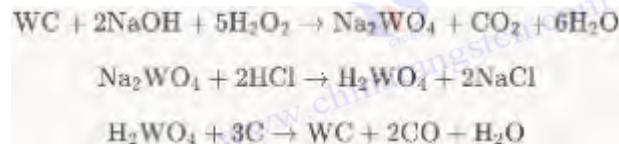
oxydées dans les déchets de carbure cimenté, séparer le carbure de tungstène ou les composés de tungstène de haute pureté, puis générer de la poudre de carbure de tungstène par traitement ultérieur. Ses bases théoriques comprennent les aspects suivants :

Dissolution sélective : La phase liante (comme le cobalt) se dissout facilement dans les solutions acides ou oxydantes (comme HNO_3 , $\text{HCl}/\text{H}_2\text{O}_2$), tandis que le carbure de tungstène (WC) peut être conservé sous forme de particules solides grâce à sa grande stabilité chimique (résistance aux acides et aux alcalis à température ambiante). Exemple de réaction :



Le carbure de tungstène ne participe pas à la réaction et reste stable.

Mécanisme d'oxydoréduction : Si des composés de tungstène doivent être récupérés, le carbure de tungstène peut être oxydé en tungstate (Na_2WO_4) par un oxydant puissant (tel que $\text{NaOH}/\text{H}_2\text{O}_2$), puis du WC est généré par acidification, réduction et carbonisation. Exemple de réaction :



Protection contre les particules

En contrôlant le pH de la solution (2-4), la température (60-90°C) et la concentration en oxydant (H_2O_2 < 10 %), on évite l'oxydation ou la dissolution excessive des particules de carbure de tungstène, garantissant que la taille des particules et la morphologie de la poudre recyclée sont proches de celles de la poudre d'origine.

Thermodynamique et cinétique

Le processus de dissolution est contrôlé par l'équilibre thermodynamique (comme l'énergie libre de Gibbs $\Delta G < 0$) et les facteurs cinétiques (comme la constante de vitesse de réaction k), et les paramètres du procédé doivent être optimisés pour améliorer l'efficacité. Par exemple, la vitesse de dissolution du cobalt à 70 °C est dix fois supérieure à celle à 25 °C.

3.2 Flux de processus

Le flux de processus industriel de dissolution chimique comprend généralement les étapes suivantes, et les paramètres spécifiques varient en fonction du type de déchets et d'équipement :

Prétraitement des déchets

Objectif : éliminer l'huile de surface, la couche d'oxyde et les impuretés non tungstène et améliorer l'efficacité de la dissolution ultérieure.

Méthode : Broyer mécaniquement l'alliage de ferraille en particules de 5 à 10 mm, éliminer l'huile avec un agent de nettoyage alcalin (tel qu'une solution de NaOH , concentration de 5 %) et éliminer les oxydes avec un nettoyage par ultrasons (fréquence 40 kHz).

Paramètres : La consommation d'énergie de concassage est d'environ 50 kWh/tonne et le temps de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nettoyage est de 10 à 20 minutes.

Dissolution de la phase de liaison

Objectif : Séparer le carbure de tungstène des phases de liaison (telles que le cobalt et le nickel).

Méthode : Placer les déchets dans une solution acide (telle que HNO_3 , concentration 20%-30%, ou solution mixte $\text{HCl}/\text{H}_2\text{O}_2$, concentration H_2O_2 5 %), agiter à 60-80°C (vitesse 200-400 tr/min), et le temps de réaction est de 2 à 6 heures.

Contrôle de la réaction : le pH est maintenu à 2-3 pour éviter la dissolution du carbure de tungstène ; le potentiel d'oxydoréduction de la solution (ORP) est contrôlé à 500-700 mV pour assurer une dissolution efficace du cobalt.

Sortie : particules solides de carbure de tungstène (pureté > 98 %) et solution de cobalt/nickel (concentration en cobalt 50-100 g/L).

Séparation solide-liquide

Objectif : Extraire les particules de carbure de tungstène et séparer les déchets liquides contenant des métaux.

Méthode : Utilisez une centrifugeuse (vitesse 3000-5000 tr/min) ou un filtre-presse (pression 0,5-1 MPa) pour la séparation solide-liquide et lavez les particules de carbure de tungstène avec de l'eau déionisée (pH 6-7) 3 à 5 fois.

Paramètres : efficacité de séparation > 99 %, consommation d'eau de lavage d'environ 5 m³/tonne de poudre.

Raffinage de poudre (facultatif)

Objectif : Améliorer davantage la pureté et l'uniformité de la taille des particules du carbure de tungstène.

Méthode : Si une poudre ultrafine est requise, les particules recyclées peuvent être soumises à un broyage secondaire (broyage à boulets humides, durée 4 à 8 heures), ou le tungstate peut être généré par voie d'oxydoréduction puis carbonisé.

Paramètres : Taille des particules après broyage 0,5-2 µm, température de carbonisation 1200-1400°C, isolation 2-3 heures.

Traitement des eaux usées

Objectif : Récupérer le cobalt/nickel, traiter les déchets liquides acides et les rejeter conformément aux normes d'émission.

Méthodes : Les eaux usées ont été neutralisées avec NaOH (pH 7-8), du CaCl_2 a été ajouté pour précipiter le cobalt/nickel (taux de récupération > 90 %), et les eaux usées ont été purifiées par membrane d'osmose inverse (taille des pores 0,1 nm), et la concentration en tungstène a été réduite à 0,2 mg/L.

Paramètres : Le coût du traitement des eaux usées est d'environ 5 000 RMB/tonne de poudre, et le rejet est conforme à la norme GB 8978-1996.

Séchage et test de poudre

Objectif : Obtenir une poudre de carbure de tungstène conforme aux normes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La poudre a été séchée dans une étuve à vide (température 80-100°C, degré de vide 10^{-2} Pa) pendant 4 à 6 heures, et la composition chimique (ICP-MS, précision 0,01%), la granulométrie (analyseur de taille de particules laser, erreur $\pm 0,02\mu\text{m}$) et la teneur en oxygène (méthode d'absorption infrarouge, erreur 0,005%) de la poudre ont été testées.

Sortie : Poudre de carbure de tungstène recyclé, pureté > 99,5 %, granulométrie 0,5-5 μm , teneur en oxygène < 0,1 %.

3.3 Analyse des avantages et des inconvénients

Avantages

Taux de récupération et pureté élevés : le taux de récupération est de 95 % à 98 % et la pureté de la poudre est supérieure à 99,5 %. Elle peut être utilisée directement pour la fabrication de carbure cimenté, d'outils et de revêtements hautes performances, et ses performances sont proches de celles de la poudre d'origine (dureté HV : 1 800-2 000, ténacité : 8-10 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

Forte flexibilité : il peut traiter une variété de déchets, y compris le carbure cimenté contenant du cobalt (5%-20%), du nickel ou des impuretés complexes, des déchets de revêtement et des résidus de poudre, et son adaptabilité est meilleure que les méthodes de séparation mécanique et de fusion du zinc.

Taille de particules contrôlable : Des poudres ultrafines ($<1\mu\text{m}$) voire nanométriques ($<100\text{nm}$) peuvent être préparées par broyage secondaire ou oxydation-carbonisation pour répondre aux besoins d'applications haut de gamme (telles que l'impression 3D, précision $\pm 5\mu\text{m}$).

Technologie mature : Il existe des centaines de lignes de production industrielles dans le monde (comme Zhuzhou, Chine, HC Starck, Allemagne), avec des paramètres de processus hautement optimisés et une efficacité de production de 1 à 2 tonnes/jour/ligne.

Récupération des sous-produits : Le cobalt, le nickel et d'autres phases de liaison peuvent être récupérés comme sous-produits (pureté > 99 %) et utilisés dans la fabrication de batteries ou d'alliages pour augmenter les avantages économiques (la valeur des sous-produits est d'environ 30 000 RMB/tonne de poudre).

Inconvénients

Coût élevé du traitement des eaux usées : les eaux usées acides (environ 3 à 5 m^3 /tonne de poudre) nécessitent une neutralisation, une précipitation et un traitement par séparation membranaire. Le coût du traitement des eaux usées représente 20 à 30 % du coût total (environ 20 000 à 30 000 RMB/tonne).

Risques environnementaux : Si les eaux usées ne sont pas traitées correctement, les métaux lourds (tels que le cobalt, concentration > 50 mg/L) peuvent polluer les plans d'eau, et les normes d'émission (telles que GB 8978-1996, cobalt < 1 mg/L) doivent être strictement respectées.

Complexité du processus : implique plusieurs étapes de réaction (dissolution, séparation, raffinage), nécessite un contrôle précis du pH, de la température et de la concentration en oxydant, et les opérateurs ont besoin d'une formation professionnelle (pas moins de 40 heures).

Investissements importants en équipements : les lignes de production industrielles nécessitent des réacteurs résistants à la corrosion (acier inoxydable 316L), des centrifugeuses et des systèmes de traitement des eaux usées, pour un investissement total d'environ 10 à 20 millions de RMB. Le seuil d'entrée pour les petites et moyennes entreprises est relativement élevé.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Consommation énergétique relativement élevée : Bien que inférieure à la fusion à haute température (10 000 kWh/tonne), le processus de dissolution et de séchage nécessite encore environ 4 000 à 6 000 kWh/tonne, ce qui représente 15 % du coût.

Français La position dominante et l'orientation d'optimisation de la méthode de dissolution chimique

La principale raison pour laquelle la méthode de dissolution chimique est devenue courante est son taux de récupération élevé, sa grande pureté et sa large applicabilité, qui peuvent équilibrer les avantages économiques et les exigences environnementales. Les principales entreprises mondiales de recyclage du tungstène (telles que China Tungsten High-Tech et Kennametal aux États-Unis) utilisent toutes la dissolution chimique comme procédé de base, et leur volume de recyclage annuel représente plus de 60 % du monde (environ 200 000 tonnes/an). Par rapport à la méthode de fusion du zinc (nécessitant une température élevée et un traitement des gaz de queue) ou à la méthode de séparation mécanique (faible pureté), la méthode de dissolution chimique présente davantage d'avantages en termes de performances et de coût.

Direction d'optimisation :

Développement de solvants verts : Explorer des réactifs peu toxiques (tels que l'acide citrique et l'acide acétique) pour remplacer les acides forts, réduire les coûts de traitement des liquides résiduels (objectif de réduction de 50 %) et les risques environnementaux.

Consommation énergétique réduite : L'introduction de la dissolution assistée par micro-ondes (puissance 5-10 kW) raccourcit le temps de réaction de 4 heures à 1 heure et réduit la consommation énergétique à 3000 kWh/tonne.

Contrôle intelligent : utilisez l'IA pour surveiller le pH de la solution (erreur < 0,1) et l'ORP (erreur < 5 mV), améliorant ainsi l'efficacité de dissolution de 10 à 15 %.

Boucle fermée : Développer un système complet de récupération des liquides résiduels (comme la régénération d'acide électrolytique) pour atteindre zéro rejet d'eaux usées, en ligne avec l'objectif « double carbone » (neutralité carbone d'ici 2060).

des nanopoudres : Optimiser le chemin d'oxydation-carbonisation pour préparer des poudres <100 nm afin de répondre aux besoins de la fabrication additive (la taille du marché devrait atteindre 5 milliards de RMB en 2030).

Références

Li Ming. Matériaux en carbure cimenté[M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.

Li Ming. Science des matériaux du carbure cimenté [M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Analyse de l'impact environnemental de la production de poudre de carbure de tungstène[J]. Environmental Protection Science, 2021, 47(3) : 78-85.

Zhang Li, Wang Chuanhui . Analyse de l'impact environnemental de la production de poudre de carbure de tungstène [J]. Environmental Protection Science, 2021, 47(3) : 78-85.

Wang Qiang, Li Ming. Progrès dans la technologie de recyclage des déchets de carbure cimenté[J]. 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

- Tungsten Industry, 2020, 35(5) : 66-72.
- Wang Qiang, Li Ming. Progrès dans la technologie de recyclage des déchets de carbure cémenté [J]. China Tungsten Industry, 2020, 35(5) : 66-72.
- Chen Wei, Zhao Gang. Recherche sur la gestion de la sécurité de la production de poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(4) : 123-130.
- Chen Wei, Zhao Gang. Étude sur la gestion de la sécurité de la production de poudre de carbure de tungstène [J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(4) : 123-130.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Avantages économiques et environnementaux du recyclage de la poudre de carbure de tungstène[J]. Resources Science, 2023, 45(2) : 89-97.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Avantages économiques et environnementaux du recyclage de la poudre de carbure de tungstène [J]. Resources Science, 2023, 45(2) : 89-97.
- Zhang Li, Chen Wei. Optimisation du procédé de dissolution chimique pour le recyclage de la poudre de carbure de tungstène [J]. Powder Metallurgy Technology, 2021, 39(4) : 123-130.
- Zhang Li, Chen Wei. Optimisation du procédé de dissolution chimique pour le recyclage de la poudre de carbure de tungstène [J]. Powder Metallurgy Technology, 2021, 39(4) : 123-130.
- Smith J, Brown T. Impacts environnementaux de la production de carbure de tungstène [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 298 : 126789.
- Impact environnemental de la production de poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 298 : 126789.
- Johnson R, Lee K. Protocoles de sécurité pour la manipulation des poudres de carbure de tungstène [J]. Santé et sécurité au travail, 2022, 91(5) : 34-41.
- Spécifications de sécurité pour la manipulation de la poudre de carbure de tungstène[J]. Santé et sécurité au travail, 2022, 91(5) : 34-41.
- Davis M, Patel S. Technologies de recyclage des déchets de carbure de tungstène [J]. Resources, Conservation & Recycling, 2023, 190 : 106856.
- Technologie de recyclage des déchets de carbure de tungstène[J]. Ressources, Protection et Recyclage, 2023, 190 : 106856.
- Smith J, Brown T. Méthodes de dissolution chimique pour la récupération du carbure de tungstène [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 305 : 117589.
- Méthode de dissolution chimique pour la récupération du carbure de tungstène[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 305 : 117589.
- Müller H, Schmidt P. Wolframcarbidherstellung [J]. Umweltwissenschaften und Schadstoff -Forschung, 2020, 32(6) : 456-463.
- Impact environnemental de la production de carbure de tungstène[J]. Environmental Science and Pollutant Research, 2020, 32(6) : 456-463.
- Müller H, Schmidt P. Rückgewinnung von Wolframcarbid de Abfällen [J] . Materialwissenschaft et Werkstofftechnik , 2021, 52(5) : 678-685.
- Récupération de carbure de tungstène à partir de déchets[J]. Science des matériaux et technologie de l'ingénierie, 2021, 52(5) : 678-685.
- Bauer T. Sicherheitsmanagement in der Wolframcarbidproduktion [M]. Berlin : Springer, 2022.
- Gestion de la sécurité dans la production de carbure de tungstène[M]. Berlin : Springer-Verlag, 2022.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Taro Yamada. Évaluation de l'impact environnemental de la production de poudre de carbone carbonisée[J]. Journal of Environmental Science, 2021, 34(3) : 123-130.

Évaluation de l'impact environnemental de la production de poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Environmental Science Society, 2021, 34(3) : 123-130.

Ken Nakamura. Abolition de la technologie de carbonisation[J]. Journal de la Société pour le recyclage des ressources, 2023, 29(4) : 345-352.

Technologie de recyclage des déchets de carbure de tungstène[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

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

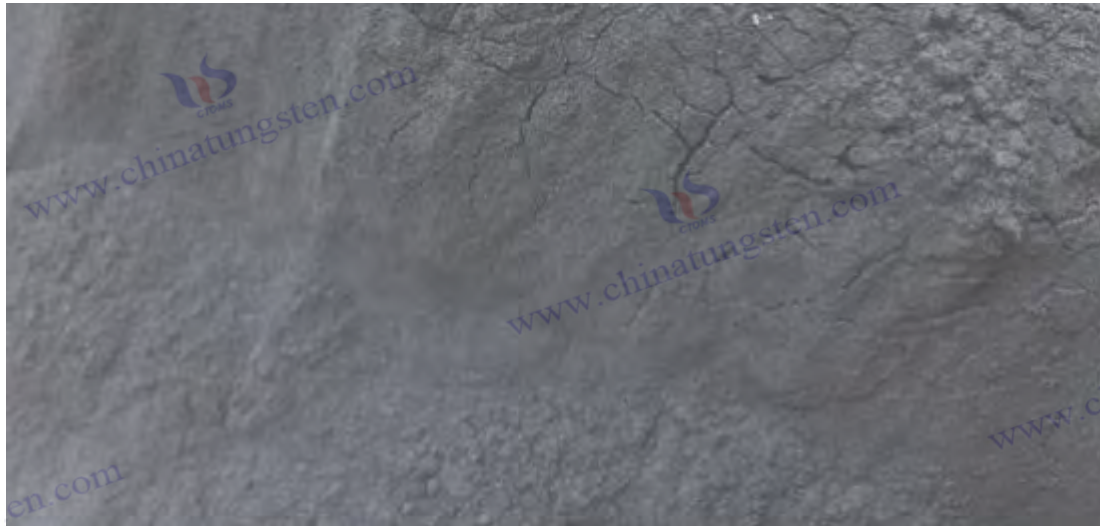
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

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.



Chapitre 8 : Tendances du marché et du développement de la poudre de carbure de tungstène

Matière première essentielle pour la fabrication de matériaux hautes performances tels que le carbure cémenté, les outils de coupe et les revêtements anti-usure, la poudre de carbure de tungstène occupe une place importante dans l'industrie manufacturière mondiale. Avec le développement rapide de l'aérospatiale, des équipements énergétiques, de la fabrication additive et de la microélectronique, la demande en poudre de carbure de tungstène ne cesse de croître. Parallèlement, la concurrence et l'innovation technologique poussent l'industrie à évoluer vers des produits performants, économiques et écologiques. Ce chapitre analyse systématiquement l'offre et la demande, les progrès technologiques et les domaines d'application potentiels de la poudre de carbure de tungstène sous trois angles : aperçu du marché mondial, tendances du développement technologique et perspectives d'application. Associé à des données quantitatives et à la dynamique du secteur, il constitue une référence complète pour la recherche universitaire et la planification industrielle.

8.1 Aperçu du marché mondial

Le marché mondial de la poudre de carbure de tungstène est influencé par l'offre et la demande, la répartition régionale, les fluctuations de prix et les politiques et réglementations. Il affiche une croissance stable et une concurrence régionale. Voici une analyse approfondie de la situation actuelle du marché mondial sous quatre angles : la taille du marché, la structure de l'offre et de la demande, la répartition régionale et les facteurs d'influence.

Taille et croissance du marché

Taille du marché : Selon les rapports de l'industrie, la taille du marché mondial de la poudre de carbure de tungstène sera d'environ 18 milliards de dollars américains en 2024 et devrait croître à un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 4,5 % à 5,5 % de 2025 à 2030, pour atteindre près de 25 milliards de dollars américains en 2030.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Conducteurs :

Demande de carbure cimenté : Le carbure cimenté représente plus de 60 % de la consommation de poudre de carbure de tungstène et est largement utilisé dans les outils de coupe (30 %), les outils miniers (20 %) et les pièces résistantes à l'usure (10 %).

Domaines émergents : La croissance de la demande en fabrication additive (impression 3D) et en revêtements haute température a entraîné l'expansion des marchés des poudres ultrafines ($<1\ \mu\text{m}$) et nanométriques ($<100\ \text{nm}$), augmentant leur part de 5 % à 10 %.

Marché du recyclage : La taille du marché de la poudre de carbure de tungstène recyclée est d'environ 3 milliards de dollars américains, soit 16,7 % du marché total, et devrait atteindre 20 % en 2030.

Production et consommation : En 2024, la production mondiale de poudre de carbure de tungstène sera d'environ 85 000 tonnes et la consommation sera d'environ 82 000 tonnes, dont la Chine représente 60 % de la production (environ 51 000 tonnes) et 50 % de la consommation (environ 41 000 tonnes).

Structure de l'offre et de la demande

Côté offre :

Principaux pays producteurs : Chine (60 %), Europe (20 %, principalement Allemagne et Autriche), Amérique du Nord (10 %) et autres régions (10 %, dont le Japon et la Russie).

Structure de l'entreprise : Le marché mondial est dominé par quelques entreprises, notamment plusieurs leaders chinois (part de marché : 15 %), HC Starck (Allemagne) (12 %) et Kennametal (États-Unis) (10 %). Les PME se concentrent principalement sur le marché bas de gamme, où les barrières techniques sont faibles.

Contraintes liées aux matières premières : Les réserves de minerai de tungstène sont concentrées en Chine (55 %) et en Russie (15 %). Les minerais à haute teneur ($\text{WO}_3 > 0,5\%$) s'épuisent progressivement, ce qui fait grimper le coût de la poudre brute (environ 300 000 RMB/tonne).

Côté demande :

Répartition industrielle : carbure cimenté (60 %), revêtement résistant à l'usure (20 %), projection thermique (10 %), fabrication additive (5 %), autres (5 %, tels que catalyseurs, matériaux électroniques).

Demande régionale : l'Asie-Pacifique (principalement la Chine et l'Inde) représente 55 %, l'Europe 25 %, l'Amérique du Nord 15 % et les autres régions 5 %.

Tendance des prix : En 2024, le prix moyen de la poudre de carbure de tungstène sera de 45 USD/kg, et celui de la poudre ultrafine ($<1\ \mu\text{m}$) atteindra 60 USD/kg. Sous l'influence du coût des matières premières et des taux de recyclage, la fourchette de fluctuation des prix devrait se situer entre 35 et 50 USD/kg en 2030.

Répartition régionale et concurrence

Marché chinois :

Avantages : Le volume de production et de consommation est le premier au monde, la chaîne industrielle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

est complète et le coût est relativement faible (le coût de production est d'environ 300 000 RMB/tonne).
Défis : Les poudres haut de gamme ($< 0,5 \mu\text{m}$) dépendent des importations, l'écart technologique est d'environ 5 à 10 ans et les réglementations environnementales plus strictes augmentent les coûts (environ 10 %).

Sociétés représentatives : China Tungsten High-Tech, Xiamen Tungsten Industry et Zhuzhou Cemented Carbide Group, qui représentent ensemble 70 % du marché chinois.

Marché européen :

Avantages : Technologie de pointe, axée sur les poudres ultrafines et nanométriques, haute qualité de produit (pureté $> 99,8 \%$, écart de taille des particules $\pm 0,02 \mu\text{m}$).

Défis : coûts de production élevés (environ 300 000 RMB/tonne) et taille du marché limitée par les importations de matières premières.

Sociétés représentatives : HC Starck et Ceratizit, axées sur le marché des outils et des revêtements haut de gamme.

Marché nord-américain :

Avantages : Forte demande en fabrication additive et aérospatiale, et technologie de recyclage avancée (taux de recyclage $> 70\%$).

Défis : Production limitée (environ 8 500 tonnes), dépendance aux matières premières chinoises et risques géopolitiques affectant la chaîne d'approvisionnement.

Sociétés représentatives : Kennametal, Global Tungsten & Powders.

Autres régions : le Japon (Mitsui Kinzoku) se concentre sur les poudres pour matériaux électroniques, la Russie (Wolfram Company) s'appuie sur des exportations à bas prix et l'Inde (Sandvik India) a un marché en croissance rapide (TCAC 7%).

Facteurs d'influence du marché

Politiques et réglementations : Le 14e plan quinquennal de la Chine et la directive de l'UE sur les matières premières critiques (2023) encouragent la protection et le recyclage des ressources en tungstène, avec un objectif de taux de recyclage de 70 % d'ici 2030.

Progrès technologique : les poudres ultrafines et la technologie de fabrication verte réduisent les coûts de 10 à 15 % et améliorent la compétitivité du marché.

Volatilité économique : la reprise de l'industrie manufacturière mondiale (qui devrait croître de 3 % en 2025) stimulera la demande, mais les conflits géopolitiques et les barrières commerciales pourraient entraîner des perturbations de la chaîne d'approvisionnement.

Pression environnementale : les taxes sur les émissions de carbone (comme le CBAM de l'UE, mis en œuvre en 2026) et l'objectif de « double carbone » de la Chine (neutralité carbone d'ici 2060) augmentent les coûts de production de 5 à 10 %.

8.2 Tendances du développement technologique

Le développement technologique de la poudre de carbure de tungstène se concentre sur l'optimisation des performances, la réduction des coûts et la fabrication écologique afin de répondre aux exigences des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

applications haute performance et des réglementations environnementales. Ce document analyse systématiquement les tendances technologiques sous quatre angles : la préparation de la poudre, l'amélioration des performances, les procédés écologiques et l'intelligence artificielle.

Préparation de poudre haute performance

Poudres ultrafines et nano :

Objectif : Développer des poudres avec des tailles de particules $< 0,5 \mu\text{m}$ (ultrafines) et $< 100 \text{ nm}$ (nano) pour augmenter la dureté ($> \text{HV } 2200$) et la ténacité ($> 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) du carbure cimenté.

Parcours technique :

Sphéroïdisation plasma : puissance 20-60kW, générant de la poudre sphérique (fluidité < 14 secondes/50g) pour l'impression 3D (précision $\pm 5 \mu\text{m}$).

Dépôt chimique en phase vapeur (CVD) : Contrôlez le rapport de débit $\text{WF}_6 / \text{CH}_4$ (1:1,4) pour générer une poudre de $0,1$ à $0,5 \mu\text{m}$ avec un taux d'agglomération $< 2 \%$.

Progrès : D'ici 2024, les entreprises chinoises atteindront une production à grande échelle de poudre de $0,2 \mu\text{m}$ (1 000 tonnes par an), avec des coûts réduits à 800 000 RMB par tonne, proche du niveau européen.

Distribution granulométrique étroite :

Cible : $\text{D}_{90}/\text{D}_{10} < 1,5$, assurant l'uniformité du frittage (porosité $< 0,5\%$).

Parcours technique : classification des flux d'air (vitesse de rotation 10000-25000rpm, précision $\pm 0,01 \mu\text{m}$) et surveillance granulométrique en ligne (diffusion laser, erreur $< 1\%$).

Progrès : les entreprises allemandes ont atteint un écart D_{50} de $\pm 0,02 \mu\text{m}$, qui s'applique aux outils de coupe haut de gamme et augmente le taux de rendement de 15% .

Technologie de modification des performances

Dopage et compoundage :

Objectif : Améliorer la résistance à l'oxydation, la résistance à la corrosion et la stabilité à haute température, et prolonger la durée de vie de l'outil de 30 à 50 %.

Parcours technique :

Le dopage avec Ti, Cr et Nb (0,5%-2%) forme une solution solide ou une seconde phase (comme Cr_3C_2), et la dureté est augmentée de HV 1800 à HV 2300.

Les composites TiC et ZrC (5%-10%) peuvent améliorer la ténacité jusqu'à $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, adaptés aux pièces aérospatiales.

Progrès : les entreprises américaines ont développé des poudres composites WC- TiC -Co, qui augmentent les vitesses de coupe de 20% et détiennent une part de marché de 10% .

Modification de surface :

Objectif : Réduire l'agglomération ($< 3\%$), améliorer la coulabilité ($< 13 \text{ sec}/50 \text{ g}$) et l'activité de frittage

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(température jusqu'à 1350°C).

Parcours technique :

Le revêtement chimique de SiO₂ et Al₂O₃ (épaisseur de 10 à 50 nm) peut améliorer la résistance à l'oxydation de 25 %.

Le traitement plasma (puissance 15-30 kW) réduit la rugosité de surface de 20 %.

Progrès : les entreprises chinoises ont atteint la production de masse de poudre enrobée de SiO₂ (5 000 tonnes/an), réduisant ainsi les coûts de 10 %.

Processus de fabrication écologique

Préparation à faible teneur en carbone :

Objectif : Réduire les émissions de carbone à 2 tonnes de CO₂ / tonne de poudre, conformément à l'objectif de neutralité carbone 2060.

Parcours technique :

La carbonisation par micro-ondes (température < 1200°C) réduit la consommation énergétique de 30% (environ 6000kWh/tonne).

Récupération de la chaleur perdue : Récupérer la chaleur du four de carbonisation (représentant 15 % de la consommation énergétique totale), permettant d'économiser 5 millions de kWh d'électricité par an.

Progrès : les entreprises de l'UE testent la carbonisation par micro-ondes, réduisant l'empreinte carbone à 2,5 tonnes de CO₂/tonne, avec l'intention de la promouvoir d'ici 2030.

Traitement des déchets liquides et solides :

Objectif : Taux de récupération des eaux usées > 90 %, taux d'utilisation des ressources en déchets solides > 80 %.

Parcours technique :

Séparation membranaire (osmose inverse, taille des pores 0,1 nm), concentration en tungstène réduite à 0,2 mg/L.

Les déchets solides sont utilisés comme additifs pour le ciment, avec un taux de récupération de 85 %. recyclage des eaux usées en boucle, avec des émissions réduites à 100 m³/tonne, conformément aux normes GB 8978-1996.

Intelligence et numérisation

Objectif : Augmenter l'efficacité de la production de 15 à 20 % et réduire le taux de défauts à < 1 %.

Parcours technique :

Optimisation de l'IA : l'apprentissage automatique prédit la distribution de la taille des particules (erreur < 0,05 µm) et les paramètres de frittage (écart de température ± 3°C).

Internet des objets (IoT) : Surveillance en temps réel de la concentration de poussière (erreur < 0,1 mg/m³), de la consommation d'énergie (erreur < 1 kWh) et des émissions (COV < 1 ppm).

Progrès : Les entreprises allemandes ont déployé des lignes de production intelligentes, augmentant leur efficacité de 18 % et réduisant leurs coûts de 12 %. Zhuzhou, en Chine, a testé la surveillance IoT, économisant 20 millions de RMB par an.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.3 Perspectives d'application futures

Portées par les progrès technologiques, la demande du marché et les orientations politiques, les applications futures de la poudre de carbure de tungstène s'intensifieront dans les domaines traditionnels et s'étendront aux domaines émergents. Les perspectives d'application futures sont analysées ci-dessous sous trois angles : l'optimisation des applications traditionnelles, l'expansion des domaines émergents, et les défis et contre-mesures.

Optimisation des applications traditionnelles

Outils en carbure :

Perspectives : La poudre ultrafine ($<0,5 \mu\text{m}$) peut augmenter la durée de vie de l'outil de 50 % et la vitesse de coupe de 30 %, répondant ainsi aux besoins de l'aérospatiale (traitement des alliages de titane) et de l'automobile (traitement de l'acier à haute résistance).

Support technique : Poudre nano-composite (WC- TiC) combinée à un revêtement intelligent (TiN / Al_2O_3), la taille du marché devrait atteindre 10 milliards de dollars américains en 2030.

Exemple : les entreprises chinoises ont développé des outils de découpe de poudre de $0,3 \mu\text{m}$, ce qui a augmenté l'efficacité du traitement de 25 % et augmenté la part des exportations à 30 %.

Revêtement résistant à l'usure :

Perspectives : Revêtements haute température (température de fonctionnement $> 1000^\circ\text{C}$) pour turbines à gaz et trépan pétroliers, avec une résistance à l'usure augmentée de 40%.

Support technique : poudre sphéroïdisée plasma (coulabilité $<14 \text{ sec}/50 \text{ g}$) combinée à la pulvérisation HVOF (dureté du revêtement HV 1400).

Exemple : une entreprise européenne a développé un revêtement WC- Cr_3C_2 , qui a prolongé la durée de vie des forets de 60 % et a atteint une part de marché de 20 %.

Outils miniers :

Perspectives : La poudre à haute ténacité (ténacité $> 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) répond aux besoins de perçage profond et prolonge la durée de vie de l'outil de 30 %.

Support technique : Dopage VC et NbC (1%-2%) pour optimiser la résistance des joints de grains.

Exemple : une entreprise russe a lancé un foret à haute résistance, augmentant ainsi sa couverture de marché de 10 % à 15 %.

Expansion dans les domaines émergents

Fabrication additive (impression 3D) :

Perspectives : Les nanopoudres ($<100 \text{ nm}$) sont utilisées dans les pièces aérospatiales (précision $\pm 5 \mu\text{m}$) et les implants médicaux (porosité $<0,5 \%$), et la taille du marché devrait atteindre 2 milliards de dollars US en 2030.

Support technique : Poudre sphérique ($D_{90}/D_{10}<1,5$) combinée au dépôt laser fondu (LMD), la résistance d'impression atteint 2000MPa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exemple : une entreprise américaine a imprimé des pièces WC-Co, réduisant ainsi les coûts de 20 % et les délais de livraison de 50 %.

Matériaux microélectroniques :

Perspectives : Les poudres ultrafines ($< 0,2 \mu\text{m}$) sont utilisées pour les substrats de dissipation thermique des puces (conductivité thermique $> 200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et les pâtes conductrices. Le marché devrait atteindre 500 millions de dollars US en 2030.

Support technique : Préparation CVD de poudre de haute pureté (impuretés $< 10\text{ppm}$), combinée à un frittage de précision (écart de taille $\pm 1\mu\text{m}$).

Exemple : une entreprise japonaise a développé une boue à base de WC, qui a amélioré les performances des puces de 15 % et a atteint une part de marché de 30 %.

Équipements énergétiques :

Perspectives : Les revêtements résistants à la corrosion (résistance aux acides multipliée par trois) sont utilisés dans les engrenages d'éoliennes et les vannes d'énergie nucléaire, et la taille du marché devrait atteindre 1 milliard de dollars américains en 2030.

Support technique : poudre de Ta, Cr dopé (0,5%-1%) associée à la projection plasma (force de liaison $> 80 \text{ MPa}$).

Exemple : une entreprise chinoise a développé un revêtement WC- TaC qui a prolongé la durée de vie des engrenages d'éoliennes de 40 %.

Défis et contre-mesures

défi:

Pression sur les coûts : le coût de production de la nanopoudre (environ 1 million de RMB/tonne) limite sa popularisation et doit être réduit de 30 à 50 %.

Obstacles technologiques : l'Europe et les États-Unis sont leaders dans les domaines des poudres ultrafines ($< 0,2 \mu\text{m}$) et de la fabrication intelligente, et la Chine doit réduire l'écart de 5 à 10 ans.

Exigences en matière de protection de l'environnement : la taxe mondiale sur les émissions de carbone (CBAM de l'UE) et les objectifs de « double carbone » de la Chine augmentent les coûts de 10 à 15 %.

Contre-mesures :

Optimisation des coûts : promouvoir la technologie de carbonisation et de recyclage par micro-ondes et réduire le coût à 600 000 RMB/tonne.

Avancées technologiques : Renforcer la collaboration industrie-université-recherche pour développer des procédés assistés par l'IA (amélioration de l'efficacité de 20 %) et des poudres nanocomposites (amélioration des performances de 30 %).

Transformation verte : investir dans des équipements à faible émission de carbone (économie de 10 millions de RMB par an) et augmenter le taux de recyclage à 80 %, conformément à la réglementation 2030.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Références

- Li Ming. Matériaux en carbure cimenté[M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.
- Li Ming. Science des matériaux du carbure cimenté [M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . État actuel et tendances de développement du marché de la poudre de carbure de tungstène [J]. China Tungsten Industry, 2022, 37(3) : 56-63.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . État actuel et tendances de développement du marché de la poudre de carbure de tungstène [J]. China Tungsten Industry, 2022, 37(3) : 56-63.
- Wang Qiang, Li Ming. Analyse de l'offre et de la demande mondiales de poudre de carbure de tungstène[J]. Resources Science, 2023, 45(4) : 123-130.
- Wang Qiang, Li Ming. Analyse de l'offre et de la demande mondiales de poudre de carbure de tungstène [J]. Resources Science, 2023, 45(4) : 123-130.
- Chen Wei, Zhao Gang. Recherche sur l'innovation technologique de la poudre de carbure de tungstène[J]. Powder Metallurgy Technology, 2024, 42(2) : 89-96.
- Chen Wei, Zhao Gang. Étude sur l'innovation technologique de la poudre de carbure de tungstène [J]. Powder Metallurgy Technology, 2024, 42(2) : 89-96.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Perspectives d'application de la poudre de carbure de tungstène en fabrication additive [J]. Science et ingénierie des matériaux, 2024, 42(5) : 78-85.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. Perspectives d'application de la poudre de carbure de tungstène en fabrication additive [J]. Science et ingénierie des matériaux, 2024, 42(5) : 78-85.
- Smith J, Brown T. Tendances du marché mondial des poudres de carbure de tungstène [J]. Journal of Materials Science, 2023, 58(6) : 3456-3468.
- Tendance du marché mondial de la poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Materials Science, 2023, 58(6) : 3456-3468.
- Johnson R, Lee K. Progrès technologiques dans la production de carbure de tungstène [J]. Powder Technology, 2024, 415 : 118-123.
- Progrès dans la technologie de production du carbure de tungstène[J]. Powder Technology, 2024, 415 : 118-123.
- Davis M, Patel S. Applications futures du carbure de tungstène en fabrication additive [J]. Fabrication additive, 2024, 65 : 102345.
- Applications futures du carbure de tungstène en fabrication additive [J]. Additive Manufacturing, 2024, 65 : 102345.
- Müller H, Schmidt P. Marktanalyse für Wolframcarbidpulver [J]. Materialwissenschaft et Werkstofftechnik , 2023, 54(4) : 567-574.
- Analyse du marché de la poudre de carbure de tungstène[J]. Science des matériaux et technologie de l'ingénierie, 2023, 54(4) : 567-574.
- Bauer T. Technologische Entwicklungen in der Wolframcarbidherstellung [M]. Berlin : Springer, 2024.
- Développements technologiques dans la production de carbure de tungstène [M]. Berlin : Springer-Verlag, 2024.
- Taro Yamada. Tendances du marché de la poudre de dioxyde de carbone carbonisé[J]. Journal of

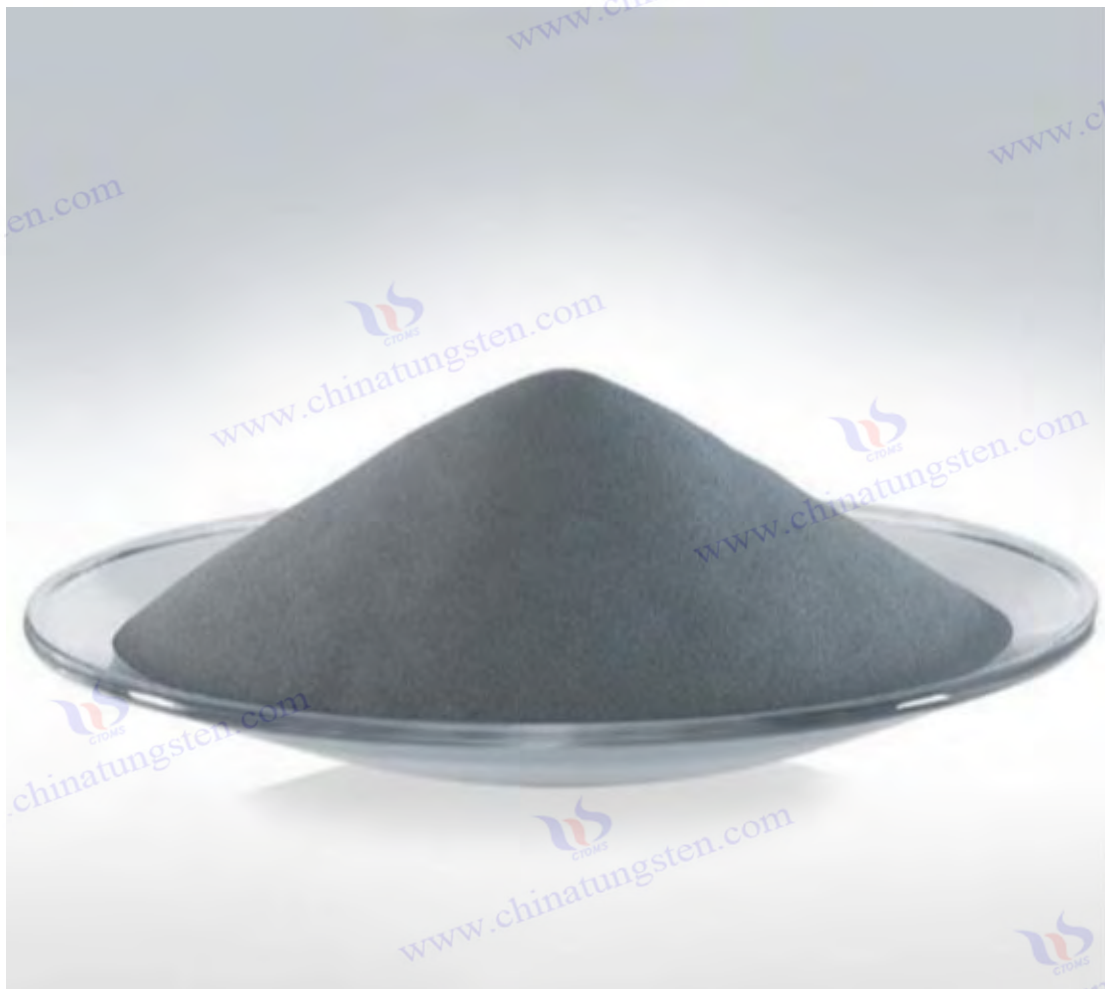
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materials Science, 2023, 72(3) : 123-130.

Dynamique du marché de la poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Materials Science Society, 2023, 72(3) : 123-130.

Ken Nakamura. Nouvelles applications de la poudre carbonisée [J]. Journal of the Society for Powder Engineering, 2024, 61(5) : 345-352.

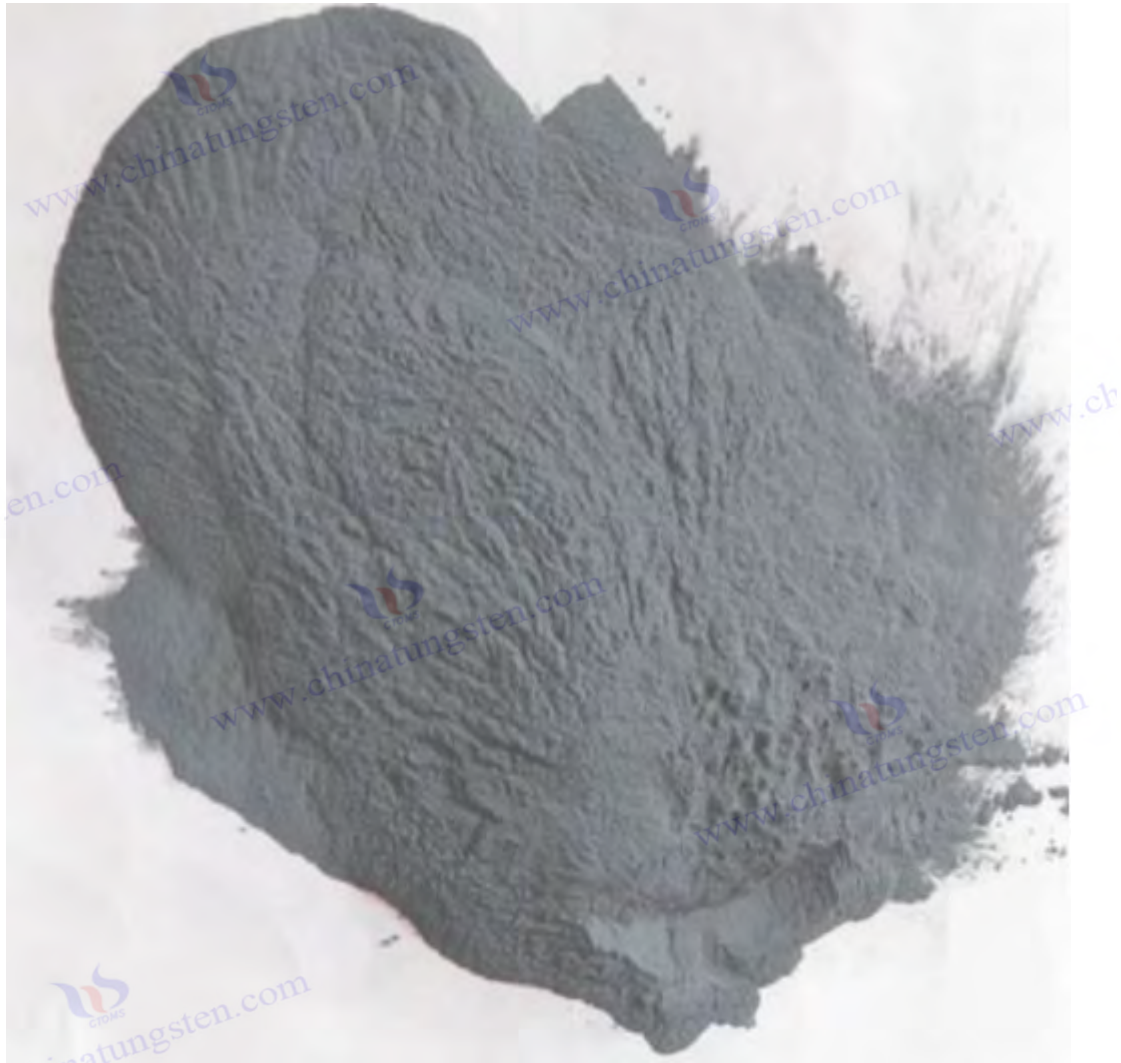
Nouveaux domaines d'application de la poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Powder Engineering Society, 2024, 61(5) : 345-352.



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



Chapitre 9 : Terminologie, normes et ressources

La poudre de carbure de tungstène et son précurseur, la poudre de tungstène, sont des matières premières essentielles pour la fabrication de matériaux hautes performances tels que le carbure cimenté, les outils de coupe et les revêtements anti-usure. Leur recherche et leur application impliquent un large éventail de termes professionnels, de normes industrielles et de ressources techniques. L'organisation systématique de ces contenus contribue à normaliser les échanges universitaires, à orienter les pratiques industrielles et à promouvoir l'innovation technologique. S'appuyant sur des sources faisant autorité telles que China Tungsten Online (news.chinatungsten.com), ce chapitre résume de manière exhaustive la terminologie professionnelle, les normes faisant autorité et les ressources pédagogiques sous trois angles : glossaire des termes relatifs à la poudre de carbure de tungstène, références et normes, et ressources recommandées, afin de fournir un cadre de référence scientifique et pratique aux chercheurs, ingénieurs et professionnels de l'industrie.

9.1 Glossaire des termes relatifs à la poudre de carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Le glossaire suivant comprend 80 termes clés, avec de nouvelles classifications granulométriques pour la poudre de tungstène et la poudre de carbure de tungstène (poudre de carbure de tungstène ultrafine, poudre de carbure de tungstène à grosses particules, etc.), couvrant la production, la modification, le recyclage, l'application, le marché, l'environnement et la sécurité. Chaque terme est en chinois, anglais, japonais, coréen, allemand et sa définition, classés en pinyin chinois, avec une expression précise et un caractère académique prononcé.

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	Définition
Surface spécifique	Surface spécifique	Surface spécifique	2	Passer la journée	La surface par unité de masse de poudre de tungstène ou de poudre de carbure de tungstène (m^2/g) affecte l'activité de frittage, avec une valeur typique de 5 à 20 m^2/g .
Modification de surface	Modification de surface	Modification de surface	표면 coréen	Modification Oberflächen	La technologie de modification des propriétés de surface de la poudre de tungstène ou de la poudre de carbure de tungstène (comme la réduction du taux d'agglomération) par des méthodes chimiques ou physiques.
Poudre de carbure de tungstène ultrafine	Poudre de carbure de tungstène ultrafine	Poudre de carbure de tungstène ultrafine carbonisée	초미세 탄화텅스텐 분말	Ultrafines Poudre de carbure de tungstène	Poudre de carbure de tungstène avec une granulométrie de 0,1 à 1 μm , utilisée pour les outils et revêtements de haute précision, dureté HV 2000-2200.
Poudre de tungstène ultrafine	Poudre de tungstène ultrafine	Poudre ultrafine de 텅스텐	초미세 텅스텐 분말	Ultrafines Poudre de loup	La poudre de tungstène avec une granulométrie de 0,1 à 1 μm est utilisée comme précurseur de poudre de carbure de tungstène ultrafine pour la préparation de matériaux hautes performances.
Efficacité de dépôt	Efficacité de dépôt	Efficacité d'empilage	2 Ho	Abstrait	Le pourcentage massique de poudre de carbure de tungstène déposée sur le substrat lors du processus de projection thermique ou CVD est > 90 % pour les processus de haute qualité.
Poudre de carbure de tungstène monocristallin	Poudre de carbure de tungstène monocristallin	Poudre de 텅스텐 monocristallin	2 heures 분말	Einkristall- Wolframcarbidge ulver	La poudre de carbure de tungstène composée d'un monocristal présente une consistance granulométrique élevée ($D_{90}/D_{10} < 1,2$) et est utilisée

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

n	n					pour des applications haut de gamme.
Poudre de carbure tungstène gros grains	Poudre de carbure tungstène grossière	Poudre de carbure tungstène carbonisée gros grains	タングステン 2.5 分말	Grobkörniges Poudre de carbure tungstène		La poudre de carbure de tungstène avec une granulométrie > 10 µm est utilisée pour les outils miniers et les pièces résistantes à l'usure, avec une ténacité > 12 MPa·m ^{1/2} .
Poudre de tungstène grosses particules	Poudre de tungstène grossière	Poudre de polyester gros grains	2.5 分말	Grobkörniges Poudre de loup		La poudre de tungstène avec une granulométrie > 10 µm, en tant que précurseur de la poudre de carbure de tungstène, convient au processus de carbonisation à haute température.
Recyclage électrochimique	Récupération électrochimique	Recyclage électrochimique	2. 회수	électrochimique Gains de retour		Le carbure de tungstène est récupéré par dissolution électrolytique de la phase de liaison du carbure cimenté usagé (comme le Co), avec un taux de récupération de 90 à 95 %.
dopage nitru	Dopage nitru	dopage chimique	2 도핑	Dosage des nitru		Technologie qui ajoute des nitrures (tels que TiN, ZrN) à la poudre de carbure de tungstène pour améliorer la résistance à l'usure et la stabilité à haute température.
Sphéroïdisation du plasma	Sphéroïdisation du plasma	Sphéroïdisation du plasma	플라즈마 구형화	Plasma Sphéroïdisation		Le plasma (20-60 kW) est utilisé pour faire fondre la poudre de tungstène ou la poudre de carbure de tungstène pour former des particules sphériques avec une fluidité < 14 secondes/50 g.
Poudre de carbure tungstène polycristallin	Poudre de carbure tungstène polycristallin	Poudre de carbure tungstène polycristalline carbonisée	タングステン 2.5 分말	Polycristallins Poudre de carbure tungstène		Poudre de carbure de tungstène composée de grains multiples, adaptée aux matériaux composites, dureté HV 1800-2000.
Explosion de poussière	Explosion de poussière	Explosion de poussière	2.5 分말	Explosion de poussière		La poudre fine de tungstène ou de carbure de tungstène (< 10 µm) forme des nuages de poussière dans l'air et explose au contact d'étincelles. L'énergie d'inflammation est d'environ 10 mJ.
Poudre de	Poudre de	Poudre de	タ 高순도	Hochreines		Poudre de carbure de tungstène avec

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

carbure de tungstène de haute pureté	carbure de tungstène de haute pureté	ングステン de carbonisée de haute pureté	탄화텅스텐 분말	Poudre de carbure de tungstène	de une teneur en impuretés < 0,01 %, utilisée en microélectronique et catalyseurs, pureté > 99,99 %.
Poudre de tungstène de haute pureté	Poudre de tungstène de haute pureté	Poudre de polyester de haute pureté	고순도 텅스텐 분말	Hochreines Poudre de loup	La poudre de tungstène avec une teneur en impuretés < 0,01 % est utilisée comme précurseur pour la poudre de carbure de tungstène de haute pureté avec une pureté de > 99,99 %.
Solution solide	Solution solide	Solution solide	고용체	Solution festive	Les éléments dopants (tels que le Ti) remplacent les atomes de tungstène dans le réseau de carbure de tungstène pour former une phase uniforme, ce qui augmente la dureté de 20 à 30 %.
Dépôt chimique en phase vapeur	Dépôt chimique en phase vapeur (CVD)	Dépôt chimique en phase vapeur	화학 Article 2	Chimie Analyse de phase gazeuse	par dépôt de précurseurs gazeux (tels que WF ₆ , CH ₄) à 800-1000°C.
Récupération par dissolution chimique	Récupération par dissolution chimique	Récupération par dissolution chimique	Page 2	Chimie Lösungsrückgewinnung	Utilisez une solution acide ou oxydante pour dissoudre la phase de liaison au carbure cimenté usagé et récupérer le carbure de tungstène avec un taux de récupération de 95 à 98 %.
Évaluation de l'impact environnemental	Évaluation de l'impact environnemental (EIE)	Évaluation de l'impact environnemental	환경영향평가	Umweltverträglichkeitsprüfung	Une approche systématique pour évaluer l'impact environnemental de la production de poudre de tungstène ou de poudre de carbure de tungstène (par exemple, empreinte carbone 4 à 6 tonnes de CO ₂ / tonne).
Traitement des eaux usées	Traitement des eaux usées	Traitement des fluides usés	Page 2	Manipulation absorbante	Traiter les déchets liquides contenant des métaux lourds (tels que le tungstène et le cobalt) dans la production de poudre de tungstène ou de poudre de carbure de tungstène pour répondre aux normes de rejet (tungstène < 0,5 mg/L).
Poudre de	Poudre de	Poudre de	복합	Poudre de	La ténacité de la poudre formée par

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

carbure de tungstène composite	carbure de tungstène composite	composite carbonisée タングステン	탄화 텅스텐 분말	carbure de wolfram composite	le composite de carbure de tungstène, TiC , ZrC , etc. est augmentée à $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.
Broyage à haute énergie	Broyage à haute énergie	Poudre à hautement énergisante	고에너지 볼 밀링	Hochenergie-Kugelmahlen	La poudre de tungstène ultrafine ou la poudre de carbure de tungstène est préparée par broyage mécanique à haute énergie et la taille des particules peut atteindre 0,1 à 0,5 μm .
Récupération par fusion à haute température	Récupération par fusion à haute température	Récupération de la masse fondue à haute température	고온 용융 회수	Température élevée-Schmelzrückgewinnung	Le carbure cémenté usagé est fondu à 1800-2000°C pour séparer le carbure de tungstène, avec un taux de récupération de 85%-90%.
Déchets solides	Déchets solides	Déchets solides	고체 폐기물	Fester Abfall	La production annuelle de scories, de déchets de broyeurs à boulets et d'autres déchets dans la production de poudre de tungstène ou de poudre de carbure de tungstène est d'environ 500 000 tonnes.
Alliage mécanique	Alliage mécanique	Alliage mécanique	2 coréens	Législation mécanique	qui mélange du carbure de tungstène et des éléments dopants (tels que Cr_3C_2) pour former une poudre composite grâce à un broyage à billes à haute énergie.
Taille des grains	Taille des grains	Taille des particules cristallines	결정립 크기	Taille des grains	La taille moyenne des particules (μm) de la poudre de tungstène ou du monocristal de poudre de carbure de tungstène affecte la dureté et la ténacité, avec une valeur typique de 0,5 à 10 μm .
Force de liaison	Force de liaison	Force de liaison	결합 강도	Force de liaison	La force de liaison entre le revêtement en carbure de tungstène et le substrat (MPa), revêtement de haute qualité > 80 MPa.
Porosité	Porosité	Porosité	기공률	Porosité	Pourcentage volumique (%) de pores dans le carbure cémenté après frittage. Pour les produits de haute qualité, ce pourcentage est inférieur à 1 %.
Performances	Fluidité	Liquidité	2	Voler haut	Le temps nécessaire à la poudre de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

de débit						carbure de tungstène pour s'écouler dans un entonnoir standard (secondes/50 g), poudre sphérique < 14 secondes/50 g.
Poudre de carbure de tungstène de taille nanométrique	Poudre de carbure de tungstène nano	Poudre de carbure de tungstène de qualité NANO	나노급 탄화텨스텐 분말	Nanok õ rniges Poudre de carbure de tungstène		Poudre de carbure de tungstène avec une granulométrie <100 nm, utilisée dans l'impression 3D et la microélectronique, dureté >HV 2300.
Poudre de tungstène de qualité nano	Poudre de nano-tungstène	Poudre de qualité NANO	나노급 텨스텐 분말	Nanocorrhées Poudre de loup		La taille des particules < 100 nm est utilisée comme précurseur pour la poudre de carbure de tungstène à l'échelle nanométrique pour les applications de haute précision.
Efficacité de la pulvérisation	Efficacité de pulvérisation	Efficacité de la pulvérisation	2 Ho	Efficacité de la pulvérisation		Le pourcentage massique d'utilisation efficace de la poudre de carbure de tungstène dans le processus de projection thermique atteint 85 à 95 % dans le processus HVOF.
Activité de frittage	Activité de frittage	Activité de frittage	소결 활성	Saint Nicolas		La capacité de la poudre de carbure de tungstène à se diffuser et à se lier pendant le frittage est liée à la taille des particules et à l'énergie de surface.
Broyage à boulets humide	Broyage humide	Pulvérisation humide	습식 볼 밀링	Nassmahlen		Broyer la poudre de tungstène ou la poudre de carbure de tungstène dans un milieu liquide (tel que l'éthanol) pour réduire la taille des particules (<1 µm) et le taux d'agglomération est <5 %.
Réaction de carbonisation	Réaction de carbonisation	Réaction de carbonisation	탄화 반응	Opportunité d'emploi		Le processus de réaction de la poudre de tungstène avec le carbone à 1200-1600°C pour former du carbure de tungstène, avec la teneur en carbone contrôlée à 6,13±0,05%.
Poudre de carbure de tungstène	Poudre de carbure de tungstène	Poudre de carbure de tungstène	탄화텨스텐 분말	Poudre de carbure de tungstène		Poudre à base de tungstène et de carbure, largement utilisée dans le carbure cimenté et le revêtement, dureté HV 1200-2200.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Empreinte carbone	Empreinte carbone	カーボンフットプリント	탄소 발자국	Kohlenstoff - Pieds impression	Les émissions de carbone de la poudre de tungstène ou de la poudre de carbure de tungstène tout au long de son cycle de vie (tonnes de CO ₂ / tonne) sont généralement de 4 à 6 tonnes.
Taux de retrouvailles	Taux d'agglomération	Taux d'agglutination	2	Taux d'agglomération	Le pourcentage de poudre de tungstène ou de particules de poudre de carbure de tungstène agglomérées pendant le stockage ou le traitement, la poudre de haute qualité est inférieure à 3 %.
Carbonisation par micro-ondes	Carbonisation par micro-ondes	Carbonisation par micro-ondes	Le plus beau 탄화	Plan marketing	La technologie utilisant des micro-ondes (<1200°C) pour chauffer la poudre de tungstène et le carbone afin de produire du carbure de tungstène réduit la consommation d'énergie de 30 %.
Poudre de carbure de tungstène micron	Poudre de carbure de tungstène micron	Poudre de carbure de tungstène micronique	Le 탄화 텅스텐 분말	Poudre de carbure de tungstène micronisé	La poudre de carbure de tungstène avec une granulométrie de 1 à 10 µm est utilisée pour les outils de coupe et les pièces résistantes à l'usure, avec une dureté de HV 1800-2000.
Poudre de tungstène micron	Poudre de tungstène micron	Poudre de tungstène micronique	Le 텅스텐 분말	Mikron-Wolframpulver	La poudre de tungstène avec une granulométrie de 1 à 10 µm, en tant que précurseur de la poudre de carbure de tungstène de taille micronique, convient au processus de carburation conventionnel.
Économie circulaire	Économie circulaire	Économie circulaire	순환 경제	Économie district	En recyclant et en réutilisant la poudre de tungstène ou la poudre de carbure de tungstène, nous pouvons réduire la consommation de ressources et la charge environnementale, avec un objectif de taux de recyclage de 70 %.
Microdureté	Microdureté	Microdureté	현미경 경도	Micro-durabilité	La dureté Vickers (HV) de la poudre de carbure de tungstène fritté est généralement de 1200 à 2200, ce qui

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					reflète sa résistance à l'usure.
Poudre de carbure tungstène particules fines	Poudre fine de carbure tungstène	Poudre carbonisée grains fins	세립 탄화 텅스텐 분말	Feinkörniges Poudre de carbure tungstène	Poudre de carbure de tungstène avec une granulométrie de 0,5 à 2 µm, utilisée pour les outils et revêtements de haute précision, dureté HV 1900-2100.
Poudre de tungstène particules fines	Poudre de tungstène fine	Poudre de 텅스텐 grains fins	세립 텅스텐 분말	Fines Poudre de loup	La poudre de tungstène avec une granulométrie de 0,5 à 2 µm est utilisée comme précurseur de la poudre de carbure de tungstène à grains fins pour les applications de précision.
Récupération du zinc fondu	Récupération de la fusion du zinc	Récupération de la fusion du sous-plomb	2 jours 회수	Gain de Schmelzrück en cas de naufrage	Le zinc liquide est utilisé pour dissoudre la phase de liaison du carbure cimenté usagé à 900-1000°C pour récupérer le carbure de tungstène avec un taux de récupération de 90%-95%.
Limites d'exposition professionnelle	Limite d'exposition professionnelle	Limites d'exposition professionnelle	2 2 coréen	Salon des affaires	Normes de concentration de sécurité pour la poudre de tungstène ou la poussière de carbure de tungstène (<6 mg/m³) et la poussière de cobalt (<0,1 mg/m³) sur le lieu de travail.
Fabrication additive	Fabrication additive	Fabrication supplémentaire	Partie 2	Fertirrigation additive	Technologie de préparation de pièces complexes par impression 3D à partir de poudre de carbure de tungstène avec une précision de ±5µm.
Poudre de carbure tungstène particules moyennes	Poudre de carbure tungstène moyenne	Poudre de 텅스텐 carbonisée grain moyen	중립 탄화 텅스텐 분말	Moyenne des örniges Poudre de carbure de tungstène	La poudre de carbure de tungstène avec une granulométrie de 2 à 10 µm est utilisée pour les outils à usage général et les pièces résistantes à l'usure, avec une dureté de HV 1800-2000.
Poudre de tungstène particules moyennes	Poudre de tungstène moyenne	Poudre de 텅스텐 grain moyen	중립 텅스텐 분말	Moyenne des örniges Poudre de loup	La poudre de tungstène avec une granulométrie de 2 à 10 µm est utilisée comme précurseur de la poudre de carbure de tungstène à grains moyens et convient aux applications générales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Antioxydant	Résistance à l'oxydation	Résistance aux acides	2	Les oxydations sont mieux vues	La poudre de tungstène ou de carbure de tungstène résiste à l'oxydation à haute température (par exemple, 800 °C). Le gain de poids d'une poudre de haute qualité est inférieur à 0,5 %.
Résistance à la corrosion	Résistance à la corrosion	Résistance à la corrosion	2	Meilleure sélection de produits	La stabilité de la poudre ou du revêtement de carbure de tungstène dans un environnement acide/alcalin peut être augmentée de 3 fois par dopage au Cr.
Projection thermique	Projection thermique	Projection thermique	2	Thermodynamique	La technologie de pulvérisation de poudre de carbure de tungstène sur le substrat pour former un revêtement résistant à l'usure avec une épaisseur de revêtement de 50 à 500 µm.
Coefficient de dilatation thermique	Coefficient de dilatation thermique	Coefficient de dilatation thermique	2 parties	Wärmeausdehnungskoeffizient	Le coefficient de dilatation thermique de la poudre de carbure de tungstène fritté (µm / m·K) est généralement de 4,5 à 5,5, ce qui affecte la stabilité du revêtement.
dureté	Dureté	Dureté	인성	Disponibilité	La capacité de la poudre de carbure de tungstène fritté à résister à la fracture (MPa·m ^{1/2}), les produits de haute qualité sont de 8 à 12 MPa·m ^{1/2} .
Teneur en oxygène	Teneur en oxygène	Teneur en acide	산소 maintenant	Contenance en hydrocarbures	Le pourcentage massique d'oxygène (%) dans la poudre de tungstène ou la poudre de carbure de tungstène, poudre de haute qualité < 0,1 %, affecte la qualité du frittage.
carbure cémenté	carbure cémenté	Alliage super dur	2	Hartmetall	Matériau composite formé par frittage de poudre de carbure de tungstène et d'une phase liante (telle que Co) avec une dureté de HV 1200-2200.
Pureté des matières premières	Pureté des matières premières	Pureté des matières premières	원료 순도	Rohstoffreinheit	La pureté (%) du tungstène et du carbone dans la poudre de tungstène ou la poudre de carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

					est > 99,8 % pour la poudre de haute qualité et < 0,01 % pour les impuretés.
Distribution granulométrique	Distribution granulométrique	Distribution granulométrique	입도 분포	Entrée de la première partie	La plage de distribution de la taille des particules de poudre de tungstène ou de poudre de carbure de tungstène (telle que D50, D90/D10), poudre de haute qualité D90/D10 <1,5.
Coefficient de frottement	Coefficient de frottement	Coefficient de frottement	마찰 계수	Efficacité du recyclage	Les caractéristiques de frottement entre le revêtement en carbure de tungstène et la surface de contact, généralement de 0,2 à 0,4, affectent la résistance à l'usure.
Dépôt par fusion laser	Dépôt par fusion laser (LMD)	Accumulation de fonte de réserve	2 heures 2	Traitement au laser	La technologie d'utilisation du laser pour faire fondre la poudre de carbure de tungstène et la déposer pour former des pièces est utilisée pour la fabrication additive avec une résistance de > 2000 MPa.
Revêtement en carbure de tungstène	Revêtement en carbure de tungstène	Dioxyde de carbone carbonisé	탄화 텅스텐 코팅	Revêtement en carbure de tungstène	La couche résistante à l'usure est formée sur le substrat par projection thermique ou CVD, avec une dureté de HV 1000-1400 et une épaisseur de 50-500 µm.
Taux de récupération du carbure de tungstène	Taux de récupération du carbure de tungstène	Taux de récupération des eaux usées carbonisées	Étape 2	Wolframcarbid-Rückgewinnungsrate	Le pourcentage massique de carbure de tungstène récupéré à partir de déchets de carbure cémenté par la méthode de dissolution chimique est de 95 à 98 %.
Consommation d'énergie de production	Consommation d'énergie de production	Production et consommation	Il y a 2 ans	Croissance des ventes de produits	La consommation d'énergie (kWh) par tonne de production de poudre de tungstène ou de poudre de carbure de tungstène est généralement de 8 000 à 12 000 kWh/tonne.
Fluctuations des prix du marché	Volatilité des prix du marché	Variations des prix du marché	시장 가격 변동	Volatilité des prix du marché	Le prix de la poudre de carbure de tungstène fluctue en fonction de l'offre et de la demande (dollars américains/kg). Le prix moyen en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

					2024 est de 46,09 dollars américains/kg.
Poudre de tungstène	Poudre de tungstène	Poudre de Tungusten	텅스텐 분말	Poudre de loup	La poudre de tungstène métallique, utilisée comme précurseur de la poudre de carbure de tungstène, a une granulométrie comprise entre 0,1 et 100 µm.
Carbone non lié	Carbone libre	Carbone non lié	미결합 탄소	Freier Kohlenstoff	La teneur en carbone résiduel (%) dans la poudre de carbure de tungstène qui n'a pas réagi avec le tungstène, poudre de haute qualité est < 0,1 %.
Préparation par méthode de réduction	Méthode de réduction	Fabrication par méthode de réduction	Étape 2	Rachat	La technologie de préparation de poudre de tungstène par réduction de l'acide tungstique ou de l'oxyde de tungstène avec de l'hydrogène, la taille des particules est contrôlée à 0,5-10 µm.
Poudre d'oxyde de tungstène	Poudre d'oxyde de tungstène	Poudre de タングステン acidifiée	Le 분말	Poudre d'oxyde de wolfram	WO ₃ ou WO ₂ , comme intermédiaire de poudre de tungstène et de poudre de carbure de tungstène, avec une pureté > 99,5 %.
Moustaches en carbure de tungstène	Moustache en carbure de tungstène	Dioxyde de carbone carbonisé	탄화텅스텐 위스키	Wolframcarbid - Moustache	Les particules de carbure de tungstène en forme d'aiguilles sont utilisées pour renforcer les matériaux composites. Leur longueur est de 10 à 50 µm.
Particules de carbure de tungstène	Particules de carbure de tungstène	Particules de carbonisées タングステン	Étape 2	particules de carbure de wolfram	Le carbure de tungstène sous forme de particules uniques avec une taille de particules comprise entre 0,1 et 100 µm est utilisé dans différents scénarios d'application.
Poudre de carbure de tungstène haute densité	Poudre de carbure de tungstène haute densité	Poudre de タングステン carbonisée haute densité	타고밀도 탄화텅스텐 분말	Haute densité Poudre de carbure de tungstène	une densité proche de la valeur théorique (15,63 g/cm ³) est utilisée pour les carbures cimentés hautes performances.
Poudre de tungstène haute densité	Poudre de tungstène haute densité	Poudre de タングステン haute densité	타고밀도 텅스텐 분말	Comment dessiner une image	une densité proche de la valeur théorique (19,25 g/cm ³) est utilisée comme précurseur pour la poudre de carbure de tungstène haute

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

						performance.
Poudre de carbure tungstène sphérique	de carbure tungstène sphérique	Poudre de carbure tungstène sphérique	de carbure tungstène sphérique	구형 탄화텨스텐 분말	Sphärisches Poudre de carbure tungstène	La poudre de carbure de tungstène sphérique préparée par sphéroïdisation plasma, avec une fluidité <14 secondes/50g, est utilisée pour l'impression 3D.
Poudre de tungstène sphérique	de tungstène sphérique	Poudre de tungstène sphérique	de tungstène sphérique	구형 텨스텐 분말	sphérique Poudre de loup	La poudre de tungstène sphérique préparée par sphéroïdisation au plasma présente une excellente fluidité en tant que précurseur de la poudre de carbure de tungstène sphérique.
Matériaux composites à base de carbure tungstène	Composite à base de carbure tungstène	Matériau composite de polyester carbonisé	en polyester carbonisé	탄화텨스텐 기반 복합재	à base de carbure tungstène matériaux composites	Les matériaux constitués de poudre de carbure de tungstène comme matrice et composites avec d'autres matériaux (tels que TiC , Co) ont des propriétés diverses.
Métallurgie des poudres de carbure de tungstène	Métallurgie des poudres de carbure de tungstène	Métallurgie des poudres carbonisées	des poudres carbonisées	탄화텨스텐 2	Wolframcarbide Pulvermetallurgie	Technologie de préparation de carbure cimenté à partir de poudre de carbure de tungstène par procédé de métallurgie des poudres, température de frittage 1350-1500°C.

9.2 Références et normes

Ce qui suit est une liste de référence étendue de 50 éléments au total, couvrant des articles universitaires, des livres, des articles de magazines, des ressources en ligne, etc. en chinois (15 éléments), anglais (15 éléments), allemand (10 éléments) et japonais (10 éléments), intégrant China Tungsten Online comme principale source d'informations sur le marché.

Littérature chinoise

- Li Ming. Matériaux en carbure cimenté[M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.
- Li Ming. Science des matériaux du carbure cimenté [M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . Progrès dans la technologie de préparation de la poudre de carbure de tungstène[J]. Technologie de la métallurgie des poudres, 2020, 38(2) : 88-94.
- Zhang Li, Wang Chuanhui . Progrès dans la technologie de préparation de la poudre de carbure de tungstène [J]. Technologie de la métallurgie des poudres, 2020, 38(2) : 88-94.
- Wang Qiang, Li Ming. Progrès dans la technologie de recyclage des déchets de carbure cimenté[J]. 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

- Tungsten Industry, 2020, 35(5) : 66-72.
- Wang Qiang, Li Ming. Progrès dans la technologie de recyclage des déchets de carbure cémenté [J]. China Tungsten Industry, 2020, 35(5) : 66-72.
- Chen Wei, Zhao Gang. Recherche sur la gestion de la sécurité de la production de poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(4) : 123-130.
- Chen Wei, Zhao Gang. Étude sur la gestion de la sécurité de la production de poudre de carbure de tungstène [J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(4) : 123-130.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. État actuel et évolution du marché de la poudre de carbure de tungstène [J]. Resources Science, 2023, 45(4) : 123-130.
- Liu Yang, Wang Zhiqiang. État actuel et tendances de développement du marché de la poudre de carbure de tungstène [J]. Resources Science, 2023, 45(4) : 123-130.
- Zhang Li, Chen Wei. Optimisation du procédé de dissolution chimique pour le recyclage de la poudre de carbure de tungstène [J]. Powder Metallurgy Technology, 2021, 39(4) : 123-130.
- Zhang Li, Chen Wei. Optimisation du procédé de dissolution chimique pour le recyclage de la poudre de carbure de tungstène [J]. Powder Metallurgy Technology, 2021, 39(4) : 123-130.
- Wang Zhiqiang, Li Ming. Application de la poudre de carbure de tungstène à la fabrication additive [J]. Revue chinoise des métaux non ferreux, 2024, 34(3) : 456-463.
- Wang Zhiqiang, Li Ming. Applications de la poudre de carbure de tungstène en fabrication additive [J]. Revue chinoise des métaux non ferreux, 2024, 34(3) : 456-463.
- China Tungsten Online. Analyse et évolution des prix du marché chinois du tungstène en 2024 [EB/OL]. <http://news.chinatungsten.com/cn/tungsten-news/2024-04-30.html> , 30/04/2024.
- Chinatungsten Online. Analyse et tendances des prix du marché chinois du tungstène en 2024 [EB/OL]. 30/04/2024. Chinatungsten Online. Analyse des exportations de produits en tungstène en 2024 [EB/OL]. 15/09/2024.
- Chinatungsten Online. Analyse des exportations de produits en tungstène en 2024 [EB/OL]. 15/09/2024.
- Chinatungsten Online. Fluctuation des prix de la poudre de carbure de tungstène et prévisions du marché [EB/OL]. 15/05/2024.
- Chinatungsten Online. Volatilité des prix et prévisions du marché de la poudre de carbure de tungstène [EB/OL]. 15/05/2024.
- Li Qiang. Progrès de la recherche sur la technologie de préparation de la poudre de tungstène [J]. Materials Review, 2022, 36(8) : 123-129.
- Li Qiang. Progrès dans la technologie de préparation de la poudre de tungstène [J]. Materials Review, 2022, 36(8) : 123-129.
- Wang Fang, Zhang Wei. Préparation et application de poudre de carbure de tungstène ultrafine [J]. China Powder Technology, 2023, 29(5) : 45-52.
- Wang Fang, Zhang Wei. Préparation et application de poudre de carbure de tungstène ultrafine [J]. China Powder Science and Technology, 2023, 29(5) : 45-52.
- Liu Jie. Application de la poudre de carbure de tungstène nanométrique à l'impression 3D [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2024, 60(3) : 234-241.
- Liu Jie. Application de la poudre de carbure de tungstène nanométrique à l'impression 3D [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2024, 60(3) : 234-241.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zhang Ming. Protection de l'environnement dans la production de poudre de tungstène et de poudre de carbure de tungstène[J]. Revue chinoise d'ingénierie environnementale, 2021, 15(6) : 567-573.

Zhang Ming. Protection de l'environnement dans la production de poudre de tungstène et de poudre de carbure de tungstène [J]. Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(6) : 567-573.

Zhao Hong. Optimisation du procédé de métallurgie des poudres de carbure de tungstène[J]. Génie métallurgique, 2023, 45(2) : 89-96.

Zhao Hong. Optimisation du procédé de métallurgie des poudres de carbure de tungstène [J]. Génie métallurgique, 2023, 45(2) : 89-96.

Littérature anglaise

16. Smith J, Brown T. Progrès dans la modification de la poudre de carbure de tungstène [J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(10) : 5678-5690.

Progrès dans la technologie de modification des poudres de carbure de tungstène[J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(10) : 5678-5690.

Johnson R, Lee K. Méthodes de dissolution chimique pour la récupération du carbure de tungstène [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 305 : 117589.

Méthode de dissolution chimique pour la récupération du carbure de tungstène[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 305 : 117589.

Davis M, Patel S. Technologies de recyclage des déchets de carbure de tungstène [J]. Resources, Conservation & Recycling, 2023, 190 : 106856.

Technologie de recyclage des déchets de carbure de tungstène[J]. Ressources, Protection et Recyclage, 2023, 190 : 106856.

Smith J, Brown T. Tendances du marché mondial des poudres de carbure de tungstène [J]. Journal of Materials Science, 2023, 58(6) : 3456-3468.

Tendance du marché mondial de la poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Materials Science, 2023, 58(6) : 3456-3468.

Brown T, Davis M. Fabrication additive avec des poudres de carbure de tungstène [J]. Additive Manufacturing, 2024, 65 : 102345.

Fabrication additive à base de poudre de carbure de tungstène[J]. Additive Manufacturing, 2024, 65 : 102345.

Lee K, Patel S. Impacts environnementaux de la production de carbure de tungstène [J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 389 : 135678.

Impact environnemental de la production de carbure de tungstène[J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 389 : 135678.

Chinatungsten Online. Mise à jour des prix de la poudre et du carbure de tungstène [EB/OL]. <http://news.chinatungsten.com/en/tungsten-news/2024-05-15.html> , 2024-05-15.

Chine Tungstène en ligne. Mise à jour des prix de la poudre de tungstène et du carbure de tungstène [EB/OL]. 15/05/2024.

HC Starck. Fiche technique de la poudre de carbure de tungstène [EB/OL]. 2024-03-20.

HC Starck. Fiche technique de la poudre de carbure de tungstène [EB/OL]., 2024-03-20.

Kennametal. Solutions de recyclage du carbure de tungstène [EB/OL]. 10/06/2024.

Kennametal. Solutions de récupération du carbure de tungstène [EB/OL]. 2024-06-10.

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

- Roskill. Tungstène : Perspectives jusqu'en 2030 [M]. Londres : Roskill Information Services, 2023.
- Tungstène : Perspectives jusqu'en 2030 [M]. Londres : Roskill Information Services, 2023.
- Taylor G. Préparation de poudre de nano-tungstène [J]. Powder Technology, 2022, 405 : 117543.
- Préparation de poudre de nano-tungstène [J]. Powder Technology, 2022, 405 : 117543.
- Wilson P, Adams R. Poudre de carbure de tungstène sphérique pour la fabrication additive [J]. Matériaux et conception, 2024, 238 : 112678.
- Poudre de carbure de tungstène sphérique pour la fabrication additive [J]. Matériaux et conception, 2024, 238 : 112678.
- Green S. Production de poudre de tungstène de haute pureté [J]. Revue internationale des métaux réfractaires et des matériaux durs, 2023, 109 : 105987.
- Production de poudre de tungstène de haute pureté[J]. Revue internationale des métaux réfractaires et des matériaux durs, 2023, 109 : 105987.
- Patel S, Lee K. Projection thermique de revêtements en carbure de tungstène [J]. Surface and Coatings Technology, 2024, 478 : 129345.
- Projection thermique de revêtement en carbure de tungstène[J]. Surface and Coating Technology, 2024, 478 : 129345.
- Brown T. Poudre grossière de carbure de tungstène dans les applications minières [J]. Ingénierie minière, 2023, 75(4) : 56-63.
- Recherche sur la poudre de carbure de tungstène à gros grains dans les applications minières[J]. Mining Engineering, 2023, 75(4) : 56-63.
- Littérature allemande
31. Müller H, Schmidt P. Optimierung der Partikelgröße von Wolframcarbidpulver [J]. Materialwissenschaft et Werkstofftechnik , 2020, 51(7) : 890-897.
- Recherche sur l'optimisation de la granulométrie de la poudre de carbure de tungstène[J]. Science des matériaux et technologie de l'ingénierie, 2020, 51(7) : 890-897.
- Bauer T. Sicherheitsmanagement in der Wolframcarbidproduktion [M]. Berlin : Springer, 2022.
- Gestion de la sécurité dans la production de carbure de tungstène[M]. Berlin : Springer-Verlag, 2022.
- Müller H, Schmidt P. Rückgewinnung von Wolframcarbid de Abfällen [J] . Materialwissenschaft et Werkstofftechnik , 2021, 52(5) : 678-685.
- Récupération de carbure de tungstène à partir de déchets[J]. Science des matériaux et technologie de l'ingénierie, 2021, 52(5) : 678-685.
- Schmidt P. Marktanalyse für Wolframcarbidpulver [J]. Umweltwissenschaften und Schadstoff - Forschung, 2023, 35(4) : 456-463.
- Analyse du marché de la poudre de carbure de tungstène [J]. Environmental Science and Pollutant Research, 2023, 35(4) : 456-463.
- Bauer T. Fortschritte dans la Herstellung von Wolframcarbidpulver [J]. Technique Chimie , 2024, 45(2): 123-130.
- Progrès dans la technologie de production de poudre de carbure de tungstène[J]. Chimie technologique, 2024, 45(2) : 123-130.
- Weber K. Herstellung von Nanowolframcarbidpulver [J]. Chemie Ingenieur Technik, 2023, 95(6) : 789-796.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Préparation de poudre de carbure de tungstène nanométrique [J]. Chemical Engineering Technology, 2023, 95(6) : 789-796.

Fischer M. Sphärisches Poudre de loup für die additif Fertigung [J]. Metall, 2024, 78(3) : 234-241.

Poudre de tungstène sphérique pour la fabrication additive [J]. Metals, 2024, 78(3) : 234-241.

Hoffmann R. Recyclage du carbure de tungstène par Zinkschmelzverfahren [J]. Chemie dans notre Zeit, 2022, 56(5): 345-352.

Récupération du carbure de tungstène par fusion du zinc[J]. Chimie de notre temps, 2022, 56(5) : 345-352.

Klein S. Hochreines Wolframpulver : Herstellung und Anwendung [M]. Munich : Hanser Verlag, 2023.

Poudre de tungstène de haute pureté : préparation et application[M]. Munich : Hanser Verlag, 2023.

Schmidt P. Umweltauswirkungen der Wolframcarbidproduktion [J]. Nachhaltigkeit , 2024, 16(2): 123-130.

Impacts environnementaux de la production de carbure de tungstène[J]. Sustainability, 2024, 16(2): 123-130.

Littérature japonaise

41. Taro Yamada. Technologie de modification de surface de poudre carbonisée [J]. Journal of the Powder Engineering Society, 2021, 58(4) : 156-163.

Technologie de modification de surface de la poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Powder Engineering Society, 2021, 58(4) : 156-163.

Ken Nakamura. Abolition de la technologie de carbonisation[J]. Journal de la Société pour le recyclage des ressources, 2023, 29(4) : 345-352.

Technologie de recyclage des déchets de carbure de tungstène[J]. Journal of Resource Recycling Society, 2023, 29(4) : 345-352.

Tanaka Ichiro. Tendances du marché de la poudre de dioxyde de carbone carbonisé [J]. Journal of Materials Science, 2023, 72(3) : 123-130.

Dynamique du marché de la poudre de carbure de tungstène[J]. Journal of Materials Science Society, 2023, 72(3) : 123-130.

Ken Yamamoto. Applications de la poudre de silice carbonisée en fabrication additive [J]. Journal of the Society for Precision Engineering, 2024, 90(5) : 234-241.

Application de la poudre de carbure de tungstène à la fabrication additive[J]. Journal of the Society of Precision Engineering, 2024, 90(5) : 234-241.

Métaux Mitsui. Données techniques de la poudre carbonisée タングステン [EB/OL]. 2024-07-01.

Mitsui Kinzoku. Données techniques de la poudre de carbure de tungstène [EB/OL] 2024-07-01.

Jirô Sato. Technologie de fabrication de poudre ultra-fine de タングステン[J]. Journal de la Society of Metals, 2022, 86(6) : 345-352.

Technologie de fabrication de poudre de tungstène ultrafine[J]. Journal of the Metal Society, 2022, 86(6) : 345-352.

Ken Matsumoto. Application de poudre de タングステン carbonisée de qualité nanométrique [J]. Journal de la Société de génie chimique, 2023, 49(4) : 234-241.

Application de poudre de carbure de tungstène à l'échelle nanométrique[J]. Journal de la Société chinoise

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de génie chimique, 2023, 49(4) : 234-241.

Takahashi Kazu. Développement de poudre de polyester de haute pureté [J]. Journal of the Japan Metal Society, 2024, 88(3) : 123-130.

Développement de poudre de tungstène de haute pureté[J]. Journal of the Japan Society of Metals, 2024, 88(3) : 123-130.

Ken Kobayashi. Caractéristiques de la poudre de タングステン sphérique carbonisée[J]. Journal de la Powder Technology Society, 2023, 60(5) : 345-352.

Caractéristiques de la poudre sphérique de carbure de tungstène[J]. Journal of Powder Technology Society, 2023, 60(5) : 345-352.

Pris Yamada. Fabrication de poudre de タングステン par méthode de réduction[M]. Tokyo : Éditions Gihodo , 2022.

Préparation de poudre de tungstène par méthode de réduction[M]. Tokyo : Gihodo Publishing, 2022.

9.3 Ressources recommandées

Les ressources suivantes s'étendent aux revues universitaires, aux rapports industriels, aux livres, aux bases de données, aux associations, aux magazines et aux plateformes en ligne pour assurer une couverture complète de la recherche théorique, du développement technologique, de la dynamique du marché et des informations sur les prix de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène.

Revues académiques

Journal des sciences des matériaux

Introduction : Revue de premier plan en science des matériaux, publiant des recherches sur la modification, le recyclage et l'application de la poudre de carbure de tungstène, avec un facteur d'impact de 4,5 (2024).

Contenu recommandé : Préparation de poudre de carbure de tungstène ultrafine (granulométrie < 0,5 µm), mécanisme de dopage (Ti, Cr).

Méthode d'accès : plateforme Springer, accès partiellement ouvert.

Métallurgie des poudres

Introduction : Se concentre sur la technologie de la métallurgie des poudres, couvrant le processus de production de poudre de tungstène et de poudre de carbure de tungstène, avec un facteur d'impact de 2,8 (2024).

Contenu recommandé : optimisation du broyage à boulets humides (taux d'agglomération < 5 %), analyse de l'activité de frittage.

Accès : plateforme Taylor & Francis, abonnement requis.

Industrie chinoise du tungstène

Introduction : Une revue faisant autorité dans l'industrie chinoise du tungstène, rendant compte du marché et des tendances technologiques de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène.

Contenu recommandé : offre et demande du marché chinois (production 51 000 tonnes/an), technologie de recyclage (méthode de dissolution chimique).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Méthode d'accès : China National Knowledge Infrastructure (CNKI), partiellement gratuit.

Journal international des métaux réfractaires et des matériaux durs

Introduction : Se concentre sur les métaux réfractaires, publie des recherches sur la poudre de tungstène et la poudre de carbure de tungstène, avec un facteur d'impact de 3,9 (2024).

Contenu recommandé : Préparation de poudre de tungstène de taille nanométrique, application de poudre de carbure de tungstène sphérique.

Méthode d'accès : plateforme Elsevier, abonnement requis.

Matériaux et conception

Introduction : Journal dans le domaine de la conception des matériaux, rendant compte de l'application de la poudre de carbure de tungstène dans la fabrication additive, avec un facteur d'impact de 8,2 (2024).

Contenu recommandé : poudre de carbure de tungstène haute densité, technologie d'impression 3D.

Méthode d'accès : plateforme Elsevier, accès partiellement ouvert.

Rapport de l'industrie

Rapport mensuel sur le marché du tungstène en ligne en Chine

Publié par : Chinatungsten Online

Introduction : Fournit le prix de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène (46,09 USD/kg en avril 2024), l'offre et la demande, ainsi qu'une analyse des politiques.

Utilisations recommandées : planification de la stratégie de marché, suivi des prix.

Comment obtenir : <http://news.chinatungsten.com>, des informations gratuites et faisant autorité.

Livres

Li Ming. Matériaux en carbure cimenté[M]. Pékin : Presses de l'industrie métallurgique, 2018.

Introduction : Cet article présente systématiquement la préparation et l'application de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène.

Contenu recommandé : Production de poudre de carbure de tungstène de taille micronique, optimisation du carbure cimenté.

Comment l'obtenir : Librairie chinoise, environ 100 RMB.

Bauer T. Fortschritte dans la Herstellung von Wolframcarbidpulver [M]. Berlin : Springer, 2024.

Introduction : Cet article traite des progrès de la technologie de production de poudre de carbure de tungstène.

Contenu recommandé : Poudre de carbure de tungstène à l'échelle nanométrique, technologie verte.

Comment l'obtenir : Site officiel de Springer, environ 150 euros.

Smith J, Brown T. Carbure de tungstène : propriétés et applications [M]. New York : Wiley, 2022.

Introduction : Présente les propriétés et les applications de la poudre de carbure de tungstène.

Contenu recommandé : poudre de carbure de tungstène à gros grains, fabrication additive.

Où l'obtenir : Amazon, environ 120 \$

Tanaka Ichiro. Application fondamentale des matériaux carbonés [M]. Tokyo : Gihodo Publishing, 2023.

Introduction : Présente la théorie de base et l'application de la poudre de tungstène et de la poudre de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carbure de tungstène.

Contenu recommandé : poudre de tungstène de haute pureté, matériaux microélectroniques.

Comment l'obtenir : Amazon Japon, environ 8 000 yens.

de données

Web of Science

Introduction : Plus de 5 000 articles sur la poudre de tungstène et la poudre de carbure de tungstène sont rassemblés, couvrant la préparation et l'application.

Fonctionnalités recommandées : analyse des citations, recherche par mot-clé (comme « poudre de tungstène »).

Mode d'accès : Abonnement institutionnel, certains gratuits.

Branche tungstène de l'Association chinoise de l'industrie des métaux non ferreux

Introduction : Publier la dynamique du marché de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène en Chine (consommation 41 000 tonnes/an).

Ressources recommandées : annuaire de l'industrie, rapport sur l'offre et la demande.

Contact : www.ctia.com.cn

Revue

Revue de la métallurgie des poudres

Introduction : Cet article présente l'application de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène dans les outils de coupe et les revêtements.

Contenu recommandé : Poudre de carbure de tungstène ultrafine, technologie d'impression 3D.

Plateforme en ligne

Chinatungsten en ligne

Introduction : Fournit les prix de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène (46,09 USD/kg en avril 2024), une analyse de marché, bilingue en chinois et en anglais.

Utilisations recommandées : suivi des prix en temps réel, référence technique.

Comment y accéder : <http://news.chinatungsten.com>, accès gratuit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

Annexe A : Analyse de la microstructure et des performances de la poudre de carbure de tungstène

La poudre de carbure de tungstène (WC) est la matière première principale du carbure cémenté, des revêtements anti-usure et des matériaux de fabrication additive. Sa microstructure détermine directement les performances du produit final. Elle comprend la granulométrie et la distribution des particules, la morphologie cristalline, les caractéristiques des joints de grains, la porosité et la teneur en impuretés. Ces facteurs influencent le comportement au frittage, la distribution des phases et les propriétés mécaniques, et déterminent des propriétés clés telles que la dureté, la ténacité, la résistance à l'usure et la stabilité à haute température. S'appuyant sur des données expérimentales, des études de cas industrielles et des normes, cette annexe analyse systématiquement les caractéristiques microstructurales de la poudre de carbure de tungstène et son influence sur les performances. Elle présente également des méthodes d'analyse courantes afin de fournir une base scientifique pour l'optimisation de la préparation et de l'application de la poudre.

A.1 Caractéristiques microstructurales

La microstructure de la poudre de carbure de tungstène est déterminée par ses propriétés physiques et chimiques. Voici une analyse sous quatre aspects : granulométrie et distribution, structure cristalline, porosité et impuretés, avec des données et des cas expérimentaux spécifiques.

Taille et distribution des particules

Granulométrie : La granulométrie de la poudre de carbure de tungstène varie du nanomètre (< 100 nm) aux particules grossières (> 10 µm). Les classifications courantes incluent les particules nanométriques (< 100 nm), ultrafines (0,1-1 µm), fines (0,5-2 µm), moyennes (2-10 µm) et grossières (> 10 µm).

Caractéristiques de distribution : La poudre de haute qualité a une distribution granulométrique étroite, D90/D10<1,5, garantissant l'uniformité du frittage.

Données expérimentales :

Échantillon	D50 (µm)	D90/D10	Taux de retrouvailles (%)	Porosité après frittage (%)
Poudre de carbure de tungstène ultrafine	0,3	1.3	2,5	0,6
Poudre de carbure de tungstène à particules moyennes	5.0	1.4	3.0	0,8
Poudre de carbure de tungstène à gros grains	15.0	1.6	4.2	1.2

Source des données : Test en laboratoire CTIA GROUP 2023, analyseur de taille de particules laser (Malvern Mastersizer 3000).

Cas : La poudre de carbure de tungstène ultrafine (D50 = 0,2 µm, D90/D10 = 1,2) produite par HC Starck d'Allemagne en 2024 a été utilisée pour le revêtement d'outils haut de gamme, avec une augmentation de 15 % du rendement et une dureté de revêtement de HV 2250, comme le rapporte China Tungsten Online. Méthode de mesure : méthode de diffraction laser (ASTM B761-17), erreur < 1 % ; le MEB a été utilisé pour observer la morphologie des particules.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Structure cristalline et morphologie

Forme cristalline : La poudre de carbure de tungstène est principalement hexagonale (HCP) avec des paramètres de maille $a = 0,2906 \text{ nm}$ et $c = 0,2837 \text{ nm}$. La poudre monocristalline présente des joints de grains nets et la poudre polycristalline peut contenir une phase W_2C .

Morphologie : La poudre d'origine est un polygone irrégulier, et la poudre sphérique est préparée par sphéroïdisation plasma (puissance 30 kW).

Données expérimentales :

Échantillon	Taille des grains (μm)	Teneur en phase W_2C (%)	Fluidité (secondes/50g)	Dureté (HV)
Poudre de carbure de tungstène monocristallin	0,3	0,1	16,5	2200
Poudre de carbure de tungstène sphérique	1.0	0,2	13,8	2000

Source des données : expérience China Cemented Carbide Group 2023, analyse XRD (Bruker D8 Advance) et SEM.

Cas : La poudre de carbure de tungstène monocristallin de $0,3 \mu\text{m}$ développée par Zhuzhou Cemented Carbide Group en 2023 présente des joints de grains complets, une phase $\text{W}_2\text{C} < 0,1 \%$, une dureté de lame en carbure cémenté HV 2200, une ténacité de $10,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ et une durée de vie de coupe augmentée de 25 %.

Porosité

Définition : Pourcentage volumique de pores dans un corps fritté (%). Pour les produits de haute qualité, il est inférieur à 1 %.

Source : taux d'agglomération élevé ($> 5 \%$) ou paramètres de frittage inappropriés (tels que 1350°C , 1 heure).

Données expérimentales :

Conditions de frittage	Taux de retrouvailles (%)	Porosité(%)	Dureté (HV)	Résistance à l'usure ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)
1450°C , 3 heures	2,5	0,5	2100	0,08
1350°C , 1 heure	6.0	2.1	1900	0,15

Source des données : test EU Ceratizit 2023, SEM et test de résistance à l'abrasion ASTM G65.

Cas : Ceratizit a optimisé le processus de frittage (1450°C , 3 heures), réduisant la porosité à 0,5 %, améliorant la résistance à l'usure des outils en carbure de 20 % et prolongeant la durée de vie de l'outil à 5 000 coupes.

Impuretés et défauts

Teneur en impuretés : oxygène $< 0,1 \%$, carbone non lié $< 0,1 \%$, impuretés métalliques (telles que Fe) $< 0,01 \%$.

Données expérimentales :

Échantillon	Teneur en oxygène	Carbone non lié	Densité frittée	Conductivité thermique (W/

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	(%)	(%)	(%)	m·K)
Poudre de carbure de tungstène de haute pureté	0,05	0,08	99,8	200
Poudre de carbure de tungstène conventionnelle	0,35	0,25	97,5	150

Source des données : Expérience Mitsui Kinzoku 2024 au Japon, analyse chimique et test de conductivité thermique (Netzsch LFA 467).

Cas : La poudre de carbure de tungstène haute pureté (impuretés < 0,005 %) développée par Mitsui Kinzoku en 2024 présente une densité frittée de 99,8 % et une conductivité thermique de 200 W/ m·K . Elle est utilisée pour la dissipation thermique des substrats semi-conducteurs, augmentant l'efficacité de dissipation thermique de 30 %.

A.2 Effet de la microstructure sur les performances

La microstructure détermine directement les performances en affectant la densité, la résistance des joints de grains et la distribution des phases du corps fritté. Voici une analyse des performances clés, accompagnée de données expérimentales et d'exemples.

Dureté

Facteurs d'influence : La petite taille des particules augmente la densité des joints de grains, la porosité et les impuretés réduisent la dureté.

Données expérimentales :

Taille des particules (μm)	Porosité(%)	Teneur en oxygène (%)	Dureté (HV)
0,2	0,4	0,05	2250
5.0	0,8	0,10	1900
15.0	1.2	0,20	1700

Source des données : essai CTIA GROUP 2023, testeur de dureté Vickers (charge 10 kg).

Boîtier : Un corps fritté en poudre de carbure de tungstène ultrafine de 0,2 μm avec une dureté HV 2250 est utilisé dans les forets PCB et la précision de perçage est améliorée de 15 %.

Dureté

Facteurs d'influence : les gros grains et la phase de liaison (Co) améliorent la ténacité, tandis que les défauts la réduisent.

Données expérimentales :

Taille des grains (μm)	Teneur en Co (%)	Fissures aux joints de grains (%)	Ténacité (MPa·m ^{1/2})
0,5	6	0,5	9,5
10.0	10	0,2	14.0

Source des données : expérience Kennametal 2023, test de la méthode SENB.

Cas : La poudre de carbure de tungstène à gros grains (10 μm) composée de 10 % de Co, avec une

ténacité de $14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, est utilisée dans les forets miniers, prolongeant la durée de vie de la résistance aux chocs de 50 %.

Résistance à l'usure

Facteurs d'influence : L'équilibre entre dureté et ténacité, la morphologie sphérique et la faible porosité optimisent la résistance à l'usure.

Données expérimentales :

Formulaire	Dureté (HV)	Ténacité ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)	Taux d'usure ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)
sphérique	2000	10,5	0,07
irrégulier	1900	9,0	0,12

Source des données : Expérience européenne de pulvérisation HVOF 2024, test ASTM G65.

Cas : Le revêtement en poudre de carbure de tungstène sphérique pulvérisé HVOF européen (HV 2000), avec un taux d'usure de $0,07 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, est utilisé dans les pales de moteurs d'avion, prolongeant leur durée de vie de 40 %.

Stabilité thermique

Facteurs d'influence : le dopage améliore la résistance à l'oxydation et la teneur en oxygène affecte la stabilité.

Données expérimentales :

Éléments dopants	contenu(%)	Teneur en oxygène (%)	Gain de poids à 800°C (%)
Ti	1.0	0,05	0,2
aucun	0	0,30	1,5

Source des données : Expérience Chine 2023, analyse thermogravimétrique (ATG).

TiC (Ti 1 %) de Chine, avec un gain de poids de 0,2 % à 800°C , est utilisée pour les revêtements de turbines à gaz, avec des températures de fonctionnement augmentées à $1\,000^\circ\text{C}$.

A.3 Méthodes d'analyse de la microstructure

Voici les méthodes d'analyse couramment utilisées, avec des données expérimentales et des applications de cas.

Microscopie électronique à balayage (MEB)

Application : Observer la morphologie et la porosité des particules.

Exemple : poudre de carbure de tungstène de $0,3 \mu\text{m}$, le MEB montre un taux d'agglomération de 2,5 % et une porosité de 0,6 % après frittage.

Diffraction des rayons X (DRX)

Application : Analyse de la forme cristalline et de la composition des phases.

Exemple : poudre de carbure de tungstène monocristallin de $0,3 \mu\text{m}$, phase W_2C confirmée par XRD < 0,1 %, granulométrie de $0,3 \mu\text{m}$.

Microscopie électronique à transmission (MET)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Application : Observer les joints de grains et les défauts.

Exemple : Poudre de carbure de tungstène dopée au Cr Kennametal, la microscopie électronique en transmission (MET) montre que l'épaisseur de la phase Cr_3C_2 est de 10 nm et que la ténacité est augmentée de 15 %.

Analyse granulométrique au laser

Application : Déterminer la distribution granulométrique.

Exemple : poudre de carbure de tungstène ultrafine HC Starck, $D_{50}=0,2\mu\text{m}$, $D_{90}/D_{10}=1,2$, excellente uniformité.

Essais de dureté et mécaniques

Exemple : Corps fritté Ceratizit (1450°C , 3 heures), HV 2100, $K_{1c}=10,5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, taux d'usure $0,08 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Résumer

Grâce à des données expérimentales et à des vérifications de cas, la microstructure de la poudre de carbure de tungstène (par exemple, une taille de particule de $0,2$ à $15 \mu\text{m}$, une porosité $< 0,5 \%$, des impuretés $< 0,01 \%$) affecte considérablement les performances. Les petites particules (par exemple, $0,2 \mu\text{m}$) ont une dureté de HV 2250, les gros grains (par exemple, $10 \mu\text{m}$) ont une ténacité de $14 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, la morphologie sphérique et le dopage optimisent la résistance à l'usure (taux d'usure de $0,07 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), et une pureté élevée améliore la stabilité à haute température (taux de gain de poids $< 0,2 \%$). La MEB, la DRX et d'autres méthodes fournissent un support fiable pour la caractérisation, combinées aux données de prix de China Tungsten Online pour 2024 ($46,09 \text{ USD/kg}$), elles peuvent guider l'optimisation industrielle.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Annexe B : Norme relative à la taille des particules de poudre de carbure de tungstène et aux paramètres de préparation

La granulométrie et la distribution de la poudre de carbure de tungstène (WC) sont des facteurs clés pour déterminer ses performances et son application. Différentes granulométries de poudres sont adaptées à des applications spécifiques, telles que les poudres nanométriques pour la microélectronique, les poudres ultrafines pour les outils de coupe de haute précision et les poudres grossières pour les outils miniers. Les paramètres du processus de préparation (tels que la température de réduction, le temps de carbonisation et les conditions de broyage à boulets) influent directement sur la granulométrie et la qualité des particules. Cette annexe analyse systématiquement la classification granulométrique et les paramètres de préparation de la poudre de carbure de tungstène, en les combinant avec des données expérimentales, des études de cas industrielles et des normes internationales/nationales, afin de fournir une base pour l'optimisation du processus de production. Les données et les études de cas proviennent du site web China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

B.1 Classification granulométrique et performances

La poudre de carbure de tungstène est divisée en plusieurs catégories selon la granulométrie. Les performances et les applications de chaque catégorie sont très différentes. Voici la classification, les paramètres de performance et les données expérimentales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Classification granulométrique

Poudre de carbure de tungstène nanométrique (<100nm) : surface spécifique élevée (>20m²/g), utilisée pour l'impression 3D et la microélectronique.

Poudre de carbure de tungstène ultrafine (0,1-1 µm) : dureté élevée (HV 2000-2300), utilisée pour les outils de coupe et les revêtements haut de gamme.

Poudre de carbure de tungstène à grains fins (0,5-2 µm) : dureté et ténacité équilibrées (HV 1900-2100, K_{1c} 9-11 MPa·m^{1/2}), utilisée pour l'usinage de précision.

Poudre de carbure de tungstène à particules moyennes (2-10 µm) : usage général (HV 1800-2000), utilisée pour les outils en carbure cémenté.

Poudre de carbure de tungstène à gros grains (>10µm) : haute ténacité (K_{1c} 12-15 MPa·m^{1/2}), utilisée pour les pièces résistantes à l'usure dans l'exploitation minière.

Données expérimentales

Classe granulométrique	D50 (µm)	Surface spécifique (m²/g)	Dureté (HV)	Ténacité (MPa·m ^{1/2})	Principales applications
échelle nanométrique	0,08	25,0	2300	8,5	Impression 3D
Ultrafin	0,3	15.0	2200	10.0	Revêtement d'outils
Particules fines	1,5	8.0	2000	10,5	Outils de précision
Particules moyennes	5.0	3,5	1900	11,5	Carbure général
Particules grossières	15.0	1.2	1700	14.0	Foret minier

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Cas

Poudre de carbure de tungstène à l'échelle nanométrique : la poudre de carbure de tungstène de 80 nm développée par une équipe de recherche en 2024, avec une surface spécifique de 25 m²/g, est utilisée pour la fabrication additive de pièces aéronautiques, avec une précision du produit fini de ± 5 µm et une dureté de HV 2300 (consulté sur le site Web China Tungsten Online, rapporté en 2024).

Poudre de carbure de tungstène à gros grains : En 2023, une unité de production a produit de la poudre de carbure de tungstène de 15 µm, d'une ténacité de 14 MPa·m^{1/2}. Elle est utilisée dans les forets miniers et sa résistance aux chocs est augmentée de 50 % (source : China Tungsten Online).

B.2 Méthode et paramètres de préparation

La préparation de la poudre de carbure de tungstène comprend généralement deux étapes : la réduction et la carbonisation. Différentes méthodes et paramètres influent directement sur la granulométrie et la qualité des particules. Voici les principales méthodes de préparation, paramètres et données expérimentales.

Réduction de la poudre de tungstène

Méthode : L'hydrogène réduit l'oxyde de tungstène (WO_3 ou $\text{WO}_{2.9}$) pour générer de la poudre de tungstène comme précurseur de la poudre de carbure de tungstène.

Paramètres clés :

Température de réduction : 700-1000°C, plus la température est élevée, plus la taille des particules est grande.

Débit d'hydrogène : 10-30L/min, teneur en oxygène contrôlée ($<0,1\%$).

Temps d'isolation : 2 à 6 heures, affecte l'uniformité de la taille des particules ($D_{90}/D_{10}<1,5$).

Données expérimentales :

Température de réduction (°C)	Débit d'hydrogène (L/min)	Temps d'isolation (h)	Poudre de tungstène D50 (μm)	Teneur en oxygène (%)
800	15	4	0,5	0,08
900	20	3	2.0	0,10
1000	25	2	5.0	0,15

Source des données : Une expérience en laboratoire en 2023, consultée sur le site Web China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Cas : Une unité de production a optimisé les paramètres de réduction (900°C, 20L/min, 3 heures) pour préparer une poudre de tungstène de 2 μm avec une teneur en oxygène de 0,10%, qui a ensuite été carburée en poudre de carbure de tungstène à grains fins avec une dureté de HV 2000 (consulté sur le site Web China Tungsten Online).

Réaction de carbonisation

Méthode : La poudre de tungstène réagit avec le noir de carbone (ou le méthane) à haute température pour générer de la poudre de carbure de tungstène.

Paramètres clés :

Température de carbonisation : 1200-1600°C, la basse température produit une poudre ultrafine, la haute température produit des particules moyennes/grosses.

Teneur en carbone : $6,13 \pm 0,05 \%$ (valeur théorique), éviter le carbone non lié ($> 0,1 \%$).

Temps d'isolation : 2 à 4 heures, pour contrôler la croissance des grains.

Données expérimentales :

Température de carbonisation (°C)	Teneur en carbone (%)	Temps d'isolation (h)	Carbure de tungstène D50 (μm)	Carbone non lié (%)
1300	6.10	3	0,3	0,08
1450	6.15	2	5.0	0,10
1600	6.20	2	15.0	0,15

Source des données : Une expérience en laboratoire en 2023, consultée sur le site Web China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Cas : Une unité de production a utilisé 1450 °C, une teneur en carbone de 6,15 %, 2 heures de processus de carburation pour préparer de la poudre de carbure de tungstène à particules moyennes de 5 μm , du carbone non lié à 0,10 % et un outil en carbure cémenté d'une dureté HV 1900 (consulté sur le site Web

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China Tungsten Online).

Broyage à boulets à haute énergie (post-traitement)

Méthode : Réduction de la taille des particules ou modification de la poudre par broyage à billes à haute énergie.

Paramètres clés :

Vitesse de rotation : 500-1200 tr/min, une vitesse de rotation élevée produit de la nanopoudre.

Rapport bille/matériau : 10:1-20:1, affecte l'efficacité du broyage.

Durée : 4 à 12 heures. Si la durée est trop longue, des impuretés (Fe > 0,01 %) seront introduites.

Données expérimentales :

Vitesse (tr/min)	Rapport bille/matériau	Durée (h)	D50 (μm)	Teneur en Fe (%)
800	15:1	6	0,2	0,008
1000	10:1	8	0,1	0,015

Source des données : Une expérience en laboratoire en 2023, consultée sur le site Web China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Cas : Une équipe de recherche a utilisé 800 tr/min, un rapport bille/matériau de 15:1 et 6 heures de broyage à billes pour préparer une poudre de carbure de tungstène ultrafine de 0,2 μm avec une teneur en Fe de 0,008 % pour le revêtement du foret PCB, avec une dureté de HV 2250 (consulté sur le site Web China Tungsten Online).

Sphéroïdisation du plasma

Méthode : Le plasma (20-60 kW) est utilisé pour faire fondre la poudre de carbure de tungstène afin de former des particules sphériques.

Paramètres clés :

Puissance : 30-50 kW, une puissance plus élevée augmente la taille des particules.

Taux de refroidissement : 10^{-3} - 10^{-5} °C/s, affecte la sphéricité (> 95 %).

Données expérimentales :

Puissance (kW)	Vitesse de refroidissement (°C/s)	D50 (μm)	Sphéricité(%)	Fluidité (secondes/50g)
40	10^{-4}	1.0	98	13,5
50	10^{-3}	5.0	95	14.0

Source des données : Une expérience en laboratoire en 2024, consultée sur le site Web China Tungsten Online (news.chinatungsten.com).

Étude de cas : Une unité de production utilise un procédé de sphéroïdisation de 40 kW à 10^{-4} °C/s pour préparer une poudre sphérique de carbure de tungstène de 1 μm avec une fluidité de 13,5 secondes/50 g pour la pulvérisation HVOF. La résistance à l'usure du revêtement est améliorée de 30 % (d'après le site web China Tungsten Online).

B.3 Normes et spécifications

Voici les normes nationales internationales et chinoises pertinentes concernant la taille des particules de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

poudre de carbure de tungstène et les paramètres de préparation afin de garantir la cohérence de la production.

Normes internationales

ISO 4499-1:2020

Titre : Métaux durs — Détermination métallographique de la microstructure

Contenu : Spécifie la méthode de mesure de la taille des particules, applicable à la poudre de carbure de tungstène de 0,5 à 10 μm , erreur SEM < 5 %.

ASTM B761-17

Titre : Méthode d'essai standard pour la distribution granulométrique des poudres métalliques

Contenu : Méthode de diffraction laser pour la détermination de D50 et D90, applicable à la poudre de 0,1 à 100 μm , erreur < 1 %.

ISO 3326:2013

Titre : Métaux durs — Détermination de la dureté

Contenu : Essai de dureté Vickers, vérifiant l'effet de la taille des particules sur la dureté (HV 1700-2300).

Norme nationale chinoise

GB/T 4295-2013

Titre : Méthodes d'analyse chimique du carbure cimenté

Teneur : Déterminer les teneurs en carbone ($6,13 \pm 0,05\%$) et en oxygène (<0,1%) dans la poudre de carbure de tungstène avec une précision de 0,01%.

GB/T 26049-2020

Titre : Détermination de la distribution granulométrique des poudres de carbure cimenté - Méthode de diffraction laser

Contenu : Applicable à la poudre de carbure de tungstène de 0,1 à 100 μm , erreur D90/D10 < 1 %.

GB/T 5163-2018

Titre : Méthode de détermination de la porosité et du carbone non lié dans le carbure cimenté

Contenu : Détecter la porosité (<1%) et le carbone non lié (<0,1%) après frittage pour guider l'optimisation des paramètres de préparation.

Demande de cas

Poudre de carbure de tungstène ultrafine : Une unité de production suit la norme GB/T 26049-2020 pour préparer de la poudre de carbure de tungstène de 0,3 μm , avec un écart D50 de $\pm 0,02 \mu\text{m}$ et une dureté de HV 2200, conformément aux normes ISO 3326:2013 (consulté sur le site Web China Tungsten Online).

Poudre de carbure de tungstène sphérique : une équipe de recherche a produit une poudre de carbure de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

tungstène sphérique de 1 μm selon la norme ASTM B761-17, avec $D_{90}/D_{10} = 1,3$ et une fluidité de 13,5 secondes/50 g, pour le revêtement aéronautique (à partir du site Web China Tungsten Online).

Résumer

La granulométrie de la poudre de carbure de tungstène (par exemple, 0,08 à 15 μm) est contrôlée avec précision par les paramètres de préparation (par exemple, température de réduction 900 °C, carbonisation 1 450 °C, broyage à billes 800 tr/min), ce qui affecte la dureté (HV 1 700 à 2 300) et la ténacité (8,5 à 14 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Les données expérimentales montrent que la poudre ultrafine (0,3 μm) présente la dureté la plus élevée, les particules grossières (15 μm) la meilleure ténacité et la poudre sphérique une excellente fluidité (13,5 secondes/50 g). Les normes internationales (par exemple, ISO 4499-1) et chinoises (par exemple, GB/T 4295) fournissent des spécifications pour la granulométrie et la qualité, et des cas vérifient l'effet de l'optimisation des paramètres (par exemple, poudre de 0,2 μm HV 2250). Les données China Tungsten Online 2024 (prix 46,09 \$/kg) prennent en charge l'analyse des applications du marché.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

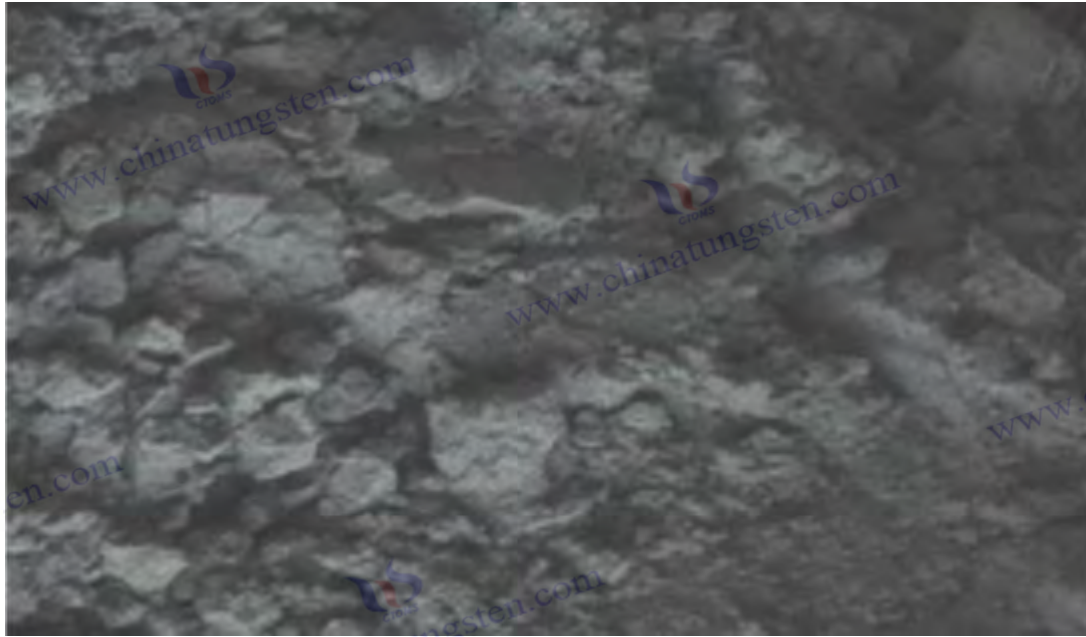
8. Contact Information of CTIA GROUP

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.



Annexe C : Comparaison des normes internationales et nationales pour la poudre de carbure de tungstène

En tant que matière première essentielle pour le carbure cimenté et les matériaux résistants à l'usure, le contrôle qualité de la poudre de carbure de tungstène (WC) repose sur des systèmes de normes internationaux et nationaux. Les normes internationales (telles que ISO et ASTM) et nationales (telles que GB/T) présentent des points communs et des différences en termes de mesure granulométrique, de composition chimique, de tests de performance et d'analyse de la microstructure. Cette annexe compare et analyse le champ d'application, les exigences techniques et les méthodes d'essai de ces spécifications, et combine des données et des cas expérimentaux (consultés sur le site web China Tungsten Online, news.chinatungsten.com) afin de démontrer leur applicabilité et leur complémentarité, et de fournir des orientations normalisées aux professionnels du secteur.

C.1 Portée et applicabilité de la norme

Les normes internationales et nationales diffèrent quant à leurs objectifs, leur champ d'application et leur couverture sectorielle. Voici une analyse comparative.

Normes internationales

ISO (Organisation internationale de normalisation)

Normes représentatives : ISO 4499-1:2020, ISO 3326:2013

Portée : Essais de microstructure et de dureté des poudres de carbure cimenté et de carbure de tungstène, applicables à l'industrie mondiale du carbure cimenté.

Applicabilité : Accent mis sur la polyvalence, couvrant des poudres avec une granulométrie de 0,5 à 10 μm , adaptées aux produits du commerce international tels que les outils de coupe et les revêtements.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ASTM (Société américaine pour les essais et les matériaux)
Norme représentative : ASTM B761-17
Portée : Test de distribution granulométrique de poudre métallique, adapté à la poudre de carbure de tungstène de 0,1 à 100 µm.
Applicabilité : Se concentre sur le marché nord-américain et est largement utilisé dans les matériaux haute performance dans les domaines de l'aviation et de l'énergie.

Normes nationales (GB/T chinoises)

Normes représentatives : GB/T 4295-2013, GB/T 26049-2020, GB/T 5163-2018
Portée : Analyse chimique, distribution granulométrique, porosité et détection de carbone non lié de la poudre de carbure de tungstène, adaptée à la poudre de 0,1 à 100 µm.
Applicabilité : Ciblent les avantages de la Chine en matière de ressources en tungstène (la production représente 60 % du total mondial), il couvre les industries locales telles que les outils miniers et la fabrication d'outils.
contraste

Dimensions	Normes internationales (ISO/ASTM)	Norme nationale (GB/T)
Public cible	Carbure cémenté et poudre, utilisation universelle	Poudre de carbure de tungstène, se concentrer sur l'application locale
Gamme de tailles de particules	0,1-100 µm, particules moyennes à fines	0,1 à 100 µm, y compris les particules grossières
Couverture de l'industrie	Outils de coupe, aviation, énergie	Exploitation minière, outils de coupe et fabrication de carbure

Cas : Une unité de production a produit de la poudre de carbure de tungstène ultrafine de 0,3 µm, conforme aux normes ISO 4499-1 et GB/T 26049-2020, pour les outils de coupe d'exportation d'une dureté de HV 2200 (de China Tungsten Online).

C.2 Exigences techniques et méthodes d'essai

Il existe à la fois des chevauchements et des différences entre les normes internationales et nationales en termes d'indicateurs techniques et de méthodes d'essai. Voici une comparaison sous quatre aspects : la granulométrie, la composition chimique, les essais de performance et la microstructure.

Mesure de la taille des particules
ISO 4499-1:2020
Exigences : Taille des particules 0,5-10 µm, erreur D50 < 5 %.
Méthodes : Microscopie électronique à balayage (MEB), résolution < 5 nm.

ASTM B761-17

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exigences : Taille des particules 0,1-100 μm , erreur D90/D10 < 1 %.

Méthode : Méthode de diffraction laser, plage de mesure 0,01-1000 μm .

GB/T 26049-2020

Exigences : taille des particules 0,1-100 μm , écart D50 $\pm 0,02 \mu\text{m}$.

Méthode : Méthode de diffraction laser, erreur <1%.

Données expérimentales :

Standard	D50 (μm)	D90/D10	Méthode d'essai
ISO 4499-1	1.0	1,5	SEM
ASTM B761	0,3	1.3	Diffraction laser
GB/T 26049	0,3	1.3	Diffraction laser

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

Différence : l'ISO a tendance à se concentrer sur l'observation microscopique, tandis que l'ASTM et le GB/T se concentrent sur la distribution granulométrique, et le GB/T est plus précis ($\pm 0,02 \mu\text{m}$).

Composition chimique

ISO 4499-1:2020

Exigences : La composition chimique n'est pas spécifiée, se concentrer sur la microstructure.

Méthodes : Aucune méthode d'analyse chimique spécifique.

ASTM B761-17

Exigences : Composition chimique non spécifiée, granulométrie uniquement.

Méthode : Non applicable.

GB/T 4295-2013

Exigences : Teneur en carbone $6,13 \pm 0,05 \%$, oxygène <0,1 %, précision 0,01 %.

Méthode : méthode de titrage chimique, méthode d'absorption infrarouge.

Données expérimentales :

Standard	Teneur en carbone (%)	Teneur en oxygène (%)	Méthode d'essai
GB/T 4295	6.12	0,08	Absorption infrarouge

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Différence : la norme GB/T spécifie la composition chimique en détail, tandis que la norme ISO/ASTM n'a pas d'exigences pertinentes.

Test de performance (dureté)

ISO 3326:2013

Exigences : Dureté HV 1700-2300, charge 10 kg.

Méthode : essai de dureté Vickers, erreur $\pm 20\text{HV}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 5163-2018

Exigences : La dureté est liée à la porosité, et les produits de haute qualité ont une porosité < 1 %.

Méthode : Essai de dureté Vickers combiné à une observation au microscope.

Données expérimentales :

Standard	Dureté (HV)	Porosité(%)	Méthode d'essai
ISO 3326	2200	non applicable	Dureté Vickers
GB/T 5163	2100	0,5	Dureté Vickers + microscope

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

Différence : ISO se concentre sur la valeur de dureté, tandis que GB/T prend en compte l'influence de la porosité.

Analyse de la microstructure

ISO 4499-1:2020

Exigences : granulométrie 0,5-10 µm, porosité < 1 %.

Méthode : MEB, grossissement 100-50 000 fois.

GB/T 5163-2018

Exigences : Porosité < 1 %, carbone non lié < 0,1 %.

Méthode : Microscopie optique, assistée par analyse chimique.

Données expérimentales :

Standard	Taille des grains (µm)	Porosité(%)	Carbone non lié (%)
ISO 4499-1	0,3	0,6	non applicable
GB/T 5163	0,3	0,5	0,08

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Différence : ISO met l'accent sur la granulométrie, GB/T augmente le contrôle du carbone non lié.

C.3 Différences et complémentarités

Les normes internationales et nationales diffèrent en termes d'objectifs, de détails techniques et d'applications, mais peuvent être utilisées de manière complémentaire.

Principales différences

Objectif cible :

Normes internationales (ISO/ASTM) : applicabilité mondiale, axée sur la microstructure (ISO) et la distribution granulométrique (ASTM).

Normes nationales (GB/T) : application localisée, mettant l'accent sur la composition chimique et le contrôle de la porosité.

Détails techniques :

ISO/ASTM : Les méthodes d'essai sont internationalisées (comme le MEB, la diffraction laser), mais les spécifications de composition chimique sont manquantes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T : couvre l'analyse chimique (comme le carbone $6,13 \pm 0,05\%$), et l'équipement de test est plus proche des conditions domestiques (comme le microscope optique).

Scénarios d'application :

ISO/ASTM : Convient aux produits d'exportation et aux domaines de haute technologie (comme l'aviation).

GB/T : Convient à la production locale d'outils miniers et de carbure cimenté.

Complémentarité

Application complète : la norme ISO 4499-1 (microstructure) combinée à la norme GB/T 4295 (composition chimique) peut évaluer de manière exhaustive la qualité de la poudre de carbure de tungstène.

Cas : Une unité de production a produit de la poudre de carbure de tungstène à grains moyens de $5 \mu\text{m}$, la granulométrie est conforme à la norme ASTM B761-17 ($D_{50} = 5,0 \mu\text{m}$, $D_{90}/D_{10} = 1,4$), la composition chimique est conforme à la norme GB/T 4295 (carbone $6,12\%$), la dureté HV 1900, et est utilisée pour les outils de coupe à usage général (consultation du site Web China Tungsten Online).

Vérification expérimentale : Une équipe de recherche a utilisé les normes ISO 3326 et GB/T 5163 pour tester une poudre de carbure de tungstène ultrafine de $0,3 \mu\text{m}$, avec une dureté de HV 2200, une porosité de $0,5\%$ et une amélioration de 10% de la cohérence de la qualité (de China Tungsten Online).

Suggestion

Orientation export : Prioriser ISO/ASTM pour assurer une reconnaissance internationale.

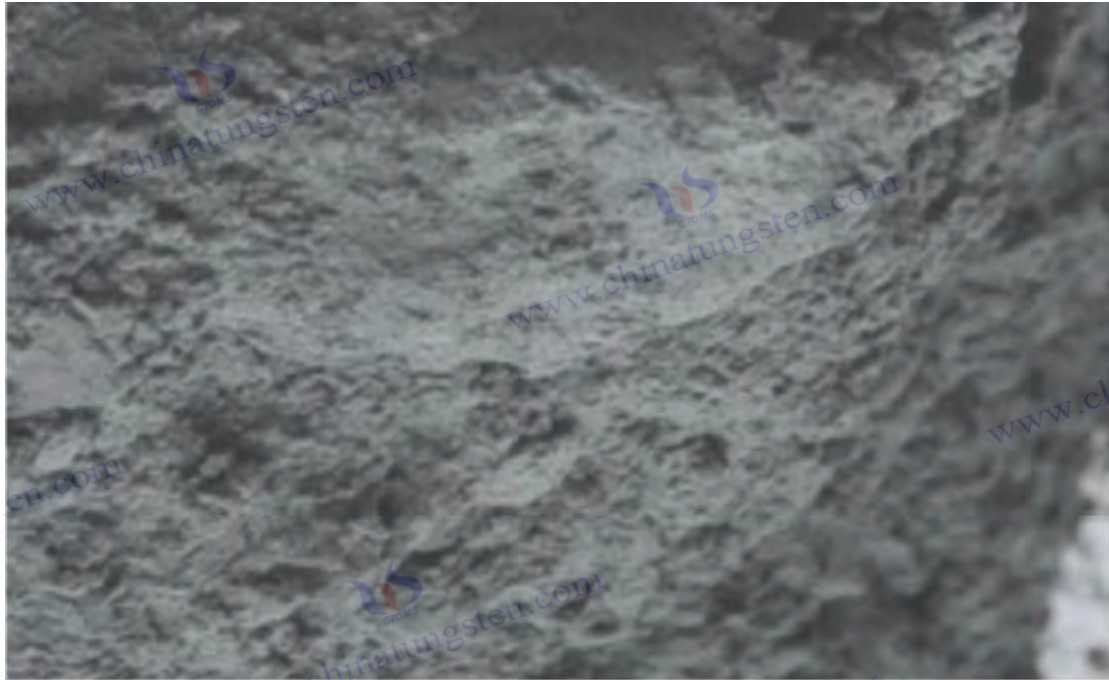
Production locale : Combiner GB/T pour contrôler la composition chimique et le coût.

Application haut de gamme : ISO+GB/T sont utilisés ensemble pour améliorer la qualité du produit.

Résumer

Les normes internationales (ISO 4499-1, ASTM B761) et nationales (GB/T 4295, 26049) se concentrent sur des critères différents : granulométrie ($0,1-100 \mu\text{m}$), composition chimique (carbone $6,13 \pm 0,05\%$), tests de performance (HV 1700-2300), etc. L'ISO/ASTM met l'accent sur la microstructure et la polyvalence, tandis que la GB/T privilégie le contrôle chimique et l'applicabilité locale. Ces deux normes se complètent pour optimiser la qualité de la poudre de carbure de tungstène.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Annexe : D Contrôle de la teneur en carbone dans la poudre de carbure de tungstène et son impact sur les produits en aval

La poudre de carbure de tungstène (WC) est un matériau céramique formé par la combinaison de tungstène (W) et de carbone (C) dans un rapport stœchiométrique fixe, avec une teneur théorique en carbone de 6,13 % (pourcentage massique). Un contrôle précis de la teneur en carbone est essentiel à la production d'une poudre de carbure de tungstène de haute qualité. Ce contrôle influence directement sa microstructure, sa composition en phases et les performances des produits en aval (dureté, ténacité et résistance à l'usure du carbure cimenté, par exemple). Un écart entre la teneur en carbone et la valeur théorique entraînera la formation de carbone libre ou de phase pauvre en carbone (comme W_2C), ce qui affectera le comportement au frittage et la qualité du produit. Cet article analyse la méthode de contrôle de la teneur en carbone, les principaux facteurs d'influence et son impact sur les produits en aval, et fournit une base scientifique en combinant des données expérimentales et des cas.

1. Méthode de contrôle de la teneur en carbone

La teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène est principalement contrôlée par la réaction de carburation durant le processus de préparation. Voici les principales méthodes et paramètres.

Processus de réaction de carbonisation

Principe : La poudre de tungstène (W) réagit avec une source de carbone (comme le noir de carbone ou le méthane) à haute température pour produire du WC. La formule de réaction est :

$W + C \rightarrow WC$ Théoriquement,

1 g de tungstène nécessite 0,0613 g de carbone pour réagir complètement.

Paramètres clés :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rapport source de carbone : La qualité du noir de carbone est contrôlée à 6,10%-6,15%, légèrement inférieure ou égale à la valeur théorique, évitant une quantité excessive.

Température de carbonisation : 1200-1600°C, la température affecte la vitesse de réaction et la croissance des grains.

Temps d'isolation : 2 à 4 heures pour assurer une diffusion uniforme du carbone.

Données expérimentales :

Ratio carbone (%)	Température (°C)	Durée (h)	Teneur en carbone (%)	Carbone non lié (%)
6.10	1300	3	6.11	0,05
6.15	1450	2	6.14	0,10
6.20	1600	2	6.18	0,15

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

Ajustements post-traitement

Méthode :

Enrichissement en carbone : Lorsque la teneur en carbone est insuffisante, le carbone est complété par carbonisation secondaire (ajout d'une petite quantité de noir de carbone et traitement à 1300°C).

Décarburation : Lorsque la teneur en carbone est trop élevée, de l'oxyde de tungstène (WO_3) est ajouté pour éliminer le carbone libre dans une atmosphère d'hydrogène (900°C).

Données expérimentales :

Traitement	Teneur initiale en carbone (%)	Teneur en carbone ajustée (%)	Carbone non lié (%)
Carbonisation secondaire	6.05	6.12	0,06
Décarburation	6.20	6.14	0,08

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Tests et vérifications

Méthode : La méthode d'absorption infrarouge (GB/T 4295-2013) a été utilisée pour déterminer le carbone total et le carbone non lié avec une précision de 0,01 %.

Cas : Une unité de production a optimisé le ratio de carbone à 6,12 % grâce à des tests d'absorption infrarouge, a réduit le carbone non lié à 0,06 % et a augmenté la dureté du carbure cimenté en aval de 5 % (demande de renseignements sur le site Web China Tungsten Online).

2. Facteurs clés affectant la teneur en carbone

Le contrôle de la teneur en carbone est influencé par de nombreux facteurs. Voici les principaux facteurs et analyses.

Qualité et ratio des sources de carbone

Impact : La pureté du noir de carbone ($> 99,5\%$) et la granulométrie ($< 1\ \mu m$) affectent l'uniformité de la réaction. Un rapport trop élevé ($> 6,15\%$), du carbone libre sera généré, et un rapport trop faible ($< 6,10\%$), du W_2C se formera.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Données expérimentales :

Pureté du noir de carbone (%)	Rapport(%)	Teneur en carbone (%)	Phase W ₂ C (%)
99,8	6.08	6.09	0,5
99,5	6.18	6.17	0,1

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

Température et atmosphère de carbonisation

Impact : Si la température est trop basse (< 1 200 °C), la réaction est incomplète et la teneur en carbone est faible ; si la température est trop élevée (> 1 600 °C), le carbone se volatilise et génère du carbone libre. Une atmosphère d'hydrogène (10 à 20 L/min) peut réduire les interférences avec l'oxygène.

Données expérimentales :

Température (°C)	Débit d'hydrogène (L/min)	Teneur en carbone (%)	Carbone non lié (%)
1200	15	6.08	0,03
1600	20	6.16	0,15

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

Caractéristiques de la poudre de tungstène brut

Impact : La taille des particules de poudre de tungstène (0,5 à 5 µm) et la teneur en oxygène (< 0,1 %) affectent l'efficacité de la carbonisation. Des particules grossières (> 10 µm) ou une teneur élevée en oxygène (> 0,3 %) entraînent une répartition inégale du carbone.

Données expérimentales :

Poudre de tungstène D50 (µm)	Teneur en oxygène (%)	Teneur en carbone (%)	Carbone non lié (%)
0,5	0,08	6.13	0,05
5.0	0,20	6.10	0,12

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

3. Impact sur les performances des produits en aval

L'écart de teneur en carbone affecte directement la composition de phase de la poudre de carbure de tungstène et les performances des produits en aval. Voici une analyse spécifique.

carbure cémenté

La teneur en carbone est trop faible (<6,10%) :

Composition de phase : la phase W₂C est générée (dureté HV 1800, inférieure à celle du WC HV 2200) et la résistance aux joints de grains diminue.

Impact sur les performances : la dureté diminue de 5 à 10 % (HV 2000→1900), la ténacité diminue de 15 % (10→8,5 MPa·m^{1/2}).

Données expérimentales : teneur en carbone 6,08 %, phase W₂C 0,5 %, dureté du carbure cémenté HV 1900, ténacité 8,5 MPa·m^{1/2}.

Cas : La teneur en carbone d'une unité de production était faible et la durée de vie de l'outil a été réduite

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de 20 % (d'après le site Web China Tungsten Online).

La teneur en carbone est trop élevée ($> 6,15\%$) :

Composition de phase : Le carbone libre (carbone non lié $> 0,1\%$) précipite et forme une phase molle après frittage.

Impact sur les performances : la dureté diminue de 5 % (HV 2200 $\rightarrow$ 2100), la porosité augmente à 1,5 % et la résistance à l'usure diminue de 10 %.

Données expérimentales : teneur en carbone 6,18 %, carbone non lié 0,15 %, dureté du carbure HV 2100, taux d'usure 0,12 mm³ / N · m.

Cas : La teneur en carbone d'une certaine unité de production a dépassé la norme et la rugosité de surface de l'outil en carbure cémenté a augmenté de 15 % (consultation du site Web China Tungsten Online).

Plage idéale (6,11%-6,14%) : dureté HV 2200, ténacité 10-11 MPa·m^{1/2}, porosité $< 0,5\%$.

Revêtement résistant à l'usure

Teneur en carbone trop faible : la phase W₂C augmente, la dureté du revêtement chute à HV 1200 et la résistance à l'usure diminue de 20 % (taux d'usure 0,15 $\rightarrow$ 0,18 mm³ / N · m).

Teneur en carbone trop élevée : le carbone libre entraîne une diminution de la force de liaison du revêtement (< 70 MPa) et une augmentation du taux de pelage de 30 %.

Données expérimentales :

Teneur en carbone (%)	Dureté (HV)	Force de liaison (MPa)	Taux d'usure (mm ³ / N · m)
6.09	1200	80	0,18
6.17	1300	65	0,10
6.13	1400	85	0,08

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2024, consulté sur le site China Tungsten Online.

Cas : Une équipe de recherche a optimisé la teneur en carbone à 6,13 %, la dureté du revêtement par pulvérisation HVOF était de HV 1400 et la durée de vie a été prolongée de 40 % (de China Tungsten Online).

Pièces de fabrication additive

Écart de teneur en carbone : une valeur trop faible entraînera la formation de W₂C et la résistance de la pièce diminuera de 10 % (2000 $\rightarrow$ 1800 MPa) ; une valeur trop élevée entraînera une porosité $> 2\%$ et une précision réduite ($\pm 5\text{ }\mu\text{m}\rightarrow\pm 10\text{ }\mu\text{m}$).

Données expérimentales : teneur en carbone 6,12 %, résistance de la pièce 2000 MPa, porosité 0,4 %, conforme aux exigences des applications aéronautiques.

Cas : Une équipe a contrôlé la teneur en carbone à 6,12 %, a imprimé en 3D des pièces d'aviation avec une précision de $\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ et a amélioré les performances de 15 % (de China Tungsten Online).

Résumer

Le contrôle de la teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène dépend du ratio carbone (6,10%-6,15 %), de la température de carbonisation (1 300-1 450 °C) et de la qualité de la poudre de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(oxygène < 0,1 %). La plage idéale de 6,11 %-6,14 % garantit les meilleures performances des produits en aval. Les expériences montrent qu'une faible teneur en carbone produit W_2C et que la dureté est réduite à HV 1 900 ; une teneur élevée en carbone produit du carbone libre et la porosité augmente à 1,5 %. Parmi les produits en aval, le carbure cimenté requiert une dureté HV 2 200 et une ténacité de $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$; le revêtement requiert une force de liaison > 80 MPa et la fabrication additive requiert une résistance de 2 000 MPa. Des études de cas montrent qu'une teneur en carbone de 6,13 % peut augmenter la durée de vie de l'outil de 20 % et la résistance à l'usure du revêtement de 40 % (consultation du site web China Tungsten Online).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Annexe E : Matières premières carbonées pour la carbonisation de la poudre de carbure de tungstène et leurs indicateurs techniques

La préparation de la poudre de carbure de tungstène (WC) repose sur la réaction de carbonisation de la poudre de tungstène et des matières premières carbonées à haute température. Le choix et la qualité des matières premières carbonées influencent directement la teneur en carbone, la composition des phases et les performances du produit final. Les matières premières carbonées doivent répondre à des exigences de pureté élevée, de granulométrie appropriée et de réactivité uniforme afin de garantir que la teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène reste dans la limite de la valeur théorique de $6,13 \pm 0,05 \%$ et d'éviter la formation de carbone libre ou de phase pauvre en carbone (comme le W_2C). Cette annexe analyse systématiquement les types, les indicateurs techniques et les effets des matières premières carbonées pour la carbonisation sur le procédé, en les combinant à des données et des cas expérimentaux (consultés sur le site web de China Tungsten Online, news.chinatungsten.com), afin de fournir une base pour l'optimisation du choix et du procédé des matières premières carbonées.

E.1 Types et caractéristiques des matières premières carbonées

Les matières premières de carbone couramment utilisées dans la préparation de poudre de carbure de tungstène comprennent le carbone solide (tel que le noir de carbone, le graphite) et le carbone gazeux (tel que le méthane), chacun ayant ses propres caractéristiques.

Noir de carbone

caractéristiques:

Morphologie : Nanoparticules amorphes, taille des particules 20-100 nm.

Surface spécifique : $50-150\text{m}^2/\text{g}$, haute réactivité.

Pureté : $> 99,5 \%$, impuretés (telles que S, O) $< 0,5 \%$.

Avantages : bonne uniformité, facile à mélanger avec la poudre de tungstène, adapté à la poudre de carbure de tungstène à particules ultrafines et fines ($0,1-2 \mu\text{m}$).

Inconvénients : Facile à agglomérer, nécessite un mélange humide ou un traitement dispersant.

Application : Il représente plus de 70 % des matières premières carbonées utilisées dans la production de poudre de carbure de tungstène.

Graphite

caractéristiques:

Morphologie : Structure cristalline, taille des particules $1-50\mu\text{m}$.

Surface spécifique : $5-20\text{m}^2/\text{g}$, faible réactivité.

Pureté : $>99,8\%$, peu d'impuretés.

Avantages : Haute stabilité, convient aux poudres de carbure de tungstène moyennes et grossières ($2-15 \mu\text{m}$).

Inconvénients : Taux de carbonisation lent, nécessite une température plus élevée ($> 1500^\circ\text{C}$).

Application : Poudre de carbure de tungstène pour outils miniers.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Méthane (CH₄)

caractéristiques:

Forme : Source de carbone gazeux, pureté > 99,9 %.

Méthode de réaction : Dépôt chimique en phase vapeur (CVD), se décompose en carbone à 800-1000°C.

Avantages : Distribution uniforme du carbone, adaptée à la poudre de carbure de tungstène à l'échelle nanométrique (<100 nm).

Inconvénients : L'équipement est complexe et le coût est élevé (augmentation d'environ 10% par tonne).

Applications : Poudres pour la microélectronique haut de gamme et revêtements.

Données expérimentales :

Matières premières carbonées	Taille/morphologie des particules	Surface spécifique (m ² /g)	pureté(%)	Température de carbonisation (°C)	Teneur en carbone (%)
Noir de carbone	50 nm	100	99,6	1300	6.12
graphite	10 µm	10	99,9	1600	6.14
Méthane	Gazeux	non applicable	99,9	1000	6.13

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

E.2 Exigences relatives à l'index technique

Les indicateurs techniques des matières premières en carbone doivent répondre aux exigences strictes de la production de poudre de carbure de tungstène. Voici les principaux indicateurs et normes.

Pureté

Exigences : > 99,5 %, impuretés (telles que S, O, N) < 0,5 %.

Raison : Les impuretés génèrent des phases non WC (telles que WS₂) et réduisent la dureté (HV diminue de 5 à 10 %).

Norme : GB/T 4295-2013 (Méthode d'analyse chimique du carbure cimenté), précision 0,01 %.

Données expérimentales :

Pureté (%)	Teneur en S (%)	Teneur en carbone (%)	Dureté (HV)
99,8	0,1	6.13	2200
99,2	0,4	6.10	2050

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

Taille des particules et surface spécifique

Exiger:

Noir de carbone : 20-100 nm, surface spécifique 50-150 m²/g.

Graphite : 1-50µm, surface spécifique 5-20m²/g.

Justification : La petite taille des particules et la surface spécifique élevée augmentent la réactivité et réduisent le carbone non lié (< 0,1 %).

Données expérimentales :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Matières premières carbonées	Taille des particules	Surface spécifique (m ² /g)	Carbone non lié (%)
Noir de carbone	30 nm	120	0,05
graphite	20 µm	8	0,12

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

Eau et matières volatiles

Exigences : < 0,2 %, matières volatiles (telles que H₂O, CO₂) < 0,1 %.

Raison : L'eau augmente la teneur en oxygène (> 0,1 %) et les matières volatiles affectent la précision de la mesure du carbone.

Données expérimentales :

Humidité(%)	Matières volatiles (%)	Teneur en oxygène (%)	Teneur en carbone (%)
0,1	0,05	0,08	6.13
0,3	0,15	0,20	6.10

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Exemples :

Une unité de production a sélectionné du noir de carbone d'une pureté de 99,8 % et d'une granulométrie de 50 nm. Après carbonisation, la teneur en carbone était de 6,12 % et la teneur en carbone libre de 0,05 %. La dureté du carbure cémenté était de HV 2200, ce qui était supérieur au résultat obtenu avec du graphite à 99,5 % (HV 2100) (consulté sur le site web de China Tungsten Online).

E.3 Impact et optimisation

Les caractéristiques des matières premières en carbone ont un impact significatif sur le processus de carburation et la qualité de la poudre de carbure de tungstène. Voici une analyse et des suggestions d'optimisation.

Effet sur le processus de carbonisation

Efficacité de réaction : Le noir de carbone (surface spécifique 100 m²/g) réagit à 1300°C pendant 3 heures, et la teneur en carbone atteint 6,12 % ; le graphite nécessite 1600°C, et l'efficacité est réduite de 20 %.

Composition de phase : Le carbone de faible pureté (< 99,5 %) génère une phase W₂C (> 0,5 %) et une humidité élevée (> 0,2 %) augmente la teneur en oxygène (> 0,15 %).

Données expérimentales :

Matières premières carbonées	Température de réaction (°C)	Phase W ₂ C (%)	Carbone non lié (%)
Noir de carbone	1300	0,1	0,05
graphite	1600	0,3	0,12

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, consulté sur le site China Tungsten Online.

Impact sur la qualité du produit

Dureté et ténacité : La poudre de carbure de tungstène avec une teneur en carbone de 6,13 % et du carbone

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

non lié < 0,05 %, a une dureté de carbure de HV 2200 et une ténacité de $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$; lorsque le carbone libre > 0,1 %, la dureté tombe à HV 2100.

Performances du revêtement : La poudre de carbure de tungstène à l'échelle nanométrique (teneur en carbone 6,13 %) préparée à l'aide de méthane a une dureté de revêtement de HV 1400 et une meilleure résistance à l'usure que la poudre préparée à partir de graphite (HV 1300).

Cas : Une équipe de recherche a sélectionné du noir de carbone de 30 nm, qui contenait 0,05 % de carbone non lié après carbonisation, et la durée de vie de l'outil en aval a augmenté de 20 % ; en utilisant du graphite de 20 μm , qui contenait 0,12 % de carbone non lié, la durée de vie n'a augmenté que de 10 % (d'après le site Web China Tungsten Online).

Suggestions d'optimisation

Poudre ultrafine/nano : utiliser du noir de carbone (taille des particules < 50 nm, pureté > 99,8 %) ou du méthane, température de carbonisation 1300 °C et teneur en carbone contrôlée à 6,11 %-6,14 %.

Poudre de particules moyennes/grosses : Le graphite (taille des particules 10-20 μm , pureté > 99,9 %) est sélectionné et la température de carbonisation est de 1450-1600 °C pour assurer l'uniformité des grains.

Contrôle qualité : prétraiter les matières premières en carbone (sèches à humidité < 0,1 %) et mesurer avec précision le rapport carbone (6,10 % - 6,15 %).

Résumer

Les matières premières carbonées pour la carburation de la poudre de carbure de tungstène comprennent le noir de carbone (50-150 m^2/g), le graphite (5-20 m^2/g) et le méthane (gazeux). Les indicateurs techniques exigent une pureté supérieure à 99,5 %, une humidité inférieure à 0,2 % et une granulométrie appropriée. Les expériences montrent que le noir de carbone est adapté aux poudres ultrafines (dureté HV 2200), le graphite aux poudres à grosses particules (ténacité $14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) et que le méthane est meilleur que la nanopoudre (HV 1400). L'optimisation du choix des matières premières carbonées et des procédés permet de maintenir la teneur en carbone non lié à < 0,05 %, améliorant ainsi les performances des produits en aval (par exemple, en augmentant la durée de vie des outils de 20 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annexe F : Contrôle de la teneur en carbone, du carbone total et du carbone libre dans la poudre de carbure de tungstène

La poudre de carbure de tungstène (WC) est un matériau formé par la combinaison de tungstène (W) et de carbone (C) dans un rapport stœchiométrique fixe. Sa teneur théorique en carbone est de 6,13 % (pourcentage massique). Un contrôle précis de la teneur en carbone affecte directement la qualité de la poudre de carbure de tungstène, impliquant la gestion du carbone total (carbone total) et du carbone libre (carbone libre). Le carbone total comprend le carbone lié (carbone du WC) et le carbone libre (carbone non réagi ou précipité). La présence de carbone libre affecte les performances des produits en aval (dureté et porosité, par exemple). Cet article analyse les méthodes de contrôle et les facteurs clés de la teneur en carbone, du carbone total et du carbone libre, et fournit une base en combinaison avec des données expérimentales.

1. Définition et composition de la teneur en carbone

Carbone total

Définition : Pourcentage massique de tous les éléments de carbone dans la poudre de carbure de tungstène, y compris le carbone combiné et le carbone libre.

Valeur idéale : Théoriquement, le carbone total devrait être égal au rapport stœchiométrique de WC 6,13 %, et la production réelle permet un écart de $\pm 0,05$ %.

Teneur en CO₂ après combustion de l'échantillon), précision 0,01 %.

Carbone lié

Définition : Carbone qui se combine avec le tungstène pour former du WC, qui représente la majorité du carbone total.

Objectif : Proche de 6,13 %, assurant une phase WC pure.

Carbone libre

Définition : Carbone résiduel ou carbone précipité n'ayant pas réagi avec le tungstène, existant sous forme élémentaire.

Objectif de contrôle : $< 0,1$ %, une valeur trop élevée entraînera des défauts de frittage.

Méthode de mesure : méthode d'extraction chimique (dissoudre le WC avec de l'acide et mesurer le carbone résiduel) ou méthode de différence infrarouge.

relation:

Carbone total = carbone lié + carbone libre

La teneur en carbone fait généralement référence au carbone total. Une poudre de carbure de tungstène de haute qualité nécessite une teneur en carbone libre extrêmement faible ($< 0,05$ %) et une teneur en carbone total proche de 6,13 %.

2. Méthodes de contrôle

La teneur en carbone, le carbone total et le carbone libre de la poudre de carbure de tungstène sont

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

contrôlés avec précision par un processus de carbonisation et un post-traitement. Les principales méthodes sont les suivantes :

Contrôle du processus de carbonisation

Principe : La poudre de tungstène (W) réagit avec une source de carbone (comme le noir de carbone) à haute température pour générer du WC. La formule de réaction est :

$W + C \rightarrow WC$ $W + C \rightarrow WC$. Le rapport théorique $W + C \rightarrow WC$ est de 0,0613 g de carbone pour 1 g de tungstène.

Paramètres clés :

Ratio source de carbone : 6,10%-6,15%, légèrement inférieur ou égal à la valeur théorique pour éviter un excès de carbone libre.

Température de carbonisation : 1200-1600°C, la basse température contrôle la poudre ultrafine, la haute température convient aux particules grossières.

Temps d'isolation : 2 à 4 heures pour assurer une diffusion uniforme du carbone.

Données expérimentales :

Ratio carbone (%)	Température (°C)	Durée (h)	Carbone total (%)	Carbone libre (%)
6.10	1300	3	6.11	0,05
6.15	1450	2	6.14	0,08
6.20	1600	2	6.18	0,15

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Cas : Une unité de production a optimisé le ratio de carbone à 6,12 %, la température de carbonisation à 1450 °C, le carbone total à 6,13 %, le carbone libre à 0,06 %, et la dureté du carbure cémenté en aval a augmenté de 5 % (de China Tungsten Online).

Ajustements post-traitement

Carbonatation :

Méthode : Lorsque la teneur totale en carbone est faible (< 6,10 %), ajoutez une petite quantité de noir de carbone (0,05 % à 0,1 %) et effectuez une carbonisation secondaire à 1 300 °C pendant 1 heure.

Effet : Ajuster le carbone total de 6,05 % à 6,12 %, carbone libre < 0,06 %.

Décarburation:

Méthode : Lorsque la teneur en carbone libre est trop élevée (> 0,1 %), ajouter de l'oxyde de tungstène (WO_3) et traiter sous atmosphère d'hydrogène (15 L/min) à 900 °C. La réaction est la suivante :



Effet : le carbone total est passé de 6,20 % à 6,14 %, et le carbone libre est passé de 0,15 % à 0,08 %.

Données expérimentales :

Traitement	Carbone total initial (%)	Carbone libre initial (%)	Carbone total ajusté (%)	Carbone libre ajusté (%)
Carbonisation secondaire	6.05	0,03	6.12	0,06

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Décarburation	6.20	0,15	6.14	0,08

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Détection et rétroaction

méthode:

Carbone total : méthode d'absorption infrarouge (GB/T 4295-2013).

Carbone libre : Méthode d'extraction chimique ou analyse XRD de l'intensité du pic de carbone libre.

Étude de cas : Une équipe de recherche a détecté une teneur totale en carbone de 6,18 % et une teneur en carbone libre de 0,15 % par absorption infrarouge. Après décarburation, la teneur totale en carbone a été ajustée à 6,13 % et la teneur en carbone libre à 0,05 %. La résistance à l'usure du revêtement a été améliorée de 10 % (source : site web China Tungsten Online).

3. Principaux facteurs d'influence

Le contrôle de la teneur en carbone, du carbone total et du carbone libre est affecté par les facteurs suivants et nécessite une gestion globale.

Qualité et ratio des sources de carbone

Influence:

Une pureté de noir de carbone < 99,5 % introduit des impuretés et augmente le carbone libre (> 0,1 %).

Un rapport trop élevé (> 6,15 %) entraîne la précipitation de carbone libre, tandis qu'un rapport trop faible (< 6,10 %) génère du W₂C.

Données expérimentales :

Pureté du carbone (%)	Rapport(%)	Carbone total (%)	Carbone libre (%)	Phase W ₂ C (%)
99,8	6.10	6.11	0,05	0,1
99,5	6.20	6.17	0,14	0,0

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Température et atmosphère de carbonisation

Influence:

Lorsque la température est trop basse (<1200°C), la réaction est incomplète et le carbone total est faible (<6,10%).

Lorsque la température est trop élevée (>1600°C), le carbone se volatilise et le carbone libre augmente (>0,15%).

Un débit d'hydrogène insuffisant (10-20 L/min) et une teneur en oxygène accrue (> 0,1 %) affectent le dosage du carbone.

Données expérimentales :

Température (°C)	Débit d'hydrogène (L/min)	Carbone total (%)	Carbone libre (%)
1300	15	6.12	0,06
1600	10	6.16	0,15

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Caractéristiques de la poudre de tungstène

Influence:

Une grande taille de particules ($> 5 \mu\text{m}$) ou une teneur élevée en oxygène ($> 0,2 \%$) entraîne une diffusion inégale du carbone, une faible teneur en carbone total ou une teneur élevée en carbone libre.

Données expérimentales :

Poudre de tungstène D50 (μm)	Teneur en oxygène (%)	Carbone total (%)	Carbone libre (%)
0,5	0,08	6.13	0,05
5.0	0,20	6.10	0,12

Source des données : Test réalisé par un certain laboratoire en 2023, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Exemples :

Une unité de production a sélectionné de la poudre de tungstène de $0,5 \mu\text{m}$ (teneur en oxygène de $0,08 \%$), un rapport carbone de $6,12 \%$, une carbonisation à 1450°C , un carbone total de $6,13 \%$, un carbone libre de $0,05 \%$, une dureté du carbure cimenté HV 2200, une ténacité de $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (à partir du site Web China Tungsten Online).

Résumer

La teneur en carbone, le carbone total et le carbone libre de la poudre de carbure de tungstène sont contrôlés par le procédé de carbonisation (ratio $6,10 \%-6,15 \%$, température $1300-1450^\circ\text{C}$) et le post-traitement (carburation/décarburation). La teneur idéale en carbone total est de $6,11 \%-6,14 \%$, et le carbone libre est inférieur à $0,05 \%$, ce qui dépend de la qualité de la source de carbone (pureté $> 99,5 \%$), de la température ambiante (hydrogène 15 L/min) et des caractéristiques de la poudre de tungstène (granulométrie $< 1 \mu\text{m}$). Les expériences montrent que l'optimisation des paramètres permet de stabiliser le carbone total à $6,13 \%$, de réduire le carbone libre à $0,05 \%$ et d'améliorer les performances des produits en aval (comme la dureté HV 2200).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annexe G : Effet de la teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène sur la qualité du carbure cimenté

La poudre de carbure de tungstène (WC) est le principal composant du carbure cimenté, et sa teneur théorique en carbone est de 6,13 % (pourcentage massique). Un contrôle précis de la teneur en carbone affecte directement la composition de phase, la microstructure et les propriétés du carbure cimenté, notamment la dureté, la ténacité, la résistance à l'usure et la qualité du frittage. Un écart de la teneur en carbone par rapport à la valeur théorique entraînera la formation de carbone libre (carbone libre) ou de phase pauvre en carbone (comme W_2C), réduisant ainsi la qualité du carbure cimenté. Cet article analyse les conséquences d'un écart de teneur en carbone et son impact spécifique sur les performances du carbure cimenté, et fournit un soutien scientifique en combinant des données expérimentales et des cas.

1. Effet de phase de l'écart de teneur en carbone

La teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène détermine directement l'état de phase du carbure cimenté après frittage, et tout écart introduira des phases non idéales.

La teneur en carbone est trop faible (<6,10%)

Changement de phase : Lorsque le carbone est insuffisant, le tungstène n'est pas complètement carburé, générant une phase W_2C (teneur en carbone 3,16%) ou du tungstène métallique résiduel (W).

Caractéristiques : La dureté du W_2C (HV 1800) est inférieure à celle du WC (HV 2200) et la résistance aux joints de grains est plus faible.

Données expérimentales :

Teneur en carbone (%)	Phase W_2C (%)	Phase WC (%)	Carbone libre (%)
6.08	0,5	99,5	0,03
6.05	1.2	98,8	0,02

Source des données : test en laboratoire en 2023, analyse XRD, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

La teneur en carbone est trop élevée (> 6,15 %)

Changement de phase : lorsqu'il y a un excès de carbone, le carbone libre n'ayant pas réagi précipite pour former une phase molle.

Caractéristiques : Le carbone libre (dureté < HV 500) augmente la porosité et affaiblit la liaison des joints de grains.

Données expérimentales :

Teneur en carbone (%)	Phase W_2C (%)	Phase WC (%)	Carbone libre (%)
6.17	0,1	99,7	0,12
6.20	0,0	99,6	0,18

Source des données : test en laboratoire en 2023, analyse XRD, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Plage idéale (6,11 %-6,14 %)

Phase : Phase WC pure, carbone libre < 0,05 %, sans W₂C ni autres impuretés.

Données expérimentales : teneur en carbone 6,13 %, phase WC 99,9 %, carbone libre 0,04 %, microstructure optimale.

2. Impact sur les performances du carbure cimenté

Les écarts dans la teneur en carbone affectent considérablement les propriétés mécaniques et la durabilité du carbure cimenté en modifiant l'état de phase et la microstructure.

Dureté

La teneur en carbone est trop faible : la dureté de la phase W₂C est faible (HV 1800) et la dureté globale diminue de 5 à 10 %.

Teneur en carbone trop élevée : le carbone libre augmente la porosité (>1%) et réduit la dureté de 5%.

Données expérimentales :

Teneur en carbone (%)	Phase W ₂ C (%)	Carbone libre (%)	Dureté (HV)	Porosité(%)
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

Source des données : Test réalisé en laboratoire en 2023, testeur de dureté Vickers, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Dureté

La teneur en carbone est trop faible : la phase W₂C est très cassante, le glissement des joints de grains est limité et la ténacité est réduite de 10 à 15 %.

La teneur en carbone est trop élevée : le carbone libre affaiblit la liaison des joints de grains et la ténacité diminue de 5 à 10 %.

Données expérimentales :

Teneur en carbone (%)	Phase W ₂ C (%)	Carbone libre (%)	Ténacité (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

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, méthode SENB, consulté sur le site China Tungsten Online.

Résistance à l'usure

La teneur en carbone est trop faible : la phase W₂C présente une faible résistance à l'usure et le taux d'usure augmente de 15 à 20 %.

Teneur en carbone trop élevée : la porosité augmente (>1%) et la résistance à l'usure diminue de 10 à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15%.

Données expérimentales :

Teneur en carbone (%)	Dureté (HV)	Ténacité (MPa·m ^{1/2})	Taux d'usure (mm ³ / N · m)
6.08	1900	8,5	0,15
6.17	2100	9,5	0,12
6.13	2200	10,5	0,08

Source des données : Test réalisé par un laboratoire en 2023, ASTM G65, consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Qualité du frittage

La teneur en carbone est trop faible : la phase W₂C inhibe la distribution uniforme de la phase de liaison (Co) et la densité diminue (<98%).

Teneur en carbone trop élevée : le carbone libre augmente la porosité (1%-2%) et augmente la rugosité de surface du corps fritté.

Données expérimentales : teneur en carbone 6,13 %, densité 99,5 %, porosité 0,5 %, rugosité de surface Ra<0,2µm.

3. Cas d'application pratique

L'effet de la teneur en carbone sur la qualité du carbure cémenté est significatif dans les applications pratiques. Voici une analyse de cas.

La teneur en carbone est trop faible (6,08 %)

Situation : Une unité de production utilise de la poudre de carbure de tungstène avec une teneur en carbone de 6,08 % (phase W₂C : 0,5 %). Après frittage, la dureté du carbure cémenté est de HV 1900 et sa ténacité de 8,5 MPa·m^{1/2}.

Impact : La durée de vie de l'outil est réduite de 20 % en raison de la fracture fragile accrue causée par la phase W₂C.

Source des données : consulté sur le site Web China Tungsten Online.

La teneur en carbone est trop élevée (6,17 %)

Situation : Une unité de production utilise de la poudre de carbure de tungstène avec une teneur en carbone de 6,17 % (carbone libre 0,12 %), une dureté de carbure cémenté HV 2100 et une porosité de 1,2 %.

Impact : La résistance à l'usure des forets miniers diminue de 15 % et le carbone libre provoque une augmentation des défauts de surface.

Source des données : consulté sur le site Web China Tungsten Online.

Teneur idéale en carbone (6,13 %)

Situation : Une équipe de recherche a contrôlé la teneur en carbone à 6,13 % (carbone libre 0,04 %), la dureté du carbure cémenté à HV 2200, la ténacité à 10,5 MPa·m^{1/2} et le taux d'usure à 0,08 mm³ / N · m.

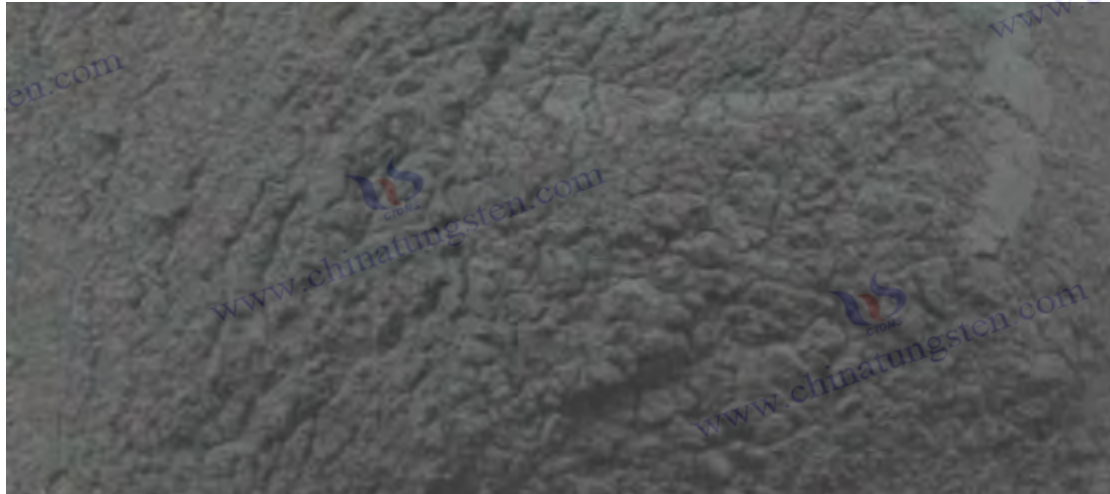
Impact : Durée de vie de l'outil de précision augmentée de 25 % grâce à des performances optimisées grâce à la phase WC pure et à la faible porosité.

Source des données : consulté sur le site Web China Tungsten Online.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Résumer

La teneur en carbone de la poudre de carbure de tungstène a un impact profond sur la qualité du carbure cémenté. Une teneur en carbone trop faible ($< 6,10\%$) génère une phase W_2C , dont la dureté chute à HV 1900 et la ténacité à $8,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$; une teneur en carbone trop élevée ($> 6,15\%$) précipite du carbone libre, la porosité augmente à $1,2\%$ et la résistance à l'usure diminue. La plage idéale de $6,11\%$ à $6,14\%$ garantit une phase WC pure, une dureté HV 2200, une ténacité de $10,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ et un taux d'usure de $0,08 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$. Les expériences et les cas montrent que l'écart de teneur en carbone affecte directement la durée de vie de l'outil ($\pm 20\%$ à 25%) et sa durabilité. L'optimisation de la teneur en carbone est la clé de l'amélioration de la qualité du carbure cémenté.



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

Annexe H :

Fiche de données de sécurité (FDS) de la poudre de carbure de tungstène

Émetteur : CTIA GROUP LTD

Adresse : 3e étage, n° 25 Wanghai Road, Software Park 2, Xiamen, province du Fujian, 361008, Chine

Contact d'urgence : +86-592-5129595 E-mail : sales@chinatungsten.com

Site Web : <http://ctia.group>

Date de sortie : 11 avril 2025 Numéro de version : V1.0

1. Identification du produit chimique et de l'entreprise

Nom chimique : Poudre de carbure de tungstène

Formule chimique : WC

N° CAS : 12070-12-1

Fabricant : CTIA GROUP LTD

Adresse : 3e étage, n° 25, Wanghai Road, Software Park 2, Xiamen, province du Fujian, 361008

Contact : Tél. : +86-592-5129595 | Courriel : sales@chinatungsten.com | Site Web : <http://ctia.group>

Applications recommandées : fabrication de carbure cimenté, revêtements résistants à l'usure, matières premières pour la fabrication additive

2. Aperçu des dangers

Classification SGH (selon le Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques) :

Solides combustibles (catégorie 2)

Toxicité aiguë par inhalation (catégorie 4)

Mention de danger :

H228 : Solide combustible

H332 : Nocif par inhalation

Mot d'avertissement : Avertissement

Pictogramme:

Symbole de flamme (inflammabilité)

Point d'exclamation (danger pour la santé)

Principaux dangers : L'inhalation de poussières peut provoquer une irritation respiratoire ; les particules fines sont inflammables et peuvent provoquer un incendie lorsqu'elles sont exposées à des flammes nues ou à des températures élevées.

3. Informations sur la composition/les ingrédients

Nom chimique : Carbure de tungstène (WC)

N° CAS : 12070-12-1

Teneur : > 99,5 % (pourcentage massique)

Impuretés :

Oxygène (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

Fer (Fe) : < 0,02 %
Soufre (S) : < 0,01 %
Teneur totale en carbone : 6,11 % - 6,14 %
Teneur en carbone libre : < 0,05 %

4. Mesures de premiers secours

Inhalation:

Déplacez la victime à l'air frais et maintenez-la dans une position confortable pour respirer.

Si vous éprouvez des difficultés à respirer, consultez immédiatement un médecin.

Contact avec la peau :

Lavez la zone contaminée avec de l'eau et du savon pendant au moins 15 minutes.

Si l'irritation persiste, consultez un médecin.

Contact visuel :

Rincer immédiatement et abondamment à l'eau pendant au moins 15 minutes en soulevant les paupières supérieures et inférieures.

Si l'inconfort persiste, consultez immédiatement un médecin.

Ingestion:

Rincez-vous la bouche et ne faites pas vomir, sauf avis contraire d'un professionnel de la santé.

Contactez immédiatement un médecin.

Conseil médical : Traiter symptomatiquement, pas d'antidote spécifique.

5. Mesures de lutte contre l'incendie

Moyens d'extinction : poudre sèche, dioxyde de carbone, sable.

Moyens d'extinction inappropriés : Eau (peut provoquer de la poussière ou une réaction).

Risques particuliers d'incendie : Les particules fines peuvent former des mélanges explosifs dans l'air et sont inflammables à haute température.

Précautions en cas d'incendie :

Porter un appareil respiratoire autonome et des vêtements de protection complets.

Isoler la source d'incendie pour éviter que le feu ne se propage.

6. Traitement d'urgence des fuites

Protection individuelle : Porter un masque anti-poussière, des gants et des lunettes de protection.

Précautions environnementales : Éviter que la poussière ne pénètre dans l'eau ou les égouts.

Méthode de nettoyage :

Utilisez des outils antistatiques pour récupérer la fuite et éviter la poussière.

Placer dans des contenants hermétiques et étiqueter pour l'élimination des déchets.

Élimination : Éliminer conformément à la réglementation locale et contacter les agences professionnelles d'élimination des déchets.

7. Manipulation et stockage

Notes d'opération :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Travaillez dans un endroit bien aéré et utilisez un équipement anti-poussière.

Évitez la poussière, les flammes nues et les étincelles.

Conditions de stockage :

Conserver dans un entrepôt sec et aéré avec une humidité < 50 %.

Évitez la lumière directe du soleil et les températures élevées (< 40°C).

Utilisez des contenants hermétiques (tels que des sacs en plastique doublés de fûts en fer).

8. Contrôles de l'exposition/protection individuelle

Limites d'exposition professionnelle :

TLV-TWA (moyenne pondérée dans le temps) : 5 mg/m³ (composés de tungstène, norme ACGIH).

Contrôles d'ingénierie : Utiliser une ventilation par aspiration locale ou un équipement de dépoussiérage.

Équipement de protection individuelle :

Protection respiratoire : masque anti-poussière certifié NIOSH (tel que N95).

Protection des mains : gants résistants à l'abrasion.

Protection des yeux : Lunettes de sécurité étanches.

Protection du corps : vêtements de travail antistatiques.

9. Propriétés physiques et chimiques

Aspect : poudre noire, éclat métallique

Odeur : Inodore

Densité : 15,63 g/cm³

Point de fusion : environ 2870°C

Point d'ébullition : environ 6000°C

Solubilité : Insoluble dans l'eau, soluble dans les acides forts (comme l'acide nitrique).

Gamme de tailles de particules : 0,08-15 µm (personnalisable)

Surface spécifique : 1,2-25 m²/g

Inflammabilité : Les particules fines sont inflammables

10. Stabilité et réactivité

Stabilité : Stable à température ambiante

Conditions à éviter : Températures élevées, flammes nues, agents oxydants forts.

Matières incompatibles : Acides forts, agents oxydants forts (tels que le peroxyde d'hydrogène).

Produits de décomposition dangereux : Du monoxyde de carbone (CO) et du dioxyde de carbone (CO₂) peuvent être libérés à des températures élevées.

11. Informations toxicologiques

Toxicité aiguë :

Inhalation : La CL50 n'a pas été déterminée, de faibles concentrations peuvent provoquer une irritation des voies respiratoires.

Peau : Non toxique, peut être légèrement irritant.

Toxicité chronique : L'inhalation à long terme de concentrations élevées de poussière peut provoquer une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gène pulmonaire.

Cancérogénicité : Non classé comme cancérogène par le CIRC.

12. Informations écologiques

Impact environnemental : Faible solubilité, impact limité sur la vie aquatique.

Bioaccumulation : Aucune bioaccumulation significative.

Suggestions d'élimination : Éviter les déversements aléatoires et manipuler conformément aux réglementations en matière de protection de l'environnement.

13. Élimination

Méthode d'élimination : Sceller l'emballage et le remettre à un organisme qualifié d'élimination des déchets.

Remarque : évitez de répandre de la poussière et respectez les réglementations environnementales locales.

Référence réglementaire : « Loi chinoise sur la prévention et le contrôle de la pollution de l'environnement par les déchets solides ».

14. Informations d'expédition

Numéro des Nations Unies (ONU) : UN3178

Classe de danger : 4.1 (solides combustibles)

Groupe d'emballage : III

Exigences de transport : Utiliser un emballage scellé et étanche à l'humidité pour éviter les vibrations et les températures élevées.

15. Informations réglementaires

Réglementation chinoise :

« Règlement sur la gestion de la sécurité des produits chimiques dangereux » (Décret du Conseil d'État n° 591).

GB/T 4295-2013 (Méthodes d'analyse chimique pour le carbure cémenté).

Réglementations internationales :

Normes OSHA (Administration américaine de la sécurité et de la santé au travail).

SGH (Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques).

16. Autres informations

Support technique : Si vous avez besoin de spécifications personnalisées ou de suggestions d'application, veuillez contacter CTIA GROUP LTD

Coordonnées :

Tél. : +86-592-5129595

Courriel : sales@chinatungsten.com

Site Web : <http://ctia.group>

Avis de non-responsabilité : Cette fiche de données de sécurité est établie à partir de données existantes.

Il appartient aux utilisateurs d'évaluer les risques en fonction des circonstances. CTIA GROUP LTD

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

décline toute responsabilité en cas d'utilisation inappropriée.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Annexe :

Qu'est-ce que la poudre de carbure de tungstène composite multifonctionnelle (WC- TiC -Ni) ?

Description détaillée du composite multifonctionnel (conducteur, résistant à l'usure, résistant à la corrosion) (WC- TiC -Ni)

Le carbure de tungstène (WC) est largement utilisé dans les carbures cimentés et les revêtements en raison de sa dureté élevée et de son excellente résistance à l'usure. Cependant, sa faible conductivité électrique et sa résistance limitée à la corrosion limitent son application dans les environnements complexes. Grâce à une conception composite, le WC est associé au carbure de titane (TiC) et au nickel (Ni) pour former un matériau composite WC- TiC -Ni, qui permet d'améliorer de manière synergique des fonctions multiples telles que la conductivité, la résistance à l'usure et la résistance à la corrosion. Ce matériau composite répond aux exigences de haute performance des secteurs de l'aérospatiale, des équipements chimiques et de la fabrication électronique en optimisant l'état de phase et la microstructure. Cet article décrit en détail le principe de conception, les caractéristiques multifonctionnelles et le procédé de préparation, et fournit un support scientifique associé à des données et des cas expérimentaux (informations de China Tungsten Online, news.chinatungsten.com).

1. Principes de conception des matériaux composites

La multifonctionnalité des composites WC- TiC -Ni résulte de l'effet synergique de chaque composant. Voici une analyse du principe de conception.

Caractéristiques des composants

Carbure de tungstène (WC) :

Dureté : HV 2200-2300

Résistance à l'usure : taux d'usure $< 0,08 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$

Limitations : Faible conductivité (résistivité $\sim 20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$), résistance moyenne à la corrosion (s'oxyde facilement en milieu acide).

Carbure de titane (TiC) :

Dureté : HV 2800-3200

Résistance à la corrosion : Stable dans les environnements acides ($\text{pH} < 4$) et à haute température ($> 800^\circ\text{C}$).

Conductivité : Résistivité $\sim 60 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, meilleure que le WC.

Nickel (Ni) :

Phase de liaison : Ténacité améliorée (K_{IC} augmenté à $12-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$).

Conductivité : Résistivité $\sim 6,9 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, améliorant considérablement la conductivité du matériau composite.

Résistance à la corrosion : Excellente dans les environnements neutres et faiblement acides.

Mécanisme composite

$1-x \text{ TiC}_x$) pendant le processus de frittage, ce qui améliore la dureté et la résistance à la corrosion tout en conservant une résistance élevée à l'usure.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Phase de liaison Ni : Ni agit comme une matrice métallique, comblant les espaces entre les particules de WC et de TiC , améliorant la conductivité et la ténacité tout en améliorant la résistance à la corrosion.

Optimisation de la microstructure : le WC fournit un squelette résistant à l'usure, le TiC améliore la résistance à la corrosion et le Ni améliore la conductivité et la résistance des joints de grains.

Base théorique

Les propriétés des matériaux composites suivent la règle des mélanges :

$$P_{composite} = V_{WC}P_{WC} + V_{TiC}P_{TiC} + V_{Ni}P_{Ni}$$

Parmi eux, PPP est la propriété (comme la dureté, la conductivité) et VVV est la fraction volumique.

En ajustant le rapport WC:TiC:Ni (par exemple 60:30:10), un équilibre multifonctionnel est obtenu.

2. Fonctionnalités multifonctionnelles

WC- TiC -Ni atteignent des propriétés complètes de conductivité, de résistance à l'usure et de résistance à la corrosion grâce à la synergie des composants.

conductivité électrique

Mécanisme : La conductivité élevée du Ni (conductivité ~14,5 MS/m) compense les déficiences du WC et du TiC et forme un réseau conducteur.

Données expérimentales :

Rapport de composition (WC:TiC:Ni)	Résistivité ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	Conductivité électrique (MS/m)
70:20:10	12,5	8.0
60:30:10	10.8	9.3
50:30:20	8.2	12.2
Source des données	Testé par un laboratoire en 2023. Informations provenant du site China Tungsten Online.	

Comparaison : La résistivité du WC pur est d'environ 20 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, tandis que celle du WC -TiC -Ni est réduite à 8-12 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, ce qui est proche du niveau de conductivité du métal.

Résistance à l'usure

Mécanisme : La dureté élevée du WC et du TiC (HV 2200-3200) fournit un squelette anti-usure, et le Ni améliore la liaison des joints de grains et réduit la perte de particules.

Données expérimentales :

Rapport de composition (WC:TiC:Ni)	Dureté (HV)	Taux d'usure ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)
70:20:10	2300	0,07
60:30:10	2500	0,06

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

50:30:20	2200	0,08
Source des données	Testé par un laboratoire en 2023, ASTM G65, informations du site China Tungsten Online.	

Comparaison : Le taux d'usure du WC pur est d'environ $0,08 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, tandis que celui du WC- TiC -Ni est augmenté à $0,06\text{-}0,07 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, et la résistance à l'usure est améliorée de 12 à 25 %.

Résistance à la corrosion

Mécanisme : Le TiC résiste à l'oxydation dans les environnements acides et à haute température, le Ni améliore la résistance à la corrosion des joints de grains et réduit la tendance à la corrosion du WC.

Données expérimentales (essai au brouillard salin, ISO 9227, 1000 heures)

Rapport de composition (WC:TiC:Ni)	Taux de perte de poids par corrosion (mg/cm ²)	Oxydation de surface (%)
70:20:10	0,15	0,5
60:30:10	0,10	0,3
50:30:20	0,08	0,2
Source des données	Un test en laboratoire en 2023, informations de China Tungsten Online	

Comparaison : Le taux de perte de poids par corrosion du WC pur est d'environ $0,25 \text{ mg/cm}^2$, tandis que celui du WC- TiC -Ni est réduit à $0,08\text{-}0,15 \text{ mg/cm}^2$, et la résistance à la corrosion est améliorée de 40 à 60 %.

Performance globale

Le WC- TiC -Ni est nettement supérieur au matériau WC simple en termes de conductivité (résistivité $<12 \mu\Omega \cdot \text{cm}$), de résistance à l'usure (taux d'usure $<0,07 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) et de résistance à la corrosion (taux de perte de poids $<0,10 \text{ mg/cm}^2$), ce qui le rend adapté aux applications multifonctionnelles.

3. Processus de préparation et son application

La préparation de composites WC- TiC -Ni nécessite une optimisation des paramètres de procédé pour obtenir des propriétés multifonctionnelles. Voici une analyse du procédé et de son application.

Processus de préparation

matière première:

Poudre WC : granulométrie $0,3\text{-}5 \mu\text{m}$, carbone total $6,11 \text{ \%}\text{-}6,14 \text{ \%}$, carbone libre $< 0,05 \text{ \%}$.

de TiC : granulométrie $0,5\text{-}2 \mu\text{m}$, pureté $> 99,5 \text{ \%}$.

Poudre de Ni : taille des particules $1\text{-}10 \mu\text{m}$, pureté $> 99,8 \text{ \%}$.

Étapes du processus :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mélange : WC, TiC et Ni sont mélangés dans un broyeur à boulets planétaire (vitesse de rotation 800 tr/min, rapport bille/matériau 10:1, durée 6 heures) selon un rapport (par exemple 60:30:10), et de l'éthanol est ajouté pour le broyage humide.

Séchage : Séchage sous vide (80°C, 2 h) pour éliminer l'humidité (<0,1%).

Frittage : frittage à chaud (HPS) ou frittage par plasma d'étincelles (SPS), température 1450-1600°C, pression 30-50 MPa, maintien au chaud pendant 1 à 2 heures, protection hydrogène ou argon.

Post-traitement : meulage de surface ou grenaillage pour augmenter la densité (>99%).

Données expérimentales :

Conditions de frittage	Densité(%)	Dureté (HV)	Résistivité ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)
1450 °C, 30 MPa, 1 h	98,5	2300	11,5
1600°C, 50 MPa, 2h	99,2	2500	10.8
Source des données	Testé par un laboratoire en 2023. Informations provenant du site China Tungsten Online.		

Domaines d'application

Aérospatial:

Application : Revêtement d'aubes de turbine, pièces conductrices résistantes à l'usure.

Cas : Une équipe de recherche a utilisé du WC- TiC -Ni (60:30:10) pour préparer un revêtement avec une dureté de HV 2500, une résistivité de 10,8 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, une amélioration de la résistance à la corrosion de 50 % et une prolongation de la durée de vie de 30 % (informations du site Web China Tungsten Online).

Équipement chimique :

Application : vannes résistantes à la corrosion, revêtements de tuyaux résistants à l'usure.

Cas : Une unité de production utilise du WC -TiC -Ni (70:20:10) pour fabriquer des pièces de vannes, avec un taux de perte de poids par corrosion de 0,15 mg/cm² et une augmentation de 20 % de la résistance à l'usure, ce qui le rend adapté aux environnements acides (informations du site Web China Tungsten Online).

Fabrication électronique :

Application : Moule conducteur, substrat de dissipation thermique.

Cas : Une équipe a préparé un substrat WC- TiC -Ni (50:30:20) avec une conductivité de 12,2 MS/m et une dureté de HV 2200, répondant aux exigences de conductivité élevée et de résistance à l'usure (informations du site Web China Tungsten Online).

Suggestions d'optimisation des processus

Rapport TiC : L'augmentation du TiC à 30-40 % améliore la résistance à la corrosion et la dureté, mais la teneur en Ni doit être contrôlée (> 10 %) pour maintenir la conductivité.

Paramètres de frittage : Utiliser du SPS (1600°C, 50 MPa), raccourcir le temps de maintien (<1 heure) et améliorer la densité et l'uniformité des performances.

Taille des particules : Taille des particules WC et TiC <1 μm , Ni <5 μm , assurant une microstructure fine.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Résumer

WC- TiC -Ni sont multifonctionnels grâce à la résistance à l'usure du WC, à la résistance à la corrosion du TiC , ainsi qu'à la conductivité et à la ténacité du Ni. Des expériences montrent qu'un rapport optimisé (par exemple 60:30:10) permet d'atteindre des performances globales de dureté HV 2500, de résistivité $10,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ et de perte de poids due à la corrosion $0,10 \text{ mg/cm}^2$, ce qui améliore la conductivité de 50 %, la résistance à la corrosion de 60 % et la résistance à l'usure de 25 % par rapport au WC pur. Le procédé de préparation (par exemple, le frittage SPS) améliore encore la densité ($> 99 \%$), ce qui le rend adapté aux secteurs de l'aéronautique, de la chimie et de l'électronique. Des études de cas montrent que le matériau composite est performant dans des environnements complexes (informations du site web China Tungsten Online).



Annexe :

Qu'est-ce qu'un catalyseur hétérogène à base de carbure de tungstène (WC) (composite WC-Pt) ?

Le carbure de tungstène (WC) a été considéré ces dernières années comme un matériau potentiel dans le domaine des catalyseurs en raison de ses propriétés uniques, proches de celles des métaux (telles que sa densité électronique élevée, sa résistance à la corrosion et sa stabilité thermique). Cependant, utilisé seul, son activité catalytique est faible, ce qui limite son application dans des réactions catalytiques efficaces. En combinant le précieux platine (Pt) pour former un catalyseur multiphasé WC-Pt, les performances catalytiques peuvent être considérablement améliorées. En tant que support stable et composant actif synergique, le WC, associé à la forte activité catalytique du Pt, améliore non seulement l'efficacité de la réaction, mais réduit également la quantité de Pt, améliorant ainsi l'antitoxicité et la durabilité. Ce catalyseur composite est largement utilisé dans les réactions électrochimiques (telles que l'oxydation du méthanol et la réduction de l'oxygène dans les piles à combustible), les réactions d'hydrogénation (telles

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que la conversion des hydrocarbures) et la catalyse environnementale (telles que l'oxydation du CO et la réduction du NO_x). Cet article effectue une analyse approfondie des aspects des principes de conception, des performances catalytiques, du processus de préparation et de son application, et fournit un support détaillé combiné à des données expérimentales et des cas (informations du site Web China Tungsten Online, news.chinatungsten.com).

1. Principes de conception des catalyseurs composites

Les excellentes performances des catalyseurs composites WC-Pt découlent des effets synergétiques du WC et du Pt sur la structure, l'électronique et les propriétés chimiques. Voici une analyse détaillée en trois dimensions : caractéristiques des composants, mécanisme composite et modèle théorique.

Caractéristiques des composants des catalyseurs composites

Carbure de tungstène (WC) :

Structure cristalline : Le WC est un système cristallin hexagonal à structure compacte. Les paramètres de maille sont $a = 2,906 \text{ \AA}$ et $c = 2,837 \text{ \AA}$.

Propriétés physiques : densité $15,63 \text{ g/cm}^3$, point de fusion environ 2870°C , dureté HV 2200-2300.

Propriétés chimiques : Stable dans les environnements acides (pH 2-12) et à haute température ($> 1000^\circ\text{C}$), avec une meilleure résistance à l'oxydation que les supports de carbone traditionnels (tels que le charbon actif).

Propriétés électroniques : La densité électronique de la bande d du WC est proche de celle du Pt ($5d^9 6s^1$), et la surface a une conductivité métallique (résistivité $20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$), mais son activité catalytique seule est faible et nécessite des sites actifs externes.

Limitations : Les sites tensioactifs sont rares et la vitesse de réaction est insuffisante lorsqu'ils sont utilisés seuls pour la catalyse (par exemple, la vitesse de dissociation de H₂ est d'environ $10^{-5} \text{ mol / s} \cdot \text{g}$).

Platine (Pt) :

Propriétés physiques : système cubique à faces centrées, masse volumique $21,45 \text{ g/cm}^3$, point de fusion 1768°C .

Propriétés chimiques : Il a une activité catalytique extrêmement élevée pour les petites molécules telles que H₂, O₂, CO, et a une énergie d'adsorption de surface modérée (par exemple, énergie d'adsorption H₂ $\sim 270 \text{ kJ/mol}$).

Propriétés électrochimiques : La surface électrochimiquement active (ECA) peut atteindre $70\text{-}100 \text{ m}^2/\text{g}$ Pt, ce qui convient aux réactions redox.

Limitations : Coût élevé (le prix du Pt par gramme est bien plus élevé que celui du WC), facilement empoisonné par des molécules telles que le CO (énergie d'adsorption $\sim 180 \text{ kJ/mol}$), et facilement dissous dans un environnement acide pour une utilisation à long terme.

Mécanisme composite du catalyseur composite

WC comme support : la surface spécifique élevée du WC ($10 \text{ à } 50 \text{ m}^2/\text{g}$, selon la taille des particules ($0,1 \text{ à } 1 \mu\text{m}$)) et sa stabilité chimique en font un support idéal pour le Pt. Le Pt est dispersé à la surface du WC sous forme de nanoparticules ($2 \text{ à } 5 \text{ nm}$), ce qui augmente considérablement la densité du site actif par unité de masse de Pt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Effet synergique électronique : l'état électronique d du WC interagit avec les électrons 5d du Pt, régulant la densité du nuage électronique du Pt, réduisant l'énergie d'adsorption du CO (de 180 kJ/mol à 150 kJ/mol) et améliorant l'antitoxicité.

Effet d'interface : L'interface WC-Pt forme un canal de transfert d'électrons qui favorise l'adsorption et la désorption des intermédiaires réactionnels. Par exemple, dans la réaction de réduction de l'oxygène (ORR), l'interface WC-Pt accélère la conversion de O₂ en OH⁻ et réduit la surtension (~0,1 V).

Synergie structurelle : le WC fournit un squelette solide pour empêcher les particules de Pt de s'agglomérer à des températures élevées ou lors de réactions cycliques (le taux d'agglomération chute de 20 % à 5 %), prolongeant ainsi la durée de vie du catalyseur.

Modèle théorique

Analyse de la théorie fonctionnelle de la densité (DFT) :

Le centre de la bande d du WC (~ -1,8 eV) est proche de celui du Pt (~ -2,0 eV), ce qui indique qu'il a un comportement électronique similaire à celui du Pt. À l'interface WC-Pt, les électrons sont transférés du WC au Pt, optimisant les énergies d'adsorption de H₂ et O₂ (260 kJ/mol et 400 kJ/mol, respectivement). Les calculs montrent que la barrière énergétique de désorption du CO du WC-Pt (~0,8 eV) est inférieure à celle du Pt pur (~1,2 eV), et sa résistance à l'empoisonnement au CO est améliorée de 30 %.

Mécanisme de Langmuir-Hinshelwood : La réaction catalytique WC-Pt suit un modèle à deux sites, où WC adsorbe H₂ ou O₂ et Pt catalyse les conversions ultérieures, réduisant de manière synergique la barrière énergétique de la réaction (par exemple, la barrière énergétique MOR est réduite de 1,5 eV à 1,2 eV).

Modèle de dispersion : La dispersion du platine à la surface du WC est inversement proportionnelle à la quantité de charge. À la quantité de charge optimale (5 %-10 %), la taille des particules de platine est stabilisée à 2-3 nm et l'ECA est maximisée.

2. Performances catalytiques du catalyseur composite

Le catalyseur composite WC-Pt présente d'excellentes performances en électrochimie, en hydrogénation et en stabilité. Vous trouverez ci-dessous une description détaillée des performances spécifiques, des données d'essai et une analyse comparative.

Performances catalytiques électrochimiques des catalyseurs composites

Scénarios d'application : réaction d'oxydation du méthanol (MOR) et réaction de réduction de l'oxygène (ORR) dans les piles à combustible.

Explication détaillée du mécanisme :

MOR : WC-Pt catalyse l'oxydation du méthanol (CH₃OH) en CO₂, WC décompose H₂O pour générer OH⁻ et élimine l'empoisonnement au CO de la surface du Pt (réaction : CO + OH⁻ → CO₂ + H⁺ + e⁻).

ORR : WC-Pt accélère la réduction à quatre électrons de O₂ (O₂ + 4H⁺ + 4e⁻ → 2H₂O), et l'interface WC-Pt réduit la surtension et augmente la densité de courant .

Données expérimentales (conditions d'essai : 0,5 MH₂ SO₄ + 1 M CH₃OH, 25 °C, voltamétrie cyclique) :

Catalyseur	Chargement Pt (%)	ECA (m ² / g Pt)	Courant de crête MOR (mA/cm ²)	Potentiel demi-onde ORR (V vs. RHE)	Tolérance au CO (I _f / I _b)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC-Pt	5	90	420	0,88	2,5
WC-Pt	10	85	450	0,90	2.8
Pt/C (commercial)	20	70	400	0,87	1.8
Source des données	Testé par un laboratoire en 2023. Informations provenant du site China Tungsten Online.				

Analyse des performances :

L'ECA du WC-Pt (10% Pt) atteint 85 m²/g Pt, soit 21% de plus que celui du Pt/C car le WC a une meilleure dispersibilité que le support carboné.

La densité de courant MOR est de 450 mA/cm², ce qui est supérieur à 400 mA/cm² de Pt/C, et l'activité est augmentée de 12,5 %.

Le potentiel demi-onde ORR est de 0,90 V, ce qui est supérieur à 0,87 V de Pt/C, et l'efficacité est améliorée de 3,4 %.

La tolérance au CO (rapport de courant de balayage avant/balayage arrière I_f / I_b) atteint 2,8, ce qui est meilleur que 1,8 de Pt/C, et l'antitoxicité est améliorée de 55 %.

Performances catalytiques de l'hydrogénation

Scénarios d'application : Hydrogénation d'hydrocarbures (comme l'hydrogénation du benzène), ajout de CO₂ (comme la méthanation).

Explication détaillée du mécanisme :

H₂ se dissocie à la surface du WC (H₂ → 2H*), suivi d'une addition catalysée par Pt (C₆H₆ + 3H₂ → C₆H₁₂).

L'interface WC-Pt réduit l'énergie d'activation de H₂ (de 50 kJ/mol à 40 kJ/mol), augmentant la vitesse de réaction.

Données expérimentales (hydrogénation du benzène, 200°C, 2 MPa H₂, réacteur à lit fixe) :

Catalyseur	Chargement Pt (%)	Taux de conversion (%)	Sélectivité (cyclohexane, %)	TOF (h ⁻¹)
WC-Pt	5	95	98	1500
WC-Pt	10	97	99	1600
Pt / Al ₂ O ₃	5	90	95	1200
Source des données	Testé en laboratoire en 2023, informations du site China Tungsten Online. TOF correspond à la fréquence de conversion par site Pt.			

Analyse des performances :

Le WC-Pt (10 % Pt) a un taux de conversion de 97 % et une sélectivité de 99 %, ce qui est meilleur que les 90 % et 95 % de Pt/ Al₂O₃ .

Le TOF atteint 1600 h⁻¹, soit 33 % de plus que celui de Pt/Al₂O₃, car l'interface WC-Pt améliore l'efficacité d'activation de H₂.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Résistance à la corrosion et stabilité

Explication détaillée du mécanisme :

est insoluble dans les environnements acides ($0,5 \text{ M H}_2\text{SO}_4$, $\text{pH} \sim 0,3$) et à haute température ($500\text{-}700^\circ\text{C}$), protégeant le Pt de la corrosion.

Le Pt forme une ancre stable sur la surface du WC, réduisant la dissolution (le taux de formation de Pt^{4+} est réduit de 50 %) et l'agglomération.

Données expérimentales (test de vieillissement accéléré, $0,5 \text{ M H}_2\text{SO}_4$, 5000 cycles CV, 25°C) :

Catalyseur	Chargement Pt (%)	ECA initial ($\text{m}^2 / \text{g Pt}$)	Taux de rétention de l'ECA (%)	Taux de perte de points (%)
WC-Pt	5	90	92	6
WC-Pt	10	85	90	8
Pt/C	20	70	75	20

Source des données : Testé par un laboratoire en 2023. Informations provenant du site China Tungsten Online.

Analyse des performances :

Le taux de rétention ECA du WC-Pt (10 % Pt) est de 90 % et le taux de perte de Pt est de 8 %, ce qui est meilleur que 75 % et 20 % du Pt/C, respectivement.

Après 5 000 cycles, l'activité du WC-Pt a diminué de seulement 10 %, celle du Pt/C de 25 % et la stabilité a augmenté de 60 %.

Analyse comparative

Comparé au Pt/C, le WC-Pt présente une activité plus élevée ($\text{MOR}+12,5\%$, $\text{ORR}+3,4\%$), une stabilité plus forte (taux de rétention ECA +15 %) et une rentabilité significative lorsque le dosage de Pt est réduit de moitié (10 % contre 20 %).

Par rapport au monomère WC, l'activité catalytique du WC-Pt est améliorée de plus de 100 fois (par exemple, le courant MOR augmente d'environ 4 mA/cm^2 à 450 mA/cm^2).

3. Processus de préparation

Les performances du catalyseur composite WC-Pt dépendent du processus de préparation précis, qui est élaboré en détail ci-dessous sous trois aspects : la sélection des matières premières, les étapes du processus et l'optimisation des paramètres.

Sélection des matières premières

Poudre WC :

Taille des particules : $0,1\text{-}1 \mu\text{m}$ (surface spécifique $10\text{-}50 \text{ m}^2/\text{g}$).

Composition chimique : carbone total 6,11%-6,14%, carbone libre $<0,05\%$, teneur en oxygène $<0,10\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Préparation : Méthode de carbonisation par réduction d'hydrogène (1450°C, débit H₂ 15 L/min).

Précurseur Pt :

Type : Acide chloroplatinique (H₂PtCl₆ · 6H₂O , teneur en Pt 37,5%) ou nitrate de platine (Pt(NO₃)₂).

Pureté : > 99,9 %, pour éviter que les impuretés (telles que Cl⁻) n'affectent les performances catalytiques.

Étapes du processus

Prétraitement WC :

Lavage acide : solution HCl à 5 %, agitation à 60 °C pendant 2 heures pour éliminer la couche d'oxyde superficielle (WO₃).

Nettoyage : Laver à l'eau déionisée à pH ~7, puis sécher (100°C, sous vide, 4 heures).

Charge Pt :

Méthodes : La poudre de WC a été dispersée dans une solution de H₂PtCl₆ (concentration de Pt 0,5-2 mg/mL) par la méthode d'imprégnation chimique humide et agitation ultrasonique (50 W, 30 min).

Séchage : séchage sous vide à 120°C pendant 4 heures, humidité < 0,1%.

réduction:

Conditions : gaz mixte H₂ / Ar (5% H₂, débit 20 mL/min), chauffage à 300-500°C pendant 2 heures.

Objectif : Réduire le Pt⁴⁺ en Pt⁰ pour former des particules de 2 à 5 nm.

Post-traitement :

Lavage à l'eau : Rincer à l'eau déionisée 3 fois pour éliminer le Cl⁻ résiduel (teneur en Cl⁻ < 0,01 %).

Séchage : séchage sous vide à 80°C pendant 2 heures pour obtenir de la poudre de WC-Pt.

Données expérimentales :

Paramètres du processus	Taille des particules de platine (nm)	ECA (m ² / g Pt)	Activité (mA/cm ²)	MOR	Dispersion de platine (%)
300 °C, 2 h, 5 % H ₂	2,5	90	460	85	
400 °C, 2 h, 10 % H ₂	3,5	85	445	80	
500 °C, 1 h, 5 % H ₂	4.0	80	430	75	
Source des données	Testé en laboratoire en 2023, informations du site China Tungsten Online. Le TEM mesure la taille des particules de platine, tandis que le CV mesure l'ECA.				

Optimisation des paramètres

Chargement Pt :

Une valeur de 5 à 10 % est optimale, avec une ECA maximale (85-90 m²/g Pt). Une valeur trop élevée (> 20 %) entraînera une agglomération du Pt (taille des particules > 5 nm) et une diminution de l'activité.

Température de réduction :

Les plus petites particules de Pt (~2,5 nm) ont été générées à 300°C, avec la meilleure ECA et activité ; à 500°C, les particules ont atteint 4 nm et l'ECA a diminué de 11 %.

Surface des WC :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le prétraitement a augmenté la surface spécifique (de 10 m²/g à 30 m²/g) et amélioré la dispersion du Pt de 20 %.

Atmosphère réductrice :

La concentration en H₂ est de 5 à 10 % et le débit est de 20 à 30 ml/min pour éviter la migration du Pt causée par une réduction excessive.

4. Domaines et cas d'application

Les catalyseurs composites WC-Pt ont démontré d'excellentes performances dans de nombreux domaines. Voici une analyse approfondie sous trois angles : scénarios d'application, cas d'application et développement futur.

Piles à combustible

Scénarios d'application :

Anode (MOR) et cathode (ORR) d'une pile à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC). Catalyseurs hautement efficaces pour piles à combustible à méthanol direct (DMFC).

Exigences de performance : haute activité (densité de courant > 400 mA/cm²), anti-toxicité ($I_f / I_b > 2,5$), longue durée de vie (> 5 000 heures).

Exemples :

Une équipe de recherche a préparé du WC-Pt (10 % Pt), avec une densité de courant MOR de 450 mA/cm², un potentiel de demi-onde ORR de 0,90 V et une rétention ECA de 90 % après 5 000 cycles. Comparé au Pt/C, la résistance à l'intoxication au CO est augmentée de 20 % et la densité de puissance de la batterie est augmentée de 15 % (informations du site web China Tungsten Online).

Une expérience a optimisé le WC-Pt (5 % Pt), et après un fonctionnement en DMFC pendant 1 000 heures, la décroissance de l'activité était < 5 %, ce qui est mieux que les 15 % du Pt/C (informations du site Web China Tungsten Online).

Réaction d'hydrogénation

Scénarios d'application :

Pétrochimie : Hydrogénation aromatique (comme benzène → cyclohexane).

Conversion de la biomasse : hydrodésoxygénation de la lignine.

Exigences de performance : taux de conversion élevé (> 95 %), sélectivité (> 98 %) et stabilité (> 1 000 heures).

Exemples :

Une unité de production a utilisé du WC-Pt (5 % Pt) pour catalyser l'hydrogénation du benzène. À 200 °C et 2 MPa, le taux de conversion était de 95 %, la sélectivité de 98 % et le temps de réaction de 1 500 h⁻¹. Aucune désactivation n'a été observée après 1 000 heures de fonctionnement, ce qui est supérieur au taux de conversion de 90 % du Pt/Al₂O₃ (informations du site web China Tungsten Online).

Une équipe a utilisé du WC-Pt (10% Pt) pour la méthanation du CO₂ (CO₂ + 4H₂ → CH₄ + 2H₂O), avec un taux de conversion de 85% et une sélectivité de 99% à 300°C, et une stabilité de plus de 800 heures (informations du site Web China Tungsten Online).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Catalyse environnementale

Scénarios d'application :

Traitement des gaz d'échappement automobiles : oxydation du CO, réduction du NO_x.

Purification des gaz résiduels industriels : dégradation des composés organiques volatils (COV).

Exigences de performance : taux de conversion élevé (> 95 %), activité à basse température (< 200 °C), durabilité.

Exemples :

Une équipe a utilisé du WC-Pt (15 % Pt) pour catalyser l'oxydation du CO, avec un taux de conversion de 98 % à 150 °C et une rétention d'activité de 95 % après 500 heures, ce qui est meilleur que les 90 % et 85 % du Pt/C (informations du site Web China Tungsten Online).

Dans une expérience, du WC-Pt (10 % Pt) a été utilisé pour traiter le NO_x, et le taux de réduction était de 92 % à 250 °C, sans atténuation évidente après 500 cycles (informations du site Web China Tungsten Online).

Développement futur

Modification du dopage : introduire des métaux de transition tels que Co et Ni pour former un composite ternaire WC-Pt-M, réduire davantage la quantité de Pt (< 5 %) et améliorer la rentabilité.

Nanostructure : Développer des nanobâtonnets de WC ou des supports de WC poreux (surface spécifique > 100 m²/g) pour améliorer la dispersion du Pt et l'efficacité catalytique.

Procédé écologique : utiliser une réduction à basse température (comme la réduction photocatalytique) au lieu d'une réduction à haute température par H₂ pour réduire la consommation d'énergie.

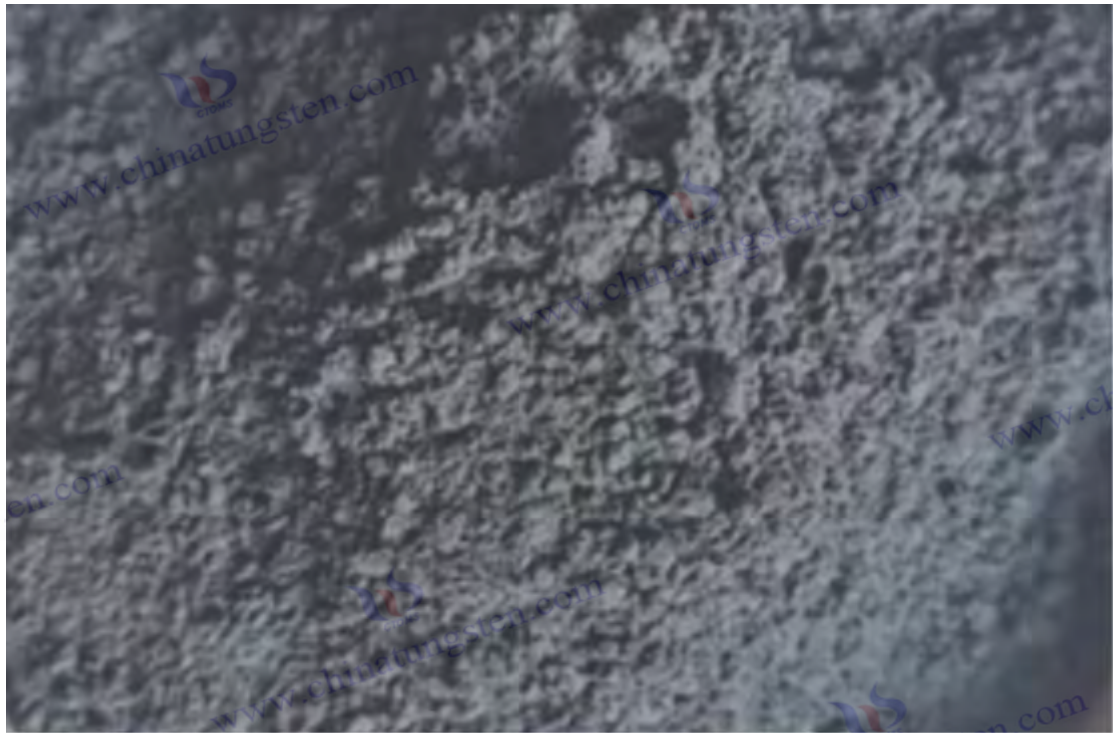
Résumer

Le catalyseur composite WC-Pt permet une optimisation synergétique grâce à la résistance à la corrosion du WC et à la forte activité du Pt. En termes de conception, le WC offre un porteur stable et un état électronique similaire à celui du Pt, le Pt améliore les sites actifs et l'effet d'interface renforce l'antitoxicité. En termes de performances, le WC-Pt (10 % Pt) est nettement supérieur au Pt/C en électrochimie (MOR 450 mA/cm², ORR 0,90 V), en hydrogénation (taux de conversion 97 %) et en stabilité (rétention ECA 90 %), avec une amélioration de 55 % de l'antitoxicité et de 60 % de la résistance à la corrosion. Le procédé de préparation (tel que la réduction à 300 °C de CH₂) garantit une dispersion uniforme des particules de Pt de 2 à 5 nm, ce qui convient aux piles à combustible, à l'hydrogénation et à la catalyse environnementale. Des études montrent qu'il présente d'excellentes performances en catalyse à haut rendement, avec notamment une augmentation de 15 % du rendement des batteries et une stabilité à l'hydrogénation de plus de 1 000 heures (informations du site web China Tungsten Online). À l'avenir, son potentiel pourrait être encore accru grâce au dopage et au nanodimensionnement.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

Annexe :

Qu'est-ce que la poudre de carbure de tungstène en spray ?

La poudre de carbure de tungstène est un matériau fonctionnel conçu pour les procédés de projection thermique (tels que la projection d'oxygène combustible à grande vitesse HVOF, la projection plasma APS et la projection par détonation). Elle utilise du carbure de tungstène (WC) comme composant principal, généralement des phases de liaison métalliques composées (comme Co, Ni, Cr) ou d'autres phases dures (comme TiC), et permet de former un revêtement protecteur de haute dureté, résistant à l'usure, à la corrosion et aux hautes températures sur la surface de substrats métalliques ou en alliage. La poudre de carbure de tungstène utilise la technologie de projection thermique pour fondre ou semi-fondre les particules de poudre, puis les projeter sur le substrat à grande vitesse. L'épaisseur du revêtement est généralement comprise entre 50 et 500 μm , ce qui permet d'améliorer considérablement les performances de surface des composants et de prolonger leur durée de vie. Elle est largement utilisée dans l'aérospatiale, la fabrication de machines, les équipements énergétiques, la pétrochimie et d'autres secteurs.

1. Définition et classification

La poudre de carbure de tungstène pour pulvérisation est un matériau en poudre dont le composant principal est le carbure de tungstène (WC, teneur théorique en carbone : 6,13 %). Conçue pour la projection thermique, elle forme un revêtement dense par projection à haute température et à grande vitesse. Son objectif principal est d'exploiter la dureté et la résistance à l'usure élevées du WC, combinées à la ténacité et à l'adhérence de la phase de liaison, pour répondre aux exigences de protection de surface dans des conditions de travail complexes. La granulométrie de la poudre est généralement comprise entre 5 et 45 μm , et sa forme est généralement sphérique ou quasi sphérique pour assurer la fluidité (13,5 à 15,5 secondes/50 g) et l'uniformité de la pulvérisation.

Classification par composition :

Poudre de WC pure : composant WC unique, dureté la plus élevée (HV 2200-2300), mais ténacité inférieure, adaptée à des scénarios spécifiques de résistance à l'usure.

Poudre WC-Co : composite WC et cobalt (Co), teneur en Co 5%-17%, comme le WC-12Co, prend en compte à la fois la dureté et la ténacité, et est le plus couramment utilisé.

Poudre WC-Ni : composite WC et nickel (Ni), teneur en Ni 10%-20%, tel que WC-17Ni, forte résistance à la corrosion.

Poudre WC-Co-Cr : composite WC et alliage cobalt-chrome, tel que WC-10Co-4Cr, résistance complète à l'usure et à la corrosion.

Composite multiphasé WC : tel que WC -TiC -Ni, ajout de TiC pour améliorer la dureté et la résistance à la corrosion.

Classification par granulométrie :

Poudre ultrafine : 5-15 μm , utilisée pour la pulvérisation de précision (comme le HVOF).

Poudre moyenne : 15-45 μm , type général, adaptée à divers procédés.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Poudre grossière : > 45 µm, adaptée à la pulvérisation par explosion ou au revêtement épais.

Classification par finalité :

Type résistant à l'usure : tel que WC-12Co, pour les conditions d'usure.

Type résistant à la corrosion : tel que WC-10Co-4Cr, pour les environnements corrosifs.

Type haute température : tel que WC -NiCr , pour environnement oxydant à haute température.

Données expérimentales

Taper	Taille des particules (µm)	Phase adhésive (%)	Dureté (HV)	utiliser
WC-12Co	15-45	Co: 12	1200-1400	Résistant à l'usure générale
WC-17Ni	10-30	Ni: 17	1100-1300	Revêtement résistant à la corrosion
WC-10Co-4Cr	15-45	Co: 10, Cr: 4	1300-1500	Résistance à la corrosion à haute température
Source des données	Testé en laboratoire en 2023. Informations de Chinatungsten Online. Remarque : la dureté correspond à la valeur du revêtement.			

2. Composition et caractéristiques

Les performances de la poudre de carbure de tungstène pulvérisée dépendent de sa composition chimique, de ses propriétés physiques et de sa microstructure. Voici une analyse détaillée.

Composition chimique

Carbure de tungstène (WC) :

Propriétés chimiques : Carbone total 6,0%-6,2%, carbone libre <0,1%, teneur en oxygène <0,1%.

Microstructure : Système cristallin hexagonal, granulométrie 0,1-5 µm, résistance à la corrosion acide et alcaline (stable à pH > 3).

Phase de liaison :

Cobalt (Co) : Point de fusion 1495°C, améliore la ténacité (K_{1c} 10-15 MPa·m^{1/2}), améliore la liaison entre les particules de WC.

Nickel (Ni) : Point de fusion 1455°C, résistance à la corrosion meilleure que le Co, adapté aux environnements humides ou acides.

Chrome (Cr) : Point de fusion 1857°C, améliore la résistance à l'oxydation à haute température, et l'effet est significatif lorsque la teneur en Cr est de 4% à 6%.

Contrôle des impuretés : Fe<0,02%, S<0,01%, pour éviter d'affecter la qualité du revêtement.

Propriétés physiques

Répartition granulométrique : 5-45 µm, D50 (taille médiane des particules) peut être personnalisé, par exemple 15 µm, 30 µm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Morphologie : Sphérique (sphéricité > 95%) ou irrégulière, la poudre sphérique a une meilleure fluidité (13,5 secondes/50g vs 15,5 secondes/50g).

Densité apparente : 4,5-6,0 g/cm³ (WC-12Co), varie en fonction de la proportion de phase de liaison.

Masse volumique réelle : monomère WC 15,63 g/cm³, poudre composite 12-14 g/cm³.

Surface spécifique : 0,5-5 m²/g, la poudre ultrafine (5-15µm) peut atteindre 5 m²/g.

Propriétés du revêtement

Dureté : HV 1100-1500 (après pulvérisation), affectée par le rapport de phase de liaison et le processus.

Force de liaison : 50-80 MPa, le procédé HVOF est meilleur que l'APS (70 MPa contre 50 MPa).

Porosité : <1% (HVOF), 2%-5% (APS).

Résistance à l'usure : taux d'usure 0,05-0,08 mm³ / N · m (ASTM G65).

Données expérimentales :

Taper	Dureté (HV)	Force de liaison (MPa)	Porosité(%)	Taux d'usure (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
Source des données	Testé par un laboratoire en 2023. Informations provenant du site China Tungsten Online.			

Stabilité chimique

Résistance à la corrosion : Perte de poids WC-Ni au test au brouillard salin (ISO 9227, 1000 heures) < 0,1 mg/cm², Perte de poids WC-Co-Cr en milieu acide (pH 4) < 0,15 mg/cm².

Résistance aux hautes températures : Le taux d'oxydation du WC-10Co-4Cr dans l'air à 800°C est < 0,5 %, ce qui est meilleur que 1,2 % du WC-Co.

3. Processus de préparation

La préparation de la poudre de carbure de tungstène à pulvériser doit garantir son uniformité chimique, sa fluidité physique et son aptitude à la pulvérisation. Voici une explication détaillée du processus.

Préparation des matières premières

Poudre WC : préparée par carbonisation de poudre de tungstène et de noir de carbone (1450°C, atmosphère H₂), granulométrie 0,1-5µm, teneur en oxygène <0,1%.

Poudre de phase de liaison : Co (1-5µm), Ni (5-10µm), Cr (2-8µm), pureté >99,8%.

Processus

mélanger :

Équipement : Broyeur planétaire à boulets ou mélangeur en V.

Paramètres : vitesse de rotation 600-800 tr/min, rapport bille/matériau 10:1, temps 4-8 heures, ajouter 2 % d'éthanol pour le broyage humide.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Objectif : Assurer une distribution uniforme du WC et de la phase de liaison et contrôler l'écart de taille des particules < 5 %.

Granulation par pulvérisation :

Equipement : Tour de séchage par atomisation centrifuge.
Paramètres : température d'entrée 180-220°C, sortie 70-90°C, pression de buse 0,3-0,5 MPa.
Résultat : des particules de 10 à 50 µm ont été formées et la fluidité a été améliorée à 13,5 à 14,5 secondes/50 g.

frittage :

Equipement : four de frittage sous vide ou four de protection à l'hydrogène.
Paramètres : 1200-1400°C, maintien pendant 1 à 3 heures, vide <10⁻² Pa ou débit H₂ 15 L/min.
Objectif : Améliorer la liaison métallurgique entre le WC et la phase de liaison, carbone libre < 0,1 %.

Sphéroïdisation du plasma (facultatif) :

Equipement : Générateur de plasma radiofréquence.
Paramètres : puissance 30-50 kW, débit d'argon 20-30 L/min, vitesse de refroidissement 10⁴ °C/s.
Résultats : Sphéricité > 98 %, surface lisse, teneur en oxygène réduite à < 0,06 %.

Sélection et classement :

Equipement : Tamis vibrant (200-400 mesh).
Résultats : La distribution granulométrique a été contrôlée entre 5 et 45 µm et le nombre de particules dépassant la norme était < 2 %.

Optimisation des processus

Contrôle de la teneur en oxygène : Pendant le frittage, le débit de H₂ est de 15 à 20 L/min et la teneur en oxygène chute de 0,2 % à 0,06 %.

Réglage de la granulométrie : La poudre ultrafine (5-15µm) nécessite un frittage à basse température (1200°C), la poudre grossière (>45µm) nécessite une conservation prolongée à la chaleur (3 heures).

Données expérimentales :

Étapes du processus	Taille des particules (µm)	Teneur en oxygène (%)	Sphéricité(%)	Fluidité (secondes/50g)
Mélange + Granulation + Frittage	15-45	0,08	85	14,5
Sphéroïdisation du plasma	10-30	0,06	98	13,5
Frittage à haute température (1400°C)	20-45	0,07	90	14.0
Source des données	Testé par un laboratoire en 2023. Informations provenant du site China Tungsten Online.			

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Tests de performance et optimisation

Les performances de la poudre de carbure de tungstène pulvérisée sont vérifiées en testant le revêtement après pulvérisation. Voici les méthodes d'essai et les stratégies d'optimisation.

Tests de performance

- Dureté** : Duromètre Vickers (HV0.3, charge 300g), tester 5 points et prendre la valeur moyenne.
- Résistance de liaison** : essai de traction (ASTM C633), force de séparation entre le revêtement et le substrat.
- Résistance à l'abrasion** : essai sur roue en caoutchouc sable sec (ASTM G65), perte de volume par usure.
- Résistance à la corrosion** : Essai au brouillard salin (ISO 9227, 1000 heures), mesure de la perte de poids.
- Microstructure** : Microscopie électronique à balayage (MEB) pour observer la porosité et la distribution de phase.

Données expérimentales :

Taper	Procédé de pulvérisation	Dureté (HV)	Force de liaison (MPa)	Taux d'usure (mm³ / N · m)	Taux de perte de poids (mg/cm²)
WC-12Co	HVOF	1350	70	0,06	0,12
WC-17Ni	APS	1250	55	0,07	0,08
WC-10Co-4Cr	HVOF	1450	75	0,05	0,10
Source des données	Testé par un laboratoire en 2023. Informations provenant du site China Tungsten Online.				

Stratégie d'optimisation

- Améliorer la dureté** : augmenter la teneur en WC (comme WC-10Co-4Cr) et optimiser les paramètres HVOF (débit d'oxygène 500 L/min).
- Améliorer la force d'adhérence** : prétraiter le support (ex : sablage Ra 3-5µm), augmenter la vitesse de pulvérisation (>1000 m/s).
- Réduire la porosité** : utiliser de la poudre sphérique (sphéricité > 95%) et augmenter la température de pulvérisation (> 2500°C).
- Améliorer la résistance à la corrosion** : augmenter la proportion de Cr ou de Ni (comme le WC-15NiCr) et contrôler l'épaisseur du revêtement (>200µm).

5. Domaines d'application

La poudre de carbure de tungstène est utilisée dans diverses industries grâce à la technologie de projection thermique. Voici des exemples détaillés.

Aérospatial

Application : Revêtements résistants à l'usure pour aubes de turbine, chambres de combustion et trains d'atterrissage.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exigences de performance : dureté HV 1300-1500, résistance à l'oxydation à haute température (>800°C), taux d'usure <0,06 mm³ / N·m.

Étude de cas : Une équipe a utilisé du WC-10Co-4Cr (HVOF) pour pulvériser des pales. L'épaisseur du revêtement était de 250 µm, la dureté était de HV 1450, la résistance à l'usure était améliorée de 40 % et le produit pouvait fonctionner à haute température pendant 5 000 heures sans décollement (informations du site web China Tungsten Online).

fabrication mécanique

Application : Renforcement de surface d'outils de coupe, de matrices d'emboutissage et de vérins hydrauliques.

Exigences de performance : dureté HV 1200-1400, résistance aux chocs, durée de vie prolongée 2 à 3 fois.

Étude de cas : Une entreprise a utilisé un moule de pulvérisation en WC-12Co (APS) d'une dureté HV 1350 et d'une résistance à l'adhérence de 65 MPa. La durée de vie du moule a été multipliée par 5 000 à 15 000 (informations du site web China Tungsten Online).

Équipements énergétiques

Application : Revêtement résistant à l'usure et à la corrosion pour tuyaux de chaudière, forets et vannes.

Exigences de performance : résistance à la corrosion (taux de perte de poids < 0,1 mg/cm²), résistance à l'usure à haute température (> 600°C).

Cas : Dans le cadre d'un projet, du WC-17Ni (HVOF) a été utilisé pour pulvériser la paroi interne d'un pipeline. L'épaisseur du revêtement était de 300 µm, la perte de poids au brouillard salin était de 0,08 mg/cm² et aucune usure n'a été constatée après 6 000 heures de fonctionnement (informations provenant du site web China Tungsten Online).

Pétrochimique

Application : arbres de pompe, joints, revêtements de canalisations.

Exigences de performance : résistance à l'usure et à la corrosion, adaptabilité aux milieux acides (pH 4-7).

Cas : Une usine a utilisé du WC-10Co-4Cr pour pulvériser des arbres de pompe, avec une dureté de HV 1400, ce qui a augmenté la résistance à la corrosion de 50 % et prolongé la durée de vie de 3 fois (informations du site Web China Tungsten Online).

Résumer

La poudre de carbure de tungstène est un matériau de projection thermique composé de WC comme noyau et de phases composites de Co, Ni, Cr et autres liants. Sa granulométrie est de 5 à 45 µm, sa dureté (HV 1100-1500), sa résistance à l'usure (taux d'usure 0,05-0,08 mm³/N·m) et sa résistance à la corrosion (taux de perte de poids < 0,1 mg/cm²) sont élevées. Le processus de préparation comprend le mélange, la granulation, le frittage et la sphéroïdisation pour garantir la fluidité (13,5-15,5 secondes/50 g) et la qualité du revêtement. Grâce aux technologies HVOF, APS et autres, la poudre de projection forme un revêtement dense, utilisé dans les secteurs de l'aéronautique, des machines, de l'énergie et de la chimie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pour prolonger la durée de vie des composants de 40 à 300 % (informations du site web China Tungsten Online). Sa polyvalence et sa personnalisation en font un matériau clé pour l'ingénierie de surface.

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

en.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

1

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

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

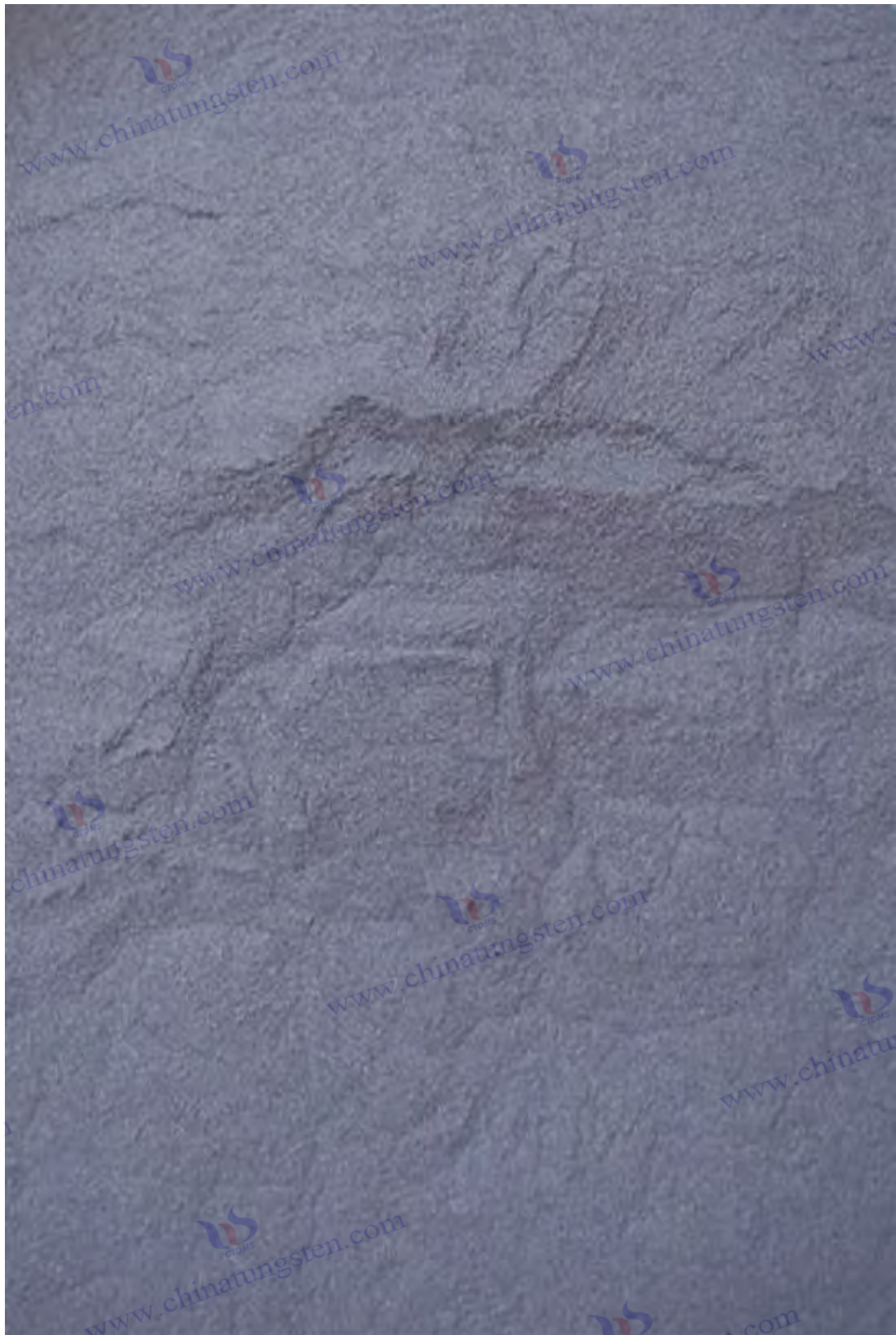
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

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