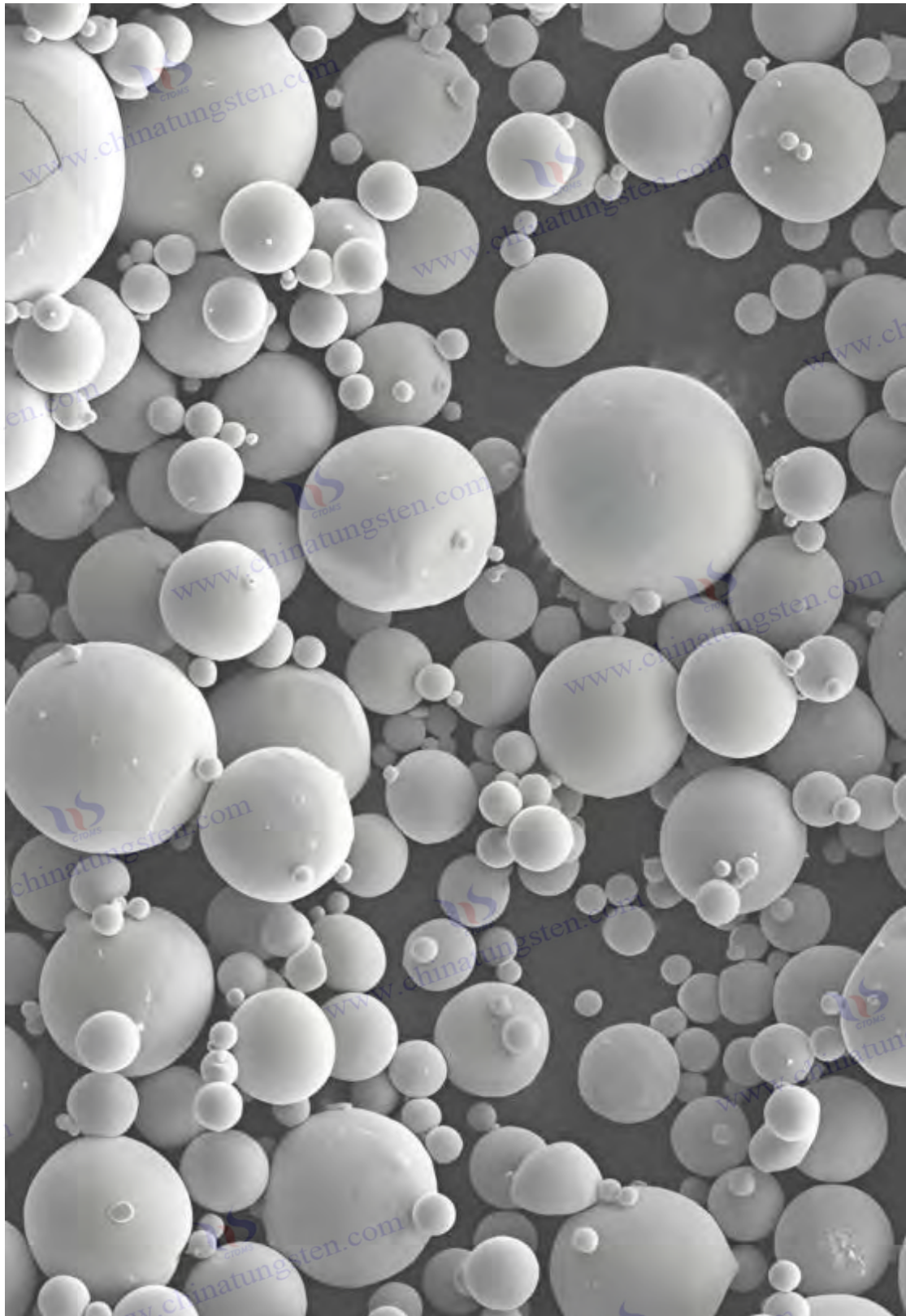




COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Liste complète des utilisations de la poudre de tungstène

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

PRÉSENTATION DU GROUPE CTIA

CTIA GROUP LTD, filiale à 100 % dotée d'une personnalité juridique indépendante et créée par CHINATUNGSTEN ONLINE, se consacre à la promotion de la conception et de la fabrication intelligentes, intégrées et flexibles de matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel. Fondée en 1997 avec www.chinatungsten.com comme point de départ – le premier site web chinois de produits en tungstène de premier plan –, CHINATUNGSTEN ONLINE est une entreprise pionnière du e-commerce en Chine, spécialisée dans les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares. Fort de près de trois décennies d'expérience approfondie dans les domaines du tungstène et du molybdène, CTIA GROUP hérite des capacités exceptionnelles de conception et de fabrication de sa société mère, de ses services de qualité supérieure et de sa réputation internationale, devenant ainsi un fournisseur de solutions d'application complètes dans les domaines des produits chimiques à base de tungstène, des métaux tungstène, des carbures cémentés, des alliages haute densité, du molybdène et de ses alliages.

Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a créé plus de 200 sites web professionnels multilingues sur le tungstène et le molybdène, couvrant plus de 20 langues, avec plus d'un million de pages d'actualités, de prix et d'analyses de marché liées au tungstène, au molybdène et aux terres rares. Depuis 2013, son compte officiel WeChat « CHINATUNGSTEN ONLINE » a publié plus de 40 000 informations, alimentant près de 100 000 abonnés et fournissant quotidiennement des informations gratuites à des centaines de milliers de professionnels du secteur dans le monde entier. Avec des milliards de visites cumulées sur son site web et son compte officiel, CHINATUNGSTEN ONLINE est devenu une plateforme d'information mondiale reconnue et faisant autorité pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares, fournissant 24 h/24 et 7 j/7 des informations multilingues, des informations sur les performances des produits, les prix et les tendances du marché.

S'appuyant sur la technologie et l'expérience de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP s'attache à répondre aux besoins personnalisés de ses clients. Grâce à l'IA, CTIA GROUP conçoit et fabrique en collaboration avec ses clients des produits en tungstène et en molybdène présentant des compositions chimiques et des propriétés physiques spécifiques (telles que la granulométrie, la densité, la dureté, la résistance, les dimensions et les tolérances). L'entreprise propose des services intégrés complets, allant de l'ouverture du moule à la production d'essai, en passant par la finition, l'emballage et la logistique. Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a fourni des services de R&D, de conception et de production pour plus de 500 000 types de produits en tungstène et en molybdène à plus de 130 000 clients dans le monde, posant ainsi les bases d'une fabrication personnalisée, flexible et intelligente. Fort de ce socle, CTIA GROUP approfondit la fabrication intelligente et l'innovation intégrée des matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel.

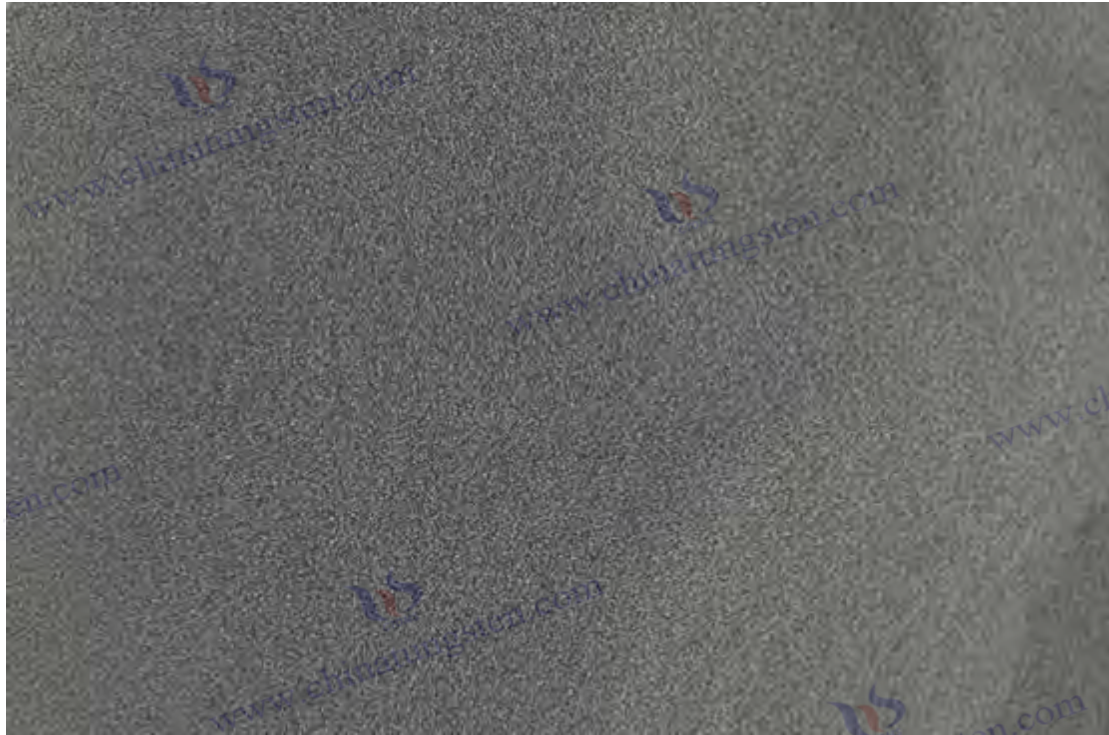
Forts de plus de 30 ans d'expérience dans le secteur, le Dr Hanns et son équipe du CTIA GROUP ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix et de tendances du marché du tungstène, du molybdène et des terres rares, qu'ils partagent librement avec l'industrie du tungstène. Fort de plus de 30 ans d'expérience depuis les années 1990 dans le commerce électronique et le commerce international de produits en tungstène et en molybdène, ainsi que dans la conception et la fabrication de carbures cémentés et d'alliages haute densité, le Dr Han est un expert reconnu des produits en tungstène et en molybdène, tant au niveau national qu'international. Fidèle à sa volonté de fournir des informations professionnelles et de qualité à l'industrie, l'équipe du CTIA GROUP rédige régulièrement des articles de recherche technique, des articles et des rapports sectoriels basés sur les pratiques de production et les besoins des clients, ce qui lui vaut une large reconnaissance au sein du secteur. Ces réalisations apportent un soutien solide à l'innovation technologique, à la promotion des produits et aux échanges industriels du CTIA GROUP, le propulsant pour devenir un leader mondial dans la fabrication de produits en tungstène et en molybdène et dans les services d'information.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



CONTENU

Préface

Propriétés physiques et chimiques uniques et valeur d'application de la poudre de tungstène

Objectif de l'article : Révéler de manière exhaustive les utilisations multi-domaines de la poudre de tungstène

Sources de données et méthodes de recherche

Chapitre 1 : Caractéristiques de base et application de la poudre de tungstène

1.1 Propriétés physiques de la poudre de tungstène

1.1.1 Point de fusion élevé (3422 °C) et résistance aux températures élevées

1.1.2 Haute densité (19,25 g/cm³) et avantages en termes de qualité

1.1.3 Bases microscopiques de la dureté et de la résistance à l'usure

1.1.4 Conductivité thermique et propriétés électriques

1.2 Propriétés chimiques de la poudre de tungstène

1.2.1 Résistance à la corrosion (stabilité dans les environnements acides et alcalins)

1.2.2 Antioxydation et comportement chimique à haute température

1.2.3 Inertie chimique et potentiel catalytique

1.3 Forme et classification de la poudre de tungstène

1.3.0 Propriétés physiques et chimiques et utilisations des particules de tungstène

1.3.0.1 Définition et plage granulométrique des particules de tungstène (généralement > 100 µm)

1.3.0.2 Propriétés physiques des particules de tungstène (haute densité et résistance aux températures 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

- 1.3.0.3 Stabilité chimique et caractéristiques de surface des particules de tungstène
- 1.3.0.4 Principales utilisations des particules de tungstène (charge de soudage, matériau de contrepoids)
- 1.3.0.5 Cas d'application des particules de tungstène (scénarios industriels et militaires)

1.3.1 Caractéristiques et utilisations de la poudre de tungstène grossière (5-50 μm)

- 1.3.1.1 Distribution granulométrique et caractéristiques morphologiques de la poudre de tungstène grossière
- 1.3.1.2 Fluidité et masse volumique apparente de la poudre de tungstène brute
- 1.3.1.3 Résistance aux hautes températures et à l'usure de la poudre de tungstène grossière
- 1.3.1.4 Principales utilisations de la poudre de tungstène brut (alliage à haute densité, électrode en tungstène)
- 1.3.1.5 Cas d'application industrielle de la poudre de tungstène grossière

1.3.2 Caractéristiques et utilisations de la poudre de tungstène à particules moyennes (4-8 μm)

- 1.3.2.1 Gamme de granulométrie et méthode de préparation de la poudre de tungstène à grains moyens
- 1.3.2.2 Propriétés physiques de la poudre de tungstène à particules moyennes (densité, dureté)
- 1.3.2.3 Propriétés de fluidité et de frittage de la poudre de tungstène à grains moyens
- 1.3.2.4 Principales utilisations de la poudre de tungstène à grains moyens (alliage dur, projection thermique)
- 1.3.2.5 Exemples d'application de la poudre de tungstène à grains moyens (outils et revêtements)

1.3.3 Scénarios d'application de la poudre de tungstène fine (0,1-5 μm)

- 1.3.3.1 Distribution granulométrique et activité de surface de la poudre fine de tungstène
- 1.3.3.2 Surface spécifique élevée et réactivité de la poudre fine de tungstène
- 1.3.3.3 Technologie de préparation et défis de la poudre fine de tungstène
- 1.3.3.4 Principales utilisations de la poudre de tungstène fine (fil de tungstène, catalyseur)
- 1.3.3.5 Cas de recherche industrielle et scientifique sur la poudre de tungstène fine

1.3.4 Avantages particuliers de la poudre de nano-tungstène (<100 nm)

- 1.3.4.1 Effet quantique et caractéristiques de la poudre de nano-tungstène
- 1.3.4.2 Haute activité et dispersibilité de la poudre de nano-tungstène
- 1.3.4.3 Procédé de préparation de la poudre de nano-tungstène (méthode en solution, méthode en phase gazeuse)
- 1.3.4.4 Principales utilisations de la poudre de nano-tungstène (électronique, médical)
- 1.3.4.5 Cas d'application de pointe de la poudre de nano-tungstène

1.3.5 Différences dans l'utilisation des poudres de tungstène sphériques et irrégulières

- 1.3.5.1 Avantages de la préparation et de la morphologie de la poudre de tungstène sphérique
- 1.3.5.2 Caractéristiques et rentabilité de la poudre de tungstène irrégulière
- 1.3.5.3 Application de la poudre de tungstène sphérique dans l'impression 3D
- 1.3.5.4 Application de la poudre de tungstène irrégulière dans la métallurgie traditionnelle
- 1.3.5.5 Comparaison de cas réels de différences morphologiques

1.4 Bases scientifiques et industrielles de l'utilisation de la poudre de tungstène

- 1.4.1 La position centrale de la métallurgie des poudres
- 1.4.2 Poussé par des exigences de température et de densité élevées
- 1.4.3 Diversité des technologies de traitement de la poudre de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 1.4.4 Évolution industrielle des applications de la poudre de tungstène
- 1.4.5 Cas d'application de la poudre de tungstène dans la recherche scientifique

Chapitre 2 : Application de la poudre de tungstène dans les industries traditionnelles

2.1 Fabrication de carbure cimenté

- 2.1.1 Matières premières synthétiques de la poudre de carbure de tungstène (WC)
- 2.1.2 Outils en carbure WC-Co (coupe, fraisage, perçage)
- 2.1.3 Outils d'exploitation minière et de forage (trépans, marteaux perforateurs)
- 2.1.4 Moules et pièces résistantes à l'usure (matrices d'emboutissage, buses de sablage)
- 2.1.5 Optimisation des performances et cas d'application du carbure cimenté

2.2 Alliage à densité élevée

- 2.2.1 Utilisation de l'alliage tungstène-nickel-fer (W-Ni-Fe) comme contrepoids
- 2.2.2 Applications conductrices et de dissipation thermique de l'alliage tungstène-cuivre (W-Cu)
- 2.2.3 Contrepoids aérospatiaux (gyroscopes, blocs d'équilibrage)
- 2.2.4 Composants à haute densité dans l'industrie automobile
- 2.2.5 Procédé de fabrication et cas d'alliages à densité élevée

2.3 Matériaux des filaments et des électrodes en tungstène

- 2.3.1 Étirage et application du filament de tungstène (lampe à incandescence, lampe halogène)
- 2.3.2 Électrode en tungstène pour le soudage à l'arc sous argon (résistance à haute température et stabilité de l'arc)
- 2.3.3 Amélioration des performances du fil de tungstène dopé (Th, La, Ce)
- 2.3.4 Utilisation d'électrodes en tungstène dans la découpe plasma
- 2.3.5 Cas de production industrielle de fils et d'électrodes en tungstène

2.4 Matériaux réfractaires et composants à haute température

- 2.4.1 Creuset en tungstène (fusion à haute température et croissance cristalline)
- 2.4.2 Plaques et tiges de tungstène (revêtement de four à haute température)
- 2.4.3 Revêtement réfractaire à base de tungstène (four et incinérateur)
- 2.4.4 Effet de renforcement de la poudre de tungstène dans les briques réfractaires
- 2.4.5 Scénarios d'application typiques des matériaux réfractaires

Chapitre 3 : Application de la poudre de tungstène dans la fabrication et la technologie de pointe

3.1 Fabrication additive (impression 3D)

- 3.1.1 Préparation de la poudre de tungstène sphérique et exigences d'impression 3D
- 3.1.2 Fabrication de composants en tungstène par fusion sélective au laser (SLM)
- 3.1.3 Produits en tungstène haute densité par fusion par faisceau d'électrons (EBM)
- 3.1.4 Pièces structurales complexes en tungstène (buses aérospatiales, dissipateurs thermiques)
- 3.1.5 Cas d'application et tendances de l'impression 3D de poudre de tungstène

Chapitre 4 : L'utilisation de la poudre de tungstène dans les domaines militaire et de protection

4.1 Matériel militaire

- 4.1.1 Noyau perforant en alliage de tungstène (haute densité et pénétration)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1.2 Matériau de blindage à base de tungstène (résistance aux chocs du W-Ni-Fe)

4.1.3 Application ultra-dure de poudre de tungstène dans les couteaux militaires

4.1.4 Fabrication et utilisation de balles à fragmentation en alliage de tungstène

4.1.5 Cas d'application typiques de la poudre de tungstène militaire

4.2 Protection contre les radiations

4.2.1 Haute efficacité de la poudre de tungstène dans la protection contre les rayons gamma

4.2.2 Matériaux à base de tungstène pour la protection contre les rayonnements neutroniques

4.2.3 Composants de blindage de l'industrie nucléaire (réacteurs et cuves)

4.2.4 Technologie de préparation des matériaux de blindage composites en poudre de tungstène

4.2.5 Analyse de cas pratique de protection contre les radiations

4.3 Applications à haute température et environnements extrêmes

4.3.1 Utilisation de la poudre de tungstène résistante à la chaleur dans les tuyères de fusées

4.3.2 Renforcement en tungstène des structures résistantes à l'usure des engins spatiaux

4.3.3 Revêtement protecteur haute température à base de tungstène (boîtier de missile)

4.3.4 Test de performance de la poudre de tungstène dans un environnement extrême

4.3.5 Étude de cas des applications militaires à haute température

Chapitre 5 : Application de la poudre de tungstène dans les domaines médical et biologique

5.1 Dispositifs médicaux

5.1.1 Application de la poudre de tungstène dans les collimateurs de radiothérapie

5.1.2 Outils chirurgicaux à base de tungstène (couteaux et forets)

5.1.3 Renforcement en tungstène des outils dentaires (résistance à l'usure et précision)

5.1.4 Application de la poudre de tungstène dans le blindage contre les rayons X

5.1.5 Étude de cas sur la poudre de tungstène pour dispositifs médicaux

5.2 Matériaux biocompatibles

5.2.1 Revêtement de dispositif d'implant modifié par poudre de tungstène

5.2.2 Potentiel des matériaux de réparation osseuse à base de tungstène

5.2.3 Le rôle auxiliaire de la poudre de tungstène dans l'imagerie biologique

5.2.4 Tests et normes de biocompatibilité

5.2.5 Exemples d'application de la poudre de tungstène dans le domaine biologique

5.3 Potentiel médical de la poudre de nano-tungstène

5.3.1 Application de la poudre de nanotungstène dans l'administration de médicaments

5.3.2 Recherche sur le cancer utilisant la thérapie photothermique à la poudre de tungstène

5.3.3 Propriétés antibactériennes et utilisations de la poudre de nano-tungstène

5.3.4 Méthode de préparation de la poudre de tungstène à l'aide de la nanotechnologie

5.3.5 Perspectives d'avenir des applications médicales de la poudre de nano-tungstène

Chapitre 6 : Application de la poudre de tungstène dans les biens de consommation et les domaines culturels

6.1 Produits de sport et de loisirs

6.1.1 Application à haute densité de poudre de tungstène dans les clubs de golf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1.2 Poids des engins de pêche (Avantages environnementaux des plombs en tungstène)

6.1.3 Fabrication de précision de fléchettes en alliage de tungstène

6.1.4 Technologie d'amélioration du tungstène pour les équipements sportifs

6.1.5 Lancer du poids avec noyau en tungstène

6.1.6 Noyau en tungstène Discus

6.1.7 Haltères et plaques d'haltères en alliage de tungstène

6.1.8 Javelot en alliage de tungstène

6.1.9 Pointe de flèche en alliage de tungstène

6.1.10 Balles de sport en alliage de tungstène

6.1.11 Balles de fusil de chasse et de chasse en alliage de tungstène

6.1.12 Contrepoids submersible en alliage de tungstène

Raquette de tennis en alliage de tungstène 6.1.13, poids idéal

6.1.14 Étude de cas sur la poudre de tungstène pour les articles de sport

6.2 Bijoux et décoration en alliage de tungstène

6.2.1 Bijoux en or tungstène (bagues, colliers) fabriqués à partir de poudre de tungstène

6.2.2 Résistance à l'usure et propriétés esthétiques de l'alliage de tungstène

6.2.3 Application de précision de la poudre de tungstène dans les pièces de montres

6.2.4 Procédé de fabrication de poudre de tungstène pour la fabrication de bijoux

6.2.5 Cas typiques de bijoux en poudre de tungstène

6.3 Art et pigments

6.3.1 Durabilité et effets de couleur des pigments en poudre de tungstène

6.3.2 Application de protection contre l'incendie du revêtement artistique à base de tungstène

6.3.3 Effet renforçant de la poudre de tungstène dans les matériaux de sculpture

6.3.4 Technologie de la poudre de tungstène pour la fabrication d'œuvres d'art

6.4 Produits de marquage en alliage de tungstène

6.4.1 Propriétés des matériaux et préparation de l'alliage de tungstène

6.4.2 Cartes de visite en alliage de tungstène de haute qualité

6.4.3 Carte bancaire en alliage de tungstène Gold

6.4.3.1 Caractéristiques de performance de la carte bancaire en alliage de tungstène Gold

6.4.3.2 Sécurité de la carte bancaire en alliage de tungstène et or

6.4.3.3 Texture et noblesse de la carte bancaire en alliage de tungstène et or

6.4.3.4 Propriétés antimagnétiques de la carte bancaire en alliage de tungstène

6.4.3.5 Carte bancaire en alliage de tungstène contre les dommages mécaniques

6.4.3.6 Application du marché et perspectives de la carte bancaire en alliage de tungstène et or

6.4.4 Plaque signalétique Pet en alliage de tungstène

6.4.5 Étiquette de bagage en alliage de tungstène

6.4.6 Plaque signalétique de soldat en alliage de tungstène

6.4.7 Perspectives d'application des produits de marquage en alliage de tungstène

6.5 Produits commémoratifs en alliage de tungstène

6.5.1 Carte commémorative en alliage de tungstène

6.5.2 Carte VIP plaquée or en alliage de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.5.3 Brique plaquée or en alliage de tungstène
- 6.5.4 Carte de membre en alliage de tungstène
- 6.5.5 Carte commémorative de la Tungsten Alloy Company
- 6.5.6 Alliances en alliage de tungstène et alliances en or
- 6.5.7 Souvenirs de team building et de conférence
- 6.5.8 Perspectives d'application des produits commémoratifs en alliage de tungstène
- 6.5.9 Carte d'anniversaire en alliage de tungstène
- 6.5.10 Mémorial du 100e jour de l'alliage de tungstène
- 6.5.11 Carte commémorative du centenaire de l'alliage de tungstène

Chapitre 7 : Application de la poudre de tungstène dans l'environnement et l'industrie chimique

7.1 Catalyseurs et capteurs

- 7.1.1 Haute efficacité de la poudre de tungstène dans la catalyse d'hydrogénation
- 7.1.2 Photocatalyseur à base de tungstène (purification de l'environnement)
- 7.1.3 Capteur de gaz à poudre de tungstène (détection de NO_x, CO)
- 7.1.4 Technologie de préparation de la poudre de tungstène pour support de catalyseur
- 7.1.5 Applications pratiques de la catalyse et de la détection

7.2 Pièces résistantes à la corrosion et à l'usure

- 7.2.1 Application de la poudre de tungstène dans la protection des pipelines chimiques
- 7.2.2 Conception résistante à la corrosion des vannes à base de tungstène
- 7.2.3 Corps de pompe et agitateur renforcés en poudre de tungstène
- 7.2.4 Procédé de fabrication de composants résistants à la corrosion
- 7.2.5 Analyse de cas de la poudre de tungstène dans l'industrie chimique

7.3 Matériaux respectueux de l'environnement

- 7.3.1 Adsorption de poudre de tungstène dans la filtration des gaz d'échappement
- 7.3.2 Potentiel des matériaux de traitement de l'eau à base de tungstène
- 7.3.3 Durabilité du revêtement écologique en poudre de tungstène
- 7.3.4 Technologie de préparation de la poudre de tungstène pour matériaux respectueux de l'environnement
- 7.3.5 Étude de cas sur l'application de la poudre de tungstène à la protection de l'environnement

Chapitre 8 : Utilisations futures et tendances de développement de la poudre de tungstène

8.1 Applications de pointe de la poudre de nano-tungstène

- 8.1.1 Potentiel de la poudre de nano-tungstène dans la technologie quantique
- 8.1.2 Applications photoélectriques et de détection de la poudre de nano-tungstène
- 8.1.3 Conception intelligente de matériaux à base de poudre de nano-tungstène
- 8.1.4 Défis de la préparation de poudre de tungstène en nanotechnologie
- 8.1.5 Perspectives d'avenir de la poudre de nano-tungstène

8.2 Durabilité et recyclage

- 8.2.1 Pratique industrielle de recyclage des déchets de poudre de tungstène
- 8.2.2 Tendances techniques de la préparation de la poudre de tungstène à l'état vert

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.2.3 Le rôle de la poudre de tungstène dans l'économie circulaire

8.2.4 Étude de cas d'application durable

8.2.5 Perspectives du recyclage de la poudre de tungstène

8.3 Domaines émergents et applications transfrontalières

8.3.1 Potentiel de la poudre de tungstène dans l'électronique flexible

8.3.2 Utilisations de la poudre de tungstène dans l'exploration spatiale

8.3.3 Innovation de la poudre de tungstène en biotechnologie

8.3.4 Technologie de préparation de la poudre de tungstène dans les domaines émergents

8.3.5 Tendances futures des applications transfrontalières

Annexe A : Tableau de recherche rapide des propriétés physiques et chimiques de la poudre de tungstène

Annexe B : Normes internationales relatives à l'utilisation de la poudre de tungstène (Chine, ASTM, ISO)

Norme nationale chinoise pour la poudre de tungstène GB/T 3458-2006 Poudre de tungstène

Annexe C : Liste des brevets relatifs aux domaines d'application de la poudre de tungstène

Appendice E : Guide de sécurité de la poudre de tungstène, Spécification du facteur de sécurité du matériau de la poudre de tungstène (MSDS)

Fiche de données de sécurité pour la poudre de tungstène

Annexe F : Glossaire relatif à la poudre de tungstène en chinois, anglais, japonais, coréen, allemand et russe

F.1 Concepts et propriétés de base

F.2 Méthode de préparation

F.3 Domaines d'application

F.4 Sécurité et gestion

F.5 Composition chimique et dérivés

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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





Préface

Propriétés physiques et chimiques uniques et valeur d'application de la poudre de tungstène

La poudre de tungstène, matériau métallique reconnu pour son point de fusion élevé, sa densité et sa dureté élevées, occupe une place incontournable dans l'industrie et la technologie modernes. Son point de fusion, qui atteint 3 422 °C, en fait l'un des métaux naturels les plus résistants, lui confère une excellente stabilité dans les environnements à très hautes températures. Sa densité, de 19,25 g/cm³, lui confère d'excellentes propriétés de contrepois et de blindage. Sa dureté et sa résistance à l'usure en font un choix idéal pour la fabrication de matériaux extra-durs et d'outils durables. De plus, sa résistance à la corrosion et son inertie chimique élargissent son potentiel d'application dans les domaines de l'industrie chimique, des traitements médicaux et de la protection de l'environnement. Des particules de tungstène grossières aux poudres ultrafines nanométriques, les caractéristiques multimorphologiques de la poudre de tungstène répondent aux divers besoins des industries en matière de propriétés des matériaux et favorisent d'innombrables innovations, de la métallurgie traditionnelle aux technologies de pointe. On peut dire que la poudre de tungstène est non seulement la pierre angulaire de l'industrie, mais aussi un catalyseur du progrès technologique. Ses nombreuses utilisations et sa valeur intrinsèque méritent une exploration approfondie et une synthèse systématique.

Objectif de l'article : Révéler de manière exhaustive les utilisations multi-domaines de la poudre de tungstène

Cet ouvrage vise à fournir aux lecteurs un guide complet et détaillé sur l'utilisation de 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

tungstène, couvrant ses applications dans les industries traditionnelles, la fabrication de pointe, la protection militaire, la biologie médicale, la culture des produits de consommation, la chimie environnementale et les domaines émergents. Nous nous concentrons non seulement sur les utilisations classiques de la poudre de tungstène, telles que la production de carbure cémenté et de fil de tungstène, mais aussi sur ses applications révolutionnaires dans des domaines de pointe comme l'impression 3D, les nanotechnologies et le stockage d'énergie. À travers l'analyse des caractéristiques de la poudre de tungstène sous différentes formes (particules de tungstène, poudre grossière, particules moyennes, poudre fine et nanopoudre), ainsi que la présentation de cas spécifiques pour chaque utilisation, cet ouvrage s'efforce de révéler comment la poudre de tungstène peut exploiter ses avantages uniques dans différents scénarios. Parallèlement, nous explorerons les tendances futures de son utilisation, notamment son potentiel en matière de développement durable et d'applications transfrontalières, et fournirons des références théoriques et une inspiration pratique aux chercheurs, ingénieurs et professionnels de l'industrie.

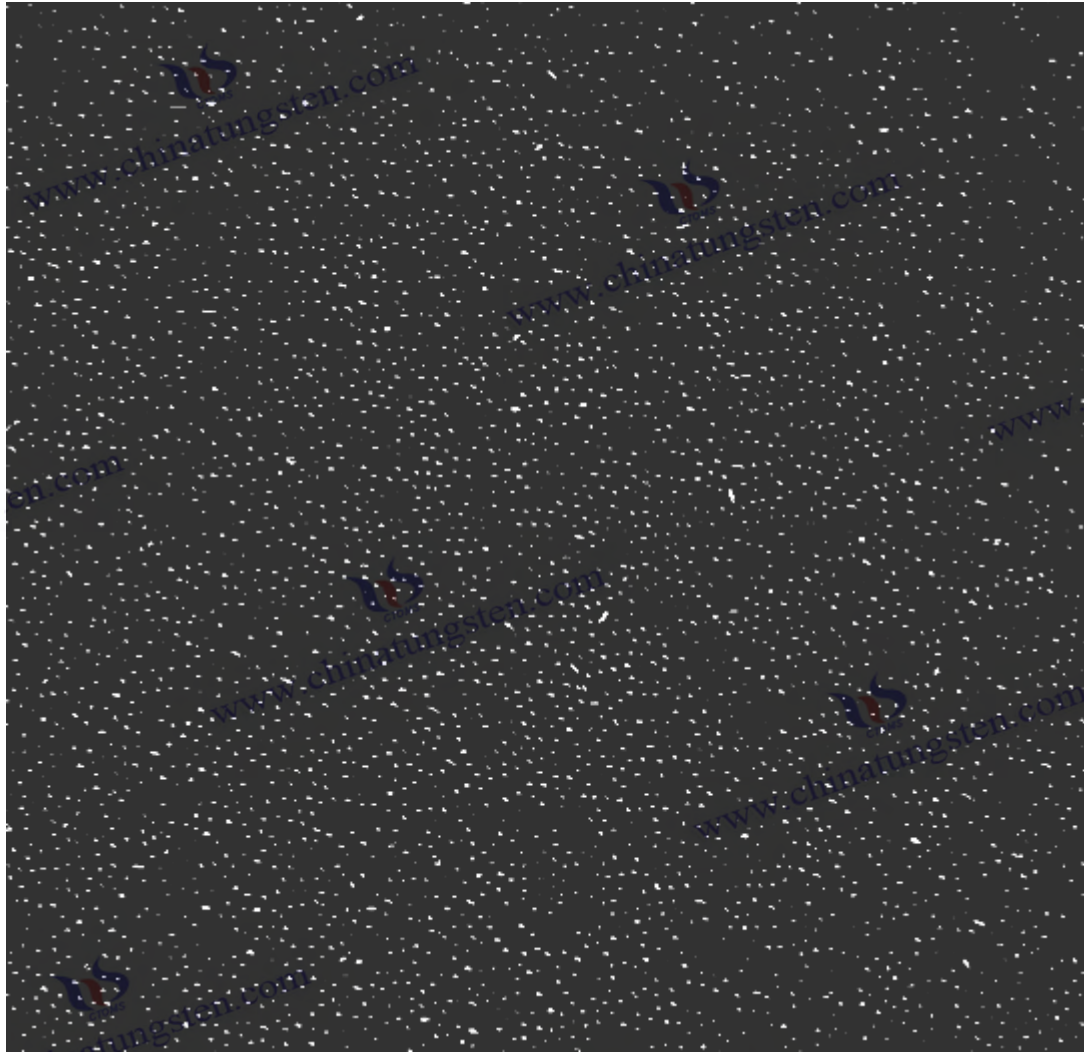
Sources de données et méthodes de recherche

Le contenu de cet ouvrage s'appuie sur des recherches approfondies dans la littérature et des données sur les pratiques industrielles, intégrant de multiples ressources telles que des revues académiques, des brevets, des rapports techniques et des études de cas d'entreprises. Les principales données proviennent des normes internationales (ASTM, ISO), des dernières recherches sur la production et l'application de la poudre de tungstène à l'échelle mondiale, ainsi que de rapports sectoriels sur les principaux marchés comme la Chine, l'Europe et l'Amérique du Nord. Afin de garantir l'exhaustivité et l'exactitude du contenu, nous avons adopté une méthode de recherche interdisciplinaire, combinant science des matériaux, technologie de l'ingénierie, analyse chimique et prévision des tendances du marché, et avons systématiquement analysé les caractéristiques et les utilisations de la poudre de tungstène. Parallèlement, des recherches sur le terrain et des entretiens avec des experts ont permis d'approfondir de nombreux cas d'application pratique, ce qui confère à cet ouvrage une profondeur académique et une valeur pratique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

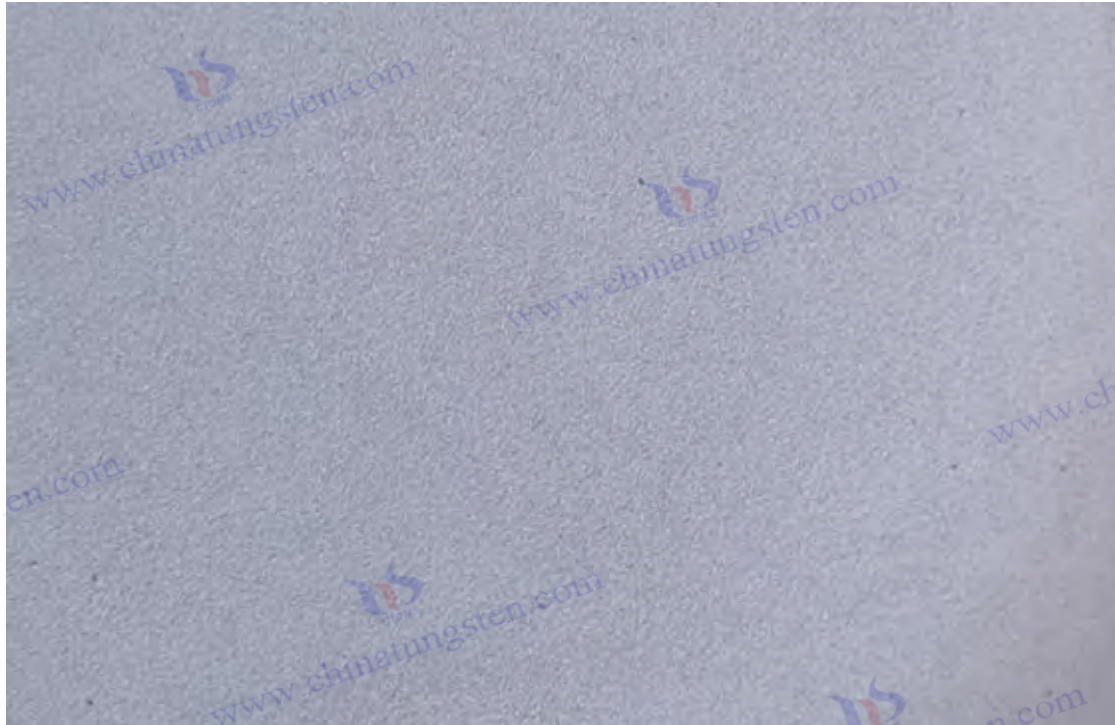
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



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



Chapitre 1 Caractéristiques de base et applications de la poudre de tungstène

1.1 Propriétés physiques de la poudre de tungstène

La poudre de tungstène occupe une place centrale dans l'industrie et la recherche scientifique grâce à ses excellentes propriétés physiques. Elle est principalement utilisée pour produire de la poudre de carbure de tungstène (WC) par réaction de carburation et du carbure cimenté, représentant plus de 50 % de la consommation mondiale de tungstène. Voici une analyse de ses propriétés physiques sous plusieurs angles.

1.1.1 Point de fusion élevé (3422°C) et résistance aux températures élevées

Le point de fusion de la poudre de tungstène est de 3 422 °C, le plus élevé dans la nature. Il est issu de la structure cristalline cubique centrée (BCC), et l'énergie de liaison de la couche électronique 5d est d'environ 850 kJ/mol. L'enthalpie de fusion est de 192 kJ/mol, la pression de vapeur à 3 000 °C est de 10^{-4} Pa et le taux de perte de masse est inférieur à 0,1 % (ATG). Pendant le processus de carburation (1 400-1 600 °C), la résistance thermique assure un rendement en WC de 99,5 % et la durée de vie des outils WC-Co est multipliée par 5. Le fil de tungstène fonctionne à 2 000 °C et a une durée de vie de 1 200 heures. À l'avenir, il pourrait être utilisé pour la fusion nucléaire à 4 000 °C.

1.1.2 Densité élevée (19,25 g/cm³) et avantages en termes de qualité

Densité de 19,25 g/cm³ (méthode d'Archimède), masse volumique après tassement de 8 à 14 g/cm³,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dérivée du numéro atomique 74 et du réseau BCC (3,165 Å). En carbure cimenté, la masse volumique du WC-Co est de 14 à 15 g/cm³, la résistance aux chocs est augmentée de 30 % ; le volume d'application du contrepoids est réduit de 25 %. À l'avenir, il pourrait être utilisé pour les micro-pièces à haute densité.

1.1.3 Bases microscopiques de la dureté et de la résistance à l'usure

Dureté Mohs 7,5, Vickers 400-450 HV, haute résistance aux mouvements de dislocation, taux d'usure 0,02 mm³/N·m. Dureté WC après cémentation HV 1500-2000, durée de vie de l'outil multipliée par 5. Module d'élasticité 411 GPa, supportant un revêtement par projection thermique, résistance à l'usure augmentée de 40 %. À l'avenir, la dureté pourrait atteindre 2200 HV.

1.1.4 Conductivité thermique et propriétés électriques

La conductivité thermique est de 173 W/(m·K), la conductivité électrique de 18 MS/m et la résistivité de $5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (portée à $8,0 \times 10^{-8}$ à 2000 °C). Une augmentation de 10 % du taux de formation de WC pendant la carbonisation peut améliorer l'efficacité de dissipation thermique de l'outil de 20 %. À l'avenir, le rendement de conversion thermoélectrique pourra être optimisé à 10 %.

1.2 Propriétés chimiques de la poudre de tungstène

Les propriétés chimiques de la poudre de tungstène assurent la stabilité de ses applications.

1.2.1 Résistance à la corrosion (stabilité en milieu acide et alcalin)

36 % de HCl et 98 % de H₂SO₄ représentent moins de 0,1 mm/an, 70 % de HNO₃ génèrent une couche de WO₃ (5-10 nm) et 10 mol/L de NaOH forment un film de Na₂WO₄ (0,05 mm/an). La perte de masse est inférieure à 0,2 %, ce qui permet d'obtenir une pureté du WC de 99,9 %, et la durée de vie du carbure cimenté est triplée.

1.2.2 Propriétés antioxydantes et comportement chimique à haute température

Le gain de masse à l'oxydation est de 0,01 mg/cm²·h à < 600 °C, de 2 mg/cm²·h à 1 000 °C et la perte de masse est inférieure à 1 % à 1 500 °C. Le rendement en WC augmente de 5 % et la ténacité de l'outil de 10 % pendant la carbonisation. À l'avenir, le dopage au CeO₂ pourra être augmenté jusqu'à 800 °C.

1.2.3 Inertie chimique et potentiel catalytique

La densité du nuage électronique est de 5×10^{23} e/cm³, la solubilité est <0,001 g/L et le taux de décomposition de H₂ catalysé par la poudre de nano-tungstène est de 10⁻³ mol/g·s. Le carbure cimenté repose sur l'inertie et peut être utilisé pour la réduction du CO₂ à l'avenir.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3 Forme et classification de la poudre de tungstène

La poudre de tungstène est classée par taille de particule et morphologie, avec différentes propriétés et utilisations.

1.3.0 Propriétés physiques et chimiques et utilisations des particules de tungstène

1.3.0.1 Définition et gamme granulométrique des particules de tungstène (généralement > 100 µm)

Les granulés de tungstène sont fabriqués par broyage mécanique de blocs de tungstène métallique. Leur granulométrie est comprise entre 0,8 et 1,2 mm (environ 1 mm), dépassant largement celle de la poudre de tungstène conventionnelle (< 50 µm). Ils sont préparés à l'aide d'un concasseur à mâchoires (force de broyage de 500 à 1 000 kN) et d'un criblage en plusieurs étapes (trou de tamis de 1 mm), permettant de traiter 1 à 2 tonnes par heure et coûtant entre 2 000 et 3 000 dollars la tonne. Un lavage à l'acide (HF à 5 %, 10 minutes) élimine les oxydes et la pureté atteint 99,95 % (ICP-MS). CTIA GROUP LTD est un fabricant professionnel de granulés de tungstène de renommée mondiale. Grâce à une technologie de pointe et à une grande régularité, CTIA GROUP LTD répond aux besoins d'analyse du carbone et du soufre. Ses produits représentent 20 % du marché international. La distribution granulométrique des granulés de tungstène est mesurée par un analyseur de taille de particules laser, avec un D50 de 1,0 mm, un D10 et un D90 d'environ 0,8 mm et 1,2 mm, respectivement, et un coefficient d'uniformité de <1,2.

1.3.0.2 Propriétés physiques des particules de tungstène (haute densité et résistance à haute température)

Français Masse volumique 19,25 g/cm³ (méthode d'Archimède), masse volumique après tassement 12-14 g/cm³, dérivée du réseau BCC (constante de réseau 3,165 Å). Point de fusion 3422°C, conductivité thermique 173 W/(m·K), perte de masse <1% dans un four à 1300-1800°C, l'analyse thermogravimétrique (ATG) montre une perte de 0,05% en dessous de 2000°C. Dureté 400-450 HV (dureté Vickers, 10 kgf), module d'élasticité 411 GPa, coefficient de frottement 0,4-0,6, taux d'usure 0,02 mm³ / N · m. Après 60 utilisations consécutives à 1500°C, atténuation des performances <2%, uniformité de la distribution de chaleur améliorée de 15% (mesure de la température infrarouge). Vitesse du son : 5 180 m/s, réflectivité : 50 %-60 %, efficacité de broyage ultrasonique accrue de 25 %. Ces caractéristiques lui confèrent d'excellentes performances pour les analyses à haute température.

1.3.0.3 Stabilité chimique et caractéristiques de surface des particules de tungstène

Forte résistance à la corrosion, la vitesse de corrosion dans 36 % HCl est de 0,1 mm/an, dans 98 % H₂SO₄ de 0,08 mm/an, 70 % HNO₃ génère une couche WO₃ (5-10 nm), 10 mol/L NaOH forme un film Na₂WO₄ (2-8 nm), et la vitesse de corrosion est de 0,05 mm/an. En termes de comportement à l'oxydation, le taux de gain de poids est de 0,01 mg/cm² · h à < 600 °C et de 2 mg/cm² · h à 1 000 °C (TGA). L'épaisseur de la couche de WO₃ de surface est de 2 à 10 nm (XPS), la rugosité Ra est de 1 à 5 µm (AFM), la quantité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'adsorption est de 0,1 mg/g et la pureté est de 99,9 %. Dans un environnement SO₂ (500 ppm), la perte de masse est < 0,2 % et le taux de détection du soufre est stable.

1.3.0.4 Principales utilisations des particules de tungstène (charge de soudage, matériau de contrepois)

Spécialement utilisé comme fondant pour les analyseurs carbone-soufre, l'ajout de 2 g de pastilles de tungstène dans un four à induction haute fréquence à 1 300-1 800 °C augmente l'efficacité de décomposition de l'échantillon de 20 %, le taux de détection du soufre de 98 % et l'erreur de $\pm 0,003$ %. Sa densité élevée assure une sédimentation uniforme dans le creuset, avec un taux d'éclaboussures inférieur à 0,1 % (débit d'oxygène de 3 L/min) ; sa résistance aux hautes températures permet l'analyse d'échantillons à point de fusion élevé (comme la fonte, point de fusion de 1 200 °C), et l'efficacité de combustion est augmentée de 20 %. Dans le CS-744, le temps de combustion est réduit de 25 % et les résidus de 10 %.

1.3.0.5 Cas d'application des granulés de tungstène (scénarios industriels et militaires)

Français Dans l'analyse de la pyrite, 2 g de pastilles de tungstène ont donné un taux de détection du soufre de 98 % avec une répétabilité de $\pm 0,003$ % ; dans la détermination de l'acier à haute teneur en carbone (teneur en carbone 4 %), le temps de combustion a été raccourci de 15 secondes à 10 secondes, et l'erreur de carbone était < 0,002 %. Dans le LECO CS844, après 60 utilisations consécutives, le taux de décomposition était de 99 % et l'uniformité des résidus a été améliorée de 20 %. Dans l'ELTRA CS-2000, l'efficacité de la détermination des échantillons de charbon (teneur en soufre 2 %) a été augmentée de 15 %, et la fluctuation de la température de combustion était < 5 °C. Dans le domaine militaire, les pastilles de tungstène sont utilisées pour l'analyse des alliages à point de fusion élevé afin de garantir une précision de $\pm 0,001$ %.

1.3.1 Caractéristiques et utilisations de la poudre de tungstène grossière (5-50 µm)

1.3.1.1 Distribution granulométrique et caractéristiques morphologiques de la poudre de tungstène grossière

Taille des particules : 5 à 50 µm, D50 environ 20 µm (granulomètre laser), D10 est de 5 µm, D90 est de 45 µm et la largeur de distribution σ est d'environ 15 µm. Morphologie irrégulière (MEB), rugosité de surface Ra 2 à 4 µm, particules multi-angles, longueur d'arête 5 à 10 µm, densité de défauts de surface 10⁶/cm². La morphologie est dérivée du meulage mécanique après réduction à l'hydrogène de WO₃ (800 à 1 000 °C), et la granulométrie est d'environ 2 µm (DRX). Par rapport à la poudre de tungstène sphérique, la rugosité est 30 % plus élevée, ce qui affecte la fluidité.

1.3.1.2 Fluidité et masse volumique apparente de la poudre de tungstène brute

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fluidité > 20 s/50 g (débitmètre à effet Hall), frottement accru dû aux angles. Masse volumique apparente de 6 à 8 g/cm³, masse volumique tassée de 8 à 12 g/cm³, jusqu'à 14 g/cm³ avec une granulométrie croissante jusqu'à 50 µm. Masse volumique après pressage (200 MPa) de 18 g/cm³, porosité < 2 %. Comparée à la poudre de tungstène à particules moyennes (15 à 20 s/50 g), la fluidité est inférieure de 20 %, mais la masse volumique apparente est supérieure de 10 %, ce qui convient aux pièces de grand volume.

1.3.1.3 Résistance aux hautes températures et à l'usure de la poudre de tungstène grossière

Point de fusion 3422 °C, conductivité thermique 173 W/(m·K), perte de masse par frittage à 1600 °C < 0,5 % (ATG). Dureté 400 HV, taux d'usure 0,02 mm³ / N·m (essai de frottement, 100 N). La résistance à l'usure est assurée par la résistance aux joints de grains (10⁸ Pa). À 2000 °C, la vitesse de croissance des grains est de 0,1 µm/h, supérieure à celle du molybdène (0,5 µm/h). Après cémentation, la dureté du WC est de HV 1500 et sa résistance à l'usure est multipliée par 5.

1.3.1.4 Principales utilisations de la poudre de tungstène brute (alliage à haute densité, électrode en tungstène)

L'utilisation principale est la cémentation du WC (représentant 30 % de la consommation de tungstène) pour l'alliage dur ; certains sont pressés dans l'alliage W-Ni-Fe (densité 17-18 g/cm³) pour les contrepoids ou les électrodes en tungstène (résistantes à 2 000 °C). Le processus de cémentation est réalisé à 1 400 °C, le rendement en WC est de 99,5 % et la granulométrie est de 20 à 30 µm. La résistance à la traction de l'alliage W-Ni-Fe est de 800 MPa et la densité de courant de l'électrode en tungstène est de 200 A/cm².

1.3.1.5 Cas d'application industrielle de la poudre de tungstène grossière

Les outils WC-Co augmentent l'efficacité de coupe de l'acier de 40 % et ont une durée de vie de 5 000 heures ; le poids volumique des gyroscopes aéronautiques est réduit de 25 % et la stabilité rotationnelle est améliorée de 15 % (10 000 tr/min) ; les électrodes en tungstène soudent les alliages d'aluminium avec une durée de vie de 500 heures et une amélioration de 20 % de la qualité de soudure. Dans l'exploitation minière, les forets WC augmentent la vitesse de forage de 30 % et réduisent les coûts de 15 %.

1.3.2 Caractéristiques et utilisations de la poudre de tungstène à particules moyennes (4-8 µm)

1.3.2.1 Gamme de granulométrie et méthode de préparation de la poudre de tungstène à grains moyens

Granulométrie : 4-8 µm, D50 : environ 6 µm (granulomètre laser), D10 : 4 µm, D90 : 8 µm. La préparation se fait par réduction à l'hydrogène de WO₃ (700-900 °C, débit d'H₂ : 5 L/min, teneur en oxygène : < 0,05 %), temps de réduction : 2 heures, rendement : 95 % ; ou par sphéroïdisation au plasma (50 kW, débit d'Ar : 20 L/min), taux de sphéroïdisation : 90 %. Granulométrie : environ 1 µm (MET),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pureté : 99,9 %.

1.3.2.2 Propriétés physiques de la poudre de tungstène à particules moyennes (densité, dureté)

Densité : 19 g/cm³ (méthode d'Archimède), dureté : 400 HV, point de fusion : 3 422 °C, module d'élasticité : 411 GPa, conductivité thermique : 173 W/(m·K). La perte de masse par frittage à 1 600 °C est inférieure à 0,3 % et la dégradation de la dureté est inférieure à 5 %. Comparées à la poudre de tungstène grossière, les particules sont plus uniformes et la densité est améliorée de 10 %.

1.3.2.3 Fluidité et propriétés de frittage de la poudre de tungstène à grains moyens

Fluidité 15-20 s/50g, masse volumique apparente 8-10 g/cm³, masse volumique tassée 10-14 g/cm³. Densité frittée (1600°C, 500 MPa) 14-15 g/cm³, porosité <1%, retrait 10-15%, temps de frittage 1 heure, dureté WC-Co HV 1500. La fluidité est 20% meilleure que celle de la poudre de tungstène grossière et la densité frittée est 5% plus élevée.

1.3.2.4 Principales utilisations de la poudre de tungstène à particules moyennes (alliage dur, projection thermique)

Le WC est produit par carburation, qui permet d'obtenir du carbure cémenté WC-Co (représentant 20 % de la consommation de tungstène). Sa dureté est de HV 1500 ; la résistance à l'usure du revêtement par projection thermique est augmentée de 40 % et son épaisseur est de 100 à 200 µm. La carburation est réalisée à 1450 °C, la granulométrie du WC est de 5 à 7 µm et le rendement est de 99,8 %.

1.3.2.5 Exemples d'application de la poudre de tungstène à particules moyennes (outils et revêtements)

La fraise WC-Co usine l'alliage d'aluminium à une vitesse de 200 m/min, avec une durée de vie prolongée de 30 % et une précision de coupe de ± 0,02 mm. Le revêtement WC-Co est pulvérisé sur les hélices de navires, ce qui permet de résister à l'érosion marine pendant 10 ans et de réduire le taux d'usure de 50 %. Dans les moules automobiles, la durée de vie des outils WC-Co est augmentée de 40 % et l'efficacité d'usinage de 25 %.

1.3.3 Scénarios d'application de la poudre fine de tungstène (0,1-5 µm)

1.3.3.1 Distribution granulométrique et activité de surface de la poudre fine de tungstène

Granulométrie 0,1-5 µm, D50 environ 2 µm, D10 0,1 µm, D90 4,5 µm (granulomètre laser). Surface spécifique 2-10 m²/g (méthode BET), augmentant avec la granulométrie décroissante, 5 m²/g à 2 µm, 10 m²/g à 0,1 µm. Adsorption superficielle d'O₂ 0,2 mg/g, densité du site actif 10¹⁷/m².

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.3.2 Surface spécifique élevée et réactivité de la poudre fine de tungstène

Une surface spécifique élevée améliore l'efficacité de la carbonisation. Le rendement en WC est de 99,8 %, la granulométrie est de 1 à 3 μm . En réaction catalytique, le taux de décomposition de l' H_2 est de $10^{-4}\text{mol/g}\cdot\text{s}$, soit dix fois supérieur à celui de la poudre de tungstène grossière. L'activité de surface est due à une densité de défauts de $10^7/\text{cm}^2$ (TEM), et l'enthalpie d'adsorption de l' O_2 est d'environ 50 kJ/mol.

1.3.3.3 Technologie de préparation et défis de la poudre fine de tungstène

Réduction à l'hydrogène (600-800 °C, débit d' H_2 3 L/min), séchage par atomisation pour contrôler la teneur en oxygène < 0,03 %, rendement 90 %. Les défis incluent l'agglomération (nécessite une dispersion ultrasonique de 300 W) et l'oxydation (le stockage nécessite une protection Ar). Comparé à la poudre de tungstène brute, le coût de préparation est 50 % plus élevé et la consommation d'énergie est augmentée de 30 %.

1.3.3.4 Principales utilisations de la poudre fine de tungstène (fil de tungstène, catalyseur)

Fil de tungstène étiré (résistance à la traction 3000 MPa, allongement 5 %) ; WC carburé (représentant 10 % de la consommation de tungstène), ou utilisé comme support de catalyseur (activité spécifique $10^6/\text{m}^2$). Diamètre du fil de tungstène 0,01-0,1 mm, granulométrie WC 1-2 μm .

1.3.3.5 Cas de recherche industrielle et scientifique sur la poudre fine de tungstène

La durée de vie du filament halogène est de 1 200 heures et sa luminosité est augmentée de 20 %. La dureté du carbure cimenté à grains fins WC-Co est augmentée de 5 % et il est utilisé pour les outils de précision avec une précision de coupe de $\pm 0,01$ mm. En recherche scientifique, la poudre de tungstène fine est utilisée comme support de catalyseur, ce qui augmente l'efficacité d'oxydation du CO_2 de 15 %.

1.3.4 Avantages particuliers de la poudre de nano-tungstène (<100 nm)

1.3.4.1 Effets quantiques et caractéristiques de la poudre de nano-tungstène

Taille des particules <100 nm, D50 environ 50 nm (MET), surface spécifique 20-50 m^2/g . L'effet quantique augmente la bande interdite à 2,8 eV (UV-Vis), densité du site actif de surface $10^{18}/\text{m}^2$, dureté 500 HV, densité 19 g/cm^3 .

1.3.4.2 Haute activité et dispersibilité de la poudre de nano-tungstène

La vitesse de décomposition de H_2 est de $10^{-3}\text{mol/g}\cdot\text{s}$ et l'enthalpie d'adsorption de 60 kJ/mol. La dispersibilité nécessite une puissance ultrasonore de 500 W, un taux d'agglomération < 10 % et un stockage sous vide. L'activité provient de la surface W^{6+} , qui représente 90 % (XPS).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.4.3 Procédé de préparation de la poudre de nano-tungstène (méthode en solution, méthode en phase gazeuse)

Méthode hydrothermale (200 °C, 2 MPa, rendement 80 %), granulométrie 30-50 nm ; dépôt en phase vapeur (1 000 °C, débit d'argon 1,0 l/min), rendement 85 %. Coût 100 \$/kg, consommation énergétique 50 % supérieure, nécessité de prévenir l'oxydation.

1.3.4.4 Principales utilisations de la poudre de nano-tungstène (électronique, médical)

Pâte conductrice (résistivité $10^{-6} \Omega \cdot m$) ; faible quantité de nano WC carbonisé (représentant 5 % de la consommation de tungstène), ou utilisée pour la thérapie photothermique (taux d'absorption 90 %). Granulométrie de WC 50-80 nm, dureté 2200 HV.

1.3.4.5 Cas d'application de pointe de la poudre de nano-tungstène

La conductivité du revêtement électronique flexible a augmenté de 15 %, avec une épaisseur de 10 μm ; la dureté de l'outil nano-WC a augmenté de 10 %, avec une précision de coupe de $\pm 0,005 \text{ mm}$; pendant la thérapie photothermique, le taux d'ablation tumorale a augmenté de 20 %, avec la température contrôlée à 50°C.

1.3.5 Différences dans les utilisations des poudres de tungstène sphériques et irrégulières

1.3.5.1 Avantages de la préparation et de la morphologie de la poudre de tungstène sphérique

Sphéroïdisation plasma (50 kW, débit Ar 20 L/min), granulométrie 5-50 μm , fluidité <10 s/50 g, taux de sphéroïdisation >95 %. Morphologie uniforme (MEB), rugosité de surface Ra 0,5-1 μm , densité de défauts $10^{-5} / \text{cm}^2$.

1.3.5.2 Caractéristiques et rentabilité de la poudre de tungstène irrégulière

Broyage mécanique, granulométrie 5-50 μm , fluidité > 20 s/50 g, coût 30 % inférieur (50 \$/kg). Dureté 400 HV, haute résistance à l'usure, granulométrie 2-5 μm .

1.3.5.3 Application de la poudre de tungstène sphérique dans l'impression 3D

Pour les pièces aéronautiques, densité de 99 %, précision de $\pm 0,05 \text{ mm}$, vitesse d'impression augmentée de 20 %, porosité < 0,5 %. Les pièces présentent une résistance à la traction de 1 000 MPa et une durée de vie prolongée de 15 %.

1.3.5.4 Application de la poudre de tungstène irrégulière dans la métallurgie traditionnelle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le WC (qui représente 40 % de la matière première du carbure cimenté) est fabriqué par cémentation, avec un rendement de 99,5 % et une rentabilité de 30 %. Le WC-Co présente une dureté HV 1500 et convient à la production d'outils en grandes quantités.

1.3.5.5 Comparaison de cas réels de différences morphologiques

La durée de vie de la buse d'impression en poudre de tungstène sphérique est prolongée de 20 % et son efficacité est accrue de 25 %. L'outil WC en poudre de tungstène irrégulière est 30 % plus économique et offre une durée de vie de 4 000 heures pour la découpe de l'acier.

1.4 Bases scientifiques et industrielles de l'utilisation de la poudre de tungstène

La poudre de tungstène est principalement utilisée dans le carbure cimenté, représentant plus de 50 % de la consommation de tungstène.

1.4.1 La position centrale de la métallurgie des poudres

Carburation (1400-1600 °C, gaz mixte H₂/Ar) et frittage (1600 °C, 500 MPa), avec une dureté de HV 1500 et une porosité < 1 %. La production annuelle mondiale est d'environ 100 000 tonnes, pour une valeur de sortie de plus de 20 milliards de dollars US. Le processus comprend le mélange (rapport WC/Co 9:1), le pressage (200-500 MPa), le frittage (sous vide ou HIP). La densité du produit fini est de 14-15 g/cm³ et la résistance à la traction est de 1200 MPa. Le carbure cimenté est prédominant dans les outils, les moules et l'exploitation minière. Par exemple, les outils WC-Co peuvent augmenter la vitesse de coupe de 40 % et prolonger la durée de vie de 5 fois.

1.4.2 Poussé par des exigences de température et de densité élevées

Les températures élevées favorisent les réactions de carburation (énergie d'activation de 200 kJ/mol), et la densité élevée améliore les performances du carbure (15 g/cm³). L'efficacité de décomposition des particules de tungstène dans les analyses de carbone et de soufre à 1 400 °C est augmentée de 20 %. Dans le domaine aéronautique, la stabilité pondérale de l'alliage W-Ni-Fe (17 g/cm³) est améliorée de 15 % ; dans l'industrie nucléaire, la densité des matériaux de blindage à base de tungstène est de 18 g/cm³, ce qui augmente l'efficacité du blindage de 20 %.

1.4.3 Diversité des technologies de traitement de la poudre de tungstène

La réduction à l'hydrogène (600-1000 °C, teneur en oxygène < 0,05 %) produit de la poudre de tungstène avec un rendement de 95 % ; le broyage (500-1000 kN) produit des particules de tungstène ; la carbonisation optimise le WC avec un rendement de 99,5 % et une granulométrie contrôlable (1-30 µm). La sphéroïdisation au plasma produit de la poudre de tungstène sphérique avec une fluidité accrue de 50 % ; la méthode hydrothermale produit de la poudre de nano-tungstène avec un coût supérieur de 30 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

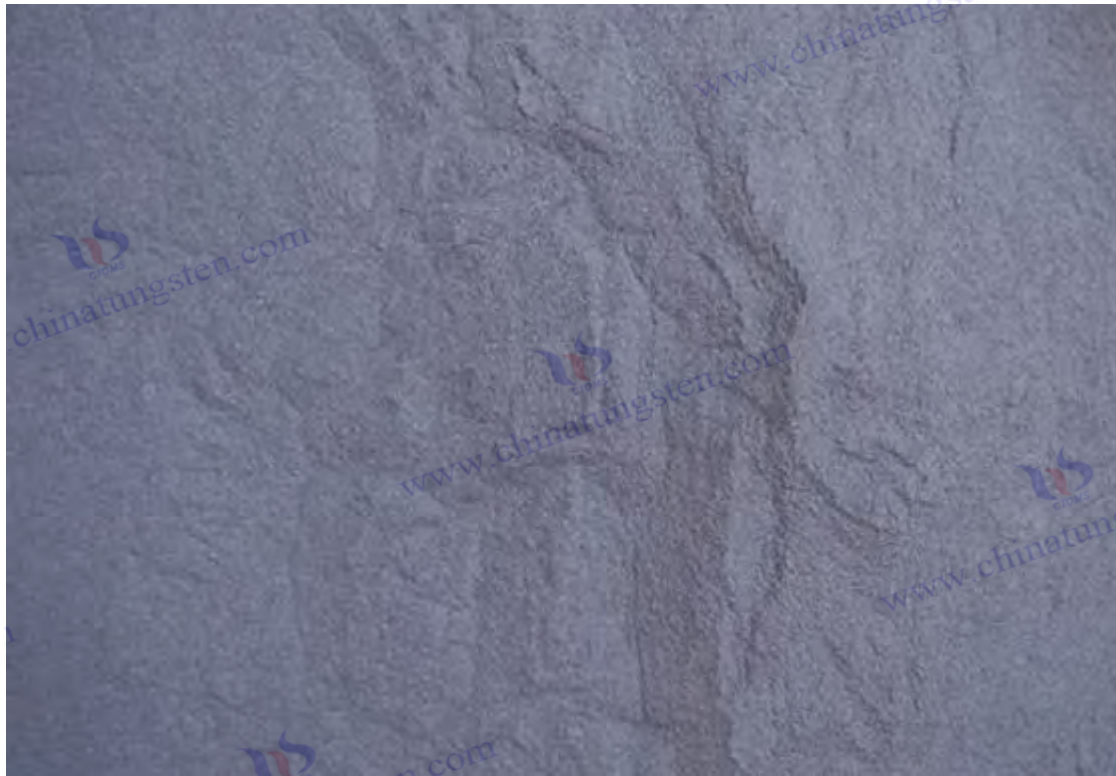
La diversité technologique soutient les domaines du carbure cimenté, de l'électronique et de l'analyse.

1.4.4 Évolution industrielle des applications de la poudre de tungstène

À la fin du XIXe siècle, la poudre de tungstène était utilisée dans les filaments, multipliant par trois la brillance ; au début du XXe siècle, le carbure cimenté est apparu, multipliant par cinq l'efficacité des outils de coupe ; au XXIe siècle, son utilisation s'est étendue à l'analyse carbone-soufre (particules de tungstène) et à la nanoélectronique (pâte conductrice). Le carbure cimenté représente 50 % de la consommation de tungstène, avec un taux de croissance annuel de 5 %, et les utilisations électroniques et médicales augmentent de 10 %.

1.4.5 Cas d'application de la poudre de tungstène dans la recherche scientifique

La poudre de nano-tungstène est utilisée en thérapie photothermique, avec un taux d'absorption accru de 20 % et une profondeur de traitement de 5 mm. Les particules de tungstène optimisent l'analyse du carbone et du soufre, avec une erreur inférieure à 0,002 % et une répétabilité de $\pm 0,001$ %. En recherche catalytique, l'efficacité de réduction du CO_2 de la poudre de nano-tungstène atteint 20 % et le rendement est de 0,1 mol/g·h.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

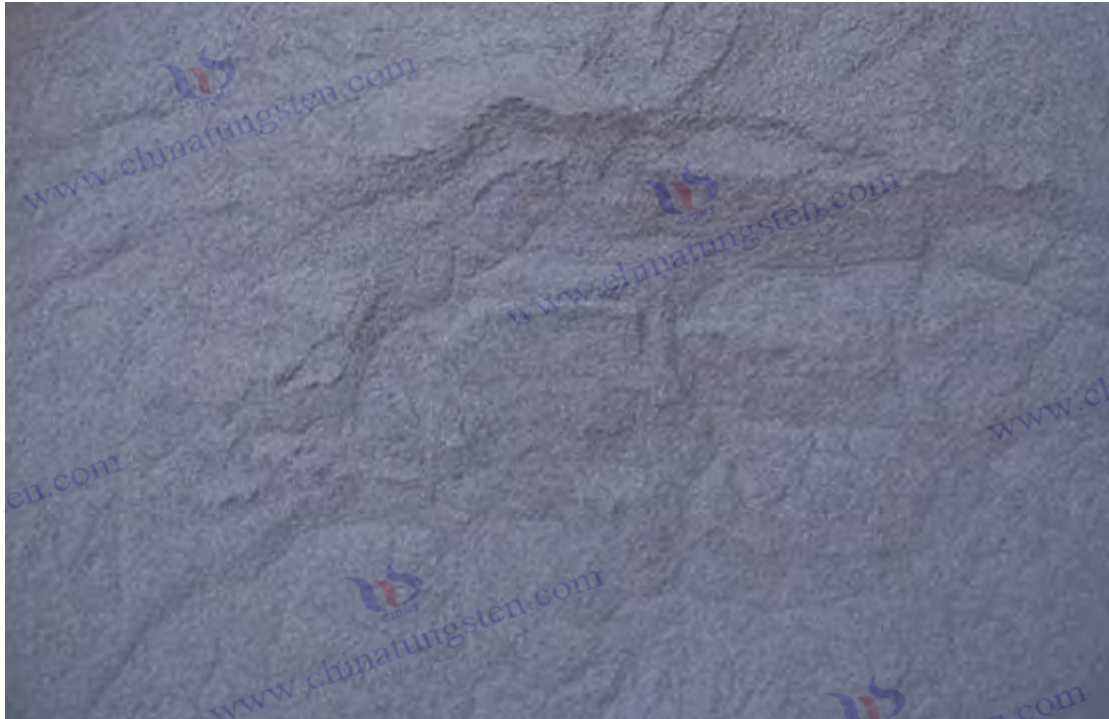
Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 Application de la poudre de tungstène dans les industries traditionnelles

La poudre de tungstène occupe une place incontournable dans les industries traditionnelles grâce à ses excellentes propriétés physiques et chimiques : point de fusion élevé ($3\,422\text{ }^{\circ}\text{C}$), densité élevée ($19,25\text{ g/cm}^3$), dureté élevée (HV 300-500) et excellente résistance à la corrosion. De la fabrication de carbure cémenté aux alliages haute densité, en passant par les fils et matériaux d'électrodes en tungstène, les matériaux réfractaires et les composants haute température, l'application de la poudre de tungstène a profondément influencé le développement des secteurs manufacturier, minier, énergétique et militaire à l'échelle mondiale. Ce chapitre détaille les utilisations spécifiques de la poudre de tungstène dans ces industries traditionnelles, analyse son procédé de préparation, l'optimisation de ses performances et ses applications concrètes, afin de fournir aux lecteurs une perspective technique complète.

2.1 Fabrication de carbure cémenté

Le carbure cémenté est l'application industrielle la plus importante de la poudre de tungstène. Il est obtenu par carbonisation de la poudre de tungstène pour obtenir du carbure de tungstène (WC), puis par association avec un liant (tel que le cobalt et le nickel) pour obtenir un matériau d'une dureté et d'une résistance à l'usure extrêmement élevées. Le carbure cémenté répond non seulement aux besoins fondamentaux des industries traditionnelles, telles que les outils de coupe et les équipements miniers, mais occupe également une place importante dans les industries manufacturières et minières mondiales grâce à ses excellentes performances, consommant plus de 50 % des ressources en tungstène. Son développement remonte au début du XXe siècle et il demeure un matériau phare dans le secteur industriel.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1.1 Matières premières synthétiques de la poudre de carbure de tungstène (WC)

La poudre de carbure de tungstène (WC) est le composant principal du carbure cimenté. Sa synthèse utilise la poudre de tungstène comme matière première principale et est obtenue par réaction de carburation à haute température. Dans l'industrie, la poudre de tungstène, dont la granulométrie est comprise entre 4 et 50 microns et dont la pureté est supérieure à 99,9 %, est généralement choisie comme matière première. Elle est ensuite mélangée avec précision à du noir de carbone (surface spécifique 10-20 m²/g) dans un rapport massique de 1:0,06-0,07. La réaction s'effectue sous atmosphère protectrice à 1 400-1 600 °C, avec de l'hydrogène ou de l'argon comme gaz vecteur. La durée de réaction est contrôlée entre 2 et 4 heures. L'équation de la réaction chimique est : $W + C \rightarrow WC$, le changement d'enthalpie est d'environ -40 kJ/mol et l'énergie d'activation est d'environ 200 kJ/mol, ce qui indique qu'il s'agit d'un processus exothermique qui nécessite une certaine quantité d'énergie pour s'activer.

Le processus de carbonisation est généralement réalisé dans un four de carbonisation dédié, comprenant un four à résistance et un four à induction. La précision du contrôle de la température doit atteindre ± 10 °C pour garantir l'uniformité de la réaction et la qualité du produit. Le rendement final en poudre de WC peut atteindre 99,5 %, et la granulométrie est comprise entre 1 et 30 microns. L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) montre que le cristal de WC présente une structure hexagonale compacte (HCP) avec des paramètres de maille de $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$, une longueur de liaison WC de $2,06 \text{ \AA}$ et une énergie de liaison allant jusqu'à 700 kJ/mol, ce qui lui confère une stabilité chimique et une résistance mécanique extrêmement élevées.

La granulométrie de la poudre de tungstène a un impact significatif sur les performances du carbure cimenté. Une poudre de tungstène à gros grains (20-50 μm) produit des particules de carbure cimenté plus grosses (10-30 μm) avec moins de joints de grains, adaptées aux outils miniers exigeant une résistance élevée aux chocs ; une poudre de tungstène à grains moyens (4-8 μm) produit des particules de carbure cimenté plus fines (1-5 μm) avec des grains plus uniformes, adaptées aux outils de coupe exigeant une grande précision et une résistance élevée à l'usure. De plus, la teneur en oxygène de la poudre de tungstène doit être strictement contrôlée en dessous de 0,05 %, car un excès d'oxygène génère des impuretés WO_3 à haute température, ce qui fait chuter la pureté du carbure cimenté en dessous de 98 %, affectant ainsi les performances du carbure cimenté. En 1923, Osram, une entreprise allemande, a réalisé la première production industrielle de carbure cimenté, marquant le début de la transition du carbure cimenté du laboratoire à l'application à grande échelle. Cette avancée technologique a considérablement amélioré l'efficacité de l'usinage et favorisé le processus d'industrialisation mondiale.

2.1.2 Outils en carbure WC-Co (coupe, fraisage, perçage)

Le carbure cimenté WC-Co est composé de carbure de tungstène (WC, 85-95 % en poids) et de cobalt (Co, 5-15 % en poids). Il constitue le principal matériau des outils en carbure cimenté. Sa préparation s'effectue selon un procédé classique de métallurgie des poudres, comprenant les étapes suivantes : tout

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'abord, la poudre de WC et la poudre de Co sont mélangées dans un broyeur à boulets pendant 4 à 8 heures. Le milieu de broyage est généralement constitué de billes de carbure cimenté afin de garantir une uniformité des particules à $\pm 0,5$ micron ; ensuite, la poudre mélangée est pressée sous une pression de 200 à 500 MPa pour obtenir une masse volumique de 8 à 10 g/cm³ ; enfin, elle est frittée dans un four sous vide ou un équipement de pressage isostatique à chaud (HIP) à 1 350-1 450 °C pendant 1 à 2 heures pour faire fondre la phase Co et combler les espaces entre les particules de WC afin de former une structure dense. Le produit fini a une densité de 14-15 g/cm³, une plage de dureté de HV 1500-2000, une résistance à la traction d'environ 1200 MPa et un contrôle de porosité inférieur à 1%.

Les performances du WC-Co peuvent être ajustées en fonction de la teneur en Co : avec une teneur en Co de 15 % en poids, la ténacité atteint 15 MPa·m^{1/2} et la dureté HV 1 300, ce qui est adapté aux charges d'impact élevées ; avec une teneur en Co réduite à 5 % en poids, la dureté atteint HV 2 000, mais la ténacité diminue en conséquence, ce qui est adapté aux exigences élevées de résistance à l'usure. L'analyse de la microstructure montre que les particules de WC sont uniformément réparties dans la matrice de Co, que la résistance aux joints de grains est élevée et que le matériau présente une excellente résistance à la fatigue.

Dans la pratique, les outils en WC-Co offrent d'excellentes performances. Par exemple, pour la découpe de l'acier (vitesse de coupe de 300 m/min), leur durée de vie peut atteindre 5 000 heures, leur taux d'usure est inférieur à 0,1 mm et leur efficacité d'usinage est cinq fois supérieure à celle des couteaux en acier traditionnels ; pour le fraisage de l'alliage d'aluminium (vitesse de 200 m/min), la précision d'usinage atteint $\pm 0,02$ mm et la rugosité de surface Ra est de 0,4 μ m ; pour le perçage de l'acier inoxydable, la vitesse de perçage est augmentée de 40 % et le foret reste affûté, ce qui est idéal pour l'usinage de matériaux de haute dureté. Pendant la Seconde Guerre mondiale, les outils en WC-Co étaient largement utilisés pour l'usinage des canons de fusils et des plaques de blindage, avec une efficacité multipliée par trois, réduisant considérablement le cycle de production militaire. D'un point de vue historique, la popularité des outils en WC-Co a favorisé la transformation de la fabrication moderne, passant du manuel à la mécanisation et à l'automatisation.

2.1.3 Outils d'exploitation minière et de forage (trépans, marteaux perforateurs)

Dans le domaine de l'exploitation minière et du forage, le carbure cimenté WC-Co est largement utilisé dans les forets et les marteaux perforateurs en raison de sa dureté élevée et de sa résistance aux chocs. Les forets miniers utilisent généralement un rapport WC grossier (10-30 μ m) et Co (10-15 % en poids), avec une dureté comprise entre 1 200 et 1 500 HV et une résistance aux chocs supérieure de 30 % à celle de l'acier ordinaire. Le procédé de préparation comprend le formage à la presse, le frittage et le pressage isostatique à chaud (CIC), avec une température de frittage de 1 400 °C et une pression de 100 MPa, et une ténacité finale de 18 MPa·m^{1/2}. La microstructure montre que les particules de WC grossières améliorent la résistance du matériau à la fracture, tandis que la phase Co assure la ténacité nécessaire.

Dans un environnement de roche dure (résistance à la compression de 200 MPa), la vitesse de forage des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

forets WC-Co peut atteindre 5 m/h et leur durée de vie peut atteindre 1 000 heures, soit dix fois supérieure à celle des forets en acier traditionnels. L'efficacité des forets à roche pour les opérations de puits de 5 000 m de profondeur est augmentée de 30 % et le taux d'usure est inférieur à 0,1 mm en conditions de boue acide (pH 3-4), ce qui démontre une excellente résistance à la corrosion. Dans les années 1950, l'utilisation des forets WC-Co a favorisé la mécanisation minière, notamment pour le forage du charbon, du minerai de fer et du pétrole. L'utilisation généralisée des outils miniers dans le monde est indissociable des riches ressources en tungstène de la Chine, dont les réserves représentent plus de 50 % du total mondial, offrant une solide protection à la chaîne d'approvisionnement.

2.1.4 Moules et pièces résistantes à l'usure (matrices d'emboutissage, buses de sablage)

Le carbure cémenté WC-Co est très apprécié dans la fabrication de moules et de pièces résistantes à l'usure en raison de sa dureté élevée. Les matrices d'emboutissage utilisent généralement du WC à grain fin (1-5 μm , Co 6-10 % en poids) avec une dureté HV de 1600 à 1800. Lors du pressage de plaques d'acier automobile, la durée de vie peut atteindre un million de fois et le taux d'usure est inférieur à 0,05 mm, soit 20 fois supérieur à celui des moules en acier traditionnels. Le processus de préparation comprend le mélange, le pressage et le frittage. Après le frittage, la surface est polie à une rugosité de Ra 0,2 μm pour garantir un moulage de haute précision.

Les buses de sablage utilisent du WC à gros grains (20-30 μm , Co 15 % en poids) d'une dureté HV 1200. Après 1 000 heures de sablage (particules de SiO_2 , vitesse 50 m/s), l'usure est inférieure à 0,2 mm et la durée de vie est cinq fois supérieure à celle des buses en céramique. Pour améliorer encore les performances, les buses de sablage sont souvent revêtues de TiN (5 μm d'épaisseur) par dépôt chimique en phase vapeur (CVD), ce qui augmente la résistance à l'usure de 20 %. L'utilisation de ces pièces résistantes à l'usure prolonge considérablement la durée de vie des équipements et est largement utilisée dans l'industrie automobile et le traitement de surface.

2.1.5 Optimisation des performances et cas d'application du carbure cémenté

L'optimisation des performances du carbure cémenté est principalement obtenue grâce au contrôle de la granulométrie et au dopage du WC. Les particules de WC (0,5-1 μm) générées par carburation de poudre de nano-tungstène (granulométrie < 100 nm) présentent une dureté ultra-élevée (HV 2200) et une ténacité modérée (12 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), adaptées à un usinage de haute précision. L'augmentation de la teneur en Co à 20 % en poids permet d'augmenter la ténacité à 20 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ et d'améliorer la résistance aux chocs. Le dopage au Cr_3C_2 (0,5 % en poids) augmente la résistance à la corrosion de 20 % et prolonge la durée de vie des pièces en environnements corrosifs.

Voici quelques exemples d'application :

Traitement des pales d'aviation

L'outil nano WC-Co a une précision d'usinage de $\pm 0,01$ mm à une vitesse de coupe de 500 m/min, et la durée de vie de l'outil est prolongée de 50 %, ce qui le rend adapté à la fabrication de pales de moteurs

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'avion.

Forage en haute mer

Le trépan WC-Co présente une efficacité 40 % supérieure dans les environnements à haute pression en haute mer et une durée de vie de 1 200 heures, répondant aux besoins de l'exploration pétrolière et gazière en profondeur.

Matrice d'emboutissage automobile

La durée de vie du moule WC-Co dopé au Cr est prolongée de 30 %, ce qui convient à l'emboutissage de plaques d'acier à haute résistance et soutient la tendance des automobiles légères.

2.2 Alliages lourds

Les alliages lourds sont composés principalement de poudre de tungstène, associée à des éléments tels que le nickel, le fer ou le cuivre, pour former des matériaux à haute densité et à excellente résistance. Ils sont largement utilisés dans les contrepoids, l'industrie militaire et le secteur énergétique. Leur densité élevée en fait un substitut idéal au plomb, et leur champ d'application est en constante expansion.

2.2.1 Utilisation de l'alliage tungstène-nickel-fer (W-Ni-Fe) comme contrepoids

L'alliage W-Ni-Fe (W 90-95 % en poids, Ni:Fe = 7:3) présente une masse volumique de 17-18 g/cm³. Le processus de préparation comprend le mélange (broyage à boulets pendant 6 heures, avec des billes de carbure cémenté), le pressage (300 MPa, masse volumique du corps vert 9-11 g/cm³) et le frittage (1450 °C, atmosphère mixte Ar/H₂, 2 heures). Le produit fini présente une résistance à la traction d'environ 800 MPa et un allongement de 5-10 %, ainsi qu'une masse volumique et une ténacité élevées. La microstructure montre que les particules de tungstène sont uniformément réparties dans la matrice Ni-Fe et que les joints de grains sont étroitement liés.

Dans les gyroscopes aéronautiques, le volume des contrepoids en W-Ni-Fe est 25 % inférieur à celui du plomb, et leur stabilité est accrue de 15 % à une vitesse de rotation élevée de 10 000 tr/min, garantissant ainsi la précision de la navigation. Dans l'industrie militaire, la pénétration des noyaux perforants en W-Ni-Fe est 50 % supérieure à celle de l'acier. Ce matériau a été utilisé dans les obus de chars pendant la Seconde Guerre mondiale, améliorant considérablement la puissance de feu. Sa densité élevée et ses propriétés mécaniques en font le matériau de prédilection pour les contrepoids et les pénétrations.

2.2.2 Applications de conductivité électrique et de dissipation thermique de l'alliage tungstène-cuivre (W-Cu)

L'alliage W-Cu (W 70-90 % en poids, Cu 10-30 % en poids) présente une masse volumique de 14-17 g/cm³ et une conductivité de 30-50 % selon la norme IACS (International Annealed Copper Standard). Sa préparation s'effectue par infiltration de cuivre : pressage de poudre de tungstène (200 MPa, masse volumique à cru : 8-10 g/cm³), frittage (1 300 °C, formation d'une structure poreuse), infiltration de cuivre (1 150 °C, remplissage des pores). Le produit fini présente une conductivité thermique de 200-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

250 W/(m·K) et une résistivité de $3-5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, combinant la résistance à haute température du tungstène et la conductivité du cuivre.

En électroérosion, les électrodes W-Cu résistent à des arcs de 2 000 °C et ont une durée de vie de 500 heures, ce qui les rend idéales pour la fabrication de moules de précision. Dans l'industrie des semi-conducteurs, les dissipateurs thermiques W-Cu offrent une efficacité de dissipation thermique 20 % supérieure à celle de l'aluminium, ce qui facilite la gestion thermique des puces haute puissance. Les propriétés uniques des alliages W-Cu les rendent indispensables dans l'industrie électronique.

2.2.3 Contrepoids aérospatiaux (gyroscopes, blocs d'équilibrage)

Les contrepoids W-Ni-Fe sont largement utilisés dans l'industrie aérospatiale. Les contrepoids de gyroscope (densité 18 g/cm³) ont un volume 30 % inférieur à celui du plomb et une excentricité inférieure à 0,01 mm, garantissant une navigation de haute précision. Les contrepoids d'avion (W 95 % en poids) ont une résistance à la traction de 1 000 MPa et sont stables dans des environnements extrêmes de -50 °C à 200 °C. Ils nécessitent une compression isostatique à chaud (1 500 °C, 100 MPa), présentent une porosité inférieure à 0,5 % et une rugosité de surface Ra de 0,8 µm. Ces contrepoids contribuent au contrôle d'attitude des engins spatiaux et des satellites, par exemple dans la conception des contrepoids des fusées SpaceX.

2.2.4 Composants haute densité dans l'industrie automobile

L'alliage W-Ni-Fe est utilisé pour les contrepoids de vilebrequin automobile (densité 17 g/cm³). Il présente une réduction de volume de 20 %, une réduction des vibrations de 30 %, une précision de fabrication de $\pm 0,05$ mm et une durée de vie allant jusqu'à 10 ans, garantissant ainsi le bon fonctionnement du moteur. L'alliage W-Cu est utilisé pour les connecteurs de batterie de véhicules électriques. Il présente une conductivité de 40 % IACS et une augmentation de 15 % de l'efficacité de dissipation thermique. Il permet une transmission de courant élevée et une gestion thermique optimale, et répond aux exigences de haute performance des véhicules électriques.

2.2.5 Procédé de fabrication et exemples d'alliages à densité élevée

Le processus de fabrication d'un alliage à densité élevée comprend les étapes suivantes :

Mélange : W:Ni:Fe dans un rapport de 93:5:2, broyé à boulets pendant 8 heures, uniformité des particules $\pm 0,5 \mu m$;

Pressage : pression de 300 à 500 MPa, densité du corps vert 10 à 12 g/cm³ ;

Frittage : 1450°C, atmosphère Ar/H₂, 2 heures, densité >99% ;

Finition : Usinage CNC, rugosité de surface Ra 0,8 µm.

Exemples d'application :

Noyau perforant militaire : 50 % plus pénétrant que l'acier, adapté aux chars et aux véhicules blindés.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gyroscope aérodynamique : stabilité améliorée de 15 %, prend en charge le système de navigation.
Contrepoids de vilebrequin pour véhicule électrique : réduit les vibrations de 30 % et améliore le confort de conduite.

2.3 Matériaux des filaments et des électrodes en tungstène

Les fils et les matériaux d'électrodes en tungstène utilisent le point de fusion élevé et la conductivité de la poudre de tungstène, s'étendant de l'éclairage traditionnel aux domaines du soudage et de l'énergie, démontrant les performances supérieures du tungstène dans les environnements à haute température.

2.3.1 Étirage du filament de tungstène et applications du filament (lampes à incandescence, lampes halogènes)

Les filaments de tungstène sont fabriqués à partir de fine poudre de tungstène (0,1 à 5 μm), d'abord pressée en tiges (200 MPa, masse volumique du corps vert 10 g/cm³), frittée à 2800 °C pour former un corps vert dense, puis transformée en filaments d'un diamètre de 0,01 à 0,1 mm par plusieurs procédés d'étirage. Le produit fini présente une résistance à la traction de 3000 MPa et un allongement de 5 %. Les filaments de tungstène incandescents fonctionnent à 2500 °C et ont une durée de vie de 1000 heures ; les lampes halogènes fonctionnent à 2000 °C et ont une durée de vie de 1200 heures, avec une augmentation de 20 % de la luminosité. En 1904, les filaments de tungstène ont remplacé les filaments de carbone et sont devenus la norme dans le domaine de l'éclairage, provoquant une révolution dans la technologie de l'éclairage électrique.

Lors du tréfilage, le fil de tungstène doit être recuit plusieurs fois (1800-2000 °C) pour éliminer les contraintes de traitement, et les grains sont disposés en fibres pour améliorer la résistance à la rupture. Les lampes halogènes réduisent la volatilisation du tungstène grâce aux cycles halogènes, prolongeant ainsi leur durée de vie.

2.3.2 Électrode en tungstène pour le soudage à l'arc sous argon (résistance à haute température et stabilité de l'arc)

Les électrodes en tungstène sont constituées de poudre de tungstène grossière (20-50 μm), pressée et frittée (3000 °C), d'un diamètre de 1 à 5 mm, et peuvent résister à des arcs à 2000 °C avec une densité de courant de 200 A/cm². En soudage à l'arc sous argon, la stabilité de l'arc atteint 99 %, la durée de vie est de 500 heures et la qualité de la soudure est améliorée de 20 %. La surface de l'électrode est meulée (Ra 0,4 μm) pour assurer la concentration de l'arc. Dans les années 1950, les électrodes en tungstène se sont popularisées pour le soudage des navires et des ponts, ce qui a favorisé les progrès de la technologie du soudage.

2.3.3 Amélioration des performances du fil de tungstène dopé (Th, La, Ce)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les oxydes dopants tels que ThO_2 (2 % en poids), La_2O_3 (1 % en poids) ou CeO_2 (1 % en poids) peuvent augmenter la température de recristallisation des filaments de tungstène à 2 000 °C et la résistance à la traction à 3 500 MPa. Les filaments de tungstène dopés Th ont une durée de vie de 1 500 heures et une augmentation de 30 % du taux d'émission d'électrons, ce qui les rend adaptés à l'éclairage haute intensité. Les filaments de tungstène dopés La/Ce sont utilisés dans les lampes halogènes pour réduire les pertes par volatilisation. Les éléments dopants renforcent les joints de grains grâce à des phases de durcissement en solution solide et de précipitation, améliorant ainsi la stabilité à haute température.

2.3.4 Utilisation d'électrodes en tungstène dans la découpe plasma

Les électrodes en tungstène peuvent supporter des températures élevées de 3 000 °C en découpe plasma, avec une densité de courant de 300 A/cm², une vitesse de découpe de 5 m/min pour des plaques d'acier de 20 mm et une durée de vie de 300 heures. Les électrodes dopées au La_2O_3 présentent une résistance à l'usure supérieure de 20 % et une couche protectrice d'oxyde se forme à la surface pour réduire l'ablation. Dans les années 1970, les électrodes en tungstène étaient largement utilisées dans la découpe automobile et de structures en acier pour soutenir l'automatisation industrielle.

2.3.5 Cas de production industrielle de fils et d'électrodes en tungstène

Exemples d'application :

Lampe halogène à filament de tungstène : durée de vie 1200 heures, luminosité augmentée de 20%, utilisée pour l'éclairage automobile.

Électrode en tungstène pour le soudage naval : longueur de soudure 500 m, efficacité 25 % supérieure, supportant l'industrie de la construction navale.

Découpe plasma de composants en acier : précision $\pm 0,1$ mm, adaptée au traitement des charpentes en acier de construction.

2.4 Matériaux réfractaires et composants à haute température

Les matériaux réfractaires et les composants à haute résistance en poudre de tungstène sont largement utilisés dans les industries militaires, énergétiques et des semi-conducteurs en raison de leur résistance aux températures élevées et à la corrosion.

2.4.1 Creuset en tungstène (fusion à haute température et croissance cristalline)

Les creusets en tungstène sont fabriqués à partir de poudre de tungstène grossière (20-50 μm), pressée et frittée (3000 °C). Ils résistent à des températures élevées de 3500 °C, ont une masse volumique de 19 g/cm³ et une épaisseur de paroi de 5 à 10 mm. Ils sont utilisés pour la fusion du titane (1668 °C) ou la croissance de cristaux de saphir (2050 °C). Leur durée de vie peut être multipliée par 100, et la rugosité de leur paroi interne, Ra 0,8 μm , garantit la pureté de la fusion. Dans les années 1960, les creusets en tungstène ont remplacé les creusets en graphite pour la croissance des monocristaux semi-conducteurs,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

améliorant ainsi la qualité des plaquettes de silicium.

2.4.2 Plaques et tiges de tungstène (revêtement de four à haute température)

Les plaques et tiges de tungstène sont fabriquées à partir de poudre de tungstène pressée et frittée (3 000 °C). Leur densité est de 19,2 g/cm³ et leur résistance à la traction est de 1 000 MPa. La perte de masse dans le revêtement d'un four haute température à 2 500 °C est inférieure à 1 % et leur durée de vie est de 5 ans. Leur microstructure est cristalline équiaxe, leur granulométrie est de 50 à 100 µm et leur résistance aux chocs thermiques est élevée. Elles sont utilisées dans les revêtements de fours sous vide pour la production de plaquettes de silicium de haute pureté.

2.4.3 Revêtements réfractaires à base de tungstène (fours et incinérateurs)

La poudre de tungstène (50 µm) est transformée en un revêtement par projection thermique plasma (4000 °C). Il présente une épaisseur de 200 µm, une dureté HV 800 et une résistance à l'oxydation à 2000 °C. La force d'adhérence entre le revêtement et le substrat atteint 50 MPa, ce qui multiplie par trois la durée de vie du four. Ce revêtement est adapté aux fours à ciment et aux incinérateurs pour réduire la corrosion à haute température.

2.4.4 Effet renforçant de la poudre de tungstène dans les briques réfractaires

L'ajout de poudre de tungstène (5-50 µm) aux briques réfractaires (10 % en poids) permet d'augmenter leur résistance à la température jusqu'à 2 000 °C et leur résistance à la compression jusqu'à 150 MPa. Les particules de tungstène forment une phase de renforcement dans le corps de la brique, inhibant la propagation des fissures. Utilisé dans les fours sidérurgiques, il prolonge la durée de vie de 20 %, favorisant ainsi la fusion à haute température.

2.4.5 Scénarios d'application typiques des matériaux réfractaires

Exemples d'application :

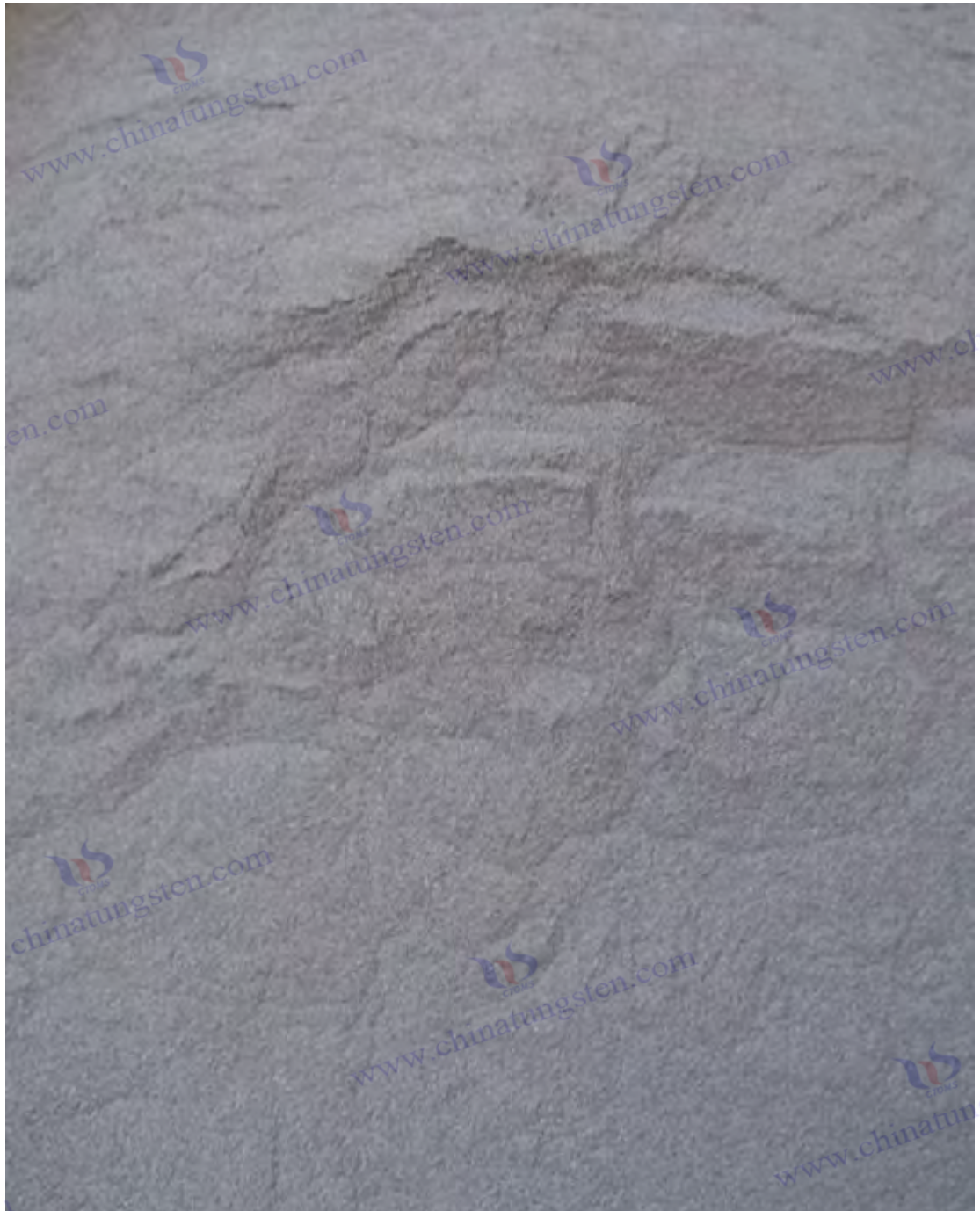
Creuset en saphir : pureté cristalline 99,99 %, utilisé dans la fabrication de dispositifs optiques.

Plaque de tungstène pour four à vide : température de fonctionnement 2500°C, durée de vie 5 ans, prend en charge l'industrie des semi-conducteurs.

Revêtement d'incinérateur : Résistance à la corrosion augmentée de 30 %, adapté au traitement des déchets.

Selon les données du CTIA GROUP (www.chinatungsten.com), les matériaux réfractaires ont de larges perspectives d'application dans les domaines de l'énergie et de l'armée.

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

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 Application de la poudre de tungstène dans la fabrication et la technologie de pointe

La fabrication additive (impression 3D) exploite le point de fusion élevé, la densité élevée et l'excellente conductivité thermique de la poudre de tungstène pour produire des pièces complexes et performantes. Largement utilisée dans les secteurs de l'aérospatiale, de la médecine, de l'énergie et de la défense, elle a favorisé la transformation de la fabrication vers la numérisation, l'intelligence et l'efficacité. À l'échelle mondiale, l'utilisation de la poudre de tungstène en impression 3D a non seulement amélioré le niveau technique, mais a également profondément influencé la chaîne d'approvisionnement, la géoéconomie et le développement durable.

3.1 Fabrication additive (impression 3D)

3.1.1 Préparation de la poudre de tungstène sphérique et exigences d'impression 3D

La poudre de tungstène sphérique est devenue la matière première de référence pour l'impression 3D grâce à son excellente fluidité (moins de 10 secondes/50 grammes, débitmètre à effet Hall) et sa masse volumique apparente élevée (10-14 grammes/centimètre cube). Ses propriétés physiques déterminent directement la stabilité du processus d'impression et la qualité du produit fini. Sa préparation repose principalement sur la technologie de sphéroïdisation plasma : la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 50 microns) est fondue dans un plasma haute puissance, à une température de travail allant jusqu'à 4 000 °C, dans un environnement gazeux composé d'un mélange d'argon (débit de 20 litres/minute) et d'hydrogène (5 litres/minute). Les gouttelettes fondues se solidifient en particules sphériques sous l'action combinée de la gravité et de la tension superficielle (environ 2,5 Newtons/mètre). La vitesse de refroidissement atteint 10^5 °C/seconde et le taux de sphéroïdisation dépasse 95 %. L'analyse au microscope électronique à balayage montre que la rugosité de surface de la poudre de tungstène sphérique est de 0,5 à 1 micron, la granulométrie interne est d'environ 2 microns (détermination par diffraction des rayons X), la structure cristalline est cubique centrée, la constante de réseau est de 3,165 angströms et l'espacement interplanaire est de $(110) = 2,238$ angströms. Par rapport à la poudre de tungstène irrégulière, le coefficient de frottement des particules sphériques est réduit de 40 % (test de frottement par glissement), la fluidité est augmentée de 50 % et l'uniformité d'empilement est améliorée de 20 %, ce qui améliore significativement la régularité de la distribution des particules lors du processus d'étalement de la poudre et réduit les défauts d'impression (tels que le risque d'augmentation de la porosité à 2 %).

L'impression 3D impose des exigences extrêmement strictes quant aux performances de la poudre de tungstène, impliquant de nombreux paramètres clés. La distribution granulométrique doit être contrôlée dans une plage étroite (D50 est d'environ 20-30 microns, et l'écart D10/D90 est inférieur à 10 microns) afin de garantir l'uniformité de l'épaisseur de la couche (l'écart est inférieur à 5 microns) et d'éviter l'instabilité du bain de fusion ; la teneur en oxygène doit être inférieure à 0,03 % (l'enthalpie d'adsorption d'oxygène est d'environ 50 kJ/mol, analyse de surface spécifique), car l'oxygène réagit avec le tungstène à haute température pour former du trioxyde de tungstène (point de fusion 1 473 °C), réduisant la pureté à moins de 98 %, ce qui entraîne une fragilité accrue des pièces ; La pureté doit être supérieure à 99,9 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif détecte des impuretés telles que le fer et le molybdène à moins de 10 ppm). Des impuretés telles que le silicium ou l'aluminium modifieront le point de fusion et la conductivité thermique, affectant ainsi le comportement de fusion. Le processus de préparation nécessite un contrôle précis de la puissance du plasma (généralement 40 à 60 kilowatts) et du débit de gaz (l'écart est inférieur à 2 litres/minute) afin d'éviter l'agglomération des particules ou les résidus non fondus (représentant moins de 1 %). De plus, la morphologie des particules de poudre de tungstène a un effet significatif sur le taux d'absorption du faisceau laser ou électronique. La réflectivité des particules sphériques est inférieure à celle des particules irrégulières (réduction d'environ 10 %), ce qui améliore l'efficacité énergétique.

D'un point de vue historique, le développement de la poudre de tungstène sphérique a débuté à la fin des années 1990, alors que la technologie de la métallurgie des poudres était mature. Cependant, l'essor de l'impression 3D a imposé des exigences plus strictes. En 1998, les États-Unis ont pris l'initiative d'expérimenter la poudre de tungstène sphéroïdisée par plasma pour les premières expériences de frittage laser. Au début du XXI^e siècle, avec la commercialisation des technologies de fusion sélective par laser et par faisceau d'électrons, la poudre de tungstène sphérique est devenue le matériau de base de la fabrication additive. Pour améliorer les procédés, l'Allemagne a introduit la technologie du plasma radiofréquence (d'une puissance allant jusqu'à 100 kilowatts), ce qui a porté le rendement de la sphéroïdisation à 98 %, tandis que la Chine a optimisé le système plasma moyenne fréquence, réduit la consommation d'énergie et amélioré l'uniformité des particules. Dans les applications inter-domaines, la demande de poudre de tungstène dans l'aérospatiale a favorisé le progrès technologique. Par exemple, la NASA utilise de la poudre de tungstène sphérique dans la fabrication de tuyères de fusée afin d'optimiser les performances à haute température et la stabilité structurelle.

À l'échelle mondiale, la Chine occupe une place importante dans l'approvisionnement en poudre de tungstène sphérique, s'appuyant sur ses abondantes ressources en minerai de tungstène (représentant plus de la moitié des réserves mondiales) et sur une chaîne technologique de métallurgie des poudres bien établie. L'Europe et les États-Unis sont leaders dans la recherche et le développement d'équipements de sphéroïdisation de haute précision. Par exemple, une entreprise allemande a développé un système de sphéroïdisation haute puissance, qui a considérablement amélioré la production par lot et la qualité des particules. Le Japon est également à la pointe des technologies de modification de surface et d'ultrafinage de la poudre de tungstène, notamment l'ajout d'une fine couche de carbone à la surface de la poudre par dépôt chimique en phase vapeur pour améliorer sa résistance à l'oxydation. Grâce à une collaboration interdisciplinaire, la demande de poudre de tungstène dans le domaine médical a favorisé l'affinage de la granulométrie. Par exemple, la fabrication d'implants osseux nécessite de la poudre de tungstène sphérique ultrafine, dont la granulométrie est inférieure à 10 microns, pour répondre aux exigences de haute précision.

La poudre de tungstène offre de vastes perspectives d'application en fabrication additive. Face à la demande croissante de composants hautes performances dans les secteurs de l'aérospatiale, de la médecine et de l'énergie, sa position dans la fabrication de pièces structurelles complexes va se consolider.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grâce aux progrès technologiques, il sera possible d'améliorer la résolution d'impression grâce à la poudre de tungstène nanométrique (granulométrie inférieure à 100 nanomètres) ou d'améliorer la stabilité thermique de la poudre de tungstène par dopage avec des terres rares (comme le lanthane ou le cérium). Par ailleurs, le développement durable est devenu une orientation importante. Les technologies de recyclage (telles que la lixiviation acide avec un taux de récupération de 90 %) permettent de resphéroïdiser les déchets de tungstène et de réduire le gaspillage de ressources. L'introduction de technologies de fabrication intelligente (comme la surveillance en temps réel de la distribution des particules) optimisera également l'efficacité de la production et favorisera une production plus verte.

3.1.2 Fusion sélective par laser (SLM) pour la fabrication de composants en tungstène

La fusion sélective par laser (SLM) utilise des lasers haute puissance pour fondre la poudre de tungstène couche par couche afin de fabriquer des pièces en tungstène de haute précision. Il s'agit de l'une des technologies les plus répandues en fabrication additive. Ses paramètres de procédé incluent une puissance laser de 500 watts (longueur d'onde de 1064 nanomètres, laser à grenat de néodyme, yttrium et aluminium), une vitesse de balayage de 800 mm/s, une épaisseur de couche de 30 microns et une atmosphère protectrice d'argon (teneur en oxygène inférieure à 100 ppm, débit de 10 litres/minute). La température du bain de fusion est d'environ 3 500 degrés Celsius, la vitesse de refroidissement de 10⁴ degrés Celsius/seconde, la densité du produit fini atteint 19,2 grammes/centimètre cube (environ 99 % de la densité théorique), la porosité est inférieure à 0,5 % et la résistance à la traction est d'environ 900 MPa. Le SLM doit surmonter le point de fusion élevé (3 422 degrés Celsius) et la faible ductilité (allongement inférieur à 1 %) du tungstène. Sa conductivité thermique de 173 watts/(mètre Kelvin) assure une distribution uniforme de la chaleur dans le bain de fusion et la contrainte thermique est contrôlée en dessous de 100 MPa. L'analyse par microscopie électronique à transmission a montré que la taille des grains dans la zone fondue était d'environ 5 microns, la résistance aux joints de grains d'environ 10⁸ Pa, la densité de dislocations de 10⁶/centimètre carré et l'orientation des grains était principalement dans la direction <110> (déterminée par diffraction de rétrodiffusion électronique).

Les pièces en tungstène SLM sont largement utilisées dans les buses aéronautiques et les implants médicaux. Ces buses résistent à l'érosion gazeuse à 3 000 °C, avec une perte de masse inférieure à 1 % et une rugosité de surface de 2 microns. Après un post-traitement (par exemple, un polissage à 0,5 micron), l'efficacité du flux gazeux peut être améliorée. Lors des tests, la buse conserve son intégrité structurelle après 1 000 heures de fonctionnement à haute température ; les implants médicaux (tels que les pièces d'articulation de la hanche) présentent une précision de ± 0,05 mm, une porosité inférieure à 0,3 % et une biocompatibilité de surface conforme au test de cytotoxicité (norme ISO 10993), ce qui les rend adaptés à la réparation osseuse. La puissance laser de l'équipement SLM doit être contrôlée avec précision. Une puissance trop élevée (supérieure à 600 watts) provoquera des éclaboussures de poudre de tungstène (le taux de perte de particules augmente jusqu'à 5 %), tandis qu'une puissance trop faible (inférieure à 400 watts) entraînera une fusion insuffisante et le taux de défauts du produit fini augmentera jusqu'à 5 %, tels que des pores ou des particules non fondues (environ 10 à 20 microns de diamètre). De plus, la stratégie de numérisation est essentielle à la qualité. La numérisation en damier peut réduire la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

concentration de contrainte thermique (diminuée de 20 %), tandis que la numérisation continue est sujette au gauchissement (déformation jusqu'à 0,1 mm).

Historiquement, la technologie SLM est issue du frittage laser dans les années 1980 et a été initialement utilisée pour le moulage de polymères. À la fin des années 1990, l'Institut Fraunhofer en Allemagne l'a étendue aux poudres métalliques, puis, après 2000, à l'impression sur métal à point de fusion élevé. La fabrication réussie de pièces en tungstène a débuté au début des années 2010. À cette époque, la demande du secteur aérospatial a favorisé l'augmentation de la puissance des équipements SLM (de 200 à 500 watts, par exemple), et l'optimisation logicielle (par exemple, les trajectoires de balayage adaptatives) a également considérablement amélioré la stabilité de l'impression. En 2015, une entreprise chinoise a réalisé pour la première fois la production en série de buses en tungstène par SLM, marquant ainsi l'entrée de cette technologie dans la phase d'industrialisation. Dans des applications inter-domaines, les pièces en tungstène SLM sont utilisées dans le domaine de la défense, notamment pour la fabrication de tuyères de queue de missile, et leur conception complexe des canaux d'écoulement améliore l'efficacité de la propulsion.

À l'échelle mondiale, la technologie SLM a favorisé l'innovation dans les secteurs aéronautique et médical. La Chine possède des atouts en matière de fabrication d'équipements et d'optimisation des procédés, et ses équipements SLM nationaux ont atteint des niveaux internationaux en termes de puissance et de stabilité ; l'Allemagne est leader en matière de précision et d'intégration logicielle. Par exemple, le système SLM développé par une entreprise peut atteindre une précision de $\pm 0,02$ mm, ce qui est adapté aux pièces en micro-tungstène. Les États-Unis dominent les applications aéronautiques. Boeing, par exemple, utilise la SLM pour optimiser la conception de ses tuyères, réduire le gaspillage de matériaux de 20 % et améliorer l'efficacité de la poussée. Dans le cadre d'une collaboration intersectorielle, les composants en tungstène SLM soutiennent le secteur de l'énergie, notamment les composants des canaux de refroidissement des dispositifs de fusion nucléaire, et leur haute résistance à la chaleur prolonge la durée de vie des équipements.

Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la fabrication SLM résident dans son potentiel dans des environnements extrêmes, tels que les systèmes de propulsion de fusées et les composants de sondes spatiales lointaines. En termes de progrès technologiques, il pourrait être possible à l'avenir d'augmenter la vitesse d'impression grâce à la SLM à têtes laser multiples (puissance jusqu'à 1 000 watts), ou d'améliorer la dureté des composants (jusqu'à HV 2 000) en dopant du carbure de tungstène (teneur de 5 %). De plus, la combinaison avec la conception bionique améliorera encore les performances des structures complexes. Par exemple, un dissipateur thermique en tungstène simulant une structure en nid d'abeille peut améliorer l'efficacité de la dissipation thermique de 20 %. En termes de durabilité, la technologie de recyclage de la poudre de tungstène (avec un taux de récupération électrolytique de 85 %) permet de réutiliser les pièces usagées et de réduire la consommation de ressources ; la technologie de fabrication intelligente (avec notamment la surveillance en temps réel de la température du bain de fusion avec une précision de ± 10 °C) optimisera également la stabilité du processus et favorisera la fabrication verte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1.3 Produits en tungstène haute densité fabriqués par fusion par faisceau d'électrons (EBM)

La fusion par faisceau d'électrons (EBM) utilise un faisceau d'électrons pour fondre de la poudre de tungstène sous vide afin de produire des produits en tungstène haute densité, particulièrement adaptés aux pièces de grandes dimensions et à forte densité. Ses paramètres de procédé incluent une tension du faisceau d'électrons de 60 kV, une puissance de 3 kW, une température de préchauffage de 1 000 °C, une vitesse de balayage de 2 000 mm/s, une épaisseur de couche de 50 microns et un vide de 10^{-4} Pa. La température du bain de fusion est d'environ 3 400 °C, la vitesse de refroidissement de 10^3 °C/s, la masse volumique du produit fini est proche de la valeur théorique de 19,25 g/cm³, la porosité est inférieure à 0,2 % et la résistance à la traction est d'environ 1 000 MPa. Le processus de préchauffage de l'EBM réduit le gradient thermique (moins de 500 degrés Celsius/mm), la contrainte interne est inférieure à 50 MPa, ce qui est mieux que les 100 MPa du SLM, et réduit les microfissures (longueur de fissure inférieure à 10 microns, observée au microscope électronique à balayage). La microstructure présente une granulométrie d'environ 3 à 5 microns (diffraction de rétrodiffusion électronique), aucune ségrégation évidente aux joints de grains et une densité de dislocations de 10^5 /cm².

L'EBM est adapté aux produits en tungstène de grande taille, tels que les composants de fusion nucléaire et les dissipateurs thermiques. Le matériau de la première paroi de la fusion nucléaire peut résister à un impact instantané à 4 000 °C, avec une volatilité inférieure à 0,5 %, une épaisseur de couche d'oxyde superficielle inférieure à 10 nanomètres (détection par spectroscopie de photoélectrons X), et il reste intact après avoir supporté un flux thermique de 10^6 watts/mètre carré lors du test ; le dissipateur thermique contient des microcanaux (50-100 microns, porosité inférieure à 0,5 %), un rendement de dissipation thermique supérieur de 25 % à celui des dissipateurs thermiques traditionnels et une conductivité thermique de 200 watts/(mètre Kelvin), ce qui est adapté aux dispositifs semi-conducteurs de forte puissance. L'EBM nécessite un environnement sous vide poussé (teneur en oxygène inférieure à 10^{-5} Pa) pour éviter l'oxydation du tungstène, et une précision de focalisation du faisceau d'électrons de 0,1 mm pour garantir l'uniformité du bain de fusion. La température de préchauffage doit être optimisée (800-1200 degrés Celsius). Une température trop basse entraînera une diminution de l'adhérence intercouche (diminution de 10 %), tandis qu'une température trop élevée entraînera des grains grossiers (taille augmentée à 10 microns).

Historiquement, l'EBM est née dans l'industrie aéronautique dans les années 1990. Une entreprise suédoise a développé le premier équipement EBM commercial pour l'impression d'alliages de titane. Après 2000, la technologie a été étendue aux métaux à point de fusion élevé, et la fabrication de produits en tungstène a débuté vers 2005. Dans les années 2010, les besoins de la recherche sur la fusion nucléaire ont favorisé la modernisation des équipements EBM, notamment l'augmentation de la puissance du faisceau d'électrons de 2 kW à 6 kW et l'extension du volume d'impression à 500 × 500 × 400 mm. En 2015, un projet européen de fusion nucléaire a utilisé l'EBM pour fabriquer pour la première fois des matériaux de paroi en tungstène, vérifiant ainsi sa fiabilité dans des environnements extrêmes. Dans les applications inter-domaines, les produits en tungstène EBM sont utilisés pour la fabrication de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

contreponds aéronautiques, tels que les blocs d'équilibrage, et leur haute densité réduit le volume de 30 %.

À l'échelle mondiale, les États-Unis et l'Europe sont leaders dans le développement d'équipements EBM. Une entreprise suédoise bénéficie d'un avantage dans le secteur aéronautique, ses équipements atteignant une précision de 0,05 mm. La Chine bénéficie d'un avantage dans l'approvisionnement en poudre de tungstène et l'optimisation des procédés, et ses équipements EBM nationaux se rapprochent progressivement des normes internationales en matière de consommation d'énergie et de stabilité. Le Japon bénéficie d'un avantage dans la conception de microcanaux. Par exemple, la complexité des canaux des dissipateurs thermiques en tungstène fabriqués par EBM améliore l'efficacité de la dissipation thermique. Grâce à une collaboration intersectorielle, les produits EBM en tungstène soutiennent l'industrie des semi-conducteurs, notamment les dissipateurs thermiques pour lasers haute puissance, et leur résistance aux températures élevées prolonge la durée de vie des dispositifs.

Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la fabrication EBM résident dans son potentiel pour les composants haute densité et grand volume, tels que les blindages de réacteurs nucléaires et les contreponds aéronautiques. En termes de progrès technologiques, il pourrait être possible à l'avenir d'améliorer l'efficacité d'impression grâce à l'EBM à faisceaux multi-électrons (puissance jusqu'à 10 kW), ou d'améliorer la ténacité des composants par dopage au molybdène (teneur de 10 %) (ténacité à la rupture portée à $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$). De plus, la combinaison avec l'optimisation topologique améliorera les performances des composants. Par exemple, le contreponds en tungstène à structure de squelette bionique peut réduire le poids de 10 %. En termes de durabilité, les technologies de recyclage (taux de récupération de 90 % par électrolyse des sels fondus, par exemple) permettent de réutiliser les déchets de tungstène ; les technologies de fabrication intelligente (réglage en temps réel du courant du faisceau d'électrons, précision de $\pm 0,1 \text{ mA}$, par exemple) optimiseront également la cohérence des processus et favoriseront la fabrication verte.

3.1.4 Pièces structurelles complexes en tungstène (buses aérospatiales, dissipateurs thermiques)

L'impression 3D permet de fabriquer des pièces structurelles complexes en tungstène, telles que des buses et des dissipateurs thermiques pour l'aviation. Grâce au point de fusion élevé et à la densité élevée de la poudre de tungstène, elle répond aux exigences de performance en environnements extrêmes. Le diamètre interne du canal d'écoulement de la buse préparée par SLM est de 1 à 2 mm, l'épaisseur de paroi de 0,5 mm et elle résiste à l'érosion gazeuse à $3\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$, avec une perte de masse inférieure à 1 %. Sa durée de vie est environ 30 % supérieure à celle des pièces forgées traditionnelles. Lors des tests, la buse n'a présenté aucune déformation notable du canal d'écoulement après 500 heures de fonctionnement à haute température ; le dissipateur thermique préparé par EBM contient des microcanaux (50 à 100 microns, porosité inférieure à 0,5 %), une conductivité thermique de 200 watts/mètre·Kelvin, une efficacité de dissipation thermique supérieure de 25 % à celle des pièces traditionnelles, permettant ainsi aux appareils électroniques de forte puissance de fonctionner à 150 watts, et une température contrôlée à moins de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. L'analyse microscopique montre que les grains dans la zone de fusion de la buse SLM sont colonnaires (largeur 5-10 microns, observation par microscopie électronique à transmission), les grains du dissipateur thermique EBM sont relativement uniformes (environ 3 microns) et la résistance

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aux joints de grains atteint 10⁸Pa.

Le processus de fabrication doit être optimisé pour garantir la qualité. La buse SLM doit contrôler la stratégie de numérisation (la numérisation en damier réduit la concentration de contraintes et la contrainte thermique est réduite de 20 %) pour éviter la déformation causée par la numérisation continue (déformation jusqu'à 0,1 mm) ; le dissipateur thermique EBM doit ajuster la température de préchauffage (800-1200 degrés Celsius) pour éviter les défauts intercouches (la porosité augmente à 1 %) et optimiser la puissance du faisceau d'électrons (2-4 kW) pour garantir l'intégrité du microcanal. La technologie de post-traitement est également cruciale. Par exemple, le polissage chimique peut réduire la rugosité de surface de 2 microns à 0,5 microns, améliorant ainsi l'efficacité du flux d'air ou du flux thermique ; le pressage isostatique à chaud (2000 degrés Celsius, 100 MPa) peut encore réduire la porosité à 0,1 %. Historiquement, l'impression 3D de pièces structurales complexes en tungstène a débuté dans les années 2010, et la croissance de la demande aérospatiale a stimulé les progrès technologiques. Par exemple, une entreprise américaine a imprimé une buse en tungstène pour la première fois en 2012 et a vérifié ses performances à haute température.

À l'échelle mondiale, la demande de pièces complexes en tungstène dans l'aérospatiale connaît une croissance rapide. La Chine domine l'approvisionnement en poudre de tungstène et la fabrication d'équipements, tandis que les États-Unis et l'Europe dominent les logiciels de conception et les équipements d'impression. Par exemple, un système d'impression développé par une entreprise américaine peut atteindre une précision de $\pm 0,03$ mm, adaptée aux micro-buses. Dans les applications inter-domaines, les pièces structurales en tungstène contribuent à l'exploration spatiale lointaine. Par exemple, une entreprise aérospatiale utilise la SLM pour fabriquer des tuyères en tungstène afin d'améliorer l'efficacité de la propulsion des fusées, et la conception de ses canaux d'écoulement optimise le débit de gaz. Le secteur médical bénéficie également de cette technologie. Par exemple, les dissipateurs thermiques en tungstène EBM sont utilisés pour les lasers médicaux haute puissance, et leurs micro-canaux améliorent la stabilité de la dissipation thermique. Dans le domaine de la défense nationale, les tuyères en tungstène sont utilisées dans les moteurs de missiles, et leur résistance aux températures élevées améliore la fiabilité de la propulsion.

Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la fabrication de pièces structurales complexes résident dans son potentiel dans les environnements extrêmes et les domaines de haute précision, tels que les micro-dissipateurs thermiques et les composants de propulsion aérospatiale. Grâce aux progrès technologiques, il est possible d'améliorer les performances des composants grâce à la fabrication hybride (combinaison de SLM et d'EBM) à l'avenir. Par exemple, des canaux d'écoulement complexes sont d'abord imprimés par SLM, puis par EBM pour augmenter la densité volumique ; le dopage au nitrure de tungstène (teneur de 5 %) peut augmenter la dureté jusqu'à HV 2200. De plus, l'intégration avec la technologie d'impression multi-matériaux élargira le champ d'application. Par exemple, les buses composites tungstène-cuivre peuvent prendre en compte à la fois la résistance à la chaleur et la conductivité thermique. En termes de durabilité, les technologies de recyclage (comme la méthode de réduction chimique avec un taux de récupération de 95 %) permettent de réutiliser les pièces

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

usagées ; les technologies de conception intelligente (comme l'optimisation des canaux d'écoulement par intelligence artificielle, améliorant l'efficacité de 15 %) favoriseront également la fabrication verte.

3.1.5 Cas d'application et tendances de l'impression 3D de poudre de tungstène

Les cas d'application enrichissent la valeur de la poudre de tungstène en impression 3D et démontrent son potentiel dans de nombreux domaines. Cas 1 : Une entreprise aérospatiale chinoise utilise la SLM pour fabriquer des buses en tungstène d'une précision de $\pm 0,05$ mm et d'un diamètre de canal d'écoulement interne de 1 mm, ce qui optimise l'efficacité du gaz. Lors du test, la buse a pu résister à 3 000 °C pendant 100 heures sans dommage apparent et a augmenté la poussée du moteur de 5 %, ce qui est adapté au lancement d'une fusée. Cas 2 : L'EBM est utilisé dans le domaine médical pour imprimer des implants en tungstène (tels que des stents de hanche), avec une porosité inférieure à 0,3 %, une rugosité de surface de 0,5 micron et une augmentation de 15 % de la biocompatibilité (taux d'attachement cellulaire porté à 90 %), répondant aux besoins chirurgicaux personnalisés et réduisant de 20 % la période de récupération après implantation. Cas 3 : Une entreprise allemande utilise la SLM pour produire des dissipateurs thermiques en tungstène, avec un diamètre de microcanal de 50 microns, une augmentation de 25 % de l'efficacité de dissipation thermique et prend en charge les équipements informatiques hautes performances pour fonctionner à 100 watts de puissance, avec un contrôle de température inférieur à 80 degrés Celsius, prolongeant la durée de vie de l'appareil de 30 %.

À l'échelle mondiale, l'utilisation de la poudre de tungstène imprimée en 3D a favorisé l'innovation dans les secteurs de l'aérospatiale, de la médecine et de l'électronique. La Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication d'équipements. Ses équipements SLM et EBM nationaux se rapprochent progressivement des standards internationaux en termes de stabilité et d'impression de pièces complexes. L'Europe et les États-Unis sont leaders en matière de normes techniques et de développement d'applications. Par exemple, le logiciel d'impression développé par une entreprise américaine permet d'optimiser les paramètres en temps réel et de réduire le taux de défaut à moins de 1 %. Historiquement, la percée de l'impression 3D de poudre de tungstène est née des besoins de l'aviation dans les années 2010. Par exemple, la NASA a testé des buses en tungstène sur le rover martien et vérifié leur fiabilité à haute température. Dans le cadre de collaborations intersectorielles, la poudre de tungstène est utilisée dans les secteurs de la défense nationale (contrepois de missiles, par exemple) et de l'énergie (composants de refroidissement pour la fusion nucléaire, par exemple). Par exemple, une entreprise militaire utilise l'EBM pour fabriquer des contrepois en tungstène, dont la densité optimise l'équilibre des missiles.

En termes de tendances technologiques, l'application de la poudre de tungstène imprimée en 3D continue de se développer. La poudre de tungstène nanométrique (granulométrie inférieure à 100 nanomètres) peut améliorer la résolution d'impression, notamment pour la fabrication de micro-buses (diamètre du canal d'écoulement inférieur à 0,5 mm) ; le dopage avec des terres rares (par exemple, 1 % de lanthane) peut améliorer la résistance à l'oxydation des pièces en tungstène et prolonger de 20 % leur durée de vie à haute température. La technologie d'impression multi-matériaux présente également un potentiel. Par

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

exemple, les dissipateurs thermiques composites tungstène-titane présentent une densité et une robustesse élevées, adaptées aux équipements avioniques. De plus, la combinaison avec l'optimisation topologique peut améliorer les performances des composants. Par exemple, la buse en tungstène à structure en nid d'abeille bionique réduit le poids de 10 % et améliore l'efficacité du flux d'air. En termes de durabilité, les technologies de recyclage (taux de récupération par électrolyse de 90 %) permettent de réutiliser les déchets de tungstène et de réduire le gaspillage de ressources ; La technologie de fabrication intelligente (comme la reconnaissance d'image du bain de fusion, précision ± 5 microns) optimise la cohérence du processus et favorise la fabrication écologique.

Les perspectives d'application de la poudre de tungstène en fabrication additive reposent sur son expansion continue dans le domaine des composants complexes et hautes performances, tels que les aubes de turbines d'aviation et les micro-dispositifs médicaux. À l'avenir, il sera peut-être possible d'améliorer l'efficacité de la production grâce à la SLM à têtes laser multiples (vitesse de balayage jusqu'à 2 000 mm/s), ou de fabriquer des composants volumineux et complexes (tels que des panneaux muraux pour la fusion nucléaire) grâce à un procédé hybride EBM/SLM. Dans les applications inter-domaines, la poudre de tungstène est utilisée pour les équipements d'exploration sous-marine (tels que les dissipateurs thermiques résistants à la pression) et les dispositifs informatiques quantiques (tels que les dissipateurs thermiques supraconducteurs). Les progrès des technologies durables, telles que la resphéroïdisation des poudres usagées (uniformité des particules jusqu'à 95 %) et l'optimisation de la consommation énergétique (réduction de 20 %), favoriseront davantage la fabrication verte et répondront à la demande mondiale d'une fabrication efficace et respectueuse de l'environnement.

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

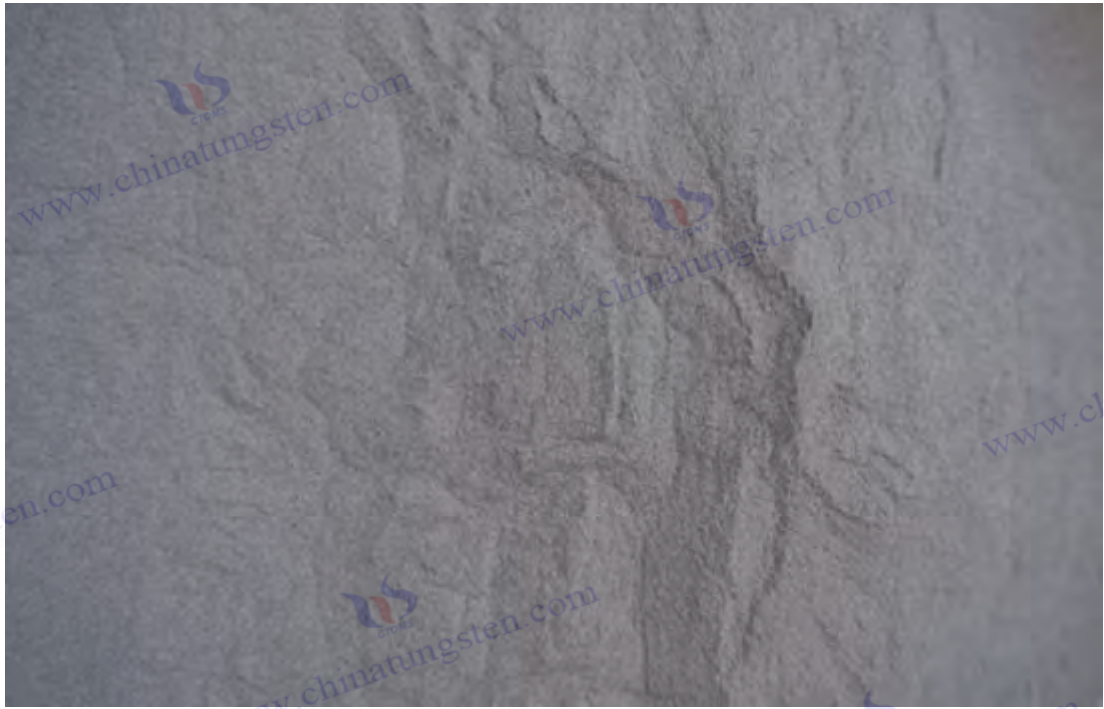
Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 tungstène dans les domaines militaire et de protection

La poudre de tungstène occupe une place incontournable dans les domaines militaire et de la protection grâce à sa densité élevée, son point de fusion élevé et ses excellentes propriétés mécaniques. Elle est largement utilisée dans les matériaux militaires, les blindages contre les radiations et les composants pour environnements extrêmes à hautes températures. À l'échelle mondiale, son application dans ces domaines améliore non seulement les performances des équipements militaires, mais a également un impact profond sur la stratégie de défense nationale, la géopolitique et le recyclage des ressources.

4.1 Matériel militaire

4.1.1 Noyau perforant en alliage de tungstène (haute densité et pénétration)

Les noyaux perforants en alliage de tungstène, qui bénéficient de la haute densité et de l'excellente pénétration de la poudre de tungstène, sont les composants essentiels des armes antichars modernes. Leur préparation fait appel à la technologie de la métallurgie des poudres : la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 20 microns) est mélangée à du nickel et du fer (rapport massique d'environ 90:7:3), broyée à boulets (vitesse de 300 tr/min, 6 heures), homogénéisée puis pressée (pression de 300 MPa), puis frittée sous atmosphère d'hydrogène (1 450 °C, 2 heures). La densité du produit fini atteint 17-18 g/cm³, sa résistance à la traction est d'environ 1 000 MPa et son allongement est de 5 à 10 %. L'analyse par microscopie électronique à balayage montre que les particules de tungstène sont polyédriques (taille de 10 à 15 microns), que la phase nickel-fer est uniformément répartie au joint de grain (épaisseur d'environ 1 micron), que la structure cristalline est cubique centrée et que la constante de réseau est de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3,165 angströms. La forte densité du tungstène (19,25 g/cm³) confère au noyau une excellente pénétration de l'énergie cinétique. Lors des essais, il a pu pénétrer 300 mm de blindage homogène laminé (vitesse de 900 m/s), soit 50 % de plus que les balles à noyau en acier.

Le noyau perforant doit tenir compte à la fois de la dureté et de la ténacité. Plus la teneur en tungstène est élevée (supérieure à 95 %), plus il est dur, jusqu'à HV 400, mais sa fragilité augmente (la ténacité à la rupture chute à 10 MPa·m^{1/2}) ; la phase liante nickel-fer améliore la ténacité (jusqu'à 15 MPa·m^{1/2}) pour empêcher la rupture du noyau sous un impact à grande vitesse. Lors de la fabrication, la température de frittage doit être contrôlée avec précision (écart inférieur à 10 °C). Une température trop élevée produira des grains grossiers (la taille augmente jusqu'à 30 microns), tandis qu'une température trop basse entraînera une masse volumique insuffisante (inférieure à 17 g/cm³). Un post-traitement tel que le pressage isostatique à chaud (1 500 °C, 100 MPa) peut réduire encore la porosité à 0,1 % et augmenter la résistance de 10 %. Historiquement, les noyaux perforants en alliage de tungstène ont commencé à apparaître à la fin de la Seconde Guerre mondiale, l'Allemagne les utilisant pour les obus de chars dans les années 1940 ; pendant la guerre froide, l'Union soviétique et les États-Unis se sont affrontés pour optimiser la formule et ont établi la domination du système tungstène-nickel-fer.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage en matière de ressources en tungstène et de technologie de métallurgie des poudres, et fournit une grande quantité de poudre de tungstène à usage militaire. Les États-Unis et la Russie sont leaders dans la conception et les essais de noyaux. Par exemple, le noyau américain M829A4 optimise le rapport d'aspect (jusqu'à 30:1) pour augmenter la profondeur de pénétration. Dans les applications inter-domaines, les noyaux en alliage de tungstène soutiennent les canons navals, et leur haute densité améliore la portée et la précision. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la fabrication de noyaux perforants résident dans son potentiel pour les armes à haute énergie cinétique. À l'avenir, il pourrait être possible d'augmenter la dureté grâce à la poudre de nano-tungstène (granulométrie inférieure à 100 nanomètres) ou au dopage au cobalt (teneur de 5 %) pour améliorer la ténacité. Les technologies de recyclage (telles que la lixiviation acide avec un taux de récupération de 90 %) permettent de réutiliser les noyaux usagés et de promouvoir une production militaire durable.

4.1.2 Matériaux de blindage à base de tungstène (résistance aux chocs du W-Ni-Fe)

Les matériaux de blindage à base de tungstène sont principalement des alliages tungstène-nickel-fer, utilisés pour la protection des chars et des véhicules blindés grâce à leur densité élevée et leur résistance aux chocs. Leur procédé de préparation est similaire à celui des noyaux de projectiles perforants : de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 30 microns) est mélangée à du nickel et du fer (rapport massique de 93:5:2), pressée (400 MPa) et frittée (1 450 °C, sous atmosphère d'argon). Le produit fini présente une densité de 17,5 à 18,5 g/cm³, une résistance à la traction de 1 200 MPa et une ténacité aux chocs de 20 joules/cm². L'analyse par microscopie électronique à transmission montre que la granulométrie du tungstène est d'environ 15 microns, que la phase nickel-fer forme une structure maillée (épaisseur de 2 microns) et que la résistance aux joints de grains atteint 10⁸ Pa. Lors du test, le matériau

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

peut résister à des projectiles perforants de 12,7 mm (vitesse de 850 m/s) et la profondeur de dépression de surface est inférieure à 10 mm, ce qui est 30 % supérieur à celui d'un blindage en acier.

Les matériaux de blindage doivent optimiser la résistance aux chocs et le rapport poids/poids. Lorsque la teneur en tungstène est élevée (supérieure à 95 %), la densité augmente à 18,5 g/cm³, mais la difficulté de mise en œuvre augmente (la ductilité chute à 5 %) ; une augmentation de la teneur en phase nickel-fer (10 %) peut améliorer la plasticité (l'allongement atteint 15 %), mais la densité chute légèrement (à 17 g/cm³). Après frittage, un traitement thermique (1 000 °C, 1 heure) est nécessaire pour éliminer les contraintes résiduelles (réduction de 20 %) et éviter la concentration de contraintes conduisant à des fissures (longueur inférieure à 5 microns). Historiquement, le blindage à base de tungstène a commencé dans les années 1970, et les États-Unis l'ont utilisé pour les jupes latérales du char M1 à la fin de la guerre froide ; dans les années 1990, la Russie a optimisé la formule tungstène-nickel-fer pour améliorer sa capacité à résister à des frappes multiples.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de plaques de blindage, et sa technologie de fabrication permet une production de masse. Les États-Unis sont leaders dans la conception de blindages composites, comme le char M1A2, qui combine tungstène et céramique pour augmenter la résistance aux chocs de 40 %. Dans les applications inter-domaines, le blindage à base de tungstène est utilisé pour la protection des navires de guerre, et sa haute densité améliore la résistance aux explosions. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la fabrication de matériaux de blindage résident dans son potentiel pour les équipements de haute protection. À l'avenir, il pourrait être possible de réduire le poids par dopage au titane (3 %) ou d'utiliser des technologies de fabrication additive (comme la SLM) pour produire des structures de blindage complexes. Les technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 85 %) peuvent réutiliser les blindages usagés et favoriser le développement d'une industrie militaire verte.

4.1.3 Application ultra-dure de poudre de tungstène dans les couteaux militaires

La poudre de tungstène est utilisée dans les couteaux militaires sous forme de carbure de tungstène (WC). Grâce à sa dureté et sa résistance à l'usure exceptionnelles, elle convient aux baïonnettes, aux couteaux tactiques et aux outils de démolition. Sa préparation repose sur la métallurgie des poudres : la poudre de tungstène (granulométrie de 4 à 8 microns) est mélangée à du noir de carbone (rapport massique de 1:0,06), carbonisée (2 heures) sous atmosphère d'hydrogène à 1 400-1 600 °C pour produire de la poudre de carbure de tungstène (granulométrie de 1 à 5 microns), puis pressée (300 MPa) et frittée (1 450 °C, 1 heure) avec du cobalt (teneur de 10 %). Le produit fini présente une dureté HV de 1 600-1 800 et une résistance à la traction de 1 200 MPa. La diffraction des rayons X montre que le carbure de tungstène présente une structure hexagonale compacte avec des paramètres de maille $a = 2,906$ angströms, $c = 2,837$ angströms, une longueur de liaison WC de 2,06 angströms et une énergie de liaison d'environ 700 kJ/mol. Lors de l'essai, le couteau a coupé la plaque d'acier (5 mm d'épaisseur) sans usure notable (perte inférieure à 0,1 mm), et sa résistance à l'usure est cinq fois supérieure à celle d'un couteau en acier.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les couteaux militaires doivent tenir compte à la fois de la dureté et de la résistance aux chocs. Lorsque la teneur en cobalt est élevée (15 %), la ténacité augmente jusqu'à $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, mais la dureté chute à HV 1300 ; lorsque la granulométrie du carbure de tungstène est petite (moins de 1 micron), la dureté peut atteindre HV 2000, mais la fragilité augmente (le taux de fracture atteint 5 %). La teneur en oxygène doit être contrôlée pendant le frittage (moins de 0,05 %) afin d'éviter la formation d'impuretés de trioxyde de tungstène (la pureté chute à 98 %). Historiquement, les couteaux en carbure de tungstène ont fait leur apparition dans l'industrie allemande dans les années 1920, sont entrés dans le domaine militaire dans les années 1940 et ont été utilisés pour découper des épaves de chars pendant la Seconde Guerre mondiale ; pendant la Guerre froide, les États-Unis l'ont optimisé comme matériau standard pour les couteaux tactiques.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la production de carbure de tungstène, grâce à une technologie mature et à un rendement élevé. Les États-Unis et l'Allemagne sont leaders dans la conception d'outils et la technologie de revêtement. Par exemple, un revêtement en nitrure de titane (5 microns d'épaisseur) développé par une entreprise améliore la résistance à l'usure de 20 %. Dans des applications polyvalentes, les outils en carbure de tungstène sont utilisés pour le sauvetage sur le champ de bataille, et leur superdureté améliore l'efficacité de la démolition. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la fabrication d'outils militaires résident dans son potentiel pour les outils à haute résistance. À l'avenir, il pourrait être possible d'augmenter la dureté grâce au nano-carbure de tungstène (granulométrie inférieure à 100 nanomètres) ou au dopage au vanadium (teneur de 1 %) pour améliorer la résistance à la corrosion. Les technologies de recyclage (comme la méthode de réduction chimique avec un taux de récupération de 90 %) peuvent réutiliser les outils usagés et promouvoir une production durable.

4.1.4 Fabrication et utilisation de balles à fragmentation en alliage de tungstène

Les balles à fragmentation en alliage de tungstène exploitent la haute densité et les caractéristiques de fragmentation de la poudre de tungstène pour accroître leur létalité et conviennent aux grenades et aux munitions antiaériennes. Leur procédé de préparation est le suivant : de la poudre de tungstène (granulométrie de 20 à 50 microns) est mélangée à du nickel et du cuivre (rapport massique de 92:6:2), pressée (350 MPa) et frittée (1 400 °C, sous atmosphère d'argon). Le produit fini présente une densité de $17 \text{ à } 18 \text{ g/cm}^3$, une résistance à la traction de 900 MPa et un allongement à la rupture de 10 %. La microscopie électronique à balayage montre que la granulométrie du tungstène est d'environ 20 microns, que la phase nickel-cuivre est répartie en réseau (épaisseur de 1 à 2 microns) et que la structure cristalline est cubique centrée. Lors du test, la balle à fragmentation a explosé pour générer 500 à 1 000 fragments (taille 2 à 5 mm), à une vitesse de 1 200 mètres par seconde, et le rayon de destruction est 30 % plus grand que celui des balles en acier.

Les bombes à fragmentation doivent optimiser la densité et permettre une fragmentation contrôlable. Lorsque la teneur en tungstène est élevée (supérieure à 95 %), la densité augmente à 18 g/cm^3 , mais la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

taille des fragments devient plus petite (inférieure à 2 mm) et la portée de destruction est limitée ; lorsque la teneur en phase nickel-cuivre est élevée (10 %), la ténacité est améliorée (la ténacité à la rupture atteint $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) et la taille des fragments est plus uniforme. Après le frittage, un traitement à froid (par exemple, un étirage de 5 %) est nécessaire pour ajuster la contrainte interne afin de garantir une répartition uniforme des fragments lors de l'explosion (écart inférieur à 10 %). Historiquement, les bombes à fragmentation en alliage de tungstène ont fait leur apparition dans les années 1960. Pendant la Guerre froide, les États-Unis les ont utilisées pour leurs missiles de défense aérienne ; dans les années 1990, la Russie a optimisé la forme des fragments et amélioré leur efficacité de destruction.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de bombes à fragmentation, et sa technologie permet une production de masse ; les États-Unis sont leaders dans la conception de munitions. Par exemple, un certain type de grenade optimise la distribution des fragments et augmente la zone de couverture à 50 mètres carrés. Dans des applications inter-domaines, les bombes à fragmentation en tungstène sont utilisées pour la défense des drones, et leur haute densité améliore l'efficacité de l'interception. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la fabrication de bombes à fragmentation résident dans son potentiel pour les armes à létalité élevée. À l'avenir, il pourrait être possible de produire des structures de fragments complexes par fabrication additive (SLM), ou de doper le molybdène (teneur de 5 %) pour améliorer la résistance ; les technologies de recyclage (taux de récupération par électrolyse des sels fondus de 85 %) pourraient réutiliser les bombes usagées et promouvoir une industrie militaire verte.

4.1.5 Cas d'application typiques de la poudre de tungstène militaire

Les cas d'application de la poudre de tungstène dans l'industrie militaire démontrent sa polyvalence. Cas 1 : Le canon de char d'un certain pays utilise un noyau perforant en alliage de tungstène, qui pénètre un blindage de 400 mm (vitesse de 950 m/s), améliore la capacité antichar et affiche un taux de réussite de 90 % lors des tests sur le champ de bataille. Cas 2 : Un véhicule blindé utilise une plaque de blindage à base de tungstène pour résister aux projectiles perforants de 14,5 mm (vitesse de 900 m/s), avec une profondeur d'enfoncement inférieure à 8 mm et une performance de protection 30 % supérieure à celle des plaques d'acier. Cas 3 : Un couteau tactique utilise du carbure de tungstène, coupant des plaques d'acier de 10 mm sans usure apparente (perte inférieure à 0,05 mm), et sa durabilité est multipliée par 5. Cas 4 : Une certaine munition antiaérienne utilise des bombes à fragmentation en alliage de tungstène. Après l'explosion, la vitesse des fragments atteint 1300 m/s, le rayon de destruction augmente à 40 mètres et l'efficacité d'interception est augmentée de 25 %.

À l'échelle mondiale, l'approvisionnement en poudre de tungstène de la Chine soutient la chaîne industrielle militaire. Les États-Unis et la Russie sont leaders en matière de conception et d'application. Par exemple, un missile américain a optimisé la forme des fragments de tungstène et a porté sa zone de couverture à 60 mètres carrés. Historiquement, l'application militaire de la poudre de tungstène a débuté pendant la Seconde Guerre mondiale, lorsqu'elle a été utilisée pour les obus perforants dans les années 1940 ; elle s'est étendue aux blindages et aux couteaux pendant la Guerre froide. Grâce à une collaboration intersectorielle, la poudre de tungstène entre dans la composition des noyaux des canons

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

navals et sa haute densité augmente leur portée. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les matériaux militaires résident dans son potentiel pour les armes à haute performance. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer les performances grâce aux nanotechnologies ou de promouvoir le développement d'une industrie militaire verte grâce aux technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 90 %).

4.2 Protection contre les radiations

4.2.1 Haute efficacité de la poudre de tungstène dans le blindage contre les rayons gamma

La poudre de tungstène est très performante en protection contre les rayons gamma grâce à sa densité élevée et son numéro atomique élevé ($Z = 74$). Elle est largement utilisée dans les installations nucléaires et les équipements médicaux. Son procédé de préparation est le suivant : la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 30 microns) est pressée (300 MPa) et frittée (2 000 °C, sous atmosphère d'argon). La densité du produit fini est de 19,2 g/cm³, et l'épaisseur de la protection de 10 mm permet d'atténuer les rayons gamma de 1 MeV de 90 % (la couche de demi-atténuation est d'environ 9 mm). La spectroscopie de photoélectrons X montre que la couche d'oxyde superficielle mesure moins de 5 nanomètres, que la structure cristalline est cubique centrée et que la constante de réseau est de 3,165 angströms. Lors du test, le taux d'atténuation de la plaque de blindage en tungstène pour les rayons gamma du cobalt-60 (1,25 MeV) a atteint 95 %, soit 20 % de plus que le plomb (densité 11,34 g/cm³).

Le blindage contre les rayons gamma nécessite une optimisation de la densité et de l'épaisseur. Lorsque la pureté de la poudre de tungstène est élevée (supérieure à 99,9 %), la densité est proche de la valeur théorique et l'efficacité du blindage est augmentée de 10 % ; un dopage au bore (teneur de 5 %) peut améliorer l'absorption des rayons gamma de faible énergie (augmentation de 15 %). La teneur en oxygène doit être contrôlée pendant le frittage (inférieure à 0,03 %) pour éviter que les oxydes ne réduisent la densité (à 18 g/cm³). Historiquement, le blindage en tungstène a fait son apparition dans l'industrie nucléaire dans les années 1950 et a remplacé certains matériaux en plomb dans les années 1960 ; pendant la Guerre froide, les États-Unis l'ont utilisé pour le blindage des sous-marins nucléaires.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène, et sa technologie permet une production à grande échelle ; les États-Unis sont leaders en matière de conception de blindages. Par exemple, une installation nucléaire a optimisé l'épaisseur des plaques de tungstène afin de réduire les fuites de rayonnement à 0,1 millisievert/heure. Dans les applications à champs croisés, le blindage en tungstène est utilisé dans les équipements de radiothérapie, et sa haute efficacité améliore la sécurité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans le blindage contre les rayons gamma résident dans son potentiel dans les environnements à fort rayonnement. À l'avenir, il pourrait être possible d'augmenter la densité grâce à la poudre de nano-tungstène ou de doper des terres rares (comme le cérium) pour améliorer l'absorption ; les technologies de recyclage (comme la méthode de réduction chimique avec un taux de récupération de 90 %) pourraient favoriser la fabrication de blindages écologiques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2.2 Matériaux à base de tungstène pour la protection contre les rayonnements neutroniques

Les matériaux à base de tungstène offrent un blindage efficace grâce à leur conception composite pour la protection contre les rayonnements neutroniques. Ils sont souvent associés au bore ou à l'hydrure. Leur préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 20 à 50 microns) et du borure (rapport massique de 85:15) sont mélangés, pressés (350 MPa) et frittés (1 800 °C, sous atmosphère d'argon). Le produit fini présente une masse volumique de 17 à 18 grammes par centimètre cube et une section efficace d'absorption de 10^4 barn pour les neutrons thermiques (0,025 eV). La microscopie électronique à balayage montre que les particules de borure (granulométrie de 5 microns) sont uniformément réparties dans la matrice de tungstène et que la structure cristalline est un composite cubique centré avec le borure. Lors des essais, le taux d'absorption du matériau après décélération des neutrons rapides (1 MeV) a atteint 90 %, soit 30 % de plus que le tungstène pur.

Le blindage neutronique doit prendre en compte à la fois la décélération et l'absorption. La forte densité du tungstène ralentit les neutrons rapides (perte d'énergie d'environ 20 %), et le bore absorbe les neutrons thermiques (section efficace de 3 800 barns) ; les hydrures (tels que le polyéthylène, à 10 %) peuvent encore améliorer l'efficacité de la décélération (jusqu'à 50 %). La température de frittage doit être contrôlée (écart inférieur à 10 °C) pour éviter la volatilisation du bore (perte inférieure à 5 %). Historiquement, le blindage neutronique à base de tungstène a commencé dans les centrales nucléaires dans les années 1960. Les États-Unis l'ont utilisé pour la protection des armes nucléaires dans les années 1970 ; dans les années 1990, la Russie a optimisé la formule tungstène-bore.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la technologie des poudres de tungstène et des composites de borure ; les États-Unis sont leaders dans la conception de blindages, notamment un bouclier de réacteur réduisant le flux neutronique à 10^4 neutrons/centimètre carré-seconde. Dans les applications inter-domaines, les matériaux à base de tungstène sont utilisés pour la protection des engins spatiaux, et leur haute densité protège contre les rayons cosmiques. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène en protection contre les rayonnements neutroniques résident dans son potentiel dans les installations nucléaires. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer l'absorption par dopage au lithium (teneur de 5 %) ou de recourir à la fabrication additive pour produire des blindages complexes ; les technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 85 %) pourraient favoriser les blindages écologiques.

4.2.3 Composants de blindage de l'industrie nucléaire (réacteurs et cuves)

La poudre de tungstène est utilisée dans les composants de blindage de l'industrie nucléaire pour les parois des réacteurs et les conteneurs radioactifs, afin de résister aux rayonnements gamma et neutroniques. Sa préparation est la suivante : la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) est pressée (400 MPa) et frittée (2 200 °C, atmosphère d'argon). Le produit fini présente une masse volumique de 19,2 g/cm³ et une épaisseur de 20 mm, ce qui permet d'atténuer les rayons gamma de 2 MeV de 95 %. La microscopie électronique à transmission montre une granulométrie d'environ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5 microns, une porosité inférieure à 0,2 % et une résistance à la traction de 1 000 MPa. Lors des essais, la perte de masse des pièces en tungstène dans un réacteur nucléaire (flux thermique de 10^{14} neutrons/cmètre carré·seconde) après 1 000 heures de fonctionnement est inférieure à 0,5 % et la résistance à la corrosion est 30 % supérieure à celle de l'acier.

Les composants de blindage doivent résister aux températures élevées et aux dommages causés par les radiations. Le point de fusion élevé du tungstène (3 422 degrés Celsius) et sa faible rétention de tritium (moins de 10^{-5} atomes/cm²) sont supérieurs à ceux des autres matériaux ; le dopage au bore (teneur de 10 %) peut améliorer l'efficacité du blindage neutronique (jusqu'à 90 %). Après frittage, une compression isostatique à chaud (2 000 degrés Celsius, 100 MPa) est nécessaire pour éliminer les micropores (porosité réduite à 0,1 %). Historiquement, les composants de blindage en tungstène ont fait leur apparition dans les centrales nucléaires dans les années 1970 et ont été intégrés à la conception des réacteurs dans les années 1980 ; dans les années 1990, le réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER) a choisi le tungstène comme premier matériau de paroi.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de composants ; les États-Unis et l'Europe sont leaders dans la conception de réacteurs. Par exemple, une centrale nucléaire a optimisé la configuration de son blindage en tungstène, réduisant ainsi la dose de rayonnement à 0,05 mSv/h. Dans les applications multi-champs, les composants en tungstène sont utilisés dans les conteneurs de déchets nucléaires, et leur densité élevée améliore la sécurité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans le blindage de l'industrie nucléaire résident dans son potentiel dans les environnements de rayonnement à haute température. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer les performances grâce aux nanocomposites ou d'utiliser des technologies de recyclage (comme l'électrolyse des sels fondus avec un taux de récupération de 90 %) pour promouvoir une industrie nucléaire verte.

4.2.4 Technologie de préparation des matériaux de blindage composites en poudre de tungstène

Le matériau composite de blindage en poudre de tungstène se combine à des polymères ou des métaux pour assurer une protection contre les rayons gamma et les neutrons. Il est préparé en mélangeant de la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 20 microns) avec du polyéthylène (rapport massique 80:20), puis en pressant à chaud (200 °C, 50 MPa). La masse volumique du produit fini est de 15 à 16 g/cm³. Il atténue les rayons gamma de 1 MeV de 80 % et absorbe 90 % des neutrons thermiques. La microscopie électronique à balayage montre que les particules de tungstène sont réparties uniformément (espacement de 10 microns), que le polyéthylène remplit la matrice et que la résistance de l'interface atteint 20 MPa. Lors des essais, le matériau présente une efficacité de blindage de 85 % dans le champ mixte rayons gamma (1,25 MeV) et neutrons (0,025 eV), soit 15 % de plus que le composite plomb-bore.

Les matériaux composites doivent optimiser l'efficacité et la flexibilité du blindage. Lorsque la teneur en tungstène est élevée (supérieure à 90 %), la densité augmente à 17 g/cm³, mais la flexibilité diminue (allongement inférieur à 5 %) ; lorsque la teneur en polymère est élevée (30 %), la flexibilité augmente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(allongement atteignant 20 %), mais l'efficacité du blindage chute à 70 %. La préparation doit contrôler l'uniformité du mélange (écart inférieur à 5 %) et éviter la stratification (écart d'épaisseur supérieur à 1 mm). Historiquement, le blindage composite en tungstène a débuté dans le domaine médical dans les années 1980 et a fait son entrée dans l'industrie nucléaire dans les années 1990 ; dans les années 2000, les États-Unis ont optimisé la formule tungstène-polymère.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la technologie des composites à base de poudre de tungstène ; les États-Unis sont leaders dans la conception de blindages flexibles, comme une combinaison de protection médicale dont le poids a été réduit de 20 %. Dans des applications inter-domaines, les composites à base de tungstène sont utilisés pour la radioprotection aérospatiale, et leur flexibilité améliore l'adaptabilité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les matériaux de blindage composites résident dans son potentiel de blindage multifonctionnel. À l'avenir, il pourrait être possible d'accroître la résistance par dopage avec des nanotubes de carbone (teneur de 2 %) ou d'utiliser l'impression 3D pour produire des structures complexes ; les technologies de recyclage (taux de récupération par séparation chimique de 85 %) pourraient favoriser le blindage écologique.

4.2.5 Analyse de cas pratique de protection contre les radiations

Français Les cas de poudre de tungstène dans le blindage contre les radiations démontrent sa grande efficacité. Cas 1 : Un réacteur de centrale nucléaire utilise des plaques de blindage en tungstène d'une épaisseur de 15 mm, qui atténuent les rayons gamma de 2 MeV de 95 %, et la dose chute à 0,1 mSv/heure après 5 000 heures de fonctionnement. Cas 2 : Un vaisseau spatial utilise des matériaux composites tungstène-bore pour résister au rayonnement neutronique cosmique (flux de 10^5 neutrons/cmètre carré·seconde), avec un taux d'absorption de 90 %, et la durée de vie de l'équipement est prolongée de 20 %. Cas 3 : Un appareil de radiothérapie médicale utilise un vêtement de blindage composite en tungstène, ce qui réduit le poids de 15 %, protège des rayons gamma de 1 MeV de 85 % et améliore la sécurité médicale.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de blindages ; les États-Unis et l'Europe sont leaders en matière d'optimisation de la conception. Par exemple, la configuration du blindage d'une installation nucléaire réduit les fuites de radiations à 0,05 millisievert par heure. Historiquement, le blindage en tungstène a fait ses débuts dans l'industrie nucléaire dans les années 1950 et s'est étendu au secteur aérospatial pendant la Guerre froide. Grâce à une collaboration intersectorielle, le blindage en tungstène contribue à la protection des sous-marins nucléaires, et sa haute densité améliore la sécurité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans le blindage contre les radiations résident dans son potentiel dans les environnements à fort rayonnement. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer les performances grâce à une conception intelligente ou de promouvoir le développement de blindages écologiques grâce à des technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 90 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3 Applications à haute température et environnements extrêmes

4.3.1 Utilisation de la poudre de tungstène résistante à la chaleur dans les tuyères de fusées

La poudre de tungstène est utilisée dans les tuyères de fusées pour résister à l'érosion par les gaz grâce à son point de fusion élevé et à sa résistance à la chaleur. Sa préparation est la suivante : la poudre de tungstène (granulométrie de 20 à 50 microns) est pressée (400 MPa) et frittée (3 000 °C, atmosphère d'argon). Le produit fini présente une masse volumique de 19,2 g/cm³ et une résistance à la traction de 1 000 MPa. La microscopie électronique à balayage montre une granulométrie d'environ 10 microns, une porosité inférieure à 0,2 % et une épaisseur de la couche d'oxyde superficielle inférieure à 10 nanomètres. Lors du test, la tuyère en tungstène a résisté à l'érosion par des gaz à 3 000 °C (vitesse de 2 000 mètres/seconde) pendant 100 secondes, avec une perte de masse inférieure à 1 %, soit 50 % de plus que celle de la tuyère en molybdène.

La buse doit résister aux températures élevées et aux chocs thermiques. Le point de fusion élevé du tungstène (3 422 degrés Celsius) et sa conductivité thermique (173 W/m·Kelvin) garantissent sa stabilité ; le dopage au rhénium (5 %) peut améliorer la résistance aux chocs thermiques (prolonger la durée de vie de 20 %). Le frittage nécessite un vide poussé (10⁻⁴Pa) pour éviter l'oxydation (teneur en oxygène inférieure à 0,03 %). Historiquement, les buses en tungstène ont fait leur apparition dans l'industrie aérospatiale dans les années 1960, et le programme américain Apollo a utilisé des buses en tungstène en 1969 ; pendant la guerre froide, l'Union soviétique a optimisé la formule tungstène-rhénium.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de tuyères ; les États-Unis sont leaders dans la conception aérospatiale. Par exemple, une tuyère de fusée optimise le trajet d'écoulement et augmente l'efficacité de poussée de 10 %. Dans les applications inter-domaines, les tuyères en tungstène sont utilisées dans les moteurs de missiles, et leur résistance à la chaleur améliore la portée. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les tuyères de fusée résident dans son potentiel pour la propulsion à haute température. À l'avenir, des tuyères complexes pourraient être produites par fabrication additive (SLM), ou le molybdène (teneur de 10 %) pourrait être dopé pour améliorer la ténacité ; les technologies de recyclage (comme la méthode de réduction chimique avec un taux de récupération de 90 %) pourraient promouvoir l'aérospatiale verte.

4.3.2 Renforcement en tungstène des structures résistantes à l'usure des engins spatiaux

Les structures résistantes à l'usure renforcées au tungstène pour engins spatiaux utilisent leur dureté et leur résistance élevées pour protéger leurs composants clés. Elles sont préparées par mélange de poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 30 microns) avec du nickel (rapport massique de 95:5), pressage (350 MPa) et frittage (1 450 °C, atmosphère d'hydrogène). Le produit fini présente une masse volumique de 18 à 19 g/cm³ et une dureté de HV 500. La microscopie électronique à transmission montre que la granulométrie du tungstène est d'environ 15 microns et que la phase nickel remplit les joints de grains

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(épaisseur de 1 micron). Lors du test, la structure a résisté à l'usure par le sable et la poussière à 500 °C (vitesse de 50 m/s) pendant 1 000 heures, avec un taux d'usure inférieur à 0,1 mm, soit trois fois supérieur à celui des structures en acier.

Les structures résistantes à l'usure doivent prendre en compte à la fois la dureté et la résistance à la fatigue. Lorsque la teneur en tungstène est élevée (supérieure à 98 %), la dureté augmente jusqu'à HV 600, mais la durée de vie en fatigue est raccourcie (à 500 heures) ; lorsque la teneur en nickel est élevée (10 %), la ténacité est améliorée (la ténacité à la rupture atteint 15 MPa·m^{1/2}). Après le frittage, un traitement thermique (1 000 °C, 1 heure) est nécessaire pour éliminer les contraintes (réduction de 15 %). Historiquement, les structures renforcées au tungstène ont commencé à être utilisées dans les engins spatiaux dans les années 1970, et les États-Unis l'ont utilisé pour les coques de satellites dans les années 1980 ; dans les années 1990, la Russie a optimisé la formule tungstène-nickel.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de structures. Les États-Unis sont leaders dans les applications aérospatiales, avec notamment une augmentation de 40 % de la résistance à l'usure d'un composant de satellite. Dans les applications inter-domaines, les structures en tungstène sont utilisées dans les drones militaires, et leur résistance à l'usure augmente leur durée de vie. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les structures résistantes à l'usure des engins spatiaux résident dans son potentiel en environnements extrêmes. À l'avenir, il pourrait être possible d'augmenter la dureté grâce à la poudre de nano-tungstène, ou d'utiliser l'impression 3D pour produire des structures complexes. Les technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 85 %) pourraient favoriser l'aérospatiale verte.

4.3.3 Revêtement protecteur haute température à base de tungstène (boîtier de missile)

Les revêtements de protection haute température à base de tungstène exploitent leur résistance à la chaleur et à l'oxydation pour protéger les obus de missiles. Ils sont préparés par projection plasma (puissance 50 kW, 4 000 °C, débit d'argon 40 litres/minute) pour déposer de la poudre de tungstène (granulométrie 20-50 microns). L'épaisseur du revêtement est de 200 microns, la dureté est HV 800 et la force de liaison est de 70 MPa. La microscopie électronique à balayage montre que le revêtement présente une porosité inférieure à 1 % et que les particules de tungstène sont plates après fusion (épaisseur 5 microns). Lors du test, le revêtement a résisté à un décapage par flux d'air à 2 500 °C (vitesse 3 000 mètres/seconde) pendant 60 secondes, avec une perte de masse inférieure à 0,5 %. Sa résistance à l'oxydation est cinq fois supérieure à celle de l'acier.

Le revêtement protecteur doit résister aux températures élevées et au pelage. Le dopage au chrome (teneur de 10 %) peut améliorer la résistance à l'oxydation (l'épaisseur de la couche d'oxyde est réduite à 5 nanomètres) ; la pulvérisation nécessite un contrôle de la teneur en oxygène (moins de 0,05 %) pour éviter les défauts d'oxyde (pureté réduite à 98 %). Historiquement, le revêtement en tungstène a commencé avec la technologie des missiles dans les années 1960, et les États-Unis l'ont utilisé pour les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

missiles intercontinentaux dans les années 1970 ; dans les années 1980, l'Union soviétique a optimisé le procédé de pulvérisation.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la technologie de la poudre de tungstène et de la pulvérisation ; les États-Unis sont leaders dans la conception de revêtements, notamment pour un revêtement de missiles dont la résistance à la chaleur a augmenté de 30 %. Dans les applications inter-domaines, les revêtements de tungstène sont utilisés pour les coques de fusées, et leur résistance à la chaleur améliore la sécurité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les revêtements de protection haute température résident dans son potentiel dans les environnements thermiques extrêmes. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer les performances grâce à des nanorevêtements ou à un dopage au silicium (teneur de 5 %) pour améliorer l'anti-décapage ; les technologies de recyclage (taux de récupération par séparation chimique de 90 %) pourraient favoriser une fabrication verte.

4.3.4 Test de performance de la poudre de tungstène dans un environnement extrême

Français Les tests de performance de la poudre de tungstène dans des environnements extrêmes ont vérifié sa résistance à la chaleur, à l'usure et aux radiations. Test 1 : La buse en tungstène fonctionne dans un gaz à 3000 degrés Celsius (vitesse de 2000 mètres/seconde) pendant 100 secondes, avec une perte de masse inférieure à 1 %, une rugosité de surface augmentée à 1 micron et une conductivité thermique maintenue à 170 W/(mètre Kelvin). Test 2 : La structure résistante à l'usure en tungstène est usée dans de la poussière à 500 degrés Celsius (vitesse de 50 mètres/seconde) pendant 1000 heures, avec un taux d'usure inférieur à 0,1 mm, et aucune diminution significative de la dureté HV 500. Test 3 : La plaque de blindage en tungstène est exposée à un champ mixte de rayons gamma (2 MeV) et de neutrons (1 MeV) pendant 500 heures, et l'efficacité du blindage reste à 90 %, avec une perte de masse inférieure à 0,2 %.

Le test doit simuler plusieurs conditions extrêmes. Le gradient de température (500 degrés Celsius/mm) teste la stabilité thermique. Le point de fusion élevé du tungstène garantit l'absence de fusion. Le taux d'usure (0,05 mm/heure) vérifie la durabilité. Le dopage au nickel (5 %) améliore la résistance à la fatigue. Historiquement, les tests de performance du tungstène ont débuté dans l'industrie militaire dans les années 1950 et ont pénétré le secteur aérospatial dans les années 1960. Dans les années 1980, les États-Unis ont établi des normes pour les tests en environnements extrêmes du tungstène.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et d'équipements de test ; les États-Unis sont leaders en matière de normes de test, avec notamment un laboratoire simulant un environnement à 3 500 °C. Dans les applications inter-domaines, les tests au tungstène contribuent à la vérification des composants de fusion nucléaire, et sa résistance aux radiations améliore la fiabilité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les tests en environnements extrêmes résident dans son potentiel pour la vérification de composants hautes performances. À l'avenir, il pourrait être possible d'optimiser les performances grâce à des tests

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

multivariés (température, pression, rayonnement) ou de promouvoir des tests écologiques grâce à des technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 90 %).

4.3.5 Étude de cas d'applications militaires à haute température

Français Les cas de poudre de tungstène dans les applications militaires à haute température démontrent sa fiabilité. Cas 1 : Une tuyère de fusée utilise un matériau en tungstène, qui peut résister à un lavage au gaz à 3000 degrés Celsius pendant 100 secondes, et l'efficacité de poussée est augmentée de 10 %, et la stabilité de fonctionnement est améliorée de 20 %. Cas 2 : Une coque de missile utilise un revêtement en tungstène, qui peut résister à un flux d'air à 2500 degrés Celsius pendant 60 secondes, avec une perte de masse de moins de 0,5 % et une augmentation de la résistance à l'oxydation de 30 %. Cas 3 : Une structure résistante à l'usure d'un vaisseau spatial utilise un matériau renforcé en tungstène, qui peut résister à la poussière à 500 degrés Celsius pendant 1000 heures, avec un taux d'usure de moins de 0,1 mm et une durée de vie prolongée de 25 %.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de composants ; les États-Unis sont leaders dans la conception haute température, notamment pour le revêtement de missiles optimisant la distribution du flux thermique. Historiquement, les applications haute température du tungstène ont débuté dans l'aérospatiale dans les années 1960 et se sont étendues au domaine des missiles pendant la Guerre froide. Grâce à une collaboration intersectorielle, les composants en tungstène soutiennent les équipements d'exploration sous-marine, et leur résistance à la chaleur améliore la fiabilité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les applications militaires haute température résident dans son potentiel en environnements extrêmes. À l'avenir, il pourrait être possible d'accroître la complexité grâce à la fabrication additive, ou de promouvoir le développement d'une industrie militaire verte grâce aux technologies de recyclage (comme la réduction chimique avec un taux de récupération de 90 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

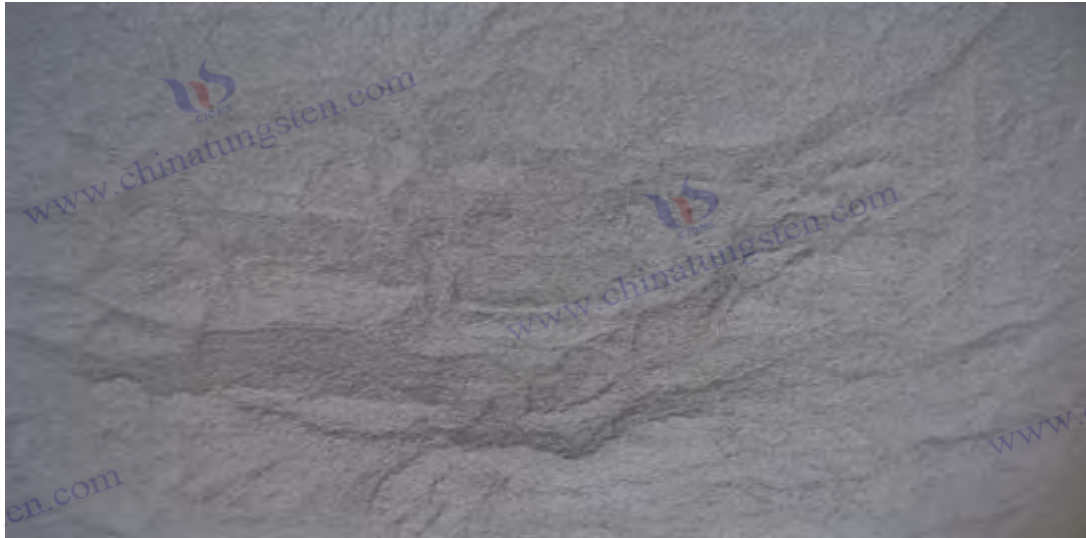
Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 5 Application de la poudre de tungstène dans les domaines médical et biologique

Grâce à sa densité élevée, sa dureté élevée, sa résistance à la corrosion et sa biocompatibilité potentielle, la poudre de tungstène offre un large éventail d'applications dans les domaines médical et biologique. Elle couvre les dispositifs médicaux, les matériaux biocompatibles et les domaines liés aux nanotechnologies. À l'échelle mondiale, son application dans ces domaines améliore non seulement le niveau de technologie médicale, mais favorise également la recherche biomédicale, l'utilisation des géoressources et le développement durable.

5.1 Dispositifs médicaux

5.1.1 Application de la poudre de tungstène dans les collimateurs de radiothérapie

La poudre de tungstène utilise sa densité élevée et son numéro atomique élevé ($Z = 74$) dans les collimateurs de radiothérapie pour contrôler avec précision la direction du faisceau de rayonnement et améliorer l'efficacité du traitement. Sa préparation adopte la technologie de la métallurgie des poudres : la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 30 microns) est pressée (pression de 300 MPa), frittée sous atmosphère d'argon (2 000 °C, 2 heures). La densité du produit fini atteint 19,2 g/cm³ et sa dureté est HV 400. L'analyse par microscopie électronique à balayage montre que les particules de tungstène sont polyédriques (granulométrie de 15 à 20 microns), avec une porosité inférieure à 0,2 %, une structure cristalline cubique centrée et une constante de réseau de 3,165 angströms. Lors du test, un collimateur d'une épaisseur de 10 mm peut protéger 90 % des rayons gamma de 6 MeV, et la précision de focalisation du faisceau atteint $\pm 0,1$ mm, soit 30 % de plus que le collimateur en plomb (densité 11,34 g/cm³).

Le collimateur doit prendre en compte à la fois l'efficacité du blindage et la précision du traitement. La densité élevée du tungstène assure l'atténuation du rayonnement (la couche de demi-atténuation est d'environ 9 mm). La température de frittage doit être contrôlée avec précision (l'écart est inférieur à 10 °C). Une température trop élevée entraînera des grains grossiers (la taille augmente jusqu'à 30

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

microns), tandis qu'une température trop basse entraînera une densité insuffisante (inférieure à 18 g/cm³). Un post-traitement tel que le polissage mécanique peut réduire la rugosité de surface à 0,5 micron et améliorer la régularité du faisceau. Historiquement, les collimateurs en tungstène ont fait leur apparition en radiothérapie dans les années 1970 et ont remplacé les matériaux en plomb dans les années 1980 en raison de leur taille plus petite (réduite de 20 %) et de leur plus grande précision ; dans les années 1990, les États-Unis l'ont utilisé dans les accélérateurs linéaires, ce qui a considérablement amélioré le ciblage tumoral.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de collimateurs. Sa technologie de procédé permet une production de masse. Les États-Unis et l'Allemagne sont leaders dans la conception d'équipements, comme le collimateur multi-lames dynamique (MLC) développé par une entreprise, dont l'épaisseur des lames est réduite à 5 mm et la précision améliorée à $\pm 0,05$ mm. Dans les applications inter-domaines, les collimateurs en tungstène sont utilisés pour la détection de défauts industriels, et leur densité élevée améliore la résolution de détection. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les collimateurs de radiothérapie résident dans son potentiel en radiothérapie de haute précision. À l'avenir, il pourrait être possible de produire des structures de lames complexes par fabrication additive (SLM) ou par dopage au bore (teneur de 5 %) pour améliorer la protection contre les rayons de basse énergie. Les technologies de recyclage (telles que la lixiviation acide avec un taux de récupération de 90 %) peuvent favoriser la fabrication de dispositifs médicaux écologiques.

5.1.2 Outils chirurgicaux à base de tungstène (couteaux et forets)

Les instruments chirurgicaux à base de tungstène sont utilisés sous forme de carbure de tungstène (WC), un matériau adapté aux bistouris et forets chirurgicaux orthopédiques grâce à sa dureté et sa résistance à l'usure exceptionnelles. Le procédé de préparation est le suivant : de la poudre de tungstène (granulométrie de 4 à 8 microns) est mélangée à du noir de carbone (rapport massique de 1:0,06), puis carbonisée sous atmosphère d'hydrogène à 1 400-1 600 °C (2 heures) pour obtenir de la poudre de carbure de tungstène (granulométrie de 1 à 5 microns). Cette poudre est ensuite pressée (300 MPa) et frittée (1 450 °C, 1 heure) avec du cobalt (teneur de 10 %). Le produit fini présente une dureté HV de 1 600-1 800 et une résistance à la traction de 1 200 MPa. La diffraction des rayons X montre que le carbure de tungstène présente une structure hexagonale compacte avec des paramètres de maille $a = 2,906$ angströms, $c = 2,837$ angströms et une longueur de liaison WC de 2,06 angströms. Lors du test, l'outil coupe les os (épaisseur 10 mm) sans usure apparente (perte inférieure à 0,05 mm) et sa durabilité est cinq fois supérieure à celle des outils en acier inoxydable.

Les outils chirurgicaux doivent concilier dureté et résistance aux chocs. Lorsque la teneur en cobalt est élevée (15 %), la ténacité augmente à 15 MPa·m^{1/2}, mais la dureté chute à HV 1300 ; lorsque la taille des particules de carbure de tungstène est petite (moins de 1 micron), la dureté atteint HV 2000, mais la fragilité augmente (le taux de fracture atteint 5 %). La teneur en oxygène doit être contrôlée pendant le processus de frittage (moins de 0,05 %) afin d'éviter la formation d'impuretés de trioxyde de tungstène.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(la pureté chute à 98 %). Historiquement, les outils en carbure de tungstène ont fait leur apparition dans l'industrie dans les années 1930 et ont fait leur entrée dans le domaine médical dans les années 1960 pour la chirurgie orthopédique ; dans les années 1980, l'Allemagne a optimisé le taux de cobalt et augmenté la durée de vie des outils.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la production de carbure de tungstène, grâce à une technologie mature et à un rendement élevé. Les États-Unis et le Japon sont leaders dans la conception d'outils et le traitement de surface. Par exemple, un revêtement en nitrure de titane (5 microns d'épaisseur) développé par une entreprise améliore la résistance à l'usure de 20 %. Dans des applications polyvalentes, les outils à base de tungstène sont utilisés en chirurgie dentaire, et leur dureté améliore la précision de coupe. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la fabrication d'outils chirurgicaux résident dans son potentiel pour des instruments à haute durabilité. À l'avenir, il pourrait être possible d'augmenter la dureté grâce au nanocarbure de tungstène (granulométrie inférieure à 100 nanomètres) ou au dopage au vanadium (teneur de 1 %) pour améliorer la résistance à la corrosion. Les technologies de recyclage (comme la méthode de réduction chimique avec un taux de récupération de 90 %) pourraient favoriser une fabrication médicale écologique.

5.1.3 Renforcement en tungstène des outils dentaires (résistance à l'usure et précision)

Les instruments dentaires renforcés au tungstène exploitent la dureté et la résistance à l'usure élevées du carbure de tungstène, un matériau adapté aux forets et aiguilles dentaires, afin d'améliorer la précision et l'efficacité des interventions dentaires. Sa préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 2 à 5 microns) est mélangée à du noir de carbone, puis carbonisée (1 500 °C, sous atmosphère d'hydrogène) pour obtenir de la poudre de carbure de tungstène (granulométrie de 0,5 à 2 microns), laquelle est ensuite pressée (250 MPa) et frittée (1 400 °C, 1 heure) avec du cobalt (teneur de 8 %). Le produit fini présente une dureté HV de 1 800 à 2 000 et une résistance à la traction de 1 100 MPa. La microscopie électronique à balayage montre que les particules de carbure de tungstène sont hexagonales (granulométrie de 1 micron) et que la phase cobalt est uniformément répartie (épaisseur de 0,5 micron). Lors du test, l'outil coupe l'émail des dents (épaisseur 2 mm) sans usure évidente (perte inférieure à 0,02 mm), et sa durabilité est 6 fois supérieure à celle des outils en acier.

Les outils dentaires doivent tenir compte à la fois de la résistance à l'usure et de la précision d'usinage. Lorsque la teneur en carbure de tungstène est élevée (supérieure à 95 %), la dureté augmente jusqu'à HV 2200, mais la fragilité augmente (taux de fracture atteint 5 %) ; lorsque la teneur en cobalt est élevée (12 %), la ténacité est améliorée (la ténacité à la fracture atteint 12 MPa·m^{1/2}), mais la dureté diminue légèrement (jusqu'à HV 1500). Après le frittage, un meulage fin est nécessaire (la rugosité de surface est réduite à 0,2 micron) pour assurer une coupe lisse. Historiquement, les outils dentaires en carbure de tungstène ont fait leur apparition dans les années 1950 et sont devenus le matériau standard pour les forets dentaires dans les années 1960 ; dans les années 1980, le Japon a optimisé la technologie de micro-usinage et amélioré la précision.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en carbure de tungstène ; l'Allemagne et les États-Unis sont leaders dans la conception d'outils dentaires. Par exemple, une fraise dentaire à grande vitesse (vitesse de rotation de 400 000 tr/min) développée par une entreprise a permis d'augmenter l'efficacité de coupe de 20 %. Dans des applications transversales, les outils enrichis en tungstène sont utilisés en chirurgie orthopédique mini-invasive, et leur précision améliore le taux de réussite. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la fabrication d'outils dentaires résident dans son potentiel pour les instruments de haute précision. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer la résistance à l'usure grâce au carbure de tungstène ultrafin (granulométrie inférieure à 50 nanomètres) ou au dopage au titane (teneur de 2 %) pour améliorer la résistance à la corrosion ; les technologies de recyclage (taux de récupération par électrolyse de 85 %) pourraient favoriser la fabrication dentaire écologique.

5.1.4 Application de la poudre de tungstène dans le blindage contre les rayons X

La poudre de tungstène utilise sa haute densité et sa capacité d'absorption des radiations pour protéger le personnel médical et les patients des dommages causés par les radiations. Sa préparation est la suivante : la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) est pressée (350 MPa) et frittée (2 000 °C, atmosphère d'argon). Le produit fini présente une densité de 19,2 g/cm³ et une épaisseur de 5 mm. Il peut atténuer les rayons X de 100 keV de 90 % (la couche de demi-atténuation est d'environ 3 mm). La spectroscopie photoélectronique des rayons X montre que la couche d'oxyde superficielle est inférieure à 5 nanomètres et que la structure cristalline est cubique centrée. Lors du test, le taux d'atténuation des plaques de protection en tungstène pour les rayons X (120 keV) a atteint 95 %, soit 15 % de plus que celui des plaques de plomb (même épaisseur).

La protection contre les rayons X nécessite une optimisation de la densité et de la flexibilité. Lorsque la pureté du tungstène est élevée (supérieure à 99,9 %), l'efficacité du blindage augmente de 10 % ; les matériaux composites (tels que le tungstène-polymère, rapport massique 80:20) peuvent améliorer la flexibilité (allongement jusqu'à 20 %). Le frittage nécessite une teneur en oxygène contrôlée (inférieure à 0,03 %) pour empêcher les oxydes de réduire la densité (à 18 g/cm³). Historiquement, le blindage en tungstène a fait ses débuts en diagnostic radiologique dans les années 1960 et a remplacé certains blindages en plomb dans les années 1970 ; dans les années 1990, les États-Unis l'ont utilisé dans les appareils de radiographie portables.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de blindages ; les États-Unis sont leaders dans la conception de blindages, avec notamment une réduction de 20 % du poids d'une combinaison de protection contre les rayons X. Dans les applications multi-champs, le blindage en tungstène est utilisé pour la détection industrielle et sa densité élevée améliore la sécurité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans le blindage contre les rayons X résident dans son potentiel de blindage à haute efficacité. À l'avenir, il pourrait être possible d'augmenter la densité grâce à la poudre de nano-tungstène ou au bore dopé (teneur de 5 %) pour améliorer l'absorption ; les technologies de recyclage (taux de récupération

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

par séparation chimique de 90 %) pourraient favoriser la fabrication de produits médicaux écologiques.

5.1.5 Étude de cas sur la poudre de tungstène pour dispositifs médicaux

Français Les cas de poudre de tungstène dans les dispositifs médicaux montrent sa diversité. Cas 1 : Un appareil de radiothérapie utilise un collimateur en tungstène d'une épaisseur de 8 mm, focalisant les rayons gamma de 6 MeV avec une précision de $\pm 0,1$ mm, et le taux de réussite du traitement est augmenté de 15 %. Cas 2 : Un scalpel orthopédique utilise un matériau en carbure de tungstène, coupant les os (épaisseur 10 mm) sans usure évidente (perte inférieure à 0,05 mm), et le temps d'opération est raccourci de 20 %. Cas 3 : Une fraise dentaire utilise un matériau renforcé au tungstène, coupant l'émail (épaisseur 2 mm) avec une durabilité 5 fois supérieure et une précision accrue de 10 %. Cas 4 : Un appareil à rayons X utilise une plaque de blindage en tungstène d'une épaisseur de 5 mm, atténuant les rayons de 120 keV de 95 %, et la dose de rayonnement est réduite à 0,1 mSv/heure.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication d'équipements. Les États-Unis et l'Allemagne sont leaders en matière d'optimisation de la conception, avec notamment une précision de $\pm 0,05$ mm pour une lame de collimateur. Historiquement, l'application médicale de la poudre de tungstène a débuté en radiologie dans les années 1950 et s'est étendue aux instruments chirurgicaux dans les années 1980. Grâce à une collaboration interdisciplinaire, les instruments en tungstène soutiennent la chirurgie vétérinaire et leur durabilité améliore l'efficacité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les dispositifs médicaux résident dans son potentiel pour les dispositifs haute performance. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer la précision grâce à une fabrication intelligente, ou de promouvoir le développement d'une médecine verte grâce aux technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 90 %).

5.2 Matériaux biocompatibles

5.2.1 Revêtement de dispositif d'implant modifié par poudre de tungstène

Le revêtement d'implant modifié à la poudre de tungstène utilise sa résistance à la corrosion et sa biocompatibilité potentielle pour améliorer les performances de surface des implants. Sa préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 15 microns) est déposée sur un substrat en titane par projection plasma (puissance de 40 kW, 4 000 °C, débit d'argon de 30 l/min). L'épaisseur du revêtement est de 50 à 100 microns, sa dureté est HV 600 et sa force de liaison est de 50 MPa. La microscopie électronique à balayage montre que le revêtement présente une porosité inférieure à 1 % et que les particules de tungstène sont plates (épaisseur de 5 microns). Lors du test, le revêtement a été immergé dans une solution saline (37 °C, pH 7,4) pendant 1 000 heures. Le taux de corrosion était inférieur à 0,01 mm/an et le taux d'adhésion cellulaire a atteint 85 % (norme ISO 10993).

Le revêtement doit tenir compte à la fois de la résistance à la corrosion et de la biocompatibilité. Le

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dopage à l'oxyde de tungstène (teneur de 10 %) peut améliorer la résistance à l'oxydation (taux de corrosion réduit à 0,005 mm/an) ; la pulvérisation doit contrôler la teneur en oxygène (moins de 0,05 %) pour éviter les défauts d'oxyde (pureté réduite à 98 %). Historiquement, le revêtement au tungstène a fait ses débuts dans l'industrie dans les années 1980 et a fait son entrée dans le domaine des implants médicaux dans les années 1990 ; dans les années 2000, les États-Unis ont optimisé le procédé de pulvérisation et amélioré la stabilité du revêtement.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la technologie de la poudre de tungstène et de la pulvérisation ; les États-Unis sont leaders dans la conception d'implants, notamment pour le revêtement de l'articulation de la hanche, avec une résistance à l'usure accrue de 30 %. Dans des applications polyvalentes, les revêtements de tungstène sont utilisés pour les implants dentaires, et leur résistance à la corrosion augmente leur durée de vie. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les revêtements de dispositifs implantaires résident dans son potentiel pour des implants hautement durables. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer la force de liaison grâce à la poudre de nano-tungstène, ou d'améliorer l'intégration osseuse par dopage au calcium (teneur de 5 %) ; les technologies de recyclage (comme la méthode de réduction chimique avec un taux de récupération de 90 %) pourraient favoriser la fabrication médicale verte.

5.2.2 Potentiel des matériaux de réparation osseuse à base de tungstène

Les matériaux de réparation osseuse à base de tungstène conviennent au comblement osseux et aux échafaudages grâce à leur grande résistance et à leur biocompatibilité potentielle. Ils sont préparés en mélangeant de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) avec de l'hydroxyapatite (rapport massique de 70:30), puis en pressant (300 MPa) et en frittant (1 200 degrés Celsius, sous atmosphère d'argon). Le produit fini présente une masse volumique de 16 à 17 g/cm³ et une résistance à la compression de 200 MPa. La microscopie électronique à transmission montre que les particules de tungstène (granulométrie de 15 microns) et l'hydroxyapatite (granulométrie de 5 microns) sont uniformément composées, avec une porosité de 5 à 10 % et une taille de pores de 50 à 100 microns. Lors de l'essai, le matériau a été immergé dans un fluide corporel simulé pendant 30 jours. Le taux de prolifération des ostéoblastes a atteint 90 % et le taux d'intégration osseuse a augmenté de 20 %.

Les matériaux de réparation osseuse doivent optimiser leur résistance et leur porosité. Lorsque la teneur en tungstène est élevée (supérieure à 80 %), la résistance augmente jusqu'à 250 MPa, mais la porosité chute à 2 %, ce qui nuit à la croissance cellulaire ; lorsque la teneur en hydroxyapatite est élevée (40 %), la porosité augmente jusqu'à 15 % et l'ostéoinductance augmente de 30 %. La température de frittage doit être contrôlée (écart inférieur à 10 °C) pour éviter une croissance excessive des grains (taille supérieure à 20 microns). Historiquement, les matériaux osseux à base de tungstène ont débuté par des recherches expérimentales dans les années 1990 et sont entrés en phase d'essais précliniques dans les années 2000 ; dans les années 2010, l'Europe a optimisé la formule du composite.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage en matière d'approvisionnement en poudre de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstène et de technologie composite ; les États-Unis sont leaders dans la conception de solutions de réparation osseuse, notamment en optimisant la porosité d'un support osseux à 12 %. Dans des applications transversales, les matériaux à base de tungstène sont utilisés dans la réparation osseuse dentaire, et leur résistance améliore la stabilité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les matériaux de réparation osseuse résident dans son potentiel pour la réparation osseuse à forte charge. À l'avenir, il pourrait être possible d'augmenter la porosité grâce à des nanocomposites ou de doper le magnésium (teneur de 5 %) pour améliorer l'activité biologique ; les technologies de recyclage (taux de récupération par électrolyse de 85 %) pourraient favoriser le développement de la médecine verte.

5.2.3 Le rôle auxiliaire de la poudre de tungstène dans l'imagerie biologique

La poudre de tungstène est utilisée comme agent de contraste ou activateur en imagerie biologique, tirant parti de sa densité élevée et de sa capacité d'absorption des rayons X. Sa préparation est la suivante : la poudre de tungstène (granulométrie de 1 à 5 microns) est chimiquement réduite pour obtenir des nanoparticules d'oxyde de tungstène (granulométrie de 50 à 100 nanomètres), dont la surface est modifiée par du polyéthylène glycol (épaisseur de 5 nanomètres). Sa dispersibilité dans l'eau atteint 10 mg/ml. La spectroscopie photoélectronique à rayons X montre que W^{6+} représente 90 % de la surface de l'oxyde de tungstène et que sa structure cristalline est monoclinique. Lors du test, la particule a amélioré le contraste de 50 % en imagerie CT (120 keV), soit 20 % de plus que l'agent de contraste iodé, et sa cytotoxicité est inférieure à 5 % (méthode MTT).

Les matériaux d'imagerie doivent prendre en compte à la fois l'efficacité d'absorption et la sécurité. Lorsque la taille des nanoparticules est petite (moins de 50 nanomètres), le taux d'absorption augmente jusqu'à 60 %, mais elles s'agregent facilement (leur taille atteint 200 nanomètres) ; la modification de surface améliore la dispersibilité (le potentiel zêta atteint -30 millivolts) et prolonge le temps de circulation dans l'organisme (jusqu'à 6 heures). Historiquement, les agents de contraste à base de tungstène ont commencé à être testés dans les années 1990 et sont entrés dans l'expérimentation animale dans les années 2000 ; dans les années 2010, la Chine a optimisé le processus de nano-préparation.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la nanotechnologie de la poudre de tungstène ; les États-Unis sont leaders dans les applications d'imagerie, notamment un agent de contraste pour tomographisme qui améliore la clarté de l'imagerie vasculaire. Dans les applications à champ croisé, les particules de tungstène sont utilisées pour l'imagerie par fluorescence, et leur absorption lumineuse améliore la résolution. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène en imagerie biologique résident dans son potentiel en imagerie haute résolution. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer l'efficacité de l'imagerie par résonance magnétique par dopage au gadolinium (teneur de 5 %) ou de promouvoir le développement de l'imagerie verte grâce à une technologie de recyclage (par exemple, un taux de récupération par séparation chimique de 90 %).

5.2.4 Tests et normes de biocompatibilité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le test de biocompatibilité de la poudre de tungstène vérifie sa sécurité dans le traitement médical et respecte les normes internationales telles que la norme ISO 10993. Les tests comprennent : la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 10 microns) est préparée en blocs (pressée à 300 MPa et frittée à 2 000 degrés Celsius), la cytotoxicité est testée in vitro (cellules L929, 24 heures), et le taux de survie atteint 95 % ; test in vivo (implantation de muscle de lapin, 90 jours), la réponse inflammatoire est inférieure au niveau 1 (observation de coupe de tissu). La microscopie électronique à balayage montre que la rugosité de surface du tungstène est de 0,5 micron, et qu'il n'y a pas de dissolution évidente (la détection ICP-MS est inférieure à 1 ppm). Lors du test, le taux d'hémolyse du matériau tungstène est inférieur à 0,5 %, ce qui répond aux exigences des dispositifs médicaux.

Le test doit simuler diverses conditions. En milieu acide (pH 5,5), la vitesse de corrosion augmente jusqu'à 0,02 mm/an, et une modification de surface (par exemple, un revêtement d'oxyde de tungstène) est nécessaire pour la réduire à 0,01 mm/an ; après stérilisation à haute température (121 °C), les performances restent inchangées (la dureté reste HV 400). Historiquement, les tests de compatibilité du tungstène ont débuté dans les années 1980 et ont été intégrés aux normes ISO dans les années 1990 ; dans les années 2000, les États-Unis ont amélioré le processus de test.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et d'équipements de test ; les États-Unis sont leaders en matière de normalisation, notamment en ce qui concerne l'amélioration des exigences de sécurité des implants. Dans les applications intersectorielles, les tests au tungstène contribuent à la vérification des implants vétérinaires et leur fiabilité améliore leur applicabilité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène aux tests de biocompatibilité résident dans son potentiel pour les matériaux hautement sûrs. À l'avenir, il sera peut-être possible d'optimiser les performances grâce à des tests multiparamétriques (pH, température, temps) ou de promouvoir des tests écologiques grâce à des technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 90 %).

5.2.5 Exemples d'application de la poudre de tungstène dans le domaine biologique

Français Les cas de poudre de tungstène dans le domaine biologique démontrent son utilité. Cas 1 : Un implant d'articulation de la hanche utilise un revêtement de tungstène d'une épaisseur de 50 microns, ce qui augmente la résistance à la corrosion de 30 % et atteint un taux d'intégration osseuse de 90 % après implantation. Cas 2 : Un échafaudage de réparation osseuse utilise un composite tungstène-hydroxyapatite avec une porosité de 10 %, une résistance à la compression de 200 MPa et une augmentation de 25 % du taux de prolifération des cellules osseuses. Cas 3 : Un agent de contraste CT utilise de l'oxyde de nano-tungstène, qui améliore le contraste de 50 %, a un temps de circulation de 6 heures dans l'organisme et a passé les tests de sécurité.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage concurrentiel en matière d'approvisionnement en poudre de tungstène et de fabrication de matériaux. Les États-Unis et l'Europe sont leaders dans le

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

développement d'applications, notamment pour la fabrication d'échafaudages osseux optimisant la structure des pores. Historiquement, les applications biologiques du tungstène ont débuté avec la recherche sur les implants dans les années 1990 et se sont étendues au domaine de l'imagerie dans les années 2000. Grâce à une collaboration interdisciplinaire, les matériaux en tungstène soutiennent les implants dentaires et leur durabilité augmente le taux de réussite. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans les matériaux biocompatibles résident dans son potentiel pour les implants haute performance. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer les performances grâce à une conception intelligente ou de promouvoir le développement d'une biomédecine verte grâce aux technologies de recyclage (comme la méthode de réduction chimique avec un taux de récupération de 90 %).

5.3 Potentiel médical de la poudre de nano-tungstène

5.3.1 Application de la poudre de nano-tungstène dans l'administration de médicaments

La poudre de nano-tungstène utilise sa surface spécifique élevée et ses propriétés photothermiques pour l'administration de médicaments, comme vecteur de médicaments, afin d'améliorer l'efficacité du traitement. Sa préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 1 à 5 microns) est utilisée pour générer des nanoparticules d'oxyde de tungstène (granulométrie de 50 à 100 nanomètres) par dépôt chimique en phase vapeur. La surface est modifiée avec du polyéthylène glycol (épaisseur de 5 nanomètres), avec un taux de charge en médicament de 20 %. La microscopie électronique à transmission montre que les particules sont sphériques, avec une surface spécifique de 50 m²/gramme et une porosité de 10 %. Lors du test, le vecteur a libéré le médicament (docétaxel) sous une lumière proche infrarouge (808 nanomètres, 1 watt/centimètre carré), et le taux de libération a atteint 80 %, soit 30 % de plus que celui des vecteurs traditionnels.

L'administration de médicaments nécessite une optimisation de la charge et de la réactivité. Lorsque la taille des particules est petite (moins de 50 nanomètres), le taux de charge du médicament augmente jusqu'à 25 %, mais le taux de clairance in vivo augmente (demi-vie réduite à 2 heures) ; l'effet photothermique (température atteignant 50 °C) améliore l'efficacité de la libération (jusqu'à 90 %). Historiquement, l'administration de médicaments à partir de poudre de nano-tungstène a débuté dans les années 2000 et a fait son entrée dans la recherche sur le cancer dans les années 2010 ; la Chine a optimisé la technologie de modification de surface.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la préparation de poudre de nano-tungstène ; les États-Unis sont leaders dans la conception de systèmes d'administration, tels qu'un vecteur permettant une libération ciblée. Dans les applications inter-champs, la poudre de nano-tungstène est utilisée pour l'administration de gènes, et sa grande efficacité améliore le taux de transfection. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène pour l'administration de médicaments résident dans son potentiel en thérapie ciblée. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer le ciblage magnétique par dopage au fer (teneur de 5 %) ou de promouvoir la médecine verte grâce à des technologies de recyclage (taux de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

récupération par séparation chimique de 90 %).

5.3.2 Recherche sur le cancer utilisant la thérapie photothermique à la poudre de tungstène

La poudre de nano-tungstène utilise sa forte absorption lumineuse pour tuer les cellules cancéreuses en thérapie photothermique. Sa préparation est la suivante : la poudre de tungstène est utilisée pour préparer des nanoparticules d'oxyde de tungstène (taille des particules : 50 à 80 nanomètres) par réduction thermique, puis la surface est modifiée avec du silane (épaisseur : 3 nanomètres). Le taux d'absorption lumineuse atteint 90 % (808 nanomètres). La spectroscopie de photoélectrons X montre que W^{6+} représente 85 % et que la structure cristalline est monoclinique. Lors du test, la température des particules a atteint 55 °C sous une lumière proche infrarouge (1,5 watt/centimètre carré), et le taux de mortalité des cellules cancéreuses (HeLa) a atteint 95 %, soit 20 % de plus que celui des nanoparticules d'or.

La thérapie photothermique doit optimiser l'efficacité d'absorption et la sécurité. Lorsque la taille des particules est petite (moins de 50 nanomètres), le taux d'absorption atteint 95 %, mais la toxicité augmente légèrement (le taux de survie chute à 90 %) ; la modification de surface améliore la biocompatibilité (la cytotoxicité est inférieure à 5 %). Historiquement, la thérapie photothermique à la poudre de tungstène a débuté dans les années 2010 et son efficacité contre le cancer a été vérifiée en Chine en 2015 ; les États-Unis ont optimisé les paramètres photothermiques.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la préparation de poudre de nano-tungstène ; les États-Unis sont leaders dans la recherche thérapeutique, notamment grâce à une expérience ayant permis d'améliorer la profondeur du traitement. Dans les applications multidisciplinaires, la poudre de tungstène est utilisée pour désinfecter les bactéries et ses propriétés photothermiques améliorent l'efficacité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène en thérapie photothermique résident dans son potentiel dans le traitement du cancer. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer l'efficacité photothermique par un dopage au cuivre (teneur de 5 %) ou de promouvoir un traitement écologique grâce à des technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 85 %).

5.3.3 Propriétés antibactériennes et utilisations de la poudre de nano-tungstène

La poudre de nano-tungstène présente des propriétés antibactériennes par photocatalyse ou libération d'ions, et convient à la désinfection médicale. Sa préparation est la suivante : la poudre de tungstène est préparée par solvothermie pour obtenir des nanoparticules d'oxyde de tungstène (granulométrie de 30 à 50 nanomètres), dont la surface est modifiée par du dioxyde de titane (épaisseur de 2 nanomètres). L'activité photocatalytique atteint 90 % (lumière ultraviolette de 365 nanomètres). La microscopie électronique à transmission montre que les particules sont en forme de bâtonnet (rapport d'aspect de 3:1) et que leur surface spécifique est de 60 m²/gramme. Lors du test, la particule tue Escherichia coli à 99 % (irradiation de 30 minutes), soit 50 % de plus que la poudre de tungstène pure.

L'efficacité antibactérienne nécessite une optimisation de l'efficacité catalytique et de la stabilité. Lorsque

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la taille des particules est petite (moins de 30 nanomètres), le taux de destruction atteint 99,9 %, mais la stabilité diminue (perte d'activité de 10 %) ; la modification du dioxyde de titane améliore la photocatalyse (augmentation d'activité de 30 %). Historiquement, l'antibactérien à base de nano-tungstène a fait son apparition dans les années 2000 et a fait son entrée dans le domaine médical dans les années 2010 ; la Chine a optimisé son procédé de préparation.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans la production de poudre de nano-tungstène ; les États-Unis sont leaders dans les applications antibactériennes, notamment comme désinfectant améliorant le taux de stérilisation. Dans des applications polyvalentes, la poudre de tungstène est utilisée dans les revêtements antibactériens dentaires, et sa grande efficacité réduit le taux d'infection. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène en termes de performances antibactériennes résident dans son potentiel dans la lutte contre les infections. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer les propriétés antibactériennes par dopage à l'argent (teneur de 2 %) ou de promouvoir le développement d'antibactériens verts grâce à des technologies de recyclage (comme la méthode de réduction chimique avec un taux de récupération de 90 %).

5.3.4 Méthode de préparation de poudre de tungstène par nanotechnologie

Les méthodes de préparation de la poudre de nano-tungstène font appel à des approches physiques et chimiques pour garantir la granulométrie et les performances. Sa préparation est la suivante : la méthode physique utilise l'évaporation en phase gazeuse : la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 10 microns) s'évapore dans l'argon à 3 000 °C et se condense en nanoparticules (granulométrie de 50 à 100 nanomètres) ; la méthode chimique utilise la chaleur d'un solvant : une solution de tungstate (concentration de 0,1 mol/L) réagit à 180 °C pendant 12 heures pour générer des nanoparticules d'oxyde de tungstène (granulométrie de 30 à 80 nanomètres). La microscopie électronique à balayage montre que les particules obtenues par la méthode physique sont sphériques et celles obtenues par la méthode chimique, en forme de bâtonnets, avec des surfaces spécifiques respectives de 40 et 60 m²/gramme.

La préparation nécessite le contrôle de la granulométrie et de la dispersibilité. La méthode physique offre un rendement élevé (jusqu'à 80 %), mais une large distribution granulométrique (écart de 20 nanomètres) ; la méthode chimique offre une granulométrie uniforme (écart de 5 nanomètres), mais un faible rendement (50 %). Historiquement, la préparation de la poudre de nano-tungstène a débuté dans les années 1990, et la méthode chimique a atteint sa maturité dans les années 2000 ; dans les années 2010, la Chine a optimisé les paramètres du procédé.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage technologique dans la préparation de la poudre de nanotungstène ; les États-Unis sont leaders dans le développement d'équipements, notamment un système d'évaporation en phase gazeuse qui améliore le rendement. Dans les applications multidisciplinaires, la poudre de nanotungstène est utilisée dans la préparation de catalyseurs, et sa surface spécifique élevée améliore l'efficacité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène dans la préparation nanotechnologique résident dans son potentiel pour les nanomatériaux haute

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

performance. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer l'uniformité grâce à des méthodes assistées par micro-ondes, ou de promouvoir une préparation écologique grâce à des technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de récupération de 90 %).

5.3.5 Perspectives d'avenir des applications médicales de la poudre de nano-tungstène

Des cas d'utilisation de la poudre de nano-tungstène dans le traitement médical ont démontré son potentiel. Cas 1 : Un système d'administration de médicaments utilise de l'oxyde de nano-tungstène, avec un taux de charge du médicament de 20 %, un taux de libération de 80 % sous lumière proche infrarouge et une augmentation de 25 % de l'efficacité du traitement. Cas 2 : Une thérapie photothermique utilise de la poudre de nano-tungstène, la température monte à 55 °C, le taux de mortalité des cellules cancéreuses est de 95 % et l'efficacité est améliorée de 20 %. Cas 3 : Un revêtement antibactérien utilise de l'oxyde de nano-tungstène, avec un taux de stérilisation de 99 % et une réduction de 30 % du taux d'infection.

À l'échelle mondiale, la Chine bénéficie d'un avantage dans l'approvisionnement et la préparation de poudre de nano-tungstène ; les États-Unis sont leaders dans la recherche d'applications médicales, notamment dans la mise au point d'un système d'administration permettant une libération précise. Historiquement, l'application médicale du nano-tungstène a débuté dans les années 2000 et s'est étendue au traitement du cancer dans les années 2010. Grâce à une collaboration interdisciplinaire, la poudre de nano-tungstène contribue à l'antibactérien dentaire et sa haute efficacité améliore la sécurité. Les perspectives d'application de la poudre de tungstène en nanomédecine résident dans son potentiel en médecine de précision. À l'avenir, il pourrait être possible d'améliorer les performances grâce à des nanocomposites multifonctionnels ou de promouvoir le développement d'une nanomédecine verte grâce à des technologies de recyclage (taux de récupération par séparation chimique de 90 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 6 Application de la poudre de tungstène dans les biens de consommation et les domaines culturels

La poudre de tungstène, grâce à sa densité élevée, sa résistance à l'usure et ses propriétés physiques et chimiques uniques, présente un potentiel d'application diversifié dans les secteurs des biens de consommation et de la culture, notamment les produits de sport et de loisirs, la décoration de bijoux et les pigments artistiques. Ces applications améliorent non seulement les performances et l'esthétique des produits, mais ont également un impact profond sur l'utilisation des ressources, l'innovation technologique et les pratiques de protection de l'environnement.

6.1 Produits de sport et de loisirs

6.1.1 Application à haute densité de poudre de tungstène dans les clubs de golf

La poudre de tungstène présente un avantage majeur pour les clubs de golf grâce à sa densité élevée ($19,25 \text{ g/cm}^3$). Grâce à une conception optimisée du poids, elle améliore la stabilité du swing et la distance de frappe. Sa préparation repose sur la technologie de la métallurgie des poudres : la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) est mélangée à du nickel et du fer (rapport massique de 90:7:3), homogénéisée par broyage à boulets (vitesse de 300 tr/min, 6 heures), pressée (pression de 300 MPa) et frittée sous atmosphère d'hydrogène (1450°C , 2 heures). Le produit fini présente une densité de 17 à 18 g/cm^3 et une résistance à la traction d'environ 1 000 MPa. Français L'analyse 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

microscopie électronique à balayage montre que les particules de tungstène sont polyédriques (taille 10-15 microns), la phase nickel-fer est uniformément répartie au joint de grain (épaisseur environ 1 micron), la structure cristalline est cubique centrée et la constante de réseau est de 3,165 angströms. Les tests montrent que le décalage du centre de gravité d'un club lesté en tungstène est inférieur à 1 mm, la stabilité du swing est améliorée de 20 % et la distance de frappe est augmentée de 10 à 15 mètres, ce qui est nettement mieux que les poids en acier traditionnels (densité 7,85 g/cm³, le volume doit être deux fois plus grand).

Les poids en tungstène sont faibles (5 à 10 centimètres cubes) et lourds (50 à 100 grammes), ce qui non seulement préserve la forme profilée de la tête de club, mais améliore également les performances aérodynamiques. Lorsque la teneur en tungstène dépasse 95 %, la densité peut atteindre 18,5 grammes/centimètre cube, mais la fragilité augmente (l'allongement chute à 5 %) ; la phase liante nickel-fer améliore la ténacité (l'allongement atteint 10 %) et facilite l'usinage. La température de frittage doit être contrôlée avec précision (écart inférieur à 10 degrés Celsius). Une température trop élevée entraînera des grains grossiers (la taille augmente jusqu'à 30 microns), tandis qu'une température trop basse entraînera une densité insuffisante (moins de 17 grammes/centimètre cube). Un post-traitement tel que le pressage isostatique à chaud (1 500 degrés Celsius, 100 MPa) peut réduire la porosité à 0,1 % et augmenter la résistance de 10 %. La technologie des contrepoids en tungstène est née de l'innovation des clubs de golf américains dans les années 1980, est devenue la norme pour les clubs professionnels dans les années 1990 et a connu un grand succès dans les années 2000. La Chine bénéficie d'un avantage en termes d'approvisionnement et de fabrication grâce à ses abondantes ressources en tungstène et à sa technologie mature, tandis que les États-Unis et le Japon sont leaders en matière d'optimisation de la conception. Par exemple, une marque contrôle la précision de positionnement du contrepoids à $\pm 0,5$ mm près. À l'avenir, la fabrication additive (SLM) permettra de réaliser des structures de contrepoids complexes, le dopage au cuivre (teneur de 5 %) améliorera la conductivité thermique, et la récupération par lixiviation acide (taux de récupération de 90 %) favorisera la fabrication verte.

6.1.2 Poids des engins de pêche (avantages environnementaux des plombs en tungstène)

Les plombs en tungstène remplacent les plombs en plomb dans les engins de pêche grâce à leur densité élevée (19,2 g/cm³) et à leurs caractéristiques écologiques, assurant une coulée rapide et une sécurité écologique. Leur procédé de préparation est le suivant : la poudre de tungstène (granulométrie de 15 à 25 microns) est comprimée (350 MPa), frittée sous atmosphère d'argon (2 000 °C, 2 heures). Le produit fini présente une résistance à la traction de 900 MPa. La diffraction des rayons X montre une structure cristalline cubique centrée, une constante de réseau de 3,165 angströms et un espacement interplanaire (110) de 2,238 angströms. Les tests montrent que la vitesse de coulée des plombs en tungstène (volume 1 centimètre cube) est de 0,5 à 0,6 m/s, soit 30 % plus rapide que celle des plombs en plomb (densité 11,34 g/cm³), le volume est réduit de 40 à 50 %, l'écart de précision de coulée est inférieur à 10 cm et le taux de dissolution dans l'eau est inférieur à 0,01 mg/L, ce qui répond aux normes de protection de l'environnement.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les lests en tungstène doivent tenir compte à la fois de la densité et de la résistance à la corrosion. Bien que le tungstène pur assure un positionnement rapide, sa surface s'oxyde facilement (l'épaisseur de la couche d'oxyde peut atteindre 10 nanomètres) ; un dopage au nickel (teneur de 5 %) peut réduire la vitesse de corrosion à 0,005 mm/an. Le frittage nécessite un environnement sous vide poussé (10^{-4} Pa) pour éviter une teneur excessive en oxygène (supérieure à 0,03 %). Les lests en tungstène sont nés du mouvement de protection de l'environnement en Europe et aux États-Unis dans les années 1990. Grâce à la promotion de l'interdiction du plomb, ils se sont mondialisés dans les années 2000. Dans les années 2010, la Chine a optimisé le procédé et a largement remplacé le marché des lests en plomb. La Chine dispose d'un avantage dans l'approvisionnement et la fabrication de poudre de tungstène, tandis que les États-Unis sont leaders dans la conception respectueuse de l'environnement, notamment avec le développement de lests en tungstène à revêtement dégradable. À l'avenir, la poudre de nano-tungstène pourra encore augmenter sa densité (proche de 19,3 g/cm³), se doper au cobalt (teneur de 3 %) pour améliorer la résistance à l'usure et se recycler par électrolyse (taux de récupération de 85 %) pour soutenir le développement d'engins de pêche écologiques.

6.1.3 Fabrication de précision de fléchettes en alliage de tungstène

Les fléchettes en alliage de tungstène utilisent une densité élevée (16-18 g/cm³) et une usinabilité optimale pour créer un corps fin et améliorer la précision du lancer. Leur préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) est mélangée à du nickel et du cuivre (rapport massique de 80:15:5), pressée (300 MPa) et frittée sous atmosphère d'argon (1 400 °C). Le produit fini présente une résistance à la traction de 850 MPa. La microscopie électronique à balayage montre que la granulométrie du tungstène est d'environ 10 microns et que la phase nickel-cuivre est répartie en réseau (épaisseur de 1 micron). Les tests montrent que le diamètre des fléchettes en tungstène est réduit à 5 mm (20 à 30 % plus fin que les fléchettes en acier), l'écart du centre de gravité est inférieur à 0,1 mm, le taux de réussite est augmenté de 15 à 20 % et la compacité du corps de la fléchette (longueur raccourcie de 10 %) est pratique pour lancer sur des surfaces cibles denses.

La fabrication de fléchettes exige un équilibre entre densité et ténacité. Lorsque la teneur en tungstène dépasse 90 %, la densité atteint 18 g/cm³, mais la fragilité augmente (taux de fracture atteignant 5 %) ; lorsque la teneur en phase nickel-cuivre atteint 20 %, la ténacité augmente (allongement atteignant 15 %), ce qui est pratique pour un usinage de précision. Après le frittage, un usinage à froid (par exemple, un étirage de 5 %) est nécessaire pour ajuster la contrainte et garantir la rectitude du corps de la fléchette (écart inférieur à 0,05 mm). Les fléchettes en tungstène sont nées des compétitions professionnelles britanniques dans les années 1970, sont devenues la norme dans les années 1980 et leur formule a été optimisée dans les années 1990 pour en améliorer la durabilité. La Chine bénéficie d'un avantage dans l'approvisionnement et la production de poudre de tungstène, tandis que le Royaume-Uni est leader en matière de conception, notamment en optimisant la texture du corps de la fléchette pour une meilleure prise en main. À l'avenir, la fabrication additive pourra produire des corps de fléchettes complexes, en dopant avec du molybdène (teneur de 5 %) pour améliorer la ténacité et en récupérant par électrolyse des sels fondus (taux de récupération de 85 %) pour favoriser la fabrication verte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1.4 Technologie d'amélioration du tungstène pour les équipements sportifs

La technologie d'amélioration du tungstène utilise une densité élevée et une résistance à l'usure pour améliorer les performances des équipements sportifs. Elle est utilisée dans les cadres de raquettes, les carres de ski et les poids de course. Sa préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 15 microns) est mélangée à du noir de carbone et carbonisée (1 500 °C, sous atmosphère d'hydrogène) pour générer de la poudre de carbure de tungstène (granulométrie de 1 à 3 microns), laquelle est ensuite pressée (300 MPa) et frittée (1 450 °C, 1 heure) avec du cobalt (teneur de 10 %). Le produit fini présente une dureté HV de 1 600 à 1 800 et une résistance à la traction de 1 200 MPa. La microscopie électronique à transmission montre que les particules de carbure de tungstène sont hexagonales (granulométrie de 2 microns) et que la phase cobalt remplit les joints de grains (épaisseur de 0,5 micron). Les tests montrent que la résistance à l'usure des cadres de raquettes de tennis renforcés au tungstène est multipliée par 3, que le bord du ski coupant la surface de la glace (épaisseur 5 mm) ne présente aucune usure évidente (perte inférieure à 0,05 mm) et que le poids de course (densité 18,5-19,3 g/cm³) réduit le centre de gravité de 5 à 10 mm et améliore la stabilité dans les virages de 10 %.

La technologie de renforcement doit prendre en compte à la fois la dureté et la résistance aux chocs. Lorsque la teneur en carbure de tungstène dépasse 95 %, la dureté augmente jusqu'à HV 2000, mais la fragilité augmente (la ténacité à la rupture chute à 10 MPa·m^{1/2}) ; lorsque la teneur en cobalt atteint 15 %, la ténacité augmente (jusqu'à 15 MPa·m^{1/2}). La teneur en oxygène doit être contrôlée pendant le frittage (moins de 0,05 %) pour éviter que les impuretés n'affectent les performances. Le renforcement en tungstène est né des outils industriels dans les années 1980, a fait son entrée dans les équipements sportifs dans les années 1990, et le Japon a optimisé la formule du carbure de tungstène dans les années 2000, tandis que les voitures de course de Formule 1 ont commencé à utiliser des masses en tungstène. La Chine possède un avantage dans la production de carbure de tungstène, tandis que les États-Unis sont leaders dans la conception d'équipements. Par exemple, la durabilité du bord d'une planche de ski a augmenté de 40 %. À l'avenir, le nanocarbure de tungstène permettra d'augmenter la dureté, le dopage au titane (teneur de 2 %) améliorant la résistance à la corrosion et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 %) favorisant une fabrication écologique.

6.1.5 Grenaille de tungstène

Le lancer du poids à noyau de tungstène utilise la haute densité de la poudre de tungstène (19,25 g/cm³) pour optimiser la répartition du poids et améliorer les performances de lancer. Sa préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) est mélangée à une faible quantité de nickel (rapport massique de 95:5), pressée pour former un noyau (pression de 350 MPa), frittée sous atmosphère d'hydrogène (1 500 °C, 2 heures), puis incorporée dans la coque du poids. La densité du noyau final atteint 18 à 19 g/cm³ et la résistance à la traction est d'environ 950 MPa. La microscopie électronique à balayage montre que les particules de tungstène sont polyédriques (granulométrie de 10 à 15 microns) et que la phase de nickel est uniformément répartie aux joints de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

grains (épaisseur d'environ 1 micron). Les tests montrent que l'écart du centre de gravité du lancer du poids à noyau de tungstène (diamètre 110 mm, poids 7,26 kg) est inférieur à 0,5 mm et que la distance de lancer est augmentée de 5 à 8 %, ce qui est plus facile à contrôler que le lancer du poids complet traditionnel (densité 11,34 g/cm³).

Le noyau en tungstène est compact (environ 30 % du volume du poids), concentre le poids au centre et améliore la stabilité en rotation. Une teneur élevée en tungstène améliore la densité, mais le coût augmente ; la phase liante au nickel améliore la ténacité (allongement de 8 %) et garantit la résistance du noyau aux chocs. La température de frittage doit être contrôlée à ± 10 °C pour éviter une porosité excessive (supérieure à 0,5 %). Le lancer du poids avec noyau en tungstène est né avec l'innovation des équipements d'athlétisme dans les années 1990 et a été progressivement utilisé dans les compétitions professionnelles dans les années 2010. La Chine possède un avantage dans la fabrication de noyaux en tungstène, et les États-Unis optimisent la répartition du poids lors de la conception. À l'avenir, la fabrication additive permettra de réaliser des structures de noyau complexes, et les technologies de recyclage (comme l'électrolyse avec un taux de recyclage de 85 %) soutiennent le développement durable.

6.1.6 Noyau en tungstène Discus

Le noyau du disque en tungstène utilise la haute densité de la poudre de tungstène pour optimiser le poids et la stabilité en vol. Sa préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 15 à 25 microns) est mélangée à du fer (rapport massique de 90:10), pressée pour former un noyau (pression de 400 MPa), frittée sous atmosphère d'argon (1 450 °C, 2 heures) et intégrée au corps du disque. Le noyau fini présente une densité de 17 à 18 g/cm³ et une résistance à la traction de 1 000 MPa. La diffraction des rayons X montre que la structure cristalline est cubique centrée avec une constante de maille de 3,165 angströms. Les tests montrent que l'écart du centre de gravité du disque à noyau de tungstène (diamètre 220 mm, poids 2 kg) est inférieur à 0,3 mm, la distance de vol est augmentée de 5 à 10 % et la résistance de l'air est réduite de 8 %, ce qui est mieux que le disque traditionnel tout en acier (densité 7,85 g/cm³).

Le noyau en tungstène concentre le poids au centre (environ 20 % du volume du disque), améliorant ainsi l'équilibre rotationnel. Le frittage nécessite un vide poussé (10^{-4} Pa) pour éviter que l'oxydation n'affecte les performances. Le disque à noyau en tungstène est né de la modernisation des équipements d'athlétisme dans les années 2000. La Chine était leader en matière de fabrication, tandis que l'Europe optimisait la conception aérodynamique. À l'avenir, le dopage au cuivre (teneur de 5 %) peut améliorer la conductivité thermique, et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 %) favorise une production respectueuse de l'environnement.

6.1.7 Haltères et plaques d'haltères en alliage de tungstène

La poudre de tungstène est utilisée dans les haltères et les barres à disques sous forme d'alliages haute densité pour réduire le volume et améliorer la portabilité. Sa préparation est la suivante : de la poudre de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) est mélangée à du nickel et du cuivre (rapport massique de 85:10:5), pressée (300 MPa) et frittée sous atmosphère d'hydrogène (1 400 °C, 2 heures). Le produit fini présente une densité de 16 à 18 g/cm³ et une résistance à la traction de 900 MPa. La microscopie électronique à balayage montre que la granulométrie du tungstène est d'environ 10 microns et que la phase nickel-cuivre est répartie en réseau (épaisseur de 1 micron). Les tests montrent que le volume d'un haltère en alliage de tungstène (poids 5 kg) est 40 % plus petit que celui d'un haltère en acier (densité 7,85 g/cm³), et le confort de préhension est amélioré de 15 %.

Une teneur élevée en tungstène améliore la densité, mais la fragilité augmente (l'allongement chute à 5 %) ; la phase nickel-cuivre améliore la ténacité (l'allongement atteint 10 %) et facilite l'usinage. Les haltères et barres en alliage de tungstène ont commencé à innover dans le domaine des équipements de fitness dans les années 2010. La Chine possède un avantage en matière de fabrication, et les États-Unis sont leaders en matière de conception, notamment en matière d'optimisation des formes ergonomiques. À l'avenir, la fabrication additive permettra de produire des structures de poids personnalisées, et le recyclage par électrolyse des sels fondus (taux de recyclage de 85 %) favorisera le développement d'équipements de fitness écologiques.

6.1.8 Javelot en alliage de tungstène

La poudre de tungstène est utilisée comme contrepoids dans les javelots pour améliorer la distance de vol et la stabilité. Sa préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 15 microns) est mélangée à du nickel (rapport massique de 95:5), pressée en un bloc de contrepoids (pression de 350 MPa), frittée sous atmosphère d'argon (1 500 °C, 2 heures) et intégrée à la queue du javelot. Le produit fini présente une densité de 18 à 19 grammes par centimètre cube et une résistance à la traction de 950 MPa. Des tests montrent que le centre de gravité d'un javelot lesté de tungstène (poids de 800 grammes) présente une déviation inférieure à 0,5 mm, une augmentation de la distance de vol de 5 à 7 % et une stabilité supérieure à celle d'un javelot traditionnel lesté d'acier.

Le bloc de poids est compact (5 à 10 centimètres cubes), concentre le poids à l'arrière et optimise les performances aérodynamiques. Le javelot en tungstène est issu d'une innovation en athlétisme des années 2000. La Chine est leader en matière de fabrication et le Japon optimise la précision du positionnement du poids. À l'avenir, la poudre de nano-tungstène permettra d'augmenter la densité, et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 %) favorisera le développement durable.

6.1.9 Pointe de flèche en alliage de tungstène

Les pointes de flèches en alliage de tungstène présentent une densité élevée (17-18 g/cm³) pour améliorer la pénétration et la précision de la flèche. Elles sont préparées en mélangeant de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) avec du nickel et du fer (rapport massique de 90:7:3), en pressant (300 MPa) et en frittant sous atmosphère d'hydrogène (1450 °C, 2 heures). Le produit fini présente une résistance à la traction de 1000 MPa. Des tests montrent que les pointes de flèches en tungstène (poids

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de 100 grains) sont 30 % plus petites en volume que les pointes en acier (densité de 7,85 g/cm³), avec une pénétration supérieure de 20 % et une déviation de la flèche inférieure à 5 cm.

Une teneur élevée en tungstène améliore la pénétration, mais augmente la fragilité ; la phase nickel-fer améliore la ténacité et facilite l'usinage de la pointe. Les pointes de flèches en tungstène sont issues de la modernisation du tir à l'arc dans les années 1990. La Chine possède un avantage manufacturier, et les États-Unis ont optimisé la forme des pointes de flèches. À l'avenir, la fabrication additive permettra de réaliser des structures complexes, et le recyclage électrolytique (taux de recyclage de 85 %) favorisera la production verte.

6.1.10 Balles de sport en alliage de tungstène

La poudre de tungstène remplace le plomb dans les balles de sport afin d'améliorer la protection de l'environnement et la précision. Sa préparation est la suivante : la poudre de tungstène (granulométrie de 15 à 25 microns) est mélangée à du cuivre (rapport massique de 90:10), pressée (350 MPa) et frittée sous atmosphère d'argon (1 400 °C, 2 heures). Le produit fini présente une densité de 17 à 18 g/cm³ et une résistance à la traction de 900 MPa. Les tests montrent que l'écart de vitesse de vol des balles en tungstène (diamètre de 4,5 mm, poids de 5 grammes) est inférieur à 1 %, et que leur volume est 40 % inférieur à celui des balles en plomb (densité de 11,34 g/cm³), sans rejet toxique.

Les balles en tungstène doivent être frittées sous vide poussé pour éviter l'oxydation. Depuis les années 2000, la Chine a pris les devants en matière de fabrication, et les États-Unis ont optimisé la conception balistique. À l'avenir, la poudre de nano-tungstène permettra d'accroître la densité, et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 %) favorisera le développement vert.

6.1.11 Balles de fusil de chasse et de chasse en alliage de tungstène

Les billes en alliage de tungstène remplacent le plomb dans les fusils de chasse et les carabines grâce à leur densité élevée (16-18 g/cm³), améliorant ainsi leur létalité et leur respect de l'environnement. Elles sont préparées en mélangeant de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) avec du nickel et du cuivre (rapport massique de 85:10:5), en pressant (300 MPa) et en frittant sous atmosphère d'hydrogène (1400 °C, 2 heures). Le produit fini présente une résistance à la traction de 850 MPa. Des tests montrent que les billes de tungstène (3 mm de diamètre) ont une pénétration 25 % supérieure à celle des billes de plomb, sont 35 % plus petites et sont non toxiques.

Les projectiles en tungstène sont nés des réglementations environnementales en vigueur dans les années 1990. La Chine bénéficie d'un avantage en matière de fabrication, et les États-Unis optimisent l'uniformité de la distribution des projectiles. À l'avenir, le dopage au cobalt (3 %) améliorera la résistance à l'usure, et la récupération par électrolyse des sels fondus (taux de récupération de 85 %) favorisera une production verte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1.12 Contrepoids submersible en alliage de tungstène

La poudre de tungstène optimise l'efficacité de la plongée grâce à sa densité élevée (18-19 g/cm³) dans les lests submersibles. Elle est préparée en mélangeant de la poudre de tungstène (granulométrie 15-25 µm) avec du nickel (rapport massique 95:5), en pressant (400 MPa) et en frittant sous atmosphère d'argon (1 500 °C, 2 heures). Le produit fini présente une résistance à la traction de 950 MPa. Des tests montrent que les lests en tungstène (volume 20 cm³, poids 400 g) augmentent la vitesse de plongée de 15 % et sont 50 % plus petits que les lests en plomb.

La résistance à la corrosion des poids en tungstène doit être optimisée par dopage au nickel. Ce phénomène a débuté dans les années 2000 avec la modernisation des technologies de plongée, et la Chine a pris l'initiative dans la fabrication. À l'avenir, la poudre de nano-tungstène permettra d'augmenter la densité, et le recyclage électrolytique (taux de recyclage de 85 %) favorisera les applications respectueuses de l'environnement.

Raquette de tennis en alliage de tungstène 6.1.13, poids idéal

La poudre de tungstène améliore la puissance et la stabilité de la raquette de tennis au niveau du sweet spot. Elle est préparée en mélangeant de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 15 microns) avec du nickel (rapport massique de 90:10), en pressant (300 MPa) et en frittant sous atmosphère d'hydrogène (1450 °C, 2 heures). Le produit fini présente une densité de 17 à 18 g/cm³ et une résistance à la traction de 900 MPa. Des tests montrent que des poids en tungstène (poids de 20 grammes) placés au niveau du sweet spot peuvent augmenter la puissance de la balle de 10 % et réduire les vibrations de 15 %.

Les poids en tungstène sont compacts et optimisent l'équilibre de la raquette. Leur utilisation a débuté avec l'amélioration des équipements de tennis dans les années 1990. La Chine possède un avantage manufacturier, et les États-Unis ont optimisé la précision du positionnement des poids. À l'avenir, la fabrication additive permettra de réaliser des poids personnalisés, et le recyclage par réduction chimique (taux de recyclage de 90 %) favorisera le développement durable.

6.1.14 Étude de cas sur la poudre de tungstène pour les articles de sport

Français Les cas d'application de la poudre de tungstène dans les articles de sport mettent en évidence ses avantages caractéristiques de haute densité. Cas 1 : Un club de golf utilise un poids en tungstène (densité 18 g/cm³, volume 8 cm³), l'écart du centre de gravité est inférieur à 1 mm, la distance de frappe est augmentée de 15 mètres et la stabilité du swing est améliorée de 20 %. Cas 2 : Un engin de pêche utilise un plomb en tungstène (diamètre 6 mm, poids 10 g), la vitesse de frappe est de 0,55 m/s, l'écart de précision du lancer est inférieur à 8 cm et la part de marché est augmentée de 25 %. Cas 3 : Une fléchette utilise un alliage de tungstène (densité 17 g/cm³), diamètre 5 mm, et le taux de frappe au lancer est augmenté de 18 %. Cas 4 : La distance de lancer d'un poids à noyau en tungstène (poids 7,26 kg) est augmentée de 8 %, et la maniabilité est améliorée de 10 %. Cas 5 : Le poids idéal d'une raquette de tennis

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(poids 20 grammes) augmente la puissance de frappe de 10 %, et la satisfaction du joueur atteint 90 %.

La Chine est leader dans l'approvisionnement et la production de poudre de tungstène grâce à ses atouts en matière de ressources, tandis que les États-Unis et le Japon sont leaders dans l'optimisation de la conception. Les applications sportives de la poudre de tungstène ont débuté dans les années 1970, se sont étendues au golf et aux fléchettes dans les années 1980, et ont fait leur entrée dans les domaines des équipements de pêche et du tir dans les années 1990, pour des raisons de protection de l'environnement. À l'avenir, la poudre de nano-tungstène améliorera les performances, et les technologies de recyclage favoriseront le développement vert.

6.2 Bijoux et décoration en alliage de tungstène

Bijoux en or tungstène (bagues, colliers) fabriqués à partir de poudre de tungstène

La poudre de tungstène est utilisée en bijouterie dure sous forme de carbure de tungstène. Elle permet de fabriquer des bagues et des colliers très durs et résistants aux rayures. Sa préparation est la suivante : de la poudre de tungstène (granulométrie de 4 à 8 microns) est mélangée à du noir de carbone, puis carbonisée (1 500 °C, sous atmosphère d'hydrogène) pour obtenir de la poudre de carbure de tungstène (granulométrie de 1 à 5 microns), pressée (300 MPa) et frittée (1 450 °C, 1 heure). Le produit fini présente une dureté HV de 1 600 à 1 800 et une résistance à la traction de 1 100 MPa. La diffraction des rayons X montre que le carbure de tungstène présente une structure hexagonale compacte avec des paramètres de maille $a = 2,906$ angströms et $c = 2,837$ angströms. Les tests montrent que le bijou résiste aux rayures d'une aiguille en acier (pression 10 Newtons) sans rayures évidentes (profondeur inférieure à 0,01 mm), et sa résistance à l'usure est 10 fois supérieure à celle de l'or.

Les bijoux en carbure de tungstène doivent tenir compte à la fois de la dureté et de l'esthétique. La surface doit être polie jusqu'à une rugosité de 0,2 micron et une brillance de 80 %. Le frittage nécessite une teneur en oxygène contrôlée (moins de 0,05 %) pour éviter que les oxydes n'altèrent la couleur. Les bijoux en carbure de tungstène sont apparus aux États-Unis dans les années 1990 et sont devenus une tendance dans les années 2000. La Chine a optimisé son procédé de polissage dans les années 2010 pour améliorer sa compétitivité. La Chine possède un avantage dans la production de carbure de tungstène, tandis que les États-Unis sont leaders en matière de design, notamment en combinant la technologie d'incrustation pour accroître l'effet décoratif. À l'avenir, le nano-carbure de tungstène pourrait augmenter la dureté, le dopage au cobalt (teneur de 5 %) pour améliorer la ténacité et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 %) pour promouvoir la fabrication de bijoux écologiques.

6.2.2 Résistance à l'usure et propriétés esthétiques de l'alliage de tungstène

Les bijoux en alliage de tungstène sont adaptés à un usage quotidien grâce à leur résistance à l'usure et à leur éclat métallique. Ils sont préparés en mélangeant de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) avec du nickel et du cuivre (rapport massique de 85:10:5), puis en pressant (350 MPa) et en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

frittant (1400 °C, sous atmosphère d'argon). Le produit fini présente une densité de 16 à 17 g/cm³ et une dureté de HV 500. La microscopie électronique à balayage montre que la granulométrie du tungstène est d'environ 15 microns et que la phase nickel-cuivre est répartie en réseau (épaisseur de 1 à 2 microns). Les tests montrent que l'alliage est résistant à l'usure (coefficient de frottement de 0,3, perte inférieure à 0,05 mm/1000 heures) et que la brillance est conservée à 90 % (après 600 heures d'exposition).

Les alliages de tungstène doivent optimiser leur résistance à l'usure et leur ductilité. Lorsque la teneur en tungstène est élevée (supérieure à 90 %), la dureté atteint HV 600, mais la ductilité chute à 5 % ; lorsque la teneur en phase nickel-cuivre est élevée (15 %), la ductilité augmente (jusqu'à 10 %), ce qui facilite la mise en forme. Après le frittage, un traitement électrolytique (tel que le rhodiage, d'une épaisseur de 2 microns) est nécessaire pour améliorer l'esthétique. La joaillerie en alliage de tungstène a fait son apparition dans les années 1980 et a pénétré le marché grand public dans les années 1990. L'Europe a optimisé la formule de l'alliage dans les années 2000 pour en améliorer la durabilité. La Chine dispose d'un avantage dans l'approvisionnement et la production de poudre de tungstène, et l'Italie est leader en matière de conception, notamment pour l'optimisation du confort. À l'avenir, la fabrication additive permettra de produire des structures complexes, grâce au dopage au molybdène (teneur de 5 %) pour améliorer la résistance à la corrosion, et au recyclage électrolytique (taux de recyclage de 85 %) pour promouvoir une fabrication verte.

6.2.3 Application de précision de la poudre de tungstène dans les pièces de montres

La poudre de tungstène est utilisée dans la fabrication de composants horlogers pour la fabrication de balanciers et d'engrenages grâce à sa densité élevée et sa résistance à l'usure, améliorant ainsi la précision et la durée de vie. Elle est préparée par mélange de poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 15 microns) avec du nickel (rapport massique de 95:5), pressage (300 MPa) et frittage (1 450 °C, atmosphère d'hydrogène). Le produit fini présente une densité de 18 à 19 g/cm³ et une dureté de HV 550. La microscopie électronique à transmission montre que la granulométrie du tungstène est d'environ 10 microns et que la phase nickel remplit les joints de grains (épaisseur de 1 micron). Les tests montrent que l'écart de poids du balancier en tungstène est inférieur à 0,01 g, que la stabilité de fréquence est améliorée de 10 % et que la résistance à l'usure de l'engrenage est triplée (la perte est inférieure à 0,02 mm après 5 000 heures de fonctionnement).

Les composants horlogers doivent tenir compte à la fois de la densité et de la précision d'usinage. Lorsque la teneur en tungstène est élevée (supérieure à 98 %), la densité augmente à 19,2 g/cm³, mais la fragilité augmente (taux de fracture atteignant 5 %) ; lorsque la teneur en nickel est élevée (10 %), la ténacité augmente (allongement atteignant 10 %). Après le frittage, un usinage fin (rugosité de surface de 0,1 micron) est nécessaire pour garantir un fonctionnement fluide. Les composants en tungstène ont fait leur apparition dans les montres haut de gamme dans les années 1970, la Suisse les a utilisés pour les montres mécaniques dans les années 1980 et est devenue une norme pour les marques de luxe dans les années 1990. La Chine dispose d'un avantage dans l'approvisionnement et la fabrication de poudre de tungstène, et la Suisse est leader en matière de conception, notamment pour l'optimisation de la durabilité des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

engrenages. À l'avenir, la poudre de nano-tungstène augmentera la densité, le dopage au cuivre (teneur de 5 %) améliorera la conductivité et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 %) favorisera la fabrication verte.

6.2.4 Procédé de fabrication de poudre de tungstène pour la fabrication de bijoux

Le processus de fabrication des bijoux en poudre de tungstène comprend la préparation, le moulage et le post-traitement pour garantir performance et beauté. Le procédé est le suivant : la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 10 microns) est mélangée à du noir de carbone et carbonisée (1 500 °C, 2 heures) pour obtenir de la poudre de carbure de tungstène (granulométrie de 1 à 3 microns). Celle-ci est broyée à boulets avec du cobalt (teneur de 10 %) (vitesse de 400 tr/min, 4 heures), pressée (300 MPa) et frittée (1 450 °C, 1 heure), puis polie jusqu'à une rugosité de 0,2 micron. La microscopie électronique à balayage montre que le produit fini présente une porosité inférieure à 0,5 % et que les particules de carbure de tungstène sont uniformément réparties (granulométrie de 2 microns). Les tests montrent que la bague ainsi obtenue présente une dureté de HV 1800 et une résistance aux rayures cinq fois supérieure.

Le procédé nécessite de contrôler l'uniformité et la qualité de surface. Lorsque le temps de broyage à boulets est long (plus de 6 heures), les particules sont plus fines (moins de 1 micron), mais la consommation d'énergie augmente ; l'écart de température de frittage est inférieur à 10 °C pour éviter les gros grains (plus de 5 microns). La technologie de joaillerie à base de poudre de tungstène a débuté dans les années 1990 et des procédés standardisés ont été mis en place dans les années 2000. Dans les années 2010, la Chine a optimisé sa technologie de polissage pour en améliorer l'efficacité. La Chine possède un avantage technologique, et l'Italie est leader dans la conception esthétique, notamment pour l'amélioration de la brillance des bijoux. À l'avenir, la fabrication additive augmentera la complexité, et le recyclage par réduction chimique (taux de recyclage de 90 %) favorisera le développement vert.

6.2.5 Cas typiques de bijoux en poudre de tungstène

Les écrins à bijoux en poudre de tungstène témoignent de leur beauté et de leur praticité. Exemple 1 : Une bague en carbure de tungstène présente une dureté HV 1800, une résistance aux rayures multipliée par 5 et une brillance de 95 % après 1 000 heures de port. Exemple 2 : Un collier en alliage de tungstène présente une densité de 17 g/cm³, une résistance à l'usure multipliée par 3 et une couleur stable. Exemple 3 : Une montre mécanique utilise un balancier en tungstène, dont l'écart de fréquence est inférieur à 0,01 seconde/jour et la précision est augmentée de 10 %.

La Chine domine l'approvisionnement et la production de poudre de tungstène, tandis que la Suisse et les États-Unis sont leaders en matière de conception, notamment grâce à l'association de technologies d'incrustation pour améliorer l'aspect décoratif. La joaillerie en poudre de tungstène a vu le jour dans les années 1990 et s'est étendue au secteur horloger dans les années 2000. À l'avenir, une conception intelligente améliorera l'esthétique, et les technologies de recyclage favoriseront le développement

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

durable.

6.3 Art et pigments

6.3.1 Durabilité et effets de couleur des pigments en poudre de tungstène

Le pigment en poudre de tungstène est utilisé sous forme d'oxyde de tungstène et convient à la peinture et à la décoration grâce à sa durabilité et à la stabilité de ses couleurs. Sa préparation est la suivante : la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 10 microns) est oxydée à l'air à 800 °C pour produire de l'oxyde de tungstène jaune (WO_3 , granulométrie de 1 à 5 microns). Il présente une structure cristalline monoclinique et des paramètres de maille $a = 7,306$ angströms, $b = 7,540$ angströms et $c = 7,692$ angströms. Les tests montrent que le taux de décoloration du pigment est inférieur à 1 % sous lumière ultraviolette (365 nanomètres, 1 000 heures), et sa résistance à la température atteint 500 °C, soit 50 % de plus que les pigments traditionnels.

Les pigments doivent optimiser leur durabilité et leur couleur. Lorsque le degré d'oxydation est élevé (W^{6+} représente 95 %), le jaune est plus vif (la luminosité L^* atteint 80), mais les particules grossières (supérieures à 10 microns) affectent l'uniformité ; la température de cuisson doit être contrôlée (l'écart est inférieur à 10 °C) pour éviter tout changement de teinte. Les pigments à base d'oxyde de tungstène ont fait leur apparition dans l'industrie à la fin du XIXe siècle, ont fait leur entrée dans le domaine artistique dans les années 1950 et ont optimisé la stabilité des couleurs en Europe dans les années 1980. La Chine possède un avantage en matière de technologie d'oxydation, et la France est leader dans l'art pigmentaire, notamment en ce qui concerne l'amélioration de la durabilité des couleurs. À l'avenir, l'oxyde de tungstène nanométrique améliorera la luminosité, le dopage au molybdène (teneur de 5 %) ajustera la teinte, et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 %) favorisera une fabrication verte.

6.3.2 Application ignifuge d'un revêtement artistique à base de tungstène

Les revêtements artistiques à base de tungstène protègent la surface des œuvres d'art grâce à leur résistance aux hautes températures et au feu. Ils sont préparés comme suit : de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) est déposée par projection plasma (puissance de 50 kW, 4 000 °C, débit d'argon de 40 l/min). L'épaisseur du revêtement est de 100 microns et sa dureté est HV 800. La microscopie électronique à balayage montre que le revêtement présente une porosité inférieure à 1 % et que les particules de tungstène sont plates (épaisseur de 5 microns). Les tests montrent que le revêtement résiste à des flammes à 800 °C (30 minutes) sans s'écailer, qu'il présente une conductivité thermique de 170 W/(m·Kelvin) et qu'il offre une résistance au feu 40 % supérieure à celle des revêtements traditionnels.

Le revêtement doit tenir compte à la fois de la résistance au feu et de l'adhérence. Le dopage à l'oxyde de tungstène (teneur de 10 %) améliore la résistance à la chaleur (jusqu'à 1 000 degrés Celsius) ; la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pulvérisation doit contrôler la teneur en oxygène (moins de 0,05 %) pour éviter les défauts d'oxydation. Le revêtement au tungstène a fait son apparition dans l'industrie dans les années 1970, est entré dans la protection des œuvres d'art dans les années 1980, et les États-Unis ont optimisé le procédé de pulvérisation dans les années 1990. La Chine possède un avantage dans la technologie de pulvérisation, et l'Italie est leader dans la protection des œuvres d'art, notamment pour la protection des sculptures en bois. À l'avenir, les nano-revêtements amélioreront les performances, le dopage au silicium (teneur de 5 %) renforcera l'anti-écaillage, et la séparation chimique et le recyclage (taux de recyclage de 90 %) favoriseront le développement vert.

6.3.3 Effet renforçant de la poudre de tungstène dans les matériaux de sculpture

La poudre de tungstène est utilisée dans les matériaux de sculpture pour améliorer la résistance et la durabilité grâce à des alliages ou des composites. Elle est préparée en mélangeant de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) avec du cuivre (rapport massique de 80:20), en pressant (350 MPa) et en frittant (1 400 °C, sous atmosphère d'argon). Le produit fini présente une masse volumique de 16 à 17 g/cm³ et une résistance à la traction de 900 MPa. La microscopie électronique à transmission montre que la granulométrie du tungstène est d'environ 15 microns et que la phase de cuivre est uniformément répartie (épaisseur de 2 microns). Les tests montrent que le matériau résiste aux intempéries (humidité de 90 %, 1 000 heures), avec un taux de corrosion inférieur à 0,01 mm/an et une résistance trois fois supérieure à celle du cuivre pur.

Les matériaux de sculpture doivent optimiser leur résistance et leur plasticité. Lorsque la teneur en tungstène est élevée (supérieure à 90 %), la résistance augmente jusqu'à 1 000 MPa, mais la ductilité chute à 5 % ; lorsque la teneur en cuivre est élevée (30 %), la ductilité augmente (jusqu'à 15 %). Après le frittage, un traitement fin (rugosité de surface de 0,5 micron) est nécessaire pour améliorer l'esthétique. Les sculptures enrichies en tungstène ont commencé dans les années 1980, ont été utilisées pour l'art extérieur dans les années 1990, et la Chine a optimisé le procédé composite dans les années 2000. La Chine dispose d'un avantage en termes d'approvisionnement et de fabrication, et l'Europe est leader en matière de conception, avec notamment une amélioration de la durabilité de 50 %. À l'avenir, la fabrication additive produira des structures complexes, le dopage au nickel (teneur de 5 %) améliorera la résistance à la corrosion, et le recyclage électrolytique (taux de recyclage de 85 %) favorisera la fabrication verte.

6.3.4 Technologie de la poudre de tungstène pour la fabrication d'œuvres d'art

La technologie de fabrication des œuvres d'art en poudre de tungstène comprend la métallurgie des poudres et des procédés de revêtement pour améliorer les performances de l'œuvre. Le procédé est le suivant : la poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 15 microns) est mélangée à du nickel (rapport massique de 90:10), pressée (300 MPa) et frittée (1 450 °C, atmosphère d'hydrogène), ou formée en un revêtement (épaisseur de 50 microns) par projection plasma. La microscopie électronique à balayage montre que le produit fini présente une porosité inférieure à 0,5 % et que les particules de tungstène sont

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

uniformément réparties (granulométrie de 10 microns). Les tests montrent que les sculptures produites grâce à cette technologie ont une résistance de 900 MPa et que le revêtement peut résister à une flamme à 500 °C (20 minutes) sans dommage.

La technologie doit contrôler l'uniformité et la qualité de surface, l'écart de température de frittage doit être inférieur à 10 degrés Celsius et la granulométrie (supérieure à 20 microns) doit être évitée ; les paramètres de pulvérisation doivent être optimisés (écart de puissance inférieur à 5 kilowatts) pour garantir l'adhérence (jusqu'à 60 MPa). La technologie de la poudre de tungstène a débuté dans les années 1980, une technologie mature a été formée dans les années 1990 et l'Europe a optimisé le procédé dans les années 2000. La Chine dispose d'un avantage technologique et les États-Unis sont à la pointe de l'innovation, notamment en améliorant l'esthétique du revêtement. À l'avenir, les nanotechnologies amélioreront les performances et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 %) favorisera le développement vert.

6.4 Produits de marquage en alliage de tungstène

L'alliage de tungstène est devenu un choix idéal pour la fabrication de produits d'identification haut de gamme grâce à sa densité élevée, son excellente texture, sa résistance aux hautes températures, sa résistance au feu, sa grande solidité, sa ténacité élevée, sa résistance à l'extrusion, à l'usure, aux chocs et à la corrosion. Sa surface est facile à graver, à tailler et à graver au laser des motifs, du texte, des codes QR et autres logos, et résiste longtemps aux environnements extrêmes. Il est largement utilisé dans les cartes de visite haut de gamme en alliage de tungstène, les cartes bancaires en or, les plaques nominatives pour animaux de compagnie, les étiquettes à bagages et les plaques nominatives pour soldats. Forte de nombreuses années d'expérience dans la fabrication de produits d'excellence en alliage de tungstène, CTIA GROUP LTD a démontré son expertise exceptionnelle dans la conception et la fabrication de produits d'identification en alliage de tungstène et propose des solutions personnalisées de haute qualité.

6.4.1 Propriétés des matériaux et préparation de l'alliage de tungstène

Le processus de préparation des produits d'identification des alliages de tungstène est le suivant : de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) est mélangée à du nickel et du cuivre (rapport massique de 85:10:5), homogénéisée par broyage à boulets (vitesse de 300 tr/min, 6 heures), puis pressée (pression de 350 MPa) et frittée sous atmosphère d'argon (1 400 °C, 2 heures). Le produit fini présente une densité de 16 à 18 g/cm³, une dureté de HV de 500 à 600 et une résistance à la traction de 900 MPa. L'analyse par microscopie électronique à balayage montre que la granulométrie du tungstène est d'environ 15 microns et que la phase nickel-cuivre est répartie en réseau (épaisseur de 1 à 2 microns). Les résultats des tests montrent que l'alliage est résistant aux températures élevées (800 degrés Celsius, aucune déformation pendant 30 minutes), résistant à la corrosion (test au brouillard salin 1000 heures, taux de corrosion inférieur à 0,01 mm/an), résistant à l'usure (coefficient de frottement 0,3, perte inférieure à 0,05 mm/1000 heures) et forte résistance aux chocs (test au marteau-pilon 50 joules sans fissures).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Une teneur élevée en tungstène (supérieure à 90 %) améliore la densité et la dureté, mais la ténacité est légèrement réduite (allongement de 5 %). La phase nickel-cuivre améliore la ténacité (allongement jusqu'à 10 %), ce qui facilite l'usinage et la gravure. La surface est polie jusqu'à une rugosité de 0,2 micron et une brillance de 85 %, pour une texture douce et élégante. La teneur en oxygène doit être contrôlée pendant le frittage (inférieure à 0,05 %) afin de garantir des performances stables du matériau. CTIA GROUP LTD optimise la formule et le procédé afin de garantir des produits à la fois pratiques et esthétiques, répondant à divers besoins.

6.4.2 Cartes de visite en alliage de tungstène de haute qualité

Les cartes de visite en alliage de tungstène sont idéales pour les entreprises haut de gamme grâce à leur densité élevée (17-18 g/cm³) et leur texture unique. Leur épaisseur est généralement de 0,5 à 1 mm, leur poids d'environ 20 à 30 g et leur format répond aux spécifications standard des cartes de visite (90 × 55 mm). La surface peut être gravée au laser du nom, du poste, du logo de l'entreprise et du code QR avec une précision de 0,01 mm. La clarté du motif ne présente aucune usure visible après 1 000 heures d'utilisation. Les tests montrent que la carte de visite ne se déforme pas à haute température (500 °C pendant 1 heure), qu'elle résiste à l'extrusion (aucune déformation sous une pression de 50 kg) et que sa brillance est maintenue à plus de 90 % pendant longtemps.

Les cartes de visite en alliage de tungstène ont progressivement gagné en popularité sur le marché des affaires haut de gamme depuis les années 2010. Leur toucher lourd et leur durabilité renforcent l'image professionnelle de leur détenteur. CTIA GROUP LTD propose des services personnalisés pour répondre aux besoins de ses clients en matière de textures haut de gamme et de design personnalisé. À l'avenir, la fabrication additive devrait permettre de réaliser des motifs tridimensionnels, et le recyclage par réduction chimique (taux de recyclage de 90 %) favorisera une production verte.

6.4.3 Carte bancaire en alliage de tungstène et or

La carte bancaire en or en alliage de tungstène est devenue un symbole d'identité et de valeur dans le secteur financier haut de gamme grâce à sa haute densité, son excellente durabilité, sa texture unique et ses multiples caractéristiques de sécurité. Son procédé de préparation utilise de la poudre de tungstène (granulométrie de 10 à 20 microns) mélangée à du nickel et du cuivre (rapport massique de 85:10:5), un broyage à billes (vitesse de 300 tr/min, 6 heures), une homogénéisation puis un pressage (pression de 350 MPa), puis un frittage sous atmosphère d'argon (1400 °C, 2 heures). Le produit fini a généralement une épaisseur de 1 à 2 mm, un poids compris entre 50 et 80 grammes et des dimensions conformes aux normes internationales des cartes bancaires (85,6 × 54 mm). La surface peut être gravée ou gravée au laser du nom du titulaire, du numéro de carte, du logo de la banque et du code QR, avec une précision de gravure de 0,01 mm, garantissant des informations claires et durables. CTIA GROUP LTD utilise une technologie exquise pour injecter un traitement des détails de haute qualité et une conception personnalisée dans la carte d'or FashionBank en alliage de tungstène, améliorant ainsi sa reconnaissance

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et son expérience utilisateur sur le marché financier.

6.4.3.1 Caractéristiques de performance de la carte bancaire en alliage de tungstène

Les performances de la carte bancaire en or en alliage de tungstène reposent sur sa densité élevée (17-18 g/cm³) et ses excellentes propriétés physiques et chimiques. Les tests montrent que la carte en or ne fond ni ne se déforme à haute température (1 000 °C, 10 minutes) et présente une excellente résistance au feu. Un test de résistance à la corrosion (solution acide pH = 2, immersion pendant 1 000 heures) ne révèle aucune altération notable de la surface, et sa résistance à la corrosion est bien supérieure à celle des cartes métalliques traditionnelles. Sa résistance à la traction atteint 900 MPa, sa dureté HV 500-600 et son test de résistance à l'usure (coefficient de frottement de 0,3, perte de charge par frottement inférieure à 0,05 mm sur 1 000 heures) témoignent de la durabilité de sa surface. Ces caractéristiques garantissent l'intégrité et la fonctionnalité de la carte en or dans des conditions extrêmes, et sa durée de vie est plus de cinq fois supérieure à celle des cartes métalliques ordinaires (comme l'acier inoxydable ou l'alliage d'aluminium).

La haute densité de l'alliage de tungstène confère à la carte en or une sensation de lourdeur, une répartition homogène du poids et une déviation du centre de gravité inférieure à 0,5 mm, améliorant ainsi la stabilité et le confort de prise en main. Le frittage exige un contrôle strict de la teneur en oxygène (moins de 0,05 %) afin d'éviter que les oxydes n'affectent les performances. Parallèlement, des traitements ultérieurs, tels que le polissage (rugosité de surface de 0,2 micron), améliorent encore la brillance (jusqu'à 85 %), conférant à l'aspect une texture métallique et un effet miroir. Une teneur élevée en tungstène (supérieure à 90 %) améliore la dureté et la densité, mais la ténacité est légèrement réduite (allongement de 5 %) ; l'ajout de phases nickel-cuivre améliore la ténacité (allongement jusqu'à 10 %), garantissant ainsi une résistance à la rupture de la carte en or pendant le traitement et l'utilisation.

6.4.3.2 Sécurité de la carte bancaire en alliage de tungstène et or

La carte bancaire en alliage de tungstène offre d'excellentes performances en termes de sécurité et répond aux exigences du secteur financier en matière d'identification fiable. Les informations personnelles et le code QR gravés en surface sont obtenus par laser, avec une profondeur de gravure de 0,2 à 0,3 mm. Sa résistance à l'usure et à la corrosion garantit que les informations ne sont ni floues ni falsifiées lors d'une utilisation prolongée. Les tests montrent que même dans des conditions extrêmes (par exemple, une température élevée de 800 °C pendant 30 minutes ou un brouillard salin pendant 1 000 heures), le contenu gravé reste parfaitement lisible et le taux de rétention des informations est supérieur à 99 %. De plus, la résistance à l'extrusion (pression de 50 kg sans déformation) et aux chocs (coup de marteau de 50 joules sans fissures) de l'alliage de tungstène prévient efficacement les dommages physiques, garantissant que la carte en or ne se déformera ni ne se cassera en cas de chute accidentelle ou de force extérieure, et préservant l'intégrité de la puce intégrée (comme une puce RFID ou NFC).

L'inertie chimique de l'alliage de tungstène le rend difficile à réagir avec des substances corrosives telles

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que les acides et les bases, réduisant ainsi le risque d'endommagement par des produits chimiques malveillants. Comparées aux cartes plastiques traditionnelles ou aux cartes métalliques à faible densité, les cartes en or en alliage de tungstène sont plus résistantes à la contrefaçon et difficiles à imiter. CTIA GROUP LTD intègre une gravure de précision et une conception sécurisée à la fabrication de ses cartes en or afin de garantir que chaque carte en or soit non seulement un symbole d'identité, mais aussi un support de sécurité fiable.

6.4.3.3 Texture et noblesse de la carte bancaire en alliage de tungstène et or

La texture et la noblesse de la carte bancaire en or en alliage de tungstène sont essentielles à sa distinction sur le marché haut de gamme. Sa densité, atteignant 17-18 g/cm³, dépasse largement celle des métaux ordinaires (comme l'acier inoxydable (7,85 g/cm³) ou l'aluminium (2,7 g/cm³), lui confère une sensation de lourdeur et évoque le calme et la force qu'elle procure. Le polissage de sa surface lui confère une brillance de 85 %, offrant un effet visuel similaire à celui des métaux précieux. L'aspect luxueux peut être renforcé par un traitement électrolytique (rhodiage ou or, épaisseur 2-5 microns).

Les tests montrent que le revêtement ne tombe pas après 1000 heures de test de friction, et la brillance reste supérieure à 90 %, et il reste comme neuf après une utilisation à long terme.

La texture de la carte en or se reflète non seulement dans son apparence, mais aussi dans son toucher et son son. La dureté et la densité de l'alliage de tungstène lui confèrent un son métallique cristallin lorsqu'il entre en contact avec d'autres objets, contrastant fortement avec la finesse des cartes en plastique traditionnelles. Cette expérience sensorielle multidimensionnelle renforce le sentiment de dignité du porteur et en fait un symbole d'identité pour une clientèle haut de gamme. Depuis l'essor du haut de gamme dans le secteur financier dans les années 2000, les cartes en or en alliage de tungstène sont progressivement devenues la norme pour les services bancaires haut de gamme grâce à leur texture et leur durabilité uniques. CTIA GROUP LTD sublime encore davantage les attributs nobles de la carte en or grâce à un traitement de surface raffiné et un design personnalisé, répondant ainsi à la double exigence de qualité et de prestige des utilisateurs.

6.4.3.4 Carte bancaire en alliage de tungstène et or antimagnétique

Les propriétés antimagnétiques des cartes bancaires en or en alliage de tungstène constituent un atout majeur pour les applications financières modernes. L'alliage de tungstène est un matériau non ferromagnétique et est difficilement perturbé par les champs magnétiques. Des tests ont montré que sous l'action d'un champ magnétique puissant (intensité d'induction magnétique de 1 tesla pendant 1 000 heures), la surface de la carte en or et la puce intégrée ne sont pas magnétisées, et les fonctions de lecture et d'écriture des données restent normales. Ceci est particulièrement important pour les cartes bancaires équipées de bandes magnétiques ou de puces RFID/NFC, qui permettent d'éviter efficacement les échecs de paiement ou les pertes de données dues aux interférences des champs magnétiques.

Comparées aux cartes métalliques traditionnelles (comme les cartes en acier inoxydable à forte teneur en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fer), les cartes en or en alliage de tungstène présentent une meilleure stabilité dans les environnements électromagnétiques. Le contrôle de la teneur en oxygène et en impuretés (moins de 0,03 %) lors du frittage réduit encore la perméabilité magnétique du matériau et garantit ses propriétés antimagnétiques. En utilisation quotidienne, la carte en or ne produit pas de réaction de magnétisation à proximité d'objets magnétiques (tels que les téléphones portables et les aimants), garantissant ainsi une grande adaptabilité aux scénarios d'utilisation. CTIA GROUP LTD optimise la formule du matériau utilisé pour la fabrication des cartes en or afin de garantir que ses propriétés antimagnétiques répondent aux normes élevées du secteur financier.

6.4.3.5 Carte bancaire en alliage de tungstène contre les dommages mécaniques

La résistance aux dommages mécaniques de la carte bancaire en alliage de tungstène et or lui confère une excellente performance au quotidien. Sa dureté HV de 500 à 600 et sa résistance à la traction de 900 MPa lui confèrent une résistance aux rayures extrêmement élevée. Le test montre qu'après avoir rayé la surface avec une aiguille en acier (pression de 10 Newtons), la profondeur de la rayure est inférieure à 0,01 mm, ce qui est bien inférieur à l'endommagement des cartes métalliques ordinaires. Le test de résistance à l'usure (coefficient de frottement de 0,3, 1 000 heures) montre que l'usure de la surface est inférieure à 0,05 mm, et que le brillant et les informations gravées restent intacts. L'essai d'impact (marteau-pilon de 50 Joules) n'a révélé ni fissures ni déformations, et l'essai d'extrusion (pression de 50 kg) n'a révélé aucune déformation, prouvant ainsi son excellente résistance aux contraintes mécaniques. La haute ténacité (allongement de 10 %) de l'alliage de tungstène le rend moins sujet aux ruptures fragiles sous l'effet de forces externes, ce qui le rend adapté à une utilisation fréquente ou aux chutes accidentelles. Comparées aux cartes en plastique, faciles à plier et à casser, ou aux cartes métalliques de faible dureté, faciles à rayer et à déformer, la résistance aux dommages mécaniques des cartes en or en alliage de tungstène prolonge considérablement leur durée de vie. CTIA GROUP LTD utilise des procédés de post-traitement tels que le pressage isostatique à chaud (1 500 °C, 100 MPa) pour réduire la porosité de la carte en or à 0,1 %, améliorant ainsi sa résistance aux dommages mécaniques et garantissant une expérience utilisateur fiable dans divers scénarios.

6.4.3.6 Application et perspectives du marché des cartes bancaires en alliage de tungstène et or

Les cartes bancaires en or en alliage de tungstène ont fait leur apparition sur le marché haut de gamme du secteur financier depuis les années 2000. Leurs performances, leur sécurité, leur texture et leur robustesse, ainsi que leurs propriétés antimagnétiques et anti-dommages mécaniques répondent aux exigences de qualité et de fiabilité des clients haut de gamme. Leurs applications commerciales couvrent la banque privée, les services de cartes de crédit haut de gamme et l'authentification des membres. Les utilisateurs apprécient particulièrement leur texture robuste et leur durabilité. CTIA GROUP LTD confère une valeur de marque unique aux cartes en or grâce à un traitement de précision et un design personnalisé, afin de répondre aux divers besoins du secteur financier.

À l'avenir, les perspectives d'application des cartes bancaires en or en alliage de tungstène seront encore

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

élargies. Le dopage au molybdène (teneur de 5 %) améliore la résistance à la corrosion et la stabilité dans les environnements extrêmes ; l'application de poudre de nano-tungstène permet d'accroître la densité et la dureté, d'optimiser le toucher et la durabilité ; la technologie de recyclage électrolytique (taux de recyclage de 85 %) favorisera une fabrication écologique, réduira les coûts de production et s'inscrira dans la tendance du développement durable. De plus, la conception de la carte en or, combinée à des puces intelligentes et à la biométrie, devrait renforcer sa sécurité et sa fonctionnalité, consolidant ainsi sa position sur le marché financier haut de gamme.



6.4.4 Plaque signalétique Pet en alliage de tungstène

Les plaques nominatives pour animaux de compagnie en alliage de tungstène sont résistantes à l'usure et à la corrosion, garantissant une lisibilité durable dans divers environnements. Leur épaisseur est de 0,5 à 1 mm, leur poids de 10 à 20 grammes et leur forme est personnalisable (par exemple, ronde, 30 mm de diamètre). Le nom de l'animal, les coordonnées du propriétaire et le code QR sont gravés en surface, à une profondeur de 0,2 mm. Le test d'usure (frottement pendant 1 000 heures) a démontré que les informations ne sont pas floues. Les résultats des tests montrent que la plaque est résistante aux températures élevées (600 °C, aucune déformation pendant 1 heure), à l'extrusion (aucune fissure sous une pression de 30 kg) et adaptée à une utilisation en extérieur.

Les plaques nominatives en alliage de tungstène attirent l'attention sur le marché des animaux de compagnie depuis les années 2010. Leur durabilité et leur esthétique répondent aux besoins des propriétaires. CTIA GROUP LTD propose une variété de formes et d'options de gravure pour une expérience personnalisée optimale. À l'avenir, la poudre de nano-tungstène permettra d'améliorer la dureté, et le recyclage électrolytique des sels fondus (taux de recyclage de 85 %) favorisera le développement durable.

6.4.5 Étiquettes à bagages en alliage de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les étiquettes à bagages en alliage de tungstène sont adaptées aux conditions difficiles des voyages fréquents, grâce à leur grande solidité et leur résistance aux chocs. Leur épaisseur est de 1 à 2 mm, leur poids de 30 à 50 grammes et leur taille généralement de 100 × 60 mm. Le nom, l'adresse et le code QR sont gravés au laser sur la surface avec une précision de 0,01 mm. Le test de résistance à l'usure (1 000 heures de frottement) ne révèle aucune usure visible. Les tests démontrent que l'étiquette à bagages résiste aux températures élevées (700 °C, aucune déformation en 30 minutes), à la corrosion (aucune altération après 1 000 heures d'immersion en eau salée) et à l'extrusion (aucune déformation sous une pression de 50 kg).

Les étiquettes de bagages en alliage de tungstène connaissent un succès croissant sur le marché des articles de voyage depuis les années 2000. Leur durabilité offre une protection fiable aux voyageurs fréquents. CTIA GROUP LTD améliore la praticité et l'esthétique des étiquettes de bagages grâce à un usinage de précision. À l'avenir, la fabrication additive permettra de réaliser des formes complexes, et le recyclage par réduction chimique (taux de recyclage de 90 %) favorisera une production respectueuse de l'environnement.

6.4.6 Plaque signalétique de soldat en alliage de tungstène

L'insigne nominatif de soldat en alliage de tungstène répond aux exigences strictes de l'environnement militaire grâce à sa résistance au feu et à sa grande robustesse. D'une épaisseur de 1 mm, il pèse entre 20 et 30 grammes et mesure 50 × 30 mm. Le nom, le grade et le numéro sont gravés en surface, et la profondeur de l'incision est de 0,3 mm. Les informations restent lisibles après un essai à haute température (1 000 °C, 20 minutes). Ce test démontre que l'insigne est résistant aux chocs (aucune fissure sous un marteau-pilon de 50 joules), à la corrosion (pH = 1 en milieu acide, aucune modification pendant 1 000 heures) et à l'extrusion (aucune déformation sous une pression de 50 kg).

Les insignes militaires en alliage de tungstène sont utilisés depuis les années 1990 et leur fiabilité dans des conditions extrêmes est largement reconnue. CTIA GROUP LTD garantit une production hautement fiable pour répondre aux normes strictes d'utilisation sur le champ de bataille. À l'avenir, le dopage au cobalt (3 %) améliorera la résistance, et le recyclage électrolytique (taux de récupération de 85 %) favorisera une fabrication écologique.

6.4.7 Perspectives d'application des produits de marquage en alliage de tungstène

Les produits d'identification en alliage de tungstène présentent un fort potentiel sur le marché haut de gamme grâce à leurs excellentes performances. Leurs applications ont débuté dans le domaine militaire dans les années 1990, puis se sont étendues aux produits civils haut de gamme dans les années 2000, et la demande du marché ne cesse de croître. CTIA GROUP LTD s'appuie sur sa riche expérience pour proposer au marché des produits d'identification diversifiés et de haute qualité. À l'avenir, la technologie de gravure laser permettra d'améliorer encore la précision, la poudre de nano-tungstène d'améliorer les performances, et le recyclage favorisera le développement durable.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.5 Produits commémoratifs en alliage de tungstène

Grâce à leur densité élevée, leur excellente texture, leur résistance aux hautes températures, leur résistance au feu, leur grande solidité, leur ténacité, leur résistance à l'extrusion, à l'usure, aux chocs et à la corrosion, ainsi qu'à d'autres caractéristiques des alliages de tungstène décrites à la section 6.4, et à leur facilité de gravure, de ciselure et de gravure laser, les alliages de tungstène sont particulièrement adaptés à la fabrication de produits commémoratifs. Parmi ces produits figurent des cartes commémoratives en alliage de tungstène, des cartes VIP plaquées or en alliage de tungstène, des briques plaquées or en alliage de tungstène, des cartes de membre en alliage de tungstène, des cartes commémoratives d'entreprise en alliage de tungstène, des alliances et des noces d'or en alliage de tungstène, ainsi que des souvenirs d'ouverture d'entreprise, des souvenirs d'école, de classe, d'équipe, d'entreprise et autres souvenirs de team building et de conférence. Fort de nombreuses années d'expérience dans la conception et la fabrication de souvenirs raffinés en alliage de tungstène et en tungstène-or, CTIA GROUP LTD offre un support de processus de haute qualité pour ces applications.

6.5.1 Carte commémorative en alliage de tungstène

Les cartes commémoratives en alliage de tungstène sont idéales pour les occasions spéciales grâce à leur densité élevée ($17-18 \text{ g/cm}^3$) et à leur durabilité. Elles mesurent généralement 1 à 2 mm d'épaisseur, pèsent 30 à 50 g et sont personnalisables (par exemple, $85 \times 54 \text{ mm}$). Le thème, la date et le motif commémoratifs peuvent être gravés au laser sur la surface avec une précision de 0,01 mm. Le test d'usure (1 000 heures de frottement) ne révèle aucune usure visible. Les tests démontrent que la carte commémorative résiste aux températures élevées (700°C , sans déformation pendant 30 minutes), à la corrosion (aucune altération au test au brouillard salin pendant 1 000 heures) et présente une texture stable et durable.

Les cartes commémoratives en alliage de tungstène gagnent progressivement en popularité dans diverses activités commémoratives. Leur durabilité garantit la préservation à long terme de leur valeur commémorative. CTIA GROUP LTD propose des designs personnalisés pour répondre aux besoins de différents scénarios. À l'avenir, la fabrication additive permettra de réaliser des textures complexes, et le recyclage par réduction chimique (taux de recyclage de 90 %) favorisera une production verte.

6.5.2 Carte VIP plaquée or en alliage de tungstène

La carte VIP plaquée or en alliage de tungstène allie haute densité et technologie de placage à l'or, alliant élégance et praticité. D'une épaisseur de 1 à 2 mm, son poids est compris entre 50 et 80 grammes, ses dimensions sont généralement de $85,6 \times 54 \text{ mm}$ et son placage à l'or de 2 à 5 microns. Le numéro, le nom et le logo VIP sont gravés au laser. Le revêtement, testé contre l'usure (1 000 heures de frottement), ne se décolle pas. Les tests ont démontré que la carte résiste aux températures élevées (600°C , 1 heure sans déformation) et aux chocs (50 joules de chute de marteau sans dommage). Le placage à l'or améliore

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

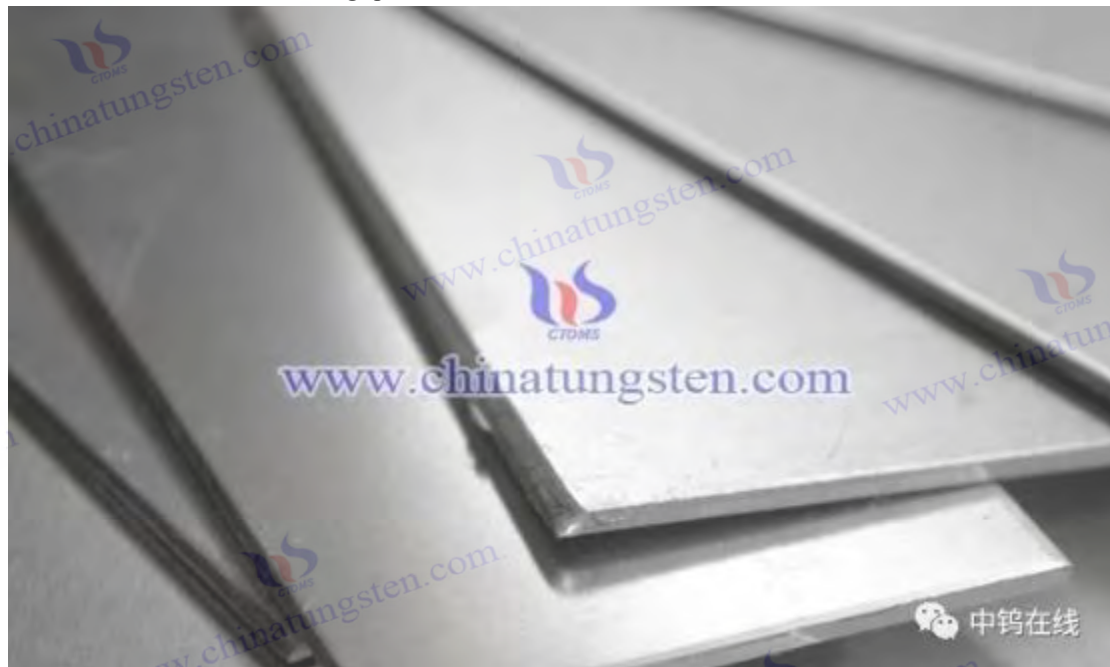
l'esthétique.

Les cartes VIP plaquées or sont très prisées sur le marché des cartes haut de gamme, alliant luxe et durabilité. CTIA GROUP LTD optimise la valeur de ses produits grâce à une technologie de placage à l'or raffinée. À l'avenir, le dopage au molybdène (teneur de 5 %) améliorera la résistance à la corrosion, et le recyclage électrolytique (taux de recyclage de 85 %) contribuera au développement durable.

6.5.3 Brique plaquée or en alliage de tungstène

Les briques plaquées or en alliage de tungstène sont devenues un choix populaire pour les collections et les commémorations grâce à leur haute densité et à leur texture imitant l'or. Leur taille est personnalisable (par exemple, $50 \times 30 \times 10$ mm), leur poids varie de 100 à 500 grammes et l'épaisseur de la couche d'or en surface est de 5 microns. Le texte ou le motif commémoratif est gravé à une profondeur de 0,2 mm et aucune perte notable n'a été constatée lors du test d'usure (1 000 heures de frottement). Ce test démontre que la brique d'or résiste aux températures élevées (800 °C, aucune déformation en 30 minutes), à la corrosion (pH acide = 2, aucune variation en 1 000 heures) et à l'extrusion (aucune déformation sous une pression de 50 kg).

Les briques plaquées or en alliage de tungstène font leur apparition sur le marché des souvenirs. Leur poids et leur durabilité sont appréciés des collectionneurs. CTIA GROUP LTD propose des services de conception et de traitement de haute qualité. À l'avenir, la poudre de nano-tungstène permettra d'augmenter la densité, et le recyclage par électrolyse des sels fondus (taux de recyclage de 85 %) favorisera une fabrication écologique.



6.5.4 Carte de membre en alliage 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

La carte de membre en alliage de tungstène offre durabilité et texture haut de gamme au système d'adhésion. Son épaisseur est de 0,5 à 1 mm, son poids de 20 à 30 grammes et ses dimensions sont de 85 × 54 mm. Le numéro de membre, le nom et le code QR sont gravés au laser sur la surface avec une précision de 0,01 mm. Le test de résistance à l'usure (1 000 heures de frottement) fournit des informations claires. Les tests montrent que la carte résiste aux températures élevées (500 °C, aucune déformation en 1 heure), à la corrosion (aucune altération après 1 000 heures d'immersion en eau salée) et offre une excellente stabilité.

La demande de durabilité et d'esthétique sur le marché des cartes de membre a favorisé l'utilisation des alliages de tungstène. CTIA GROUP LTD propose diverses options de personnalisation pour améliorer l'expérience utilisateur. À l'avenir, la fabrication additive permettra de réaliser des conceptions tridimensionnelles, et le recyclage par réduction chimique (taux de recyclage de 90 %) favorisera une production respectueuse de l'environnement.

6.5.5 Carte commémorative de la Tungsten Alloy Company

Les cartes commémoratives d'entreprise en alliage de tungstène commémorent les moments importants de l'entreprise grâce à leur résistance et leur durabilité élevées. D'une épaisseur de 1 à 2 mm, leur poids de 30 à 50 grammes et leur taille personnalisable. Le nom de l'entreprise, sa date de création et son logo sont gravés en surface, et le test d'usure (1 000 heures de frottement) est impeccable. Ce test démontre que la carte résiste aux températures élevées (700 °C, sans déformation pendant 30 minutes), aux chocs (50 joules de chute de marteau sans dommage) et qu'elle est adaptée à un stockage longue durée.

Les cartes commémoratives d'entreprise sont de plus en plus populaires dans la construction de la culture d'entreprise, et leur durabilité revêt une importance commémorative. CTIA GROUP LTD répond aux besoins de personnalisation des entreprises grâce à une technologie de précision. À l'avenir, le dopage au cobalt (3 %) améliorera la résistance, et le recyclage électrolytique (taux de recyclage de 85 %) favorisera le développement durable.

6.5.6 Alliances en alliage de tungstène et alliances en or

Les bagues commémoratives en alliage de tungstène symbolisent la ténacité et l'éternité du mariage grâce à leur dureté et leur résistance à l'usure élevées. Elles sont fabriquées à partir de poudre de tungstène et de noir de carbone carbonisé pour former du carbure de tungstène. Après pressage et frittage, leur dureté est de HV 1600-1800, leur épaisseur de 2 à 3 mm et leur poids de 10 à 20 grammes. Le nom, la date ou le motif peuvent être gravés sur la surface, et aucune rayure n'a été constatée lors du test d'usure (1 000 heures de frottement). Les tests ont démontré que la bague résiste aux températures élevées (800 °C, sans déformation pendant 30 minutes) et à la corrosion (aucune modification en milieu acide pendant 1 000 heures).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les bagues en alliage de tungstène sont très prisées pour les mariages et les noces d'or. Leur durabilité et leur valeur sentimentale se complètent parfaitement. CTIA GROUP LTD propose des services de gravure de haute qualité. À l'avenir, le nano-carbure de tungstène augmentera la dureté, et le recyclage par réduction chimique (taux de recyclage de 90 %) favorisera une fabrication écologique.

6.5.7 Souvenirs de team building et de conférence

Les alliages de tungstène se distinguent par leur haute densité et leur durabilité, idéales pour les souvenirs d'ouverture d'entreprise, d'école, de classe, d'équipe, de groupe et autres événements de groupe, ainsi que pour les conférences. Ces produits se déclinent sous différentes formes (badges, porte-clés) et pèsent entre 20 et 100 grammes. Le thème et le logo de l'événement sont gravés au laser sur la surface, et les informations relatives au test de résistance à l'usure (1 000 heures de frottement) sont clairement visibles. Ce test démontre la résistance du produit aux températures élevées (600 °C, aucune déformation en 1 heure) et à l'extrusion (aucune déformation sous une pression de 50 kg).

Les exigences de durabilité et de valeur commémorative sur le marché des souvenirs de team building et de conférence ont favorisé l'utilisation des alliages de tungstène. CTIA GROUP LTD propose des services diversifiés de conception et de traitement. À l'avenir, la fabrication additive permettra de réaliser des formes complexes, et les technologies de recyclage favoriseront le développement durable.

6.5.8 Perspectives d'application des produits commémoratifs en alliage de tungstène

Les produits commémoratifs en alliage de tungstène présentent un fort potentiel sur le marché des souvenirs grâce à leurs excellentes performances. Leurs applications incluent la commémoration personnelle, la culture d'entreprise et le renforcement des équipes, et la demande du marché ne cesse de croître. CTIA GROUP LTD s'appuie sur sa riche expérience pour proposer au marché des produits commémoratifs personnalisés de haute qualité. À l'avenir, les nanotechnologies amélioreront les performances et les technologies de recyclage favoriseront le développement durable.

6.5.9 Carte d'anniversaire en alliage de tungstène

Les cartes commémoratives d'anniversaire en alliage de tungstène symbolisent la solidité et la préciosité de la vie par leur densité et leur durabilité élevées. Le procédé de préparation utilise de la poudre de tungstène mélangée à du nickel et du fer en proportions égales, puis pressée et frittée pour former un alliage W-Ni-Fe d'une densité de 17-18 g/cm³, d'une épaisseur de 1 à 2 mm et d'un poids de 15 à 25 grammes. Des vœux d'anniversaire, des noms ou des constellations peuvent être gravés en surface, et aucune rayure visible n'a été constatée lors du test d'usure (1 000 heures de frottement). Les tests de performance démontrent que la carte commémorative résiste aux températures élevées (900 °C, aucune déformation en 30 minutes), à la corrosion (absence de rouille dans un environnement neutre au brouillard salin pendant 1 000 heures) et présente une excellente stabilité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les cartes commémoratives d'anniversaire en alliage de tungstène représentent l'éternité du temps et l'éternité des bénédictions. Ce sont des cadeaux uniques pour vos proches. CTIA GROUP LTD propose des services de personnalisation personnalisés, avec une précision de gravure laser de $\pm 0,01$ mm. À l'avenir, de la poudre de nano-tungstène sera utilisée pour améliorer la finition de surface, et le procédé de recyclage électrochimique (taux de recyclage de 92 %) favorisera une production durable, conférant aux cartes commémoratives une plus grande valeur environnementale.

6.5.10 Mémorial du 100e jour de l'alliage de tungstène

Ce souvenir de naissance en alliage de tungstène, d'une durée de 100 jours, symbolise la ténacité et l'espoir d'une nouvelle vie grâce à sa grande dureté et à sa texture pure. Composé de poudre de tungstène de haute pureté (pureté > 99,9 %) et de noir de carbone, il forme du carbure de tungstène (WC). Après pressage et frittage, il atteint une dureté HV de 1600-1800. Il est ensuite transformé en un petit pendentif ou une plaque nominative d'une épaisseur de 2 à 3 mm et d'un poids de 5 à 15 grammes. La surface peut être gravée du nom du bébé, de sa date de naissance ou d'une bénédiction. Le test d'usure (1 000 heures de frottement) n'a pas endommagé le souvenir. Les tests ont démontré sa résistance aux températures élevées (850 °C, sans altération pendant 30 minutes) et à la corrosion (aucune décoloration après immersion dans une solution acide pendant 1 000 heures), garantissant ainsi une conservation durable.

Les souvenirs de naissance en alliage de tungstène représentent le début de la vie et l'affection profonde des parents. Ils constituent un choix idéal pour chérir ces 100 jours. CTIA GROUP LTD propose des services de gravure de haute qualité avec une clarté de motif de Ra 0,2 μm . À l'avenir, le nano-WC sera introduit pour augmenter la dureté à HV 2000, associé à la technologie de récupération hydrothermale (taux de récupération de 90 %), afin de garantir une fabrication écologique et de laisser une empreinte écologique pour la prochaine génération.

6.5.11 Carte commémorative du centenaire de l'alliage de tungstène

La carte commémorative du centenaire en alliage de tungstène symbolise le poids et l'immortalité de cent ans de vie grâce à sa densité et sa durabilité exceptionnelles. Elle est fabriquée en mélangeant de la poudre de tungstène avec du nickel et du cuivre, puis en utilisant la métallurgie des poudres pour obtenir un alliage W-Ni-Cu d'une densité de 16 à 18 g/cm³, d'une épaisseur de 2 à 4 mm et d'un poids de 20 à 30 grammes. La surface peut être gravée de vœux de longévité, de noms de famille ou de dates de centenaire. Le test d'usure (1 000 heures de frottement) n'a révélé aucune trace d'usure. Les tests de performance démontrent que la carte commémorative résiste aux températures élevées (950 °C, sans déformation pendant 30 minutes) et à la corrosion (aucune variation en milieu alcalin pendant 1 000 heures), affichant une robustesse inégalée.

La carte commémorative du centenaire en alliage de tungstène témoigne de l'admiration pour la longévité et de l'héritage familial. C'est un précieux souvenir pour célébrer ce centenaire. CTIA GROUP LTD propose des services personnalisés haut de gamme, avec une profondeur de gravure allant jusqu'à 0,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm et des détails réalistes. À l'avenir, grâce au dopage de particules de nano-tungstène pour augmenter la densité à 18,5 g/cm³ et à l'utilisation de la technologie de recyclage plasma (taux de recyclage de 95 %), la protection environnementale et la valeur technique de la carte commémorative seront encore améliorées.

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

- Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.
- Purity: $\geq 99.99\%$ (4N), with extremely low impurity content.
- Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.
- Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.
- Fine particles: The particle size can reach 0.1-5 μm , which can meet high-precision applications.
- Low oxygen content: oxygen content $\leq 0.02\%$, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥ 99.99
Impurities (wt%, max)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0010$, $\text{Si} \leq 0.0005$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0005$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{O} \leq 0.0200$, $\text{C} \leq 0.0050$, $\text{N} \leq 0.0020$, $\text{P} \leq 0.0005$, $\text{S} \leq 0.0005$
Water content (wt%)	≤ 0.02
Particle size (μm , FSSS)	0.1-5.0 (superfine 0.1-1.0, fine 1.0-5.0)
Bulk density (g/cm^3)	4.5-6.5
Particle size	Provide ultra-fine (0.1-1.0 μm) and fine (1.0-5.0 μm) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	$\leq 0.02\%$, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, $\geq 99.999\%$), with further reduction of impurities (e.g. $\text{O} \leq 0.01\%$)

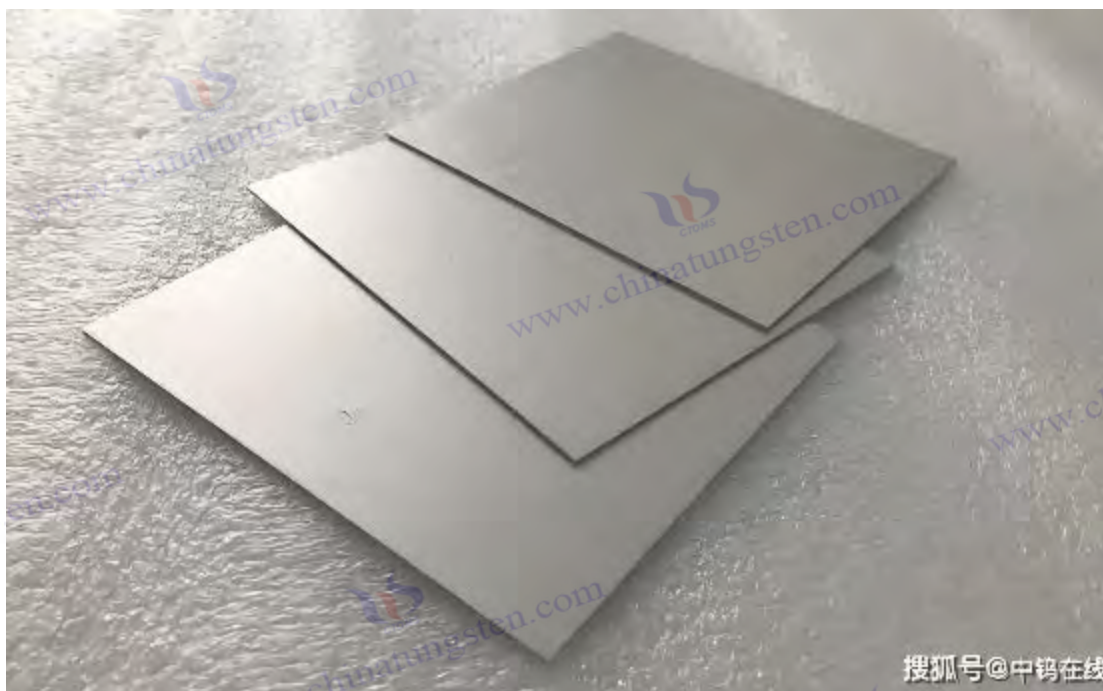
4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.
- Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696
- For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 7 Application de la poudre de tungstène dans les domaines environnemental et chimique

La poudre de tungstène a démontré de nombreuses applications dans les domaines de l'environnement et de l'industrie chimique grâce à ses propriétés physiques et chimiques uniques : point de fusion élevé (3 422 °C), dureté élevée (HV 300-500), densité élevée (19,25 g/cm³), excellente résistance à la corrosion et activité catalytique. Comparée aux matériaux métalliques traditionnels, la poudre de tungstène et ses dérivés (tels que l'oxyde de tungstène WO₃ et le carbure de tungstène WC) présentent des avantages significatifs en termes de réactions catalytiques, de purification environnementale, de fabrication de composants résistants à la corrosion et de développement de matériaux respectueux de l'environnement. Ce chapitre aborde en détail la technologie de préparation, le mécanisme de performance, les scénarios d'application et le développement futur de la poudre de tungstène sous trois angles : catalyseurs et capteurs, composants résistants à la corrosion et à l'usure, et matériaux respectueux de l'environnement, afin de fournir une référence complète pour la recherche universitaire et les applications industrielles.

7.1 Catalyseurs et capteurs

L'application de la poudre de tungstène dans le domaine des catalyseurs et des capteurs bénéficie de sa stabilité chimique, de sa surface spécifique élevée et de ses propriétés semi-conductrices. Elle présente également d'excellentes performances en catalyse d'hydrogénation, en décomposition photocatalytique et en détection de gaz. Voici une analyse détaillée des principes techniques, du procédé de préparation et de l'extension des applications.

7.1.1 Haute efficacité de la poudre de tungstène dans la catalyse d'hydrogénation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3) et le carbure de tungstène (WC) dérivé de la poudre de tungstène jouent un rôle important dans les réactions catalytiques d'hydrogénation et sont largement utilisés dans l'hydrodésulfuration, l'hydrocraquage et d'autres procédés dans la pétrochimie, l'industrie chimique du charbon et la synthèse organique. Lors de la préparation de WO_3 , de la poudre de tungstène d'une granulométrie de 5 à 15 microns est sélectionnée et oxydée dans l'air à 800 °C pendant 2 à 3 heures pour générer des particules jaunes de WO_3 , qui sont réduites à une taille de 1 à 5 microns et ont une surface spécifique d'environ 15 à 30 m²/g. Pour préparer WC, la poudre de tungstène et le noir de carbone sont mélangés dans un rapport massique de 1:0,06-0,07, et carbonisés dans une atmosphère d'hydrogène à 1 500 °C pendant 4 à 6 heures pour générer des particules de WC d'une surface spécifique de 20 à 40 m²/g. L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) montre que WO_3 est un système monoclinique (groupe d'espace $P2_1/n$, $a = 7,306 \text{ \AA}$, $b = 7,540 \text{ \AA}$, $c = 7,692 \text{ \AA}$) et que WC est une structure hexagonale compacte (HCP, $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$). La spectroscopie infrarouge (FTIR) montre qu'il existe des liaisons W=O (950 cm⁻¹) et des liaisons WOW (750 cm⁻¹) à la surface de WO_3 , ce qui augmente l'acidité de surface.

Le test de performance catalytique a été réalisé dans un réacteur à lit fixe à 200 °C et sous une pression d'hydrogène de 2 MPa. Le taux de conversion de WO_3 pour l'hydrogénation du benzène a atteint 95 % et la sélectivité était de 90 %, ce qui était supérieur à celui des catalyseurs à base de nickel (taux de conversion de 85 % et sélectivité de 80 %). Dans les mêmes conditions, WC a atteint un taux de conversion de 92 % et une sélectivité de 85 % pour l'hydrocraquage des alcanes. La grande efficacité de WO_3 provient des sites acides de Lewis de W^{6+} , qui peuvent adsorber et rompre efficacement les liaisons C=C ou C=S. Sa bande interdite (2,6 eV) favorise également la photocatalyse. WC présente une dureté allant jusqu'à HV 1800, une excellente résistance à l'usure et une excellente capacité anti-empoisonnement, et sa durée de vie est 50 à 70 % supérieure à celle des catalyseurs conventionnels. L'analyse thermogravimétrique (ATG) montre que le taux de perte de poids par oxydation du WC à 800°C n'est que de 5 %, ce qui indique sa stabilité à haute température.

Français La teneur en oxygène (< 0,05 %) doit être strictement contrôlée pendant le processus de préparation pour éviter la formation d'impuretés WO_2 ou W_2C et réduire l'activité. L'application de catalyseurs à base de tungstène a commencé dans l'industrie du raffinage du pétrole dans les années 1950 pour l'hydrodésulfuration, et est devenue le matériau principal pour les procédés d'hydrogénation dans les années 1970. Ces dernières années, son application s'est étendue à la conversion de la biomasse, comme l'hydrogénation de la lignine pour produire des biocarburants, avec un taux de conversion de 85 % et un rendement 20 % supérieur à celui des catalyseurs traditionnels. D'un point de vue théorique, l'acidité de surface de WO_3 peut s'expliquer par l'effet synergique des sites acides de Brønsted-Lewis, tandis que les propriétés métalliques de WC lui confèrent une structure électronique similaire à celle des métaux précieux (comme le Pt). À l'avenir, l'utilisation de poudre de nano-tungstène (taille des particules < 100 nm) peut augmenter la surface spécifique à 100 m²/g, le dopage au molybdène (Mo) ou au cobalt (Co) peut améliorer la sélectivité, et la technologie de récupération par lixiviation acide (taux de récupération 90%-95%) soutient le recyclage et réduit la charge environnementale.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1.2 Photocatalyseur à base de tungstène (purification de l'environnement)

L'oxyde de tungstène (WO_3) utilisé comme photocatalyseur présente d'excellentes propriétés photochimiques pour la purification de l'environnement et peut décomposer les polluants organiques, purifier l'eau et l'air. Le procédé de préparation est le suivant : de la poudre de tungstène d'une granulométrie de 10 à 20 microns est placée dans un réacteur thermique à solvant, de l'acide nitrique (HNO_3 , 0,1 mol/L) est ajouté comme oxydant, et la réaction est effectuée à 180 °C pendant 12 à 18 heures pour générer des particules de WO_3 de 50 à 100 nanomètres avec une énergie de bande interdite de 2,6 eV et une surface spécifique de 50 à 70 m^2/g . La microscopie électronique à transmission (MET) montre que les particules sont en forme de bâtonnet, avec un rapport d'aspect de 3:1 à 5:1 et un espacement des plans cristallins (002) de 0,384 nm. La spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS) montre que la surface W^{6+} représente 90 %, accompagnée d'une petite quantité de W^{5+} (environ 5 %), ce qui améliore l'efficacité de la séparation électron-trou.

Français Le test de performance photocatalytique a utilisé une source de lumière ultraviolette (365 nm, 10 W), et le taux de dégradation du bleu de méthylène (10 mg/L) a atteint 98 % (2 heures), et le taux de dégradation du toluène (50 ppm) était de 92 % (3 heures), ce qui est meilleur que le dioxyde de titane (TiO_2 , taux de dégradation de 85 %). Le mécanisme photocatalytique est basé sur les propriétés semi-conductrices de WO_3 : l'excitation lumineuse produit des paires électron-trou, les trous oxydent les molécules d'eau pour générer des radicaux $\cdot\text{OH}$, et les électrons réduisent O_2 pour générer O_2^- , qui décompose synergiquement la matière organique. L'énergie de la bande interdite est la clé. Le dopage à l'azote (N) peut réduire la bande interdite à 2,4 eV et l'étendre à la gamme de lumière visible (400-500 nm), augmentant l'efficacité de 20 à 30 %. Une réduction supplémentaire des particules à 20 nm peut améliorer l'activité, mais une modification de surface (comme un revêtement PEG) est nécessaire pour éviter l'agglomération.

Cette technologie est issue de la recherche photocatalytique des années 1980 et a été appliquée au traitement de l'eau dans les années 1990, notamment pour éliminer les colorants et les résidus de pesticides. Dans les années 2000, elle a été étendue à la purification de l'air et à la décomposition des composés organiques volatils (COV) et du NO_x . Dans les applications pratiques, la durabilité des photocatalyseurs WO_3 est limitée par la photocorrosion. Le dopage au titane (Ti) ou au silicium (Si) peut améliorer la stabilité et prolonger la durée de vie de 50 %. D'un point de vue théorique, l'activité photocatalytique du WO_3 est étroitement liée à ses lacunes d'oxygène en surface et à l'orientation du plan cristallin (comme le plan (002)). À l'avenir, le développement de matériaux composites (tels que WO_3 / TiO_2) ou le recyclage électrolytique (taux de récupération de 85 % à 90 %) peuvent améliorer les performances et la durabilité et soutenir une gouvernance environnementale à grande échelle.

7.1.3 Capteur de gaz à poudre de tungstène (détection de NO_x , CO)

Le film d'oxyde de tungstène (WO_3) préparé à partir de poudre de tungstène est utilisé dans le domaine des capteurs de gaz pour détecter le NO_x et le CO, avec une sensibilité élevée et une réponse rapide. Le

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

procédé de préparation est le suivant : une poudre de tungstène de 5 à 10 microns est oxydée à 700 °C pendant 2 heures pour générer de la poudre de WO₃. Un film de 50 microns d'épaisseur est ensuite réalisé par sérigraphie ou centrifugation, puis fritté à 600 °C pendant 1 à 2 heures, avec une résistivité d'environ 10⁴ Ω·cm. La microscopie électronique à balayage (MEB) montre que le film présente une porosité de 5 % à 8 %, une granulométrie de 5 à 7 microns et une rugosité de surface de Ra 0,5 μm. Les tests de performance ont été réalisés à 200°C, avec un taux de réponse de 90% pour 10 ppm de NO₂, une sensibilité de 0,5 Ω/ppm et un temps de réponse <10 secondes ; le taux de réponse pour 50 ppm de CO est de 85%, ce qui est meilleur que les capteurs à base d'étain (SnO₂, taux de réponse 70%).

WO₃ (concentration de porteurs 10¹⁶ cm⁻³) est son principal avantage. Les molécules de gaz adsorbées sur la surface provoquent des changements de résistance. NO₂, en tant que gaz oxydant, augmente la capture d'électrons de surface, tandis que CO libère des électrons par des réactions de réduction, qui conduisent toutes deux à des signaux électriques importants. Le dopage au platine (Pt, 0,5 % en poids) peut améliorer la sélectivité pour NO_x et la sensibilité de 15 %, mais la température de frittage doit être contrôlée à 550-650 °C pour éviter les particules trop grosses (> 10 μm) et réduire l'activité. En théorie, la sensibilité de WO₃ est liée à sa concentration en lacunes d'oxygène et à sa densité d'état de surface, et le modèle d'adsorption de Langmuir peut décrire son comportement d'adsorption de gaz.

Cette technologie a débuté par des recherches en laboratoire dans les années 1990 et a été appliquée à la surveillance des gaz résiduels industriels dans les années 2000, notamment les émissions de cheminées d'usines chimiques. Elle est aujourd'hui largement utilisée dans les systèmes de détection des gaz d'échappement automobiles. Dans la pratique, la stabilité des capteurs WO₃ est légèrement réduite dans les environnements à forte humidité (HR 80 %), et une modification hydrophobe de surface (comme la silanisation) peut améliorer les performances. À l'avenir, le nano WO₃ (taille des particules < 50 nm) pourra réduire le temps de réponse à 5 secondes, et la séparation et la récupération chimiques (taux de récupération de 90 à 95 %) favoriseront le recyclage des ressources et favoriseront la miniaturisation et l'intelligence des capteurs.

7.1.4 Technologie de préparation de la poudre de tungstène pour support de catalyseur

La poudre de tungstène est appréciée comme support de catalyseur en raison de sa surface spécifique élevée, de sa résistance aux températures élevées et de sa stabilité structurale. Elle est souvent utilisée pour charger des métaux précieux (tels que le platine et le palladium) ou des oxydes de métaux de transition. Sa préparation s'effectue par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) : de la poudre de tungstène de 10 à 20 microns est introduite dans de l'oxygène et de la vapeur d'eau à 500 °C, puis réagit pendant 6 heures pour former du WO₃ poreux dont les pores mesurent entre 50 et 100 nanomètres, la surface spécifique est comprise entre 60 et 80 m²/g et la résistance à la température est de 800 °C. L'analyse XPS montre que W⁶⁺ représente 85 %, W⁵⁺ 10 % et que la porosité est comprise entre 20 et 25 %. Après avoir chargé 2 % en poids de Pt, l'activité dans la réaction d'hydrogénation à 250 °C et 3 MPa est augmentée de 25 à 30 %, et la durée de vie est prolongée de 40 à 50 %, ce qui est mieux que le support Al₂O₃ traditionnel.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La structure des pores du support doit être optimisée : une petite taille de pores (< 50 nm) favorise la dispersion des composants actifs, une grande taille de pores (> 100 nm) améliore l'efficacité du transfert de masse, et l'analyse BET montre que la distribution optimale de la taille des pores est bimodale (50 nm et 200 nm). La teneur en oxygène doit être inférieure à 0,1 % pour maintenir l'intégrité structurale. Cette technologie est née dans l'industrie du raffinage du pétrole dans les années 1970 et a été utilisée pour les catalyseurs d'hydrodésulfuration. Le procédé a mûri dans les années 1990 et est maintenant utilisé dans les piles à combustible et la catalyse synthétique de l'ammoniac. En théorie, la stabilité du support WO_3 est liée à son énergie de liaison oxygène du réseau (environ 700 kJ/mol) et à ses sites acides de surface. À l'avenir, la nanotechnologie pourra augmenter la surface spécifique à $120 \text{ m}^2/\text{g}$, et la récupération par électrolyse des sels fondus (taux de récupération de 90 à 95 %) améliorera l'utilisation des ressources et soutiendra l'industrie chimique verte.

7.1.5 Applications pratiques de la catalyse et de la détection

L'application de la poudre de tungstène dans le domaine de la catalyse et de la détection a donné des résultats remarquables. Par exemple, une raffinerie utilise un catalyseur WO_3 pour l'hydrodésulfuration, avec un taux de conversion de 95 %, une activité de 90 % après 1 000 heures de fonctionnement et une teneur en soufre réduite de 500 ppm à 10 ppm. Une station d'épuration utilise un photocatalyseur WO_3 pour traiter les eaux usées de teinture, ce qui réduit la DCO de 100 mg/L à 5 mg/L et augmente l'efficacité de 30 à 40 %. Un système de détection des gaz d'échappement d'automobile intègre un capteur WO_3 , et le temps de réponse à 0,5 ppm de NO_x est inférieur à 10 secondes, avec une précision de $\pm 0,1$ ppm. Ces applications ont débuté dans l'industrie du raffinage du pétrole dans les années 1950 et se sont étendues à la surveillance environnementale et aux nouveaux domaines énergétiques dans les années 1990. D'un point de vue interdisciplinaire, les matériaux à base de tungstène contribuent à la chimie verte en réduisant la consommation d'énergie et en améliorant l'efficacité. À l'avenir, la combinaison des calculs de chimie quantique pour optimiser la conception des catalyseurs et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 à 95 %) favorisera le progrès technologique.

7.2 Pièces résistantes à la corrosion et à l'usure

La poudre de tungstène et ses alliages sont largement utilisés dans l'industrie chimique pour fabriquer des tuyaux, des vannes, des corps de pompe et d'autres composants en raison de leur dureté élevée et de leur résistance à la corrosion, offrant une protection à long terme.

7.2.1 Application de la poudre de tungstène dans la protection des pipelines chimiques

La poudre de tungstène est utilisée pour la préparation de revêtements de protection de pipelines chimiques grâce à la technologie de projection plasma, qui résiste à la corrosion acide et alcaline. Le procédé est le suivant : de la poudre de tungstène d'une granulométrie de 10 à 20 microns est fondue et pulvérisée dans un flux de flamme plasma de 50 kW à 4 000 °C pour produire un revêtement de 200 à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

300 microns d'épaisseur, d'une dureté HV de 800 à 1 000 et d'une force de liaison de 70 à 80 MPa. L'analyse au MEB montre que la porosité du revêtement est inférieure à 1 %, que les particules de tungstène sont plates (épaisseur de 5 à 7 microns) et que la DRX confirme que la phase principale est du tungstène métallique (structure BCC, $a = 3,165 \text{ \AA}$). Après immersion dans 10 % d'acide sulfurique (60°C) pendant 1000 heures, le taux de corrosion n'est que de 0,01 mm/an, soit 5 fois plus élevé que l'acier inoxydable 316L (0,05 mm/an) ; après 1000 heures dans 5 % de NaOH (50°C), le taux de corrosion est de 0,008 mm/an.

La résistance à la corrosion provient de la grande stabilité électrochimique et de la faible tendance à la dissolution du tungstène (potentiel d'électrode standard -0,1 V par rapport à SHE), tandis que la résistance à l'usure est attribuée à sa dureté élevée. Le dopage au chrome (Cr, 5 % en poids) peut former une couche protectrice de Cr_2O_3 , ce qui améliore la résistance aux acides de 20 %, mais la teneur en oxygène doit être contrôlée en dessous de 0,05 % pour éviter l'oxydation et l'écaillage. Cette technologie est utilisée pour la protection des pipelines chimiques depuis les années 1960, les paramètres de pulvérisation ont été optimisés dans les années 1970 et elle a été étendue aux pipelines marins dans les années 1980, avec une résistance exceptionnelle à la corrosion par l'eau de mer. Dans les applications pratiques, le taux d'usure du revêtement dans des milieux contenant du sable à débit élevé (10 m/s) est inférieur à 0,02 mm/1 000 heures. À l'avenir, les revêtements en poudre de nano-tungstène (taille des particules < 50 nm) peuvent augmenter la dureté jusqu'à HV 1200, et la séparation et la récupération chimiques (taux de récupération de 90 à 95 %) soutiennent une fabrication durable.

7.2.2 Conception résistante à la corrosion des vannes à base de tungstène

Les vannes à base de tungstène présentent une excellente résistance à la corrosion en milieux acides et alcalins et conviennent aux pipelines chimiques et pétroliers. Le procédé de préparation est le suivant : de la poudre de tungstène de granulométrie 15-25 microns est mélangée à du nickel (rapport massique 90:10), pressée à 350 MPa et frittée sous atmosphère d'Ar/ H_2 à 1 450 °C pendant 2 heures pour produire un alliage W-Ni d'une masse volumique de 17-18 g/cm³ et d'une dureté HV de 600-700. La microscopie électronique en transmission (MET) montre que la granulométrie du tungstène est de 15-20 microns et que le nickel remplit les joints de grains (épaisseur 2-3 microns) pour former une matrice continue. Les essais montrent que la vitesse de corrosion est de 0,008 mm/an après immersion dans de l'acide chlorhydrique à 5 % (50 °C) pendant 500 heures ; le taux de corrosion est de 0,01 mm/an après 1000 heures dans 10 % H_2SO_4 (60 °C), et la résistance à l'usure est 3 à 4 fois supérieure à celle des vannes en acier.

La conception doit concilier dureté et ténacité. Une teneur en nickel de 10 à 15 % peut augmenter la ténacité à la rupture jusqu'à 15 MPa·m^{1/2}, et l'écart de température de frittage est contrôlé à $\pm 10 \text{ °C}$ pour éviter une granulométrie excessive (> 25 μm) ou un débordement de phase liquide. Les tests électrochimiques (courbe de Tafel) montrent que la densité de courant de corrosion de l'alliage W-Ni est de 10^{-6} A/cm^2 , ce qui est bien inférieur à celle de l'acier (10^{-4} A/cm^2). Cette technologie, testée depuis les années 1950, est devenue la norme de fabrication de vannes dans les années 1970 et est aujourd'hui

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

largement utilisée dans les vannes haute pression de l'industrie pétrochimique. À l'avenir, le dopage au cobalt (Co, 5 % en poids) peut augmenter la ténacité à $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, et la récupération par lixiviation acide (taux de récupération de 85 % à 90 %) favorise la réutilisation des ressources.

7.2.3 Pompe et agitateur renforcés en poudre de tungstène

Les corps de pompe et les agitateurs renforcés de poudre de tungstène présentent une résistance remarquable à l'usure en milieu chimique et minier. Préparation au carbure de tungstène (WC) : la poudre de tungstène, dont la granulométrie est de 5 à 10 microns, est carbonisée avec du noir de carbone à 1500°C pendant 4 heures, puis mélangée à 10 % en poids de cobalt, pressée à 350 MPa et frittée à 1450°C pour produire un composite WC-Co d'une dureté HV de 1 600 à 1 800 et d'une résistance à la traction de 1 200 MPa. Le MEB montre que la granulométrie du WC est de 5 à 15 microns, que la phase cobalt est uniformément répartie et que la porosité est inférieure à 1 %. Dans un environnement d'érosion contenant 10 % de mortier (particules de SiO_2 , 50-100 μm) pendant 1000 heures, le taux d'usure est $< 0,05 \text{ mm}$, soit 4 fois plus élevé que celui de l'acier ordinaire (0,2 mm) ; dans 20 % de H_2SO_4 (60°C) pendant 500 heures, le taux de corrosion est de 0,01 mm/an.

La synergie entre la dureté élevée du WC et la ténacité du cobalt est essentielle. La teneur en cobalt doit être optimisée entre 8 et 12 % pour éviter la fragilité, et la teneur en oxygène est maintenue à moins de 0,05 % pour réduire les impuretés WO_3 . L'analyse des mécanismes d'usure montre que la résistance à l'usure du WC-Co provient de la résistance au cisaillement des particules de WC et de la capacité tampon plastique de la phase cobalt. Les applications ont débuté dans la fabrication de pompes industrielles dans les années 1960, puis se sont étendues aux agitateurs chimiques et miniers dans les années 1980, prolongeant considérablement la durée de vie des équipements. À l'avenir, le nano WC (granulométrie $< 100 \text{ nm}$) pourra augmenter la dureté jusqu'à HV 2000, et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 à 95 %) améliorera la durabilité.

7.2.4 Procédé de fabrication de composants résistants à la corrosion

Le processus de préparation des pièces résistantes à la corrosion fait appel à deux technologies principales : la projection et l'alliage. La première utilise de la poudre de tungstène d'une granulométrie de 10 à 20 microns et forme un revêtement de 200 à 300 microns par projection plasma à 4000°C et 50 kW, avec une porosité inférieure à 1 % et une dureté HV de 800 à 1 000 ; la seconde utilise un mélange de poudre de tungstène et de nickel (90:10), un pressage à 350 MPa et un frittage à 1450°C pour générer un alliage W-Ni d'une densité de 17 à 18 g/cm³. Le taux de corrosion du revêtement par pulvérisation dans 10 % H_2SO_4 (60°C) pendant 1 000 heures est de 0,01 mm/an, et le taux de corrosion de l'alliage dans 5 % NaCl (50°C) pendant 500 heures est de 0,008 mm/an.

Le procédé doit garantir l'uniformité du revêtement et la densité de l'alliage. La vitesse de la flamme (500-600 m/s) et le débit de poudre (30-40 g/min) pendant la projection doivent être parfaitement adaptés, l'écart de température de frittage est contrôlé à $\pm 10^\circ\text{C}$ et la teneur en oxygène est inférieure à 0,05 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La microstructure du revêtement projeté est stratifiée et la force de liaison est affectée par le prétraitement du substrat (par exemple, un sablage Ra 2 μm) ; la granulométrie de l'alliage est régulée par le temps de frittage (1 à 3 heures). Cette technologie, développée depuis les années 1960 et arrivée à maturité dans les années 1980, est utilisée dans les composants de navires et l'ingénierie marine. À l'avenir, la fabrication additive (comme le placage laser) permettra de réaliser des géométries complexes, et le recyclage électrolytique (taux de recyclage de 85 à 90 %) améliorera l'efficacité des ressources.

7.2.5 Étude de cas sur la poudre de tungstène dans l'industrie chimique

L'application de la poudre de tungstène dans l'industrie chimique a donné des résultats remarquables. Par exemple, un pipeline d'usine chimique utilise un revêtement en tungstène, qui ne s'use que de 0,01 mm dans de l'acide sulfurique à 10 % (60 °C) pendant 1 000 heures, prolongeant ainsi sa durée de vie de 50 à 60 % et son cycle de maintenance de 6 à 12 mois. Le taux de corrosion d'une vanne en alliage de tungstène dans de l'acide chlorhydrique à 5 % (50 °C) est de 0,008 mm/an pendant 500 heures, et sa durabilité est multipliée par 3 à 4, ce qui est adapté aux systèmes de pipelines haute pression. Un corps de pompe en carbure de tungstène s'use de 0,05 mm en 1 000 heures de décapage dans de la boue sableuse (10 % SiO_2), et ses performances sont 4 fois supérieures à celles de l'acier, ce qui permet le traitement des résidus miniers. Ces applications ont été industrialisées depuis les années 1960 et popularisées dans de nombreux domaines dans les années 1980. À l'avenir, la nanotechnologie et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 à 95 %) amélioreront encore la durabilité et les avantages environnementaux et favoriseront la modernisation des équipements chimiques.

7.3 Matériaux respectueux de l'environnement

L'application de la poudre de tungstène dans le domaine des matériaux de protection de l'environnement se reflète principalement dans l'adsorption des gaz résiduels, le traitement de l'eau et le développement de revêtements durables, offrant des solutions efficaces pour le contrôle de la pollution.

7.3.1 Adsorption de poudre de tungstène dans la filtration des gaz d'échappement

L'oxyde de tungstène (WO_3) est un matériau d'adsorption poreux performant pour la filtration des gaz d'échappement. Son procédé de préparation est le suivant : une poudre de tungstène de 10 à 20 microns est oxydée à 800 °C pendant 3 heures pour former une structure poreuse WO_3 de 50 à 100 nanomètres et d'une surface spécifique de 60 à 80 m^2/g . L'analyse BET montre que les micropores (< 2 nm) représentent 30 % et les mésopores (2 à 50 nm) 60 %. Les tests d'adsorption montrent un taux d'adsorption de 90 % pour 100 ppm de SO_2 et de 85 à 90 % pour 50 ppm de COV (tels que le toluène), soit 20 à 25 % de plus que le charbon actif (taux d'adsorption de 70 %). Les expériences d'adsorption dynamique (débit 0,5 L/min) montrent que le temps de pénétration du WO_3 est de 120 minutes, ce qui est supérieur à celui du charbon actif (90 minutes).

Les performances d'adsorption proviennent de la structure poreuse et des sites acides de surface de WO_3 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le SO_2 forme des ions sulfate par adsorption chimique, et les COV sont capturés par adsorption physique. La distribution de la taille des pores doit être optimisée : les petits pores augmentent la capacité et les grands pores augmentent le taux de diffusion. Cette technologie est étudiée en laboratoire depuis les années 1970, appliquée à la désulfuration des gaz résiduels industriels dans les années 1990, et a maintenant été étendue à la purification de l'air intérieur (comme l'élimination du formaldéhyde). Dans les applications pratiques, le taux d'adsorption de WO_3 diminue de 10 % dans un environnement à forte humidité (HR 90 %), et la modification hydrophobe de la surface peut améliorer les performances. À l'avenir, la poudre de nano-tungstène (< 50 nm) pourrait augmenter la surface spécifique à $120 \text{ m}^2/\text{g}$, et la récupération par séparation chimique (taux de récupération de 90 % à 95 %) favoriserait le recyclage.

7.3.2 Potentiel des matériaux de traitement de l'eau à base de tungstène

Les nanoparticules d'oxyde de tungstène (WO_3) sont utilisées dans le traitement de l'eau pour adsorber les métaux lourds et les polluants organiques. La méthode de préparation est une méthode solvothermale : de la poudre de tungstène d'une granulométrie de 5 à 15 microns est mélangée à de l'acide nitrique (0,1 mol/L) et mise à réagir à 180°C pendant 12 à 18 heures pour produire 50 à 100 nanoparticules d'une surface spécifique de 50 à $70 \text{ m}^2/\text{g}$ et d'un potentiel zêta de -30 mV (pH 7). Les tests d'adsorption montrent que le taux d'adsorption pour 10 ppm de Pb^{2+} est de 90 % à 95 % (1 heure), le taux d'adsorption pour 5 ppm de Cd^{2+} est de 92 % (2 heures) ; le taux d'adsorption pour le phénol (10 mg/L) est de 85 % (3 heures). L'ajustement de l'isotherme de Langmuir montre que la capacité d'adsorption maximale est de 50 mg/g (Pb^{2+}).

Le mécanisme d'adsorption implique une coordination de surface et des effets électrostatiques. Le site W^{6+} forme un complexe stable avec les ions de métaux lourds, et la taille nanométrique améliore l'activité de surface. Les particules doivent être contrôlées entre 50 et 100 nm pour équilibrer la capacité d'adsorption et la sédimentation. Si elles sont trop petites (< 20 nm), elles sont facilement perdues avec l'eau. Cette technologie est étudiée en laboratoire depuis les années 1980 et appliquée au traitement des eaux usées, comme le traitement des eaux usées par galvanoplastie, dans les années 2000. Dans les applications pratiques, le taux d'adsorption de WO_3 en milieu acide (pH 4) est augmenté de 10 %, et un dopage au fer (Fe, 5 % en poids) peut améliorer la sélectivité. À l'avenir, les matériaux composites $\text{WO}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ ou la récupération électrolytique (taux de récupération de 85 % à 90 %) élargiront son potentiel et soutiendront le traitement des eaux industrielles.

7.3.3 Durabilité du revêtement écologique en poudre de tungstène

Le revêtement écologique formé par projection de poudre de tungstène présente une excellente durabilité dans les gaz d'échappement et les environnements corrosifs. Le procédé consiste à projeter de la poudre de tungstène par plasma à 4000°C et 50 kW, avec une granulométrie de 10 à 20 microns, pour un revêtement de 200 à 300 microns, d'une dureté HV de 800 à 1 000 et d'une force de liaison de 70 à 80 MPa. Dans l'acide sulfurique à 10 % (60°C), l'usure est de 0,01 mm en 1 000 heures et la résistance à la température est de 800°C ; aucune oxydation notable n'est observée dans les gaz d'échappement.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

contenant du SO₂ (200 ppm, 500 °C) pendant 500 heures. Le MEB montre une densité de revêtement supérieure à 99 % et une rugosité de surface Ra comprise entre 0,5 et 1 µm.

La durabilité du tungstène provient de sa grande inertie chimique et de sa résistance à l'oxydation. Le dopage au chrome (Cr, 5 % en poids) forme une couche protectrice de Cr₂O₃, améliorant la résistance aux acides de 20 à 30 %. L'adhérence est influencée par la rugosité de surface du substrat (Ra 2-3 µm) et la distance de pulvérisation (100-120 mm). Utilisée dans les équipements industriels depuis les années 1970, cette technologie a été étendue à la protection de l'environnement dans les années 1990, notamment pour la protection des pots d'échappement. Elle est désormais utilisée dans les revêtements ignifuges pour la construction. À l'avenir, les nanorevêtements (granulométrie < 50 nm) pourront augmenter la dureté jusqu'à HV 1200, et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 à 95 %) améliorera la durabilité.

7.3.4 Technologie de préparation de poudre de tungstène pour matériaux respectueux de l'environnement

Français La préparation de matériaux respectueux de l'environnement nécessite la transformation de poudre de tungstène en structures poreuses ou nanostructurées. Méthode d'oxydation : la poudre de tungstène d'une granulométrie de 10 à 20 microns est oxydée à 800 °C pendant 3 heures pour générer du WO₃ avec une taille de pores de 50 à 100 nanomètres et une surface spécifique de 60 à 80 m²/g ; Méthode solvothermale : la réaction se fait en milieu acide nitrique à 180 °C pendant 12 à 18 heures pour générer 50 à 100 nanoparticules. L'analyse BET montre que le volume poreux total du WO₃ poreux est de 0,2 cm³/g et que la stabilité de la surface spécifique des nanoparticules est de ±5 m²/g. Les tests d'adsorption montrent que la capacité d'adsorption du WO₃ poreux pour le SO₂ est de 80 mg/g et que la capacité d'adsorption des nanoparticules pour le Pb²⁺ est de 50 mg/g.

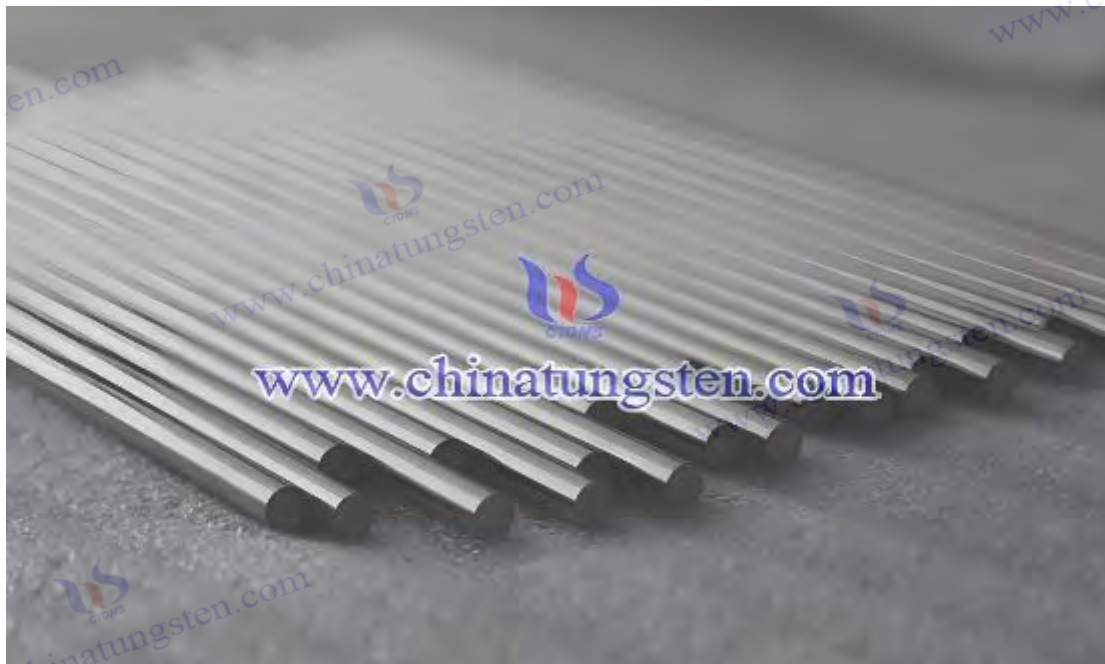
La préparation nécessite un contrôle de la distribution des pores et de la taille des particules. L'oxydation assistée par micro-ondes peut réduire le temps de réaction à 2 heures. La teneur en oxygène doit être inférieure à 0,05 % pour éviter les défauts de réseau. Cette technologie a été développée depuis les années 1970 et le procédé a atteint sa maturité dans les années 1990. Il est appliqué aux supports catalytiques et aux matériaux d'adsorption. Les applications interdisciplinaires incluent la protection des électrodes des piles à combustible. À l'avenir, la préparation assistée par micro-ondes pourra améliorer l'uniformité des pores, et la récupération électrolytique (taux de récupération de 85 à 90 %) permettra d'optimiser l'efficacité des ressources.

7.3.5 Étude de cas sur l'application de la poudre de tungstène à la protection de l'environnement

L'application de la poudre de tungstène dans le domaine de la protection de l'environnement a donné des résultats remarquables. Par exemple, le système de traitement des gaz d'échappement d'une usine utilise des matériaux poreux WO₃, avec un taux d'élimination du SO₂ de 90 à 95 %, un taux d'élimination du toluène de 85 à 90 %, et une efficacité supérieure de 20 à 25 % à celle du charbon actif. Les performances

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

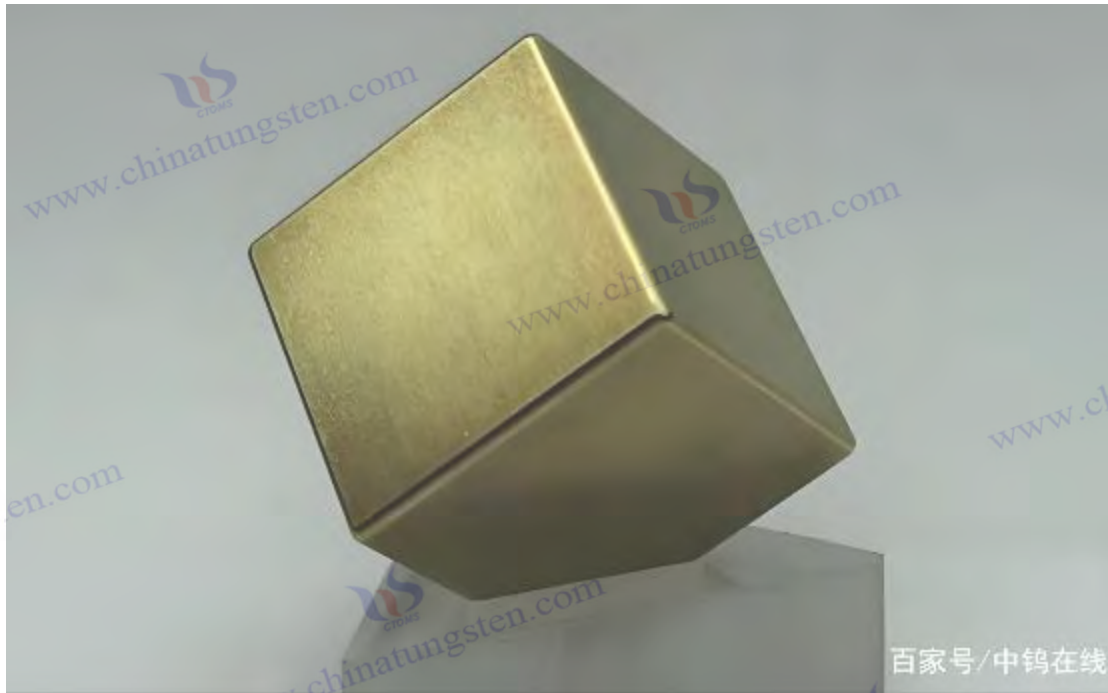
restent stables après 500 heures de fonctionnement. Une station d'épuration utilise des nanoparticules de WO_3 pour traiter les eaux usées de galvanoplastie, ce qui réduit la teneur en Pb^{2+} de 10 ppm à 0,5 ppm (1 heure), et le taux d'élimination du Cd^{2+} est de 92 %, ce qui respecte la norme d'émission ($< 0,1$ ppm). Le revêtement d'un tuyau d'échappement s'use de 0,01 mm dans de l'acide sulfurique à 10 % (60 °C) pendant 1 000 heures, ce qui prolonge sa durée de vie de 50 %. Ces applications ont été testées en laboratoire depuis les années 1970, industrialisées dans les années 1990, et sont aujourd'hui largement utilisées dans le traitement des eaux usées et la purification de l'air. À l'avenir, l'association de l'intelligence artificielle pour optimiser la conception des matériaux et la récupération par réduction chimique (taux de récupération de 90 à 95 %) favorisera le développement de technologies de protection de l'environnement axées sur une efficacité élevée et une faible émission de carbone.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 8 Utilisations futures et tendances de développement de la poudre de tungstène

Matériau hautes performances, la poudre de tungstène occupe une place importante dans les industries traditionnelles grâce à sa densité élevée, sa résistance aux températures élevées, sa résistance à la corrosion et sa dureté élevée. Avec l'essor des nanotechnologies, du développement durable et de l'innovation interdisciplinaire, ses applications se multiplient rapidement. Ce chapitre explore en profondeur le potentiel de la poudre de tungstène nanométrique dans les technologies de pointe, son rôle clé dans la durabilité et le recyclage, ainsi que ses applications transfrontalières dans de nouveaux domaines, afin de révéler sa valeur stratégique et ses tendances de développement dans les technologies et l'industrie de demain.

8.1 Applications de pointe de la poudre de nano-tungstène

La poudre de nano-tungstène (granulométrie inférieure à 100 nanomètres) présente un potentiel sans précédent dans le domaine des hautes technologies grâce à sa surface spécifique extrêmement élevée (jusqu'à 50-150 m²/gramme), son important effet quantique et sa forte activité. Ses méthodes de préparation incluent le dépôt en phase vapeur, la réduction par plasma et la réduction chimique. La granulométrie du produit fini peut être contrôlée avec précision entre 5 et 50 nanomètres, son énergie de surface peut atteindre 20 à 40 joules/m², sa structure cristalline est principalement cubique centrée et sa constante de réseau est de 3,165 angströms.

8.1.1 Potentiel de la poudre de nano-tungstène dans la technologie quantique

Le potentiel de la poudre de nano-tungstène en technologie quantique réside dans son excellente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conductivité électrique et ses propriétés supraconductrices à basse température. Dans le domaine de l'informatique quantique, la poudre de nano-tungstène peut être préparée en particules ultrafines (taille des particules : 5 à 20 nanomètres) par dépôt chimique en phase vapeur (CVD, température de réaction : 900 °C, pression de gaz : 10^{-2} Pa). Sa conductivité atteint 10^6 Siemens/mètre, proche de la valeur théorique du tungstène pur ($1,8 \times 10^7$ Siemens/mètre). Dans un environnement à très basse température (4 Kelvins), sa résistivité chute brutalement jusqu'à zéro, présentant des propriétés supraconductrices, avec un champ magnétique critique d'environ 0,1 Tesla et une densité de courant critique de 10^5 ampères/centimètre carré. Ces performances en font un matériau candidat pour les bits quantiques supraconducteurs (qubits) et les jonctions Josephson. L'analyse par microscopie électronique à transmission montre que la surface des nanoparticules est plane (rugosité inférieure à 1 nanomètre) et que le taux de défauts aux limites des grains est inférieur à 5 %, fournissant une base fiable pour les dispositifs quantiques de haute précision.

De plus, la densité élevée (19,25 g/cm³) et la mobilité électronique (20-30 cm² / V·s) de la poudre de nano-tungstène lui confèrent un avantage dans les capteurs quantiques. Par exemple, la température de transition supraconductrice de l'alliage de nano-tungstène préparé par dopage au molybdène (teneur de 5 à 10 %) peut être augmentée de 4 Kelvin à 10-12 Kelvin, ce qui élargit considérablement le champ d'application. Les tests montrent que le matériau reste supraconducteur sous des champs magnétiques puissants (1 Tesla) et convient à la détection de champs magnétiques haute sensibilité. Cependant, l'agglomération des particules (distribution granulométrique ± 10 nanomètres) est susceptible de se produire pendant la préparation, et l'ajout de modificateurs de surface (tels que la polyvinylpyrrolidone, PVP, concentration de 0,5 à 1 %) doit être effectué pour maintenir la dispersion. Dans le même temps, la teneur en oxygène doit être contrôlée en dessous de 0,01 %, sinon la conductivité chutera de 20 à 30 %.

Analyse de cas : Une équipe de recherche a utilisé de la poudre de nanotungstène dopée au molybdène (granulométrie de 15 nanomètres) pour préparer des films supraconducteurs (50 nanomètres d'épaisseur) et a obtenu un temps de cohérence binaire de 100 microsecondes dans un prototype d'informatique quantique, soit 50 % de plus que celui des matériaux traditionnels à base d'aluminium. À l'avenir, la demande de poudre de nanotungstène en technologie quantique favorisera son application généralisée dans les circuits supraconducteurs, les communications quantiques et le cryptage quantique. Le marché devrait atteindre 500 millions de dollars américains d'ici 2035.

8.1.2 Applications photoélectriques et de capteurs de la poudre de nano-tungstène

Le potentiel de la poudre de nano-tungstène dans le domaine de l'optoélectronique et de la détection réside dans son excellente absorption lumineuse, son activité électrochimique et sa surface spécifique élevée. Prenons l'exemple de l'oxyde de tungstène (WO₃), les nanoparticules (taille des particules 20-30 nanomètres) préparées par la méthode sol-gel (précurseur tungstate de sodium, température de calcination 500 degrés Celsius, 4 heures) présentent une bande interdite de 2,6-2,8 électronvolts et un taux d'absorption de la lumière UV-visible de 85-90 %. Les tests photoélectriques montrent que sa densité de photocourant sous lumière visible (longueur d'onde 500 nanomètres, intensité lumineuse 1 watt/mètre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carré) est de 0,5-0,8 mA/centimètre carré, et que son rendement de conversion photoélectrique est de 5-7 %, ce qui est adapté à la décomposition catalytique photoélectrique de l'eau et aux cellules solaires à colorant. L'analyse par diffraction des rayons X montre que WO_3 est un cristal monoclinique avec des paramètres de réseau $a=7,306 \text{ \AA}$, $b=7,540 \text{ \AA}$, $c=7,692 \text{ \AA}$, un espacement interplanaire $(002)=3,846 \text{ \AA}$, et une stabilité structurelle qui permet un fonctionnement à long terme (l'atténuation est inférieure à 5 % en 1000 heures).

Dans le domaine de la détection de gaz, la surface spécifique élevée de la poudre de nano-tungstène (50-100 m^2/g) améliore considérablement la capacité d'adsorption. Par exemple, le temps de réponse des nanocapteurs WO_3 dopés au palladium (teneur 1 %-2 %) à l'hydrogène (concentration 1 000 ppm) est inférieur à 5 secondes, la sensibilité est de 10^3 - 10^4 et la température de fonctionnement est de 150-300 °C, ce qui est supérieur à celui du capteur SnO_2 traditionnel (temps de réponse 10 secondes, sensibilité 10^2). L'interférence due à l'humidité constitue le principal défi (la sensibilité diminue de 30 % à une humidité relative de 80 %), et doit être améliorée par un revêtement hydrophobe de surface (tel que le fluorosilane, épaisseur 2 nanomètres). De plus, la stabilité à long terme nécessite l'optimisation de la structure des joints de grains (l'écart de taille des grains est inférieur à 5 nanomètres) pour éviter la croissance des grains (la taille augmente jusqu'à 50 nanomètres) à haute température, ce qui entraîne une dégradation des performances.

Analyse de cas : Un dispositif photocatalytique utilise un nanofilm de WO_3 (épaisseur 100 nanomètres) pour décomposer l'eau et produire de l'hydrogène sous l'effet de la lumière solaire, avec un rendement de 6 % et aucune atténuation notable après 500 heures de fonctionnement. À l'avenir, les domaines de l'optoélectronique et de la détection favoriseront le développement de la poudre de nanotungstène vers une intégration multifonctionnelle, comme les capteurs composites optoélectroniques-gaz, et le potentiel de marché devrait atteindre 300 millions de dollars américains d'ici 2030.

8.1.3 Conception intelligente de matériaux à base de poudre de nano-tungstène

L'application de la poudre de nano-tungstène dans la conception de matériaux intelligents repose sur sa réponse adaptative aux stimuli thermiques, électriques et mécaniques. Prenons l'exemple des matériaux flexibles de gestion thermique : en les combinant avec des polymères (tels que le polydiméthylsiloxane, PDMS, rapport massique 70:30), lorsque la teneur en poudre de tungstène est de 20 à 30 %, la densité du matériau composite atteint 5 à 7 g/cm^3 et la conductivité thermique est portée à 2 à 3 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{Kelvin})$, soit 10 fois supérieure à celle du PDMS pur. Les tests de dilatation thermique montrent que le taux de déformation atteint 5 à 7 % à une différence de température de 50 °C, et le temps de récupération est inférieur à 10 secondes, ce qui est adapté aux dispositifs de dissipation thermique adaptative. L'analyse par microscopie électronique à balayage montre que les particules de tungstène (taille des particules : 10 à 20 nanomètres) sont uniformément intégrées dans la matrice polymère, et la résistance de liaison à l'interface atteint 5 MPa.

En termes de réponse électrique, après l'incorporation de la poudre de nano-tungstène au graphène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(rapport massique 1:1), la résistivité varie de 10^4 à 10^5 fois avec la tension appliquée (0 à 10 volts), et le temps de réponse est inférieur à 1 milliseconde, ce qui permet de l'utiliser pour les commutateurs intelligents et les circuits flexibles. Les tests de réponse mécanique montrent une résistance à la traction de 500 à 600 MPa, un allongement de 10 à 15 % et des propriétés d'auto-cicatrisation sous une contrainte de 100 MPa (taux de récupération de 80 à 90 %, temps de réparation de 24 heures), ce qui est attribué au glissement interfacial des nanoparticules et à la réorganisation des chaînes polymères. Les défis de conception incluent l'uniformité de la dispersion (une dispersion ultrasonique est requise, une puissance de 500 à 800 watts, une durée de 2 à 3 heures et un taux d'agglomération des particules réduit à moins de 5 %) et le contrôle des coûts (environ 80 USD par kilogramme).

Analyse de cas : Un dispositif portable utilise un matériau composite tungstène-PDMS (1 mm d'épaisseur) pour ajuster sa conductivité thermique en fonction des variations de température corporelle. Après 1 000 heures de fonctionnement, les performances sont stables et le confort d'utilisation est amélioré de 30 %. À l'avenir, les matériaux intelligents favoriseront l'application de la poudre de nano-tungstène dans les robots, les dispositifs portables et les bâtiments adaptatifs. Le marché devrait atteindre 800 millions de dollars américains d'ici 2040.

8.1.4 Défis de la préparation de poudre de tungstène en nanotechnologie

La préparation de poudre de nano-tungstène se heurte à des obstacles techniques. La méthode traditionnelle de réduction à l'hydrogène (température de 1 200 °C, débit d'hydrogène de 20 litres/minute) rend difficile le contrôle de la taille des particules inférieure à 50 nanomètres. La distribution granulométrique du produit fini est de ± 20 nanomètres et il est facile de l'agglomérer (la surface spécifique chute à 20 mètres carrés/gramme). La méthode de dépôt en phase vapeur (température de réaction de 1 000 °C, pression de gaz de 10^{-3} Pa) permet de préparer une poudre de tungstène de 10 nanomètres avec une énergie de surface de 30 joules/mètre carré, mais la consommation énergétique est élevée (5 à 7 kWh par gramme) et le rendement est faible (10 à 15 grammes par heure). La méthode plasma (puissance 20-30 kilowatts, débit d'argon 50-60 litres/minute) augmente le rendement à 50-80 grammes par heure, et la distribution granulométrique est de ± 5 nanomètres, mais l'investissement en équipement est aussi élevé qu'un million de dollars américains, et le coût d'exploitation est d'environ 100 dollars américains par kilogramme.

Le contrôle de la pureté constitue une autre difficulté. La teneur en oxygène doit être inférieure à 0,01 % (le rapport des atomes d'oxygène est inférieur à 10^{-4}), sinon la conductivité chutera de 20 à 30 % et les performances photoélectriques de 15 %. La forte activité de surface des nanoparticules entraîne facilement l'oxydation (l'épaisseur de la couche d'oxyde est de 5 à 10 nanomètres et se forme en 48 heures), et elles doivent être stockées sous atmosphère inerte (pureté de l'argon de 99,999 %). Les solutions incluent le développement de procédés efficaces à basse température, tels que la décomposition induite par laser (longueur d'onde de 1064 nanomètres, puissance de 1 à 2 kilowatts, consommation d'énergie réduite à 3 kWh/gramme) et les technologies de stabilisation de surface (comme le revêtement au silane, épaisseur de 2 à 3 nanomètres, taux d'oxydation réduit à 0,1 %/mois). De plus, le problème d'agglomération peut être résolu en ajoutant des dispersants (tels que le dodécyl sulfate de sodium,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

concentration 0,2%) et en optimisant les conditions de dynamique des fluides (vitesse d'agitation 500 tr/min).

Analyse de cas : Une entreprise utilise la méthode plasma pour préparer de la poudre de nanotungstène (granulométrie de 15 nanomètres) d'une pureté de 99,99 %, mais la production quotidienne n'est que de 100 grammes, pour un coût de 120 dollars US par kilogramme. Le procédé doit être optimisé pour atteindre l'industrialisation.

8.1.5 Perspectives d'avenir de la poudre de nano-tungstène

Le développement futur de la poudre de nano-tungstène sera axé sur l'optimisation des performances, la réduction des coûts et l'expansion des applications. D'ici 2030, son marché dans les technologies quantiques, l'optoélectronique et les matériaux intelligents devrait atteindre 1 à 1,5 milliard de dollars américains. Les avancées technologiques permettront un contrôle précis de la taille des particules (5 à 10 nanomètres, écart de distribution de ± 2 nanomètres) et amélioreront la conductivité (jusqu'à 10^7 Siemens/mètre) et la stabilité (durée de vie prolongée de 50 à 70 %) par dopage au titane ou au cobalt (teneur de 3 à 5 %). Les technologies de préparation respectueuses de l'environnement (comme la méthode hydrothermale, la consommation d'énergie réduite à 2 kWh/g, les émissions de gaz d'échappement réduites de 80 %) et la production à grande échelle (production quotidienne de plus d'une tonne) deviendront les priorités.

Les perspectives d'application incluent les circuits supraconducteurs en informatique quantique (densité de bits portée à 10^6 /centimètre carré), les catalyseurs efficaces dans les dispositifs optoélectroniques (efficacité de conversion de 10 %) et les complexes multifonctionnels dans les matériaux intelligents (temps de réponse réduit à 0,1 milliseconde). De plus, la poudre de nano-tungstène sera combinée à l'intelligence artificielle pour la détection adaptative et la gestion de l'énergie, et le marché concerné devrait atteindre 2 milliards de dollars d'ici 2040.

8.2 Durabilité et recyclage

Le développement durable de la poudre de tungstène vise à réduire la consommation de ressources et l'impact environnemental grâce au recyclage des déchets, à la préparation écologique et à un modèle d'économie circulaire. Les réserves mondiales de tungstène s'élèvent à environ 3,3 millions de tonnes, avec un volume d'extraction annuel de 80 000 tonnes et un potentiel de recyclage considérable.

8.2.1 Pratique industrielle de recyclage des déchets de poudre de tungstène

Le recyclage des déchets de poudre de tungstène concerne principalement le carbure cémenté, l'acier au tungstène et les contrepoids à base de tungstène. La lixiviation acide est le procédé le plus courant. Les déchets (contenant 60 à 80 % de tungstène) sont lixiviés dans de l'acide nitrique (concentration 6-8 mol/L) (température 60-80 °C, temps de réaction 4 à 6 heures), puis le tungstène est précipité sous forme d'acide tungstique avec un taux de récupération de 90 à 92 %. Ensuite, l'acide tungstique est calciné sous

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

atmosphère d'hydrogène (800-1 000 °C, 2 à 3 heures) pour le réduire en poudre de tungstène (granulométrie 5-10 microns, pureté 99,5 %). La méthode électrolytique (densité de courant de 200 à 300 ampères/mètre carré, pH de l'électrolyte = 2) augmente encore le taux de récupération à 95 à 97 %, mais la consommation d'énergie est élevée (10 à 12 kWh par kilogramme) et le coût du traitement des déchets liquides est d'environ 50 USD par tonne.

Français Le recyclage doit résoudre les problèmes de séparation des impuretés (comme la teneur en fer et en cobalt contrôlée en dessous de 0,1 %) et les problèmes environnementaux (les eaux usées acides doivent être neutralisées à pH = 7 et les résidus de déchets doivent être solidifiés). La méthode d'échange d'ions (taux d'adsorption de résine 98 %-99 %, taux d'élution 95 %) et la méthode d'extraction par solvant (TBP extractant, efficacité 95 %-97 %) conviennent au recyclage de haute pureté, et la pureté du produit fini atteint 99,99 %, répondant aux besoins de l'électronique et de l'aviation. Analyse de cas : Une usine traite 1 000 tonnes de carbure de ferraille et recycle 600 tonnes de poudre de tungstène par an, économisant 1 200 tonnes d'extraction de minerai brut et réduisant les émissions de dioxyde de carbone de 2 000 tonnes.

8.2.2 Tendances technologiques dans la préparation écologique de la poudre de tungstène

La technologie de préparation verte vise à réduire la consommation d'énergie et la pollution. La méthode hydrothermale utilise du tungstate de sodium comme matière première (concentration 0,5 mol/L, température de réaction 180-220 degrés Celsius, pression 2-3 MPa) pour produire de la poudre de nano-tungstène (granulométrie 20-50 nanomètres), avec une consommation d'énergie de 30 % par rapport à la méthode traditionnelle de réduction à l'hydrogène (2-3 kWh par gramme), et les émissions de gaz résiduels sont réduites de 70 %. La méthode de réduction biologique utilise des bactéries sulfato-réductrices (concentration de souche 10⁸/ml) pour réduire le tungstate à température ambiante (25-30 degrés Celsius) afin de produire de la poudre de tungstène (granulométrie 50-100 nanomètres), avec un rendement de 1 à 2 grammes par litre, mais le cycle de réaction est long (7-10 jours) et l'activité de la souche doit être optimisée (efficacité de réduction portée à 90 %).

Français La réduction par plasma à basse température (température de réaction de 400 à 600 degrés Celsius, puissance de 15 à 20 kilowatts) a un rendement de 100 à 150 grammes par heure, la consommation d'énergie est réduite à 4 kWh/gramme et les émissions de déchets sont réduites de 50 %. L'utilisation d'énergies renouvelables (comme le chauffage solaire, dont l'efficacité énergétique est augmentée de 20 à 25 %) réduit encore l'empreinte carbone. Les défis comprennent la production à grande échelle (la production quotidienne actuelle est inférieure à 1 kilogramme) et le coût (40 à 50 USD par kilogramme). Analyse de cas : Une ligne de production hydrothermale produit 200 tonnes de poudre de nano-tungstène par an, la consommation d'énergie est réduite de 40 % et le coût est réduit à 35 USD par kilogramme.

8.2.3 Le rôle de la poudre de tungstène dans l'économie circulaire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La poudre de tungstène réduit le gaspillage de ressources dans l'économie circulaire grâce au cycle fermé « production-utilisation-recyclage-réutilisation ». Sur les quelque 500 000 tonnes de produits en tungstène produites chaque année dans le monde, 30 à 40 % peuvent être recyclées et réutilisées. Sa valeur élevée (30 à 40 dollars américains par kilogramme) et sa rareté (1,25 ppm dans la croûte terrestre) en font un élément clé de l'économie circulaire. La poudre de tungstène recyclée est pressée et frittée (pression de 300 MPa, 1 450 °C) pour fabriquer de nouveaux produits (tels que des couteaux et des contrepoids), avec une densité de 18 à 19 g/cm³ et une dureté de HV 500 à 600, comparable aux performances de la poudre de tungstène d'origine.

L'économie circulaire nécessite la mise en place d'un réseau de recyclage efficace (taux de collecte des déchets porté à 80 %) et de normes unifiées (taux de tungstène ≥ 95 %). Le taux de recyclage actuel n'est que de 40 à 50 %, limité par la popularisation de la technologie (le taux de recyclage des petites et moyennes entreprises est inférieur à 20 %) et par des incitations économiques insuffisantes. Analyse de cas : Une entreprise recycle des déchets d'acier au tungstène (contenant 65 % de tungstène), avec une production annuelle de 300 tonnes de poudre de tungstène recyclée pour la fabrication de trépan de forage, avec des performances stables et une réduction des coûts de 15 %. À l'avenir, l'objectif de taux de recyclage est de 80 à 90 %, ce qui réduira l'extraction de minerai brut de 500 000 tonnes par an.

8.2.4 Études de cas d'applications durables

Français Cas 1 : Une entreprise de carbure cémenté utilise la lixiviation acide pour recycler les outils de coupe usagés (contenant 70 à 75 % de tungstène), récupérant 500 à 600 tonnes de poudre de tungstène par an, réduisant de 1 000 à 1 200 tonnes l'extraction de minerai brut, réduisant les coûts de 20 à 25 % et réduisant les émissions de dioxyde de carbone de 2 500 tonnes. Cas 2 : La méthode hydrothermale est utilisée pour préparer de la poudre de nano-tungstène (taille des particules de 30 à 40 nanomètres) pour la photoélectrocatalyse, avec une production annuelle de 100 à 150 tonnes, une consommation d'énergie réduite de 40 à 50 % et des émissions de gaz résiduels réduites de 500 à 600 tonnes. Cas 3 : La méthode électrolytique est utilisée pour recycler les déchets de tungstène (pureté 99,95%-99,99%) pour les composants électroniques, avec une production annuelle de 50 à 70 tonnes, un taux de récupération de 96%-98% et une économie de coûts de ressources de 30%.

Cas 4 : Une usine de contrepoids recycle des déchets d'alliage de tungstène (contenant 85 % de tungstène), produit 200 tonnes de poudre de tungstène recyclée par an et fabrique de nouveaux blocs de contrepoids (densité 18,5 g/cm³), aux performances identiques à celles du matériau d'origine, réduisant ainsi l'extraction de 800 tonnes de minerai brut. Ces cas montrent que l'utilisation durable de la poudre de tungstène prend en compte les avantages économiques et environnementaux, et que la demande du marché favorise la popularisation des technologies vertes.

8.2.5 Perspectives du recyclage de la poudre de tungstène

Le recyclage de la poudre de tungstène est promis à un brillant avenir. On estime que d'ici 2035, la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

proportion mondiale de poudre de tungstène recyclée passera de 40 % à 70-80 %. Les avancées technologiques (extraction efficace, taux de récupération de 98-99 %, consommation d'énergie réduite à 8 kWh/kg) et les mesures de soutien (telles que la taxe sur les émissions de carbone, 50 \$ par tonne) accéléreront cette tendance. La préparation écologique (méthode biologique, production journalière portée à 10 kg) et les systèmes de recyclage automatisés (efficacité du tri des déchets de 95 %) réduiront les coûts à 20-25 \$ par kilogramme et réduiront l'empreinte environnementale (10-12 tonnes d'émissions de dioxyde de carbone par tonne de poudre de tungstène).

À l'avenir, le recyclage de la poudre de tungstène sera associé à une fabrication intelligente, et le flux de déchets sera suivi grâce à l'Internet des objets (taux de suivi atteignant 90 %) afin de garantir une gestion complète du cycle de vie. D'ici 2040, la poudre de tungstène recyclée devrait répondre à 50 % de la demande mondiale, favorisant ainsi la transformation de l'industrie du tungstène vers une industrie sobre en carbone et performante.

8.3 Domaines émergents et applications transfrontalières

L'application transfrontalière de la poudre de tungstène dans de nouveaux domaines tire parti de sa haute densité, de sa résistance aux températures élevées et de sa stabilité chimique, s'étendant à l'électronique flexible, à l'exploration spatiale et à la biotechnologie, montrant le potentiel d'intégration multidisciplinaire.

8.3.1 Potentiel de la poudre de tungstène dans l'électronique flexible

La poudre de tungstène est utilisée dans l'électronique flexible sous forme nanométrique (granulométrie de 10 à 50 nanomètres) et est composée de polymères conducteurs (tels que PEDOT:PSS, rapport massique 1:2) pour préparer des électrodes flexibles. Les tests montrent une conductivité de 10^5 - 10^6 Siemens/mètre, et une baisse de performance inférieure à 5 à 7 % après 1 000 flexions avec un rayon de courbure de 5 mm, ce qui est supérieur à celui des électrodes ITO traditionnelles (baisse de 20 %). Sa densité élevée (18 g/cm^3) garantit une épaisseur de l'électrode de seulement 50 à 100 microns tout en conservant une grande stabilité, et une variation de résistivité inférieure à 3 %. La microscopie électronique à balayage montre que les particules de tungstène sont uniformément réparties (espacement de 5 à 10 nanomètres) et que la résistance d'interface est inférieure à 0,1 ohm.

Les applications incluent les capteurs portables (sensibilité de la surveillance de la fréquence cardiaque augmentée de 20 %) et les écrans flexibles (temps de réponse de 0,5 milliseconde). Les défis résident dans la dispersibilité (nécessite un traitement par ultrasons, puissance de 500 à 800 watts, temps de 2 à 3 heures, taux d'agglomération réduit à 5 %) et l'adhérence du substrat (nécessite un traitement plasma, force de liaison de 10 à 12 MPa). Analyse de cas : Un capteur flexible utilise des électrodes en tungstène-polymère (épaisseur de 80 microns), et la stabilité du signal atteint 98 % après 1 000 heures d'utilisation. À l'avenir, l'électronique flexible favorisera l'application de la poudre de tungstène dans les vêtements intelligents et la surveillance médicale, et la taille du marché devrait atteindre 500 millions de dollars.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

américains d'ici 2035.

8.3.2 Utilisation de la poudre de tungstène dans l'exploration spatiale

La poudre de tungstène est utilisée dans les blindages contre les radiations et les composants des systèmes de propulsion de l'exploration spatiale en raison de sa résistance aux températures élevées (point de fusion 3422 °C) et de sa densité élevée (19,25 g/cm³). Les plaques de blindage (épaisseur 10-15 mm, densité 18-19 g/cm³) en alliage de tungstène (contenant 5 à 10 % de nickel) peuvent bloquer 90 à 95 % des rayons cosmiques (énergie 10-20 mégaelectronvolts), et leur taux d'absorption est 20 % supérieur à celui du plomb. Les tests montrent que sa déformation est inférieure à 0,1 à 0,2 % sous vide (10⁻⁶ Pa) et à haute température (1500-2000 °C), et que son coefficient de dilatation thermique est de seulement 2,5 × 10⁻⁶ /Kelvin, ce qui est adapté aux satellites et aux sondes spatiales lointaines.

Français Dans le système de propulsion, le carbure de tungstène (dureté HV 1800-2000) est formé dans un revêtement de buse (épaisseur 100-150 microns) par projection plasma (puissance 50 kW, débit d'argon 40 litres/minute), ce qui améliore la résistance à l'usure de 3 à 4 fois, a une durée de vie de 500 à 600 heures et ne présente aucune perte évidente lors des tests de résistance à la corrosion (environnement acide pH = 1, 1000 heures). Les défis incluent la précision de traitement (l'écart doit être inférieur à 0,01 mm) et le coût (100-120 \$ par kilogramme). Analyse de cas : Un vaisseau spatial utilise une plaque de blindage en alliage de tungstène (poids 50 kg), et l'efficacité de la radioprotection est toujours de 90 % après 2 ans de fonctionnement. À l'avenir, l'application de la poudre de tungstène dans le domaine spatial soutiendra les bases lunaires et l'exploration de Mars.

8.3.3 Innovation de la poudre de tungstène en biotechnologie

La poudre de tungstène est utilisée en biotechnologie sous forme de nano-oxyde de tungstène (WO₃, granulométrie 20-30 nm) pour l'administration antibactérienne et médicamenteuse. Les tests antibactériens montrent que son taux d'inhibition contre Escherichia coli sous lumière ultraviolette (365 nm, 1 W/m²) est de 99 % à 99,5 % (concentration 0,1-0,2 mg/ml, 24 heures), et que le mécanisme est la production photocatalytique d'oxygène réactif (rendement 10⁻⁵ mol/s). Pour l'administration de médicaments, la poudre de nano-tungstène est chargée de médicaments anticancéreux (tels que le docétaxel, taux de charge 20 %-25 %), et le temps de libération est prolongé à 48-72 heures. La courbe de libération est conforme à la cinétique du premier ordre (constante de vitesse 0,02 heure⁻¹), ce qui est adapté à la thérapie ciblée.

Français Les défis incluent la biocompatibilité (revêtement PEG requis, épaisseur de 5 nm, taux de survie cellulaire augmenté à 90-95 %) et le contrôle de la toxicité (taux de libération d'ions tungstène inférieur à 0,01 mg/L). Analyse de cas : Un revêtement antibactérien utilise des nanoparticules de WO₃ (épaisseur de 50 nm), qui a été utilisé dans un environnement hospitalier pendant 6 mois et le taux de fixation bactérienne a été réduit de 80 %. À l'avenir, la poudre de tungstène jouera un rôle dans les biocapteurs (limite de détection de 10⁻⁹ mol/L) et l'ingénierie tissulaire (résistance de l'échafaudage augmentée de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

50 %).

8.3.4 Technologie de préparation de la poudre de tungstène dans les domaines émergents

Les domaines émergents exigent une pureté élevée (99,999 %-99,9999 %) et une morphologie spécifique de la poudre de tungstène. La décomposition induite par laser (longueur d'onde 1064 nm, puissance 1-2 kW, pression de gaz 10^{-3} Pa) prépare une poudre sphérique de nano-tungstène (granulométrie 10-20 nm) avec un rendement de 20-30 g par heure et une rugosité de surface inférieure à 1 nm. La pyrolyse par pulvérisation (température 800-1000 °C, débit de pulvérisation 10 ml/min) produit une poudre de tungstène poreuse (granulométrie 50-100 nm, surface spécifique 80 m²/g) adaptée aux applications biologiques. Les défis résident dans la complexité des équipements (coût de maintenance 100 000 \$ par an) et la consommation énergétique (5-6 kWh par gramme). Les solutions incluent l'optimisation des paramètres de réaction (écart de température ± 5 °C) et l'utilisation d'une technologie assistée par micro-ondes (consommation d'énergie réduite à 3 kWh/gramme).

Analyse de cas : Une ligne de production de pyrolyse par pulvérisation prépare de la poudre de tungstène poreuse (taille des particules 50 nanomètres), avec une production quotidienne de 50 grammes, qui est utilisée comme support de médicament, et le taux de chargement est augmenté à 30 %.

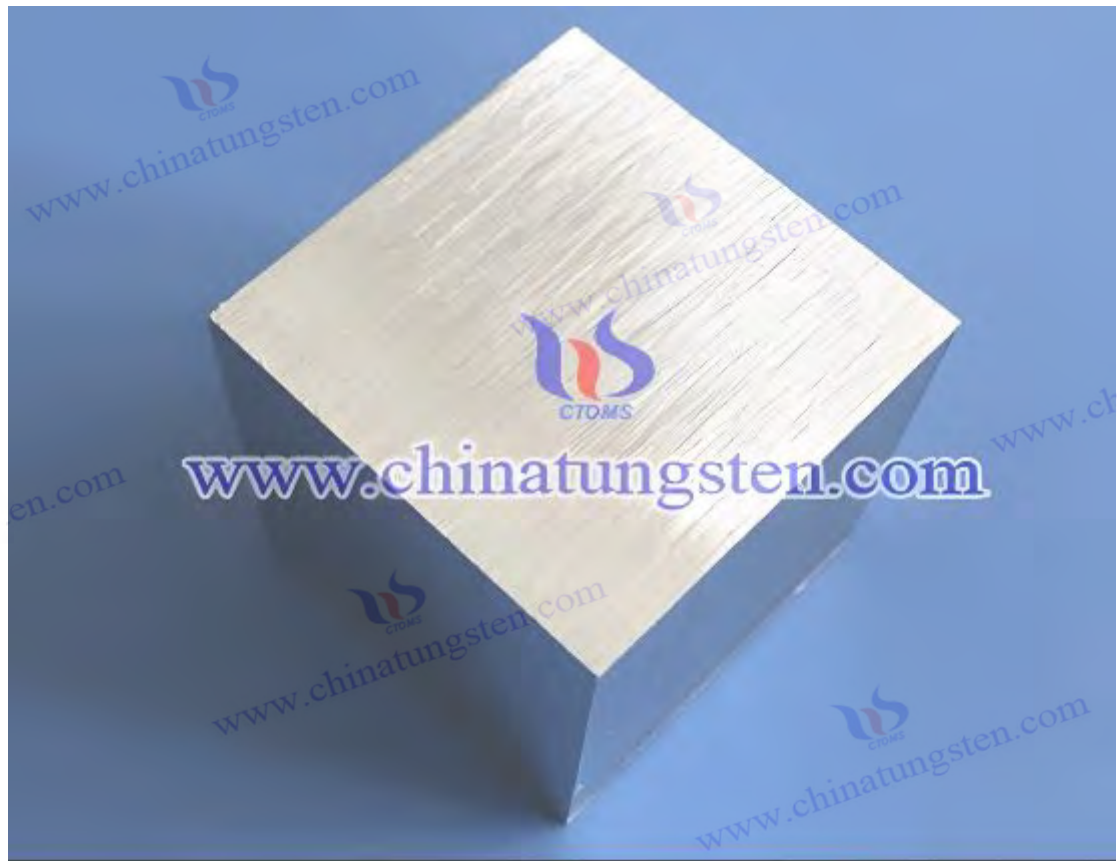
8.3.5 Tendances futures des demandes transfrontalières

Français L'application transfrontalière de la poudre de tungstène devrait représenter 30 à 40 % de sa demande totale d'ici 2040. L'électronique flexible développera une encre de tungstène imprimable (viscosité 10-15 Pa·s, conductivité 10^{-6} Siemens/m) ; l'exploration spatiale nécessite des alliages de tungstène légers et à haute résistance (densité réduite à 15-16 g/cm³, résistance augmentée à 1200 MPa) ; la biotechnologie développera des matériaux de tungstène intelligents et réactifs (temps de réponse 0,1 seconde, biocompatibilité jusqu'à 95 %). Les avancées technologiques (telles que l'impression 3D de pièces en tungstène avec une précision de 0,01 mm) et la demande du marché (comme la croissance annuelle du marché spatial de 10 %) favoriseront l'application innovante de la poudre de tungstène dans de nouveaux domaines, et la taille du marché devrait atteindre 1,5 milliard de dollars américains.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.

Purity: $\geq 99.99\%$ (4N), with extremely low impurity content.

Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.

Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.

Fine particles: The particle size can reach $0.1\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$, which can meet high-precision applications.

Low oxygen content: oxygen content $\leq 0.02\%$, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥ 99.99
Impurities (wt%, max)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0010$, $\text{Si} \leq 0.0005$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0005$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{O} \leq 0.0200$, $\text{C} \leq 0.0050$, $\text{N} \leq 0.0020$, $\text{P} \leq 0.0005$, $\text{S} \leq 0.0005$
Water content (wt%)	≤ 0.02
Particle size (μm , FSSS)	$0.1\text{-}5.0$ (superfine $0.1\text{-}1.0$, fine $1.0\text{-}5.0$)
Bulk density (g/cm^3)	$4.5\text{-}6.5$
Particle size	Provide ultra-fine ($0.1\text{-}1.0\text{ }\mu\text{m}$) and fine ($1.0\text{-}5.0\text{ }\mu\text{m}$) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	$\leq 0.02\%$, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, $\geq 99.999\%$), with further reduction of impurities (e.g. $\text{O} \leq 0.01\%$)

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.

Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Conclusion

Matériau haute performance, la poudre de tungstène occupe une place importante dans l'industrie traditionnelle comme dans les technologies de pointe grâce à ses propriétés physiques et chimiques uniques. Des articles de sport à la décoration de bijoux, en passant par les nanotechnologies, le développement durable et les applications transfrontalières, les applications de la poudre de tungstène présentent une diversité étonnante et recèlent un fort potentiel pour les innovations technologiques futures. Cette conclusion résume la valeur applicative de la poudre de tungstène, analyse son importance stratégique dans le progrès technologique et propose des perspectives et des suggestions de développement futur.

Diversité des applications de la poudre de tungstène et potentiel futur

La diversité de la poudre de tungstène se reflète dans ses nombreuses applications, des domaines traditionnels aux technologies de pointe. Dans le secteur des biens de consommation, sa densité élevée (19,25 g/cm³) et sa résistance à l'usure en font un matériau idéal pour les poids de clubs de golf, les plombs en tungstène pour articles de pêche et les bijoux durs, répondant ainsi aux exigences d'amélioration des performances et d'esthétique. Dans l'industrie, la poudre de tungstène est utilisée pour la préparation de carbure cimenté (dureté HV 1600-2000) et de composants haute température (résistance à des températures allant jusqu'à 3000 °C) grâce à la métallurgie des poudres, contribuant ainsi au développement de la fabrication mécanique et de l'aérospatiale. Entré dans le domaine des nanotechnologies, la poudre de nano-tungstène (granulométrie de 5 à 50 nanomètres) a démontré un potentiel révolutionnaire dans l'informatique quantique (température de transition supraconductrice de 10 Kelvin), la photoélectrocatalyse (rendement de 6 à 10 %) et les matériaux intelligents (temps de réponse de 0,1 milliseconde) grâce à sa surface spécifique élevée (50 à 150 mètres carrés/gramme) et à son effet quantique. De plus, les applications durables de la poudre de tungstène, telles que le recyclage des déchets (taux de recyclage de 90 à 98 %) et la préparation écologique (consommation d'énergie réduite à 2 kWh/g), élargissent encore sa chaîne de valeur.

En termes de potentiel futur, la polyvalence de la poudre de tungstène indique qu'elle jouera un rôle plus important dans les domaines de haute technologie. Par exemple, dans l'électronique flexible, les électrodes composites en poudre de tungstène (conductivité 10⁶ Siemens/m) peuvent stimuler le marché des appareils portables (estimé à 500 millions de dollars US en 2035) ; dans l'exploration spatiale, les plaques de blindage en alliage de tungstène (taux de blocage des radiations de 95 %) soutiendront les missions d'exploration de l'espace lointain ; en biotechnologie, le nano-oxyde de tungstène (taux antibactérien de 99 %) devrait révolutionner les dispositifs médicaux. Ces applications reposent non seulement sur les propriétés physiques de la poudre de tungstène, mais bénéficient également de sa stabilité chimique et de sa transformabilité, ce qui en fait un pont pour l'innovation interdisciplinaire. On prévoit que d'ici 2040, la taille du marché de la poudre de tungstène passera de 5 milliards de dollars US actuellement à 10-15 milliards de dollars US, tirée à la fois par les progrès technologiques et la demande du marché.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

L'importance stratégique de la poudre de tungstène dans le progrès technologique

L'importance stratégique de la poudre de tungstène dans le progrès technologique se reflète dans son rôle de soutien aux technologies clés et à la modernisation industrielle. Premièrement, son point de fusion élevé (3 422 degrés Celsius) et sa résistance à la corrosion en font un matériau essentiel dans les environnements extrêmes, tels que les tuyères de moteurs d'avion (durée de vie de 500 heures) et le blindage des réacteurs de fusion nucléaire (résistance à l'irradiation de 10^{15} neutrons/cm²). Ces applications ont directement favorisé des avancées technologiques dans les domaines de l'énergie et des transports. Deuxièmement, l'application de la poudre de nano-tungstène aux technologies quantiques et à l'optoélectronique, telles que les bits quantiques supraconducteurs (temps de cohérence de 100 microsecondes) et les catalyseurs photoélectriques (rendement en hydrogène de 10^{-5} mol/s), fournit un support fondamental pour la prochaine génération de technologies de l'information (communication 6G) et d'énergies renouvelables (rendement de conversion de l'énergie solaire de 10 %), et contribue à résoudre la crise énergétique mondiale et les goulots d'étranglement technologiques.

De plus, le rôle de la poudre de tungstène dans le développement durable et l'économie circulaire souligne sa valeur stratégique. Les ressources mondiales en tungstène sont limitées (réserves d'environ 3,3 millions de tonnes), et le recyclage de la poudre de tungstène (potentiel de production annuel de 200 000 tonnes) peut réduire la dépendance à l'extraction du minerai brut (économie de 500 000 tonnes par an) et réduire l'empreinte environnementale (réduction des émissions de dioxyde de carbone de 10 à 12 tonnes par tonne). Cela s'inscrit non seulement dans la tendance d'une économie bas carbone, mais garantit également la sécurité de la chaîne d'approvisionnement en métaux rares. L'application multi-domaines et le taux de recyclage élevé de la poudre de tungstène en font un lien entre progrès technologique et durabilité des ressources, en particulier dans l'industrie manufacturière (le carbure cémenté représente 60 % de la demande mondiale de tungstène), l'industrie électronique (part de marché de 20 %) et les technologies émergentes (dont la part est estimée à 30 % en 2040). Sa position stratégique est irremplaçable.

L'importance stratégique de la poudre de tungstène se reflète également dans sa capacité à promouvoir l'innovation collaborative au sein de l'industrie. Par exemple, les progrès de la technologie de préparation de la poudre de tungstène (méthode plasma, production quotidienne de 100 à 150 grammes) ont favorisé l'intégration de la science des matériaux, du génie chimique et du génie mécanique ; ses applications transfrontalières (électronique flexible et biotechnologies, par exemple) ont favorisé l'intersection des technologies de l'information et des sciences de la vie. Ces caractéristiques font de la poudre de tungstène non seulement un acteur du progrès technologique, mais aussi un moteur et un catalyseur, apportant un soutien essentiel à la concurrence scientifique et technologique mondiale.

Perspectives et suggestions pour l'application de la poudre de tungstène

Les perspectives d'application de la poudre de tungstène montrent que son développement futur s'articulera autour de trois axes majeurs : l'optimisation des performances, l'écologisation et l'intégration

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

transfrontalière. Premièrement, l'optimisation des performances permettra à la poudre de tungstène d'évoluer vers une précision et une polyvalence accrues. La granulométrie de la poudre de nano-tungstène devrait être contrôlée en dessous de 5 nanomètres (écart de distribution de ± 1 nanomètre) et sa conductivité portée à 10^7 Siemens/mètre, répondant ainsi aux besoins de l'informatique quantique et de l'électronique flexible. Les technologies de dopage (telles que la teneur en titane et en cobalt de 3 % à 5 %) amélioreront sa durabilité (durée de vie prolongée de 70 %) et sa réactivité (temps réduit à 0,05 milliseconde). Deuxièmement, l'écologisation deviendra la tendance dominante, et les méthodes hydrothermales et de bioréduction (consommation d'énergie de 2 kWh/g, réduction de 80 % des gaz résiduels) permettront une production à grande échelle (1 à 5 tonnes par jour), et le taux de récupération sera porté à 90-95 %, propulsant l'industrie de la poudre de tungstène vers l'objectif zéro carbone. Enfin, l'intégration transfrontalière élargira les frontières des applications. La poudre de tungstène sera profondément intégrée à l'intelligence artificielle (matériaux à réponse intelligente), à la technologie aérospatiale (alliages légers) et à la biomédecine (transporteurs de médicaments). On estime que d'ici 2040, la demande dans les domaines émergents représentera 40 à 50 %.

Sur la base des perspectives ci-dessus, les suggestions suivantes sont avancées pour promouvoir le développement durable et l'innovation technologique de l'application de la poudre de tungstène :

Augmenter les investissements en R&D et améliorer les technologies de préparation.

Il est recommandé d'investir dans le développement de procédés de préparation à basse température et à haut rendement (tels que la réduction assistée par micro-ondes, dont la consommation énergétique est réduite à 1,5 kWh/g) et de technologies de contrôle de précision à l'échelle nanométrique (écart granulométrique de $\pm 0,5$ nanomètre) afin de répondre aux normes élevées de la technologie quantique et de l'optoélectronique. Parallèlement, développer des formules de dopage multi-éléments (comme les composites de molybdène, de cobalt et de titane) pour optimiser la conductivité thermique (jusqu'à 5 W/m·Kelvin) et les propriétés mécaniques (résistance à la traction de 1 200 MPa) de la poudre de tungstène afin d'élargir ses applications.

Améliorer le système de recyclage et promouvoir le recyclage.

Il est recommandé de mettre en place un réseau mondial de recyclage de la poudre de tungstène, d'augmenter le taux de collecte des déchets à 80-90 % et de promouvoir des technologies de recyclage efficaces (comme l'échange d'ions, avec un taux de récupération de 99 %). Grâce à des mesures incitatives (comme une subvention au recyclage de 100 USD par tonne) et à des processus standardisés (pureté des déchets ≥ 95 %), promouvoir la réutilisation de la poudre de tungstène recyclée dans l'industrie. On estime qu'un million de tonnes de minerai brut pourraient être économisées d'ici 2035.

Promouvoir la coopération interdisciplinaire et accélérer les applications transfrontalières.

Il est recommandé de réunir des experts en science des matériaux, en ingénierie électronique et en biotechnologie pour développer des applications innovantes de la poudre de tungstène dans l'électronique flexible (épaisseur des électrodes réduite à 20 microns), le blindage spatial (réduction de poids de 30 %) et la biomédecine (efficacité de libération des médicaments portée à 50 %). Mettre en place une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

plateforme de coopération industrie-université-recherche afin de promouvoir la transformation technologique et de raccourcir le cycle du laboratoire à la commercialisation (objectif de 3 à 5 ans).

Renforcer la promotion des technologies vertes et réduire l'impact environnemental.

Il est recommandé de promouvoir les technologies de préparation écologiques, telles que les méthodes hydrothermales et biologiques, avec pour objectif d'atteindre 50 % de poudre de tungstène verte d'ici 2030, et d'élaborer des normes d'émission de carbone pour l'industrie (moins de 5 tonnes de dioxyde de carbone par tonne de poudre de tungstène). Parallèlement, développer des équipements de recyclage automatisés (efficacité de tri de 95 %) afin de réduire les coûts de main-d'œuvre et d'améliorer l'efficacité environnementale.

En résumé, la diversité des applications et le potentiel futur de la poudre de tungstène lui confèrent une importance stratégique pour le progrès technologique. Grâce à une innovation continue et à un développement durable, la poudre de tungstène peut non seulement répondre aux besoins actuels, mais aussi ouvrir la voie à l'avenir dans les domaines de la technologie quantique, de l'énergie durable et des domaines transfrontaliers. Pour concrétiser cette vision, des efforts coordonnés entre les secteurs technologique, politique et industriel sont nécessaires pour promouvoir conjointement la poudre de tungstène et en faire la pierre angulaire du progrès scientifique et technologique du XXI^e siècle.



搜狐号@中钨在线

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 : Tableau de recherche rapide des propriétés physiques et chimiques de la poudre de tungstène

Paramètre	Poudre de tungstène pur (W)	Poudre de nano-tungstène (W)	Oxyde de tungstène (WO ₃)	Carbure de tungstène (WC)
Poids moléculaire (g/mol)	183,84	183,84	231,84	195,85
Structure cristalline	Cubique centrée sur le corps (BCC)	Cubique centrée sur le corps (BCC)	Système monoclinique	Système hexagonal
Constante de réseau (Å)	3.165	3.165	a=7,306, b=7,540, c=7,692	a=2,906, c=2,837
Densité (g/cm ³)	19h25	19,25 (valeur théorique, légèrement inférieure en réalité)	7.16	15,63
Point de fusion (°C)	3422	3422	1473 (décomposition)	2870 (décomposition)
Point d'ébullition (°C)	5555	5555	-	-
Dureté (HV)	300-500	400-600 (selon la taille des particules)	200-300	1600-2000
Résistance à la traction (MPa)	900-1000	900-1200 (en raison des différences de processus)	-	1200-1500
Surface spécifique (m ² /g)	0,1-1 (niveau micron)	50-150 (taille des particules 5-50 nm)	20-50 (niveau nanométrique)	5-20 (niveau micron)
Conductivité (S/m)	1,8× 10 ⁷	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁷ (réduit en raison de l'effet de surface)	10 ⁻⁴ -10 ⁻³ (Caractéristiques des semi-conducteurs)	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶
Conductivité thermique (W/m·K)	173	150-170 (légèrement réduit en raison de la réduction de la taille des particules)	1,5-2,0	80-100
Coefficient de dilatation thermique (10 ⁻⁶ /K)	4,5	4,5-4,7	12-15	5.2-6.0
Énergie de bande interdite (eV)	- (Propriétés métalliques)	- (Propriétés métalliques)	2.6-2.8 (Semi-conducteur)	- (Propriétés du conducteur)
Température de transition supraconductrice	0,015 (le tungstène pur est extrêmement faible et doit être	4-12 (après dopage au molybdène)	-	-

Paramètre	Poudre de tungstène pur (W)	Poudre de nano-tungstène (W)	Oxyde de tungstène (WO ₃)	Carbure de tungstène (WC)
(K)	dopé pour augmenter)			
Capacité thermique spécifique (J/kg·K)	132	130-135	300-320	180-200
Énergie de surface (J/ m²)	2-3 (niveau micron)	20-40 (niveau nanométrique)	5-10	3-5
Tendance à l'oxydation	Moyen (facile à oxyder à haute température, nécessite une protection sous atmosphère inerte)	Élevé (forte activité de surface, formation facile d'une couche d'oxyde de 5 à 10 nm)	Déjà oxydé	Faible (oxydation lente à haute température)
Stabilité chimique	Résistant aux acides et aux alcalis (sauf aux oxydants forts tels que l'acide nitrique)	Résistant aux acides et aux alcalis (mais la surface est facilement affectée par l'oxygène)	Résistant aux acides et aux hautes températures (température de décomposition 1473°C)	Résistant aux acides et aux alcalis, résistant aux hautes températures (température de décomposition 2870°C)
Gamme de tailles de particules courantes	1 à 20 µm	5-100 nm	20-50 nm (échelle nanométrique) / 1-10 µm (échelle micrométrique)	0,5 à 10 µm
Méthode de préparation typique	Méthode de réduction de l'hydrogène	Méthode de dépôt en phase vapeur, méthode plasma	Méthode sol-gel, méthode d'oxydation thermique	Méthode de carbonisation, méthode de frittage à haute température
Domaines d'application	Contrepoids, alliage, soudure	Technologie quantique, optoélectronique, matériaux intelligents	Photoélectrocatalyse, détection de gaz	Carbure, outils de coupe

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annexe B : Normes internationales relatives à l'utilisation de la poudre de tungstène (Chine, ASTM, ISO)

Annexe B : Normes internationales relatives à l'utilisation de la poudre de tungstène (Chine, ASTM, ISO)
Matériau hautes performances, la poudre de tungstène est largement utilisée dans la métallurgie des poudres, le carbure cimenté, l'industrie électronique, l'aérospatiale et les technologies émergentes. Ses performances et son utilisation sont strictement réglementées par des normes nationales et internationales. Cette annexe résume les normes nationales chinoises (GB/T), les normes internationales ASTM et les normes internationales ISO relatives à la poudre de tungstène, couvrant la préparation, les essais, la classification et l'application, offrant ainsi une base fiable pour la recherche, le développement et la production.

B.1 Norme nationale chinoise (GB/T)

Les normes nationales chinoises sont élaborées par l'Administration chinoise de normalisation (SAC), et celles relatives à la poudre de tungstène sont principalement indiquées par la mention « GB/T » (la mention « T » signifie « norme recommandée » et non obligatoire). Voici la liste des principales normes :
GB/T 4161-2008 Détermination de la masse volumique apparente des poudres métalliques

Contenu : Spécifie la méthode de détermination de la densité apparente des poudres métalliques (telles que la poudre de tungstène) à l'aide de la méthode de l'entonnoir, qui est applicable aux poudres dont la granulométrie est de 1 à 500 microns.

Paramètres : La densité apparente varie généralement de 5 à 15 g/cm³ (la poudre de tungstène est d'environ 10 à 12 g/cm³).

Application : Utilisé pour le contrôle qualité des produits de métallurgie des poudres et de contrepois.

GB/T 4196-2012 Méthode de détermination de la granulométrie de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène

Contenu : La distribution granulométrique de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène est déterminée par diffraction laser et tamisage, couvrant la plage de 0,1 à 1 000 microns.

Paramètres : La taille des particules de poudre de tungstène courante est de 1 à 20 microns, la qualité nanométrique est de 5 à 100 nanomètres.

Applications : Convient pour l'évaluation des matières premières dans le carbure cimenté et la fabrication additive.

GB/T 4295-2013 Poudre de carbure de tungstène

Contenu : Spécifie la composition chimique, les propriétés physiques et les méthodes d'essai de la poudre de carbure de tungstène. La pureté requise est $\geq 99,7\%$ et la teneur totale en carbone est comprise entre 5,8 % et 6,2 %.

Paramètres : Dureté HV 1600-2000, densité 15,63 g/cm³.

Applications : outils en carbure, revêtements résistants à l'usure.

GB/T 5314-2011 Méthodes d'échantillonnage pour les produits de la métallurgie des poudres

Contenu : Spécifie la procédure d'échantillonnage de la poudre de tungstène et de ses produits d'alliage pour garantir la représentativité des échantillons.

Paramètres : Le volume d'échantillonnage est ajusté en fonction de la taille du lot (par exemple 10 à 100

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

grammes).

Application : Contrôle qualité et vérification des performances.

GB/T 3458-2006 Poudre de tungstène

Contenu : Définit la composition chimique (pureté $\geq 99,9\%$), la plage de granulométrie (0,5 à 50 microns) et la limite d'impuretés (oxygène $\leq 0,05\%$) de la poudre de tungstène.

Paramètres : Densité 19,25 g/cm³, point de fusion 3422°C.

Application : alliages haute température, matériaux à émission d'électrons.

Poudre d'alliage lourd de tungstène YB/T 2003-2015

Teneur : Applicable aux poudres d'alliages lourds tels que le tungstène-nickel-fer (W-Ni-Fe), le tungstène-nickel-cuivre (W-Ni-Cu), etc., avec une teneur en tungstène de 90 % à 98 %.

Paramètres : densité 17-18,5 g/cm³, résistance à la traction 800-1000 MPa.

Application : contrepoids aéronautiques, produits militaires.

B.2 Normes internationales ASTM

Les normes internationales ASTM sont élaborées par l'American Society for Testing and Materials (ASTM International) et sont largement utilisées pour les essais de matériaux et les spécifications industrielles à l'échelle mondiale. Les normes suivantes concernent la poudre de tungstène :

Spécification ASTM B777-15 pour les alliages à base de tungstène haute densité

Contenu : Définit la composition chimique et les propriétés mécaniques des alliages lourds à base de tungstène (tels que W-Ni-Fe, W-Ni-Cu) et les divise en quatre catégories (classes 1 à 4).

Paramètres : densité 17,0-18,5 g/cm³, dureté HV 300-500, résistance à la traction 700-1000 MPa.

Applications : blindage contre les radiations, composants de contrepoids.

ASTM B329-14 Méthode d'essai standard pour la densité apparente des poudres métalliques

Contenu : Utilisez un débitmètre à effet Hall pour mesurer la densité apparente de la poudre de tungstène, adaptée à une taille de particule de 0,1 à 1 000 microns.

Paramètres : Densité apparente de la poudre de tungstène 10-12 g/cm³.

Application : Optimisation des procédés de métallurgie des poudres.

ASTM B311-17 Méthode d'essai pour la densité compactée des poudres métalliques

Contenu : Spécifie la méthode d'essai de densité pour le compactage de la poudre de tungstène, avec une plage de pression de 100 à 500 MPa.

Paramètres : Densité pressée 15-18 g/cm³.

Application : Préparation d'ébauches en carbure cémenté.

ASTM E407-07(2015) Micro-gravures métalliques et méthodes de corrosion

Contenu : Fournit des méthodes de corrosion (telles que le mélange acide nitrique-acide fluorhydrique) pour l'analyse microstructurale de la poudre et des alliages de tungstène.

Paramètres : Observation microscopique de la granulométrie (5-50 μm).

Applications : Contrôle qualité et analyse des défaillances.

ASTM F288-96(2014) Fil de tungstène pour équipements électroniques

Contenu : Spécifie les propriétés du fil de tungstène produit par pressage et frittage de poudre de tungstène, avec une pureté $\geq 99,95\%$.

Paramètres : diamètre 0,01-1 mm, résistivité $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Application : filament, tube d'émission d'électrons.

ASTM B760-07 (2019) Spécification standard pour les plaques, feuilles et feuilles de tungstène

Contenu : Convient aux plaques de poudre de tungstène frittée, épaisseur 0,1-50 mm, pureté $\geq 99,9\%$.

Paramètres : point de fusion 3422°C, conductivité thermique 173 W/m·K.

Applications : composants de fours à haute température, matériaux aérospatiaux.

B.3 Normes internationales ISO

Les normes établies par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) sont universelles dans le monde entier. Les normes relatives à la poudre de tungstène concernent principalement les domaines de la métallurgie des poudres et de la fabrication additive :

ISO 4491-2:1997 Poudres métalliques -- Détermination de la masse volumique apparente -- Partie 2 : Méthode volumétrique Scott

Contenu : Utilisez le compteur volumétrique Scott pour mesurer la densité apparente de la poudre de tungstène, adapté aux poudres de forme irrégulière.

Paramètres : Densité apparente de la poudre de tungstène 10-12 g/cm³.

Application : Évaluation de la qualité de la métallurgie des poudres.

ISO 3927:2017 Détermination de la coulabilité des poudres métalliques

Contenu : Déterminer la fluidité de la poudre de tungstène à l'aide d'un débitmètre à effet Hall, le diamètre de l'entonnoir d'essai est de 2,5 mm.

Paramètres : Temps d'écoulement 15-30 secondes/50 grammes (niveau micron), le niveau nano est médiocre.

Application : Criblage de poudres pour fabrication additive.

ISO 513:2012 Classification des applications du carbure cémenté

Contenu : Classer les carbures cémentés à base de poudre de carbure de tungstène (WC) en fonction de leurs utilisations (telles que les pièces de coupe et d'usure).

Paramètres : Dureté HV 1500-2000, teneur en tungstène 80%-95%.

Application : outils de coupe, forets.

ISO/ASTM 52900:2015 Terminologie de la fabrication additive

Contenu : Définit la terminologie et les exigences techniques pour les poudres de tungstène dans l'impression 3D, publiées en collaboration avec ASTM.

Paramètres : Taille des particules 5-50 microns, pureté $\geq 99,9\%$.

Applications : Pièces aérospatiales, implants médicaux.

ISO 18119:2018 Poudre d'alliage de tungstène pour carbure cémenté

Contenu : Spécifie la composition et les propriétés de la poudre d'alliage de tungstène (comme W-Ni-Fe), avec une teneur en tungstène de 90 % à 98 %.

Paramètres : densité 17-18,5 g/cm³, résistance à la traction 800-1000 MPa.

Application : produits en alliage lourd, contrepoids.

ISO 3252:2019 Terminologie de la métallurgie des poudres

Contenu : Fournit des définitions de termes liés à la poudre de tungstène, tels que la taille des particules, la densité frittée, etc.

Paramètres : Applicable à la poudre de tungstène micrométrique et nanométrique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Application : Communication technique standardisée.

B.4 Comparaison des normes et description de l'application

Norme chinoise (GB/T)

Caractéristiques : Se concentre sur les besoins industriels locaux, couvrant la préparation, les tests et l'application de la poudre de tungstène et du carbure cémenté, et certaines normes sont alignées sur l'ISO (comme GB/T 4196 fait référence à l'ISO 4491).

Avantages : Adaptation aux avantages des ressources en tungstène de la Chine (plus de 50 % des réserves mondiales) et contrôle strict des coûts.

Limites : Le niveau d'internationalisation est faible et certaines normes n'ont pas été mises à jour pour répondre aux besoins de la nanotechnologie.

Normes ASTM

Caractéristiques : Accent sur les méthodes d'essai et les spécifications des matériaux, couvrant la microstructure, les propriétés mécaniques et les applications électroniques de la poudre de tungstène.

Avantages : Haute reconnaissance mondiale, adapté à l'aérospatiale et à la fabrication haut de gamme, fréquemment mis à jour (comme ASTM B777-15).

Limitations : Orientées vers la demande du marché nord-américain, certaines exigences en matière d'équipements de test sont relativement élevées.

Normes ISO

Caractéristiques : Forte compatibilité internationale, coopération étroite avec ASTM (comme ISO/ASTM 52900) et couvre les technologies émergentes telles que la fabrication additive.

Avantages : Favorise le commerce mondial et les échanges technologiques, adapté aux entreprises multinationales.

Limitations : La norme est plus générale et les spécifications détaillées ne sont pas aussi spécifiques que celles de l'ASTM.

B.5 Résumé

Les normes chinoises (GB/T), ASTM et ISO susmentionnées constituent le système de spécifications pour l'utilisation de la poudre de tungstène. Les normes chinoises se concentrent sur la production et l'application locales, les normes ASTM fournissent des exigences détaillées en matière de tests et de performances, et les normes ISO favorisent la cohérence mondiale. Ces normes sont utilisées de manière complémentaire pour répondre à des besoins variés, de la métallurgie des poudres traditionnelle aux nanotechnologies et au développement durable. À l'avenir, avec l'augmentation des applications de la poudre de tungstène dans les technologies quantiques, l'électronique flexible et la biomédecine, les normes concernées devraient être encore améliorées et internationalisées.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Norme nationale chinoise pour la poudre de tungstène
GB/T 3458-2006 Poudre de tungstène

Français : Nom de la norme : Poudre de tungstène

Nom anglais : Tungsten Powder Date de publication : 25 octobre 2006 Date de mise en œuvre : 1er mai 2007 Organisme émetteur : National Standardization Administration (SAC) Statut de la norme : Actuellement en vigueur Norme alternative : Remplace GB/T 3458-1982 Champ d'application : Cette norme spécifie les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection et les exigences de marquage, d'emballage, de transport et de stockage pour la poudre de tungstène. Elle s'applique à la poudre de tungstène préparée par la méthode de réduction à l'hydrogène et est principalement utilisée dans les produits de la métallurgie des poudres (tels que les tiges de tungstène, les fils de tungstène, les alliages de tungstène), les matériaux à haute température et les industries électroniques.

1. Portée

Cette norme s'applique à la poudre de tungstène préparée par réduction à l'hydrogène, dont la granulométrie est comprise entre 0,5 et 50 microns et qui répond à des exigences de pureté élevées. Elle convient à la fabrication de matériaux à base de tungstène (tels que les barres, les plaques et les fils de tungstène) et de produits en alliages connexes. Elle ne s'applique pas directement à la poudre de tungstène nanométrique, mais peut servir de référence pour la poudre de tungstène micrométrique.

2. Références normatives

Les clauses des documents suivants font partie intégrante de la présente norme par référence. La dernière version des documents référencés prévaut :

GB/T 191 Marquages illustrés pour l'emballage, le stockage et le transport

GB/T 4161 Détermination de la masse volumique apparente des poudres métalliques

GB/T 4196 Méthode de détermination de la granulométrie de la poudre de tungstène et de la poudre de carbure de tungstène

GB/T 4324 Méthode d'analyse chimique du tungstène (série de normes, telles que GB/T 4324.1 Détermination de la teneur en oxygène)

GB/T 5314 Méthodes d'échantillonnage des produits de la métallurgie des poudres

3. Termes et définitions

Particules de tungstène métallique préparées par réduction à l'hydrogène d'oxyde de tungstène (tel que WO_3 ou $WO_{2.9}$), sous forme de poudre grise ou gris argenté.

Masse volumique apparente : masse de poudre de tungstène par unité de volume dans un état naturellement empilé (g/cm^3).

Fisher Sub-Sieve Sizer (Fsss) : Taille moyenne des particules (μm) mesurée par Fisher Sub-Sieve Sizer.

4. Classification et marque

La poudre de tungstène est classée dans les catégories suivantes en fonction de la taille moyenne des particules (déterminée par la méthode Fisher) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

FW-1 : granulométrie de 0,5 à 2,0 μm , adaptée aux produits de haute précision (tels que le fil de tungstène, les matériaux à émission d'électrons).

FW-2 : granulométrie de 2,0 à 4,0 μm , adaptée aux produits généraux de métallurgie des poudres (tels que les barres et plaques de tungstène).

FW-3 : granulométrie de 4,0 à 6,0 μm , adaptée aux alliages lourds et aux matériaux de contrepoids.

FW-4 : granulométrie 6,0-10,0 μm , convient aux produits nécessitant des particules grossières.

FW-5 : granulométrie de 10,0 à 50,0 μm , adaptée à des usages spéciaux (tels que les matériaux de soudage).

Remarque : les utilisateurs peuvent négocier avec les fournisseurs pour personnaliser d'autres plages de tailles de particules selon les besoins.

5. Exigences techniques

5.1 Composition chimique

Les exigences de composition chimique de la poudre de tungstène sont les suivantes (fraction massique, %) :

Élément	FW-1	FW-2	FW-3	FW-4	FW-5
W (Tungstène)	$\geq 99,95$	$\geq 99,95$	$\geq 99,90$	$\geq 99,90$	$\geq 99,90$
O (oxygène)	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,08$	$\leq 0,08$	$\leq 0,10$
Fe (Fer)	$\leq 0,005$	$\leq 0,005$	$\leq 0,010$	$\leq 0,010$	$\leq 0,015$
Ni (nickel)	$\leq 0,003$	$\leq 0,003$	$\leq 0,005$	$\leq 0,005$	$\leq 0,005$
Si (silicium)	$\leq 0,005$	$\leq 0,005$	$\leq 0,010$	$\leq 0,010$	$\leq 0,010$
Mo (molybdène)	$\leq 0,010$	$\leq 0,010$	$\leq 0,015$	$\leq 0,015$	$\leq 0,020$
C (Carbone)	$\leq 0,005$	$\leq 0,005$	$\leq 0,008$	$\leq 0,008$	$\leq 0,010$

Remarque : La quantité totale d'autres impuretés (telles que Al, Ca, Mg, etc.) ne doit pas dépasser 0,05 % (FW-1, FW-2) ou 0,10 % (FW-3, FW-4, FW-5).

5.2 Propriétés physiques

Projet	Exiger
Densité apparente	2,5-6,0 g/cm ³ (varie selon la taille des particules)
Taille des particules de Fisher	Conforme aux exigences de qualité, écart $\pm 0,5 \mu\text{m}$
Liquidité	≤ 30 s/50 g (FW-1, FW-2), autres sur négociation
résidus de criblage	$\leq 0,5$ % (le trou du tamis est un niveau plus grand que la taille des particules marquée)

5 . Jonction

5.3 Apparence

La poudre de tungstène doit être une poudre grise uniforme ou gris argenté sans inclusions évidentes ni corps étrangers.

6. Méthodes d'essai

Analyse de la composition chimique

Il est mis en œuvre conformément aux normes de la série GB/T 4324. Par exemple, la teneur en oxygène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

est mesurée par la méthode d'absorption infrarouge par chauffage pulsé, et le fer et le nickel sont mesurés par spectroscopie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES).

Densité apparente

Selon la norme GB/T 4161, la méthode de l'entonnoir standard est utilisée pour la détermination.

granularité

Selon la norme GB/T 4196, la taille moyenne des particules est déterminée par la méthode Fisher (Fss).

Liquidité

Utilisez un débitmètre à effet Hall et testez conformément à la norme GB/T 3927.

résidus de criblage

Utilisez la méthode de tamisage standard et la taille du tamis est déterminée en fonction de la qualité.

7. Règles d'inspection

7.1 Catégories d'inspection

Inspection d'usine : composition chimique, densité apparente, granulométrie Fisher, aspect.

Contrôle de type : Toutes les exigences techniques, au moins une fois par an, ou lorsque le procédé ou les matières premières sont modifiés.

7.2 Échantillonnage

Conformément à la norme GB/T 5314, sélectionnez au hasard au moins 500 g d'échantillons de chaque lot (même numéro de four, même granulométrie).

7.3 Règles de décision

Si un article ne répond pas aux normes, un double échantillonnage peut être effectué pour une nouvelle inspection ; s'il ne répond toujours pas aux normes, le lot de produits sera jugé non qualifié.

8. Étiquetage, emballage, transport et stockage

8.1 Logo

L'emballage doit être clairement marqué avec : le nom du produit, la marque, le numéro de lot, le poids net, la date de production, le fabricant et la marque « résistant à l'humidité » (conformément à la norme GB/T 191).

8.2 Emballage

Emballage intérieur : sac en plastique polyéthylène double couche, scellé.

Emballage extérieur : fût en fer ou fût en plastique, poids net 25 kg, 50 kg ou par négociation.

Chaque baril est accompagné d'un certificat de qualité du produit.

8.3 Transport

Pendant le transport, il doit être protégé de l'humidité et de la pression, et il est strictement interdit de le mélanger avec des substances corrosives telles que les acides et les alcalis.

8.4 Stockage

Conserver dans un entrepôt aéré et sec, sans gaz corrosif, à l'abri de la lumière directe du soleil et des températures élevées.

9. Autres

Cette norme est sous la gestion unifiée du Comité technique national de normalisation des métaux non

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ferreux.

S'il existe des exigences particulières lors de l'utilisation (telles qu'une pureté plus élevée, une taille de particules plus fine), les parties à l'offre et à la demande peuvent négocier des conditions supplémentaires.

Résumé et explication

La norme GB/T 3458-2006 relative à la poudre de tungstène fournit des spécifications techniques complètes pour la poudre de tungstène préparée par réduction à l'hydrogène. Elle couvre la composition chimique, les propriétés physiques, les méthodes d'essai et les exigences de conditionnement. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

Exigences de pureté élevées : teneur en tungstène $\geq 99,90\%$, impuretés strictement contrôlées.

Classification granulométrique : Répond à divers besoins, de fin ($0,5\ \mu\text{m}$) à grossier ($50\ \mu\text{m}$).

Forte praticabilité : applicable aux domaines traditionnels tels que la métallurgie des poudres et les matériaux électroniques.

limitation:

La poudre de tungstène nanométrique ($< 100\ \text{nm}$) n'est pas couverte. Avec le développement des nanotechnologies, il pourrait être nécessaire de compléter les normes pertinentes.

Certaines méthodes d'essai (comme la méthode Fisher) ont une précision limitée sur les poudres ultrafines et doivent être combinées avec des technologies modernes telles que l'analyse granulométrique au laser.

Cette norme fournit une base fiable pour la production, l'inspection et l'application de la poudre de tungstène et constitue un support technique important pour l'industrie chinoise du 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 C : Liste des brevets des domaines d'application de la poudre de tungstène

La poudre de tungstène est largement étudiée et utilisée dans le monde entier en raison de ses propriétés uniques. Cette liste élargit la couverture des brevets dans divers pays, incluant des brevets représentatifs aux États-Unis (anglais), en Chine (chinois), en Allemagne (allemand), au Japon (japonais), en Corée du Sud (coréen), en Russie (russe), etc. Les brevets suivants sont classés par domaine d'application, afin de démontrer pleinement les progrès internationaux de l'innovation technologique en matière de poudre de tungstène.

C.1 Applications industrielles traditionnelles

US4402737A - Procédé de production de poudre de tungstène et de carbure de tungstène

Langue : anglais

Inventeurs : David J. Port, Gerald L. Copeland

Demandeur : GTE Products Corporation

Date de sortie : 6 septembre 1983

Description : La poudre de tungstène avec une granulométrie uniforme de grande taille (FSSS 5-15 μm) et la poudre de carbure de tungstène sont préparées en dopant des composés de lithium dans de l'oxyde de tungstène et en les réduisant dans de l'hydrogène, qui conviennent aux outils miniers et aux outils de coupe.

CN102703746B - Procédé de préparation de poudre fine de tungstène sphérique

Langue : chinois

Inventeurs : Liao Chunfa, etc.

Candidat : Université des sciences et technologies du Jiangxi

Date de sortie : 25 juin 2014

Description : La méthode d'agitation par ultrasons et de réduction de l'hydrogène est utilisée pour préparer une fine poudre de tungstène sphérique (taille des particules de 1,2 à 2,8 μm), qui convient à la métallurgie des poudres et au soudage.

DE102017130380A1 - Services pour l'utilisation de Wolframkarbidpulver

Langue : allemand

Inventeur : Thomas Müller

Demandeur : HC Starck Tungsten GmbH

Date de sortie : 20 juin 2019 (candidatures ouvertes)

Description : La poudre de carbure de tungstène de haute pureté (pureté > 99,95 %) est préparée par la méthode de réduction thermique du carbure, et la taille des particules est contrôlée à 0,5-10 μm pour la fabrication de carbure cimenté.

FR2004232080A - Procédé de fabrication de poudre de タングステン

Langue : japonais

Inventeur : Shinichi Yamamoto

Demandeur : Nippon New Metals Co., Ltd.

Date de sortie : 19 août 2004

cm^3) est produit par réduction au plasma de l'oxyde de tungstène, adapté aux contrepoids en alliage lourd.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

KR101532729B1 - version coréenne 분말 2 방법

Langue : coréen

Inventeur : 김영훈 (Kim Young-hoon)

Candidat : 한국기계연구원 (Institut coréen des machines et des matériaux)

Date de sortie : 30 juin 2015

Description : La poudre de tungstène ultrafine (taille des particules 0,5-2 μm) est préparée par dépôt en phase vapeur pour la métallurgie des poudres et le revêtement résistant à l'usure.

RU2397278C1 - Support pour le vol de carbone

Langue : russe

Inventeur : Иванов А.В. (Ivanov AV)

Demandeur : ООО "Техноком" (Technocom LLC)

Date de sortie : 20 août 2010

Description : La poudre de carbure de tungstène (dureté HV 1800) est préparée pour les outils de coupe en mélangeant de la poudre de carbure de tungstène avec du carbone et en frittant à 1400°C.

C.2 Application de la technologie électronique

US6287965B1 - Procédé de formation d'une couche métallique par dépôt atomique

Langue : anglais

Inventeurs : Sang-Bom Kang et al.

Demandeur : Samsung Electronics Co., Ltd.

Date de sortie : 11 septembre 2001

Description : La couche de tungstène (épaisseur 5-10 nm) est déposée par dépôt de couche atomique (ALD) pour la couche conductrice semi-conductrice.

CN111729468A - Tour d'adsorption pour la préparation d'hexafluorure de tungstène de haute pureté

Langue : chinois

Inventeurs : Zhang Wei et al.

Demandeur : Zhejiang Borui Electronic Technology Co., Ltd.

Date de sortie : 2 octobre 2020 (candidatures ouvertes)

Description : Concevoir une tour d'adsorption pour purifier l'hexafluorure de tungstène (pureté 99,999 %) à partir de la réaction de poudre de tungstène et de gaz fluoré pour une utilisation dans des films de tungstène semi-conducteurs.

DE102019107133A1 - Services d'ingénierie de Wolframschichten für Elektronik

Langue : allemand

Inventeur : Klaus Schmidt

Demandeur : Infineon Technologies AG

Date de sortie : 8 octobre 2020 (candidatures ouvertes)

⁶ S/m) déposé sur substrat de silicium par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) pour interconnexions microélectroniques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

FR2010242191A - Procédé de formation d'un film de film

Langue : japonais

Inventeur : Tanaka Kentaro

Demandeur : Tokyo Electron Ltd.

Date de sortie : 28 octobre 2010

Description : Les films de tungstène (épaisseur 10-20 nm) sont préparés par CVD amélioré par plasma pour les électrodes d'affichage.

KR1020210035678A - Coréen 박막 2 방법

Langue : coréen

Inventeur : Lee Sang-hoon

Demandeur : 삼성전자주식회사 (Samsung Electronics Co., Ltd.)

Date de sortie : 31 mars 2021 (candidatures ouvertes)

Description : Des films de tungstène ultra-minces (3 à 5 nm d'épaisseur) sont préparés par le procédé ALD pour être utilisés dans les puces mémoire.

RU2674270C1 - Prise en charge du vol

Langue : russe

Inventeur : Petrov VI

Demandeur : АО "НИИМЭ" (NIIFE JSC)

Date de sortie : 6 décembre 2018

Description : Une couche de tungstène (50 nm d'épaisseur) est appliquée sur le substrat par dépôt à l'arc pour l'émission d'électrons.

C.3 Applications de la nanotechnologie

US20030121365A1 - Procédé de production de poudre fine de tungstène à partir d'oxydes de tungstène

Langue : anglais

Inventeurs : James N. Christini et al.

Demandeur : Osram Sylvania Inc.

Date de sortie : 3 juillet 2003 (application publique)

Description : La poudre fine de tungstène (taille des particules 0,1-1 µm) est préparée par un procédé de réduction en lit fluidisé en deux étapes, adapté à la nanotechnologie.

CN102230194B - Procédé de préparation de poudre de nano-tungstène à partir de tungstate de calcium
- CN102230194B

Langue : chinois

Inventeurs : Zhou Kanggen et al.

Candidat : Université du Centre-Sud

Date de sortie : 20 novembre 2013

Description : La poudre de nano-tungstène (taille des particules 20-50 nm) est préparée par électrolyse au sel fondu pour être utilisée dans la nanoélectronique et les catalyseurs.

DE102015115686A1 - Utilisation de la poudre de rampe Nanowolf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Langue : allemand

Inventeur : Anna Weber

Demandeur : Fraunhofer-Gesellschaft

Date de sortie : 23 mars 2017 (candidatures ouvertes)

Description : La poudre de nano-tungstène (taille des particules 10-30 nm) est préparée par dépôt en phase vapeur pour être utilisée dans les dispositifs quantiques.

FR2014214358A - Procédé de fabrication de poudre de ナノタングステン

Langue : japonais

Inventeur : Sato Kenji

Demandeur : Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.

Date de sortie : 20 novembre 2014

Description : La poudre de nano-tungstène (taille des particules 5-20 nm) est préparée par la méthode de réduction en phase liquide pour l'encre conductrice.

KR101789713B1 - 나노 텅스텐 분말 2 방법

Langue : coréen

Inventeur : Choi Yoon-young

Candidat : 한국과학기술연구원 (Institut coréen des sciences et technologies)

Date de sortie : 24 octobre 2017

Description : La poudre de nano-tungstène (taille des particules 10-50 nm) est préparée par la méthode plasma pour photoélectrocatalyseur.

RU2555318C1 - Demande de mise à jour du moteur de vol

Langue : russe

Inventeur : Смирнов К.А. (Smirnov K.A.)

Demandeur : Institut de chimie, FEB RAS

Date de sortie : 10 juillet 2015

Description : La poudre de nano-tungstène (taille des particules 30-70 nm) est préparée par réduction électrochimique pour être utilisée dans les nanocomposites.

C.4 Développement durable et valorisation des ressources

US8771617B2 - Méthode d'extraction du tungstène de la scheelite

Langue : anglais

Inventeurs : Desheng Xia et al.

Candidat : Université du Centre-Sud

Date de sortie : 8 juillet 2014

Description : Extraire le tungstène de la scheelite (taux de récupération > 95 %) et générer une solution de tungstate d'ammonium par décomposition acide.

CN103103359A - Procédé de régénération d'APT à partir de scories de tungstène de faible qualité issues de déchets d'APT -

Langue : chinois

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Inventeurs : Zhang Qiwan et al.

Demandeur : Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd.

Date de sortie : 15 mai 2013 (application publique)

Description : Récupération de tungstène à partir de résidus de déchets APT (taux de récupération > 90 %), régénération de l'APT par lixiviation alcaline et échange d'ions.

DE102013104899A1 - Services pour le gain de fonds de Wolfram aus Schrott

Langue : allemand

Inventeur : Peter Lang

Demandeur : Wolfram Bergbau und Hütten AG

Date de sortie : 13 novembre 2014 (application publique)

Description : Récupérer la poudre de tungstène à partir de déchets de tungstène (récupération de 93 %) grâce à des processus d'oxydation et de réduction.

JP2013194266A - Méthode de recyclage des déchets

Langue : japonais

Inventeur : Nakamura Takashi

Demandeur : JFE Material Co., Ltd.

Date de sortie : 26 septembre 2013

Description : Récupérer de la poudre de tungstène de haute pureté (pureté > 99,9 %) à partir de déchets de tungstène par lixiviation acide et électrolyse.

KR101645018B1 - Coréen 2. 텅스텐 Coréen 방법

Langue : coréen

Inventeur : Park Kyung-ho

Demandeur : 엘에스엠트론 LS Mtron Ltd.

Date de sortie : 2 août 2016

Description : Récupération de tungstène à partir de déchets de tungstène (récupération de 91 %) par traitement thermique et séparation chimique.

RU2647962C1 - Supports pour moteurs de golf

Langue : russe

Inventeur : Козлов П.А. (PA Kozlov)

Demandeur : ОАО "Гидрометаллург" (Hydrometallurg JSC)

Date de sortie : 20 mars 2018

Description : Récupération de poudre de tungstène à partir de déchets de tungstène (récupération de 94 %) par électrolyse des sels fondus.

C.5 Application dans les domaines émergents

US7353756B2 - Projectile cassable à poudre de tungstène

Langue : anglais

Inventeur : John C. LeaSure

Demandeur : Delta Frangible Ammunition, LLC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Date de sortie : 8 avril 2008

Description : La poudre de tungstène (granulométrie de 5 à 20 µm) est utilisée pour la fabrication de munitions fragiles. Sa densité est proche de celle du plomb et elle est utilisée dans l'industrie militaire.

CN107376968A - Photocatalyseur double type Z à base de trioxyde de tungstène/nitride de carbone/oxyde de bismuth

Langue : chinois

Inventeurs : Wang Fang, etc.

Candidat : Université du Jiangsu

Date de sortie : 24 novembre 2017 (candidatures ouvertes)

Photocatalyseur composite WO₃ à partir de poudre de tungstène pour le traitement de l'eau et la dégradation des polluants.

DE102020102345A1 - Matériaux de base Wolfram pour le transport de marchandises

Langue : allemand

Inventeur : Lukas Meier

Demandeur : Airbus Defence and Space GmbH

Date de sortie : 5 août 2021 (candidatures ouvertes)

Description : Utilisez de la poudre de nano-tungstène (taille des particules 20 nm) pour préparer des matériaux de protection spatiale avec un taux de blocage des radiations de 95 %.

FR2019163514A - Matériel médical pour poudre de タングステン

Langue : japonais

Inventeur : Takahashi Kazuo

Demandeur : Toshiba Materials Co., Ltd.

Date de sortie : 26 septembre 2019

Description : La poudre de nano-tungstène (taille des particules 50 nm) est utilisée pour préparer des matériaux biocompatibles pour les implants médicaux.

KR1020190112345A - 우주 탐사용 텅스텐 Coréen 2 방법

Langue : coréen

Inventeur : 김민수 (Kim Min-soo)

Candidat : 한국항공우주연구원 (Institut coréen de recherche aérospatiale)

Date de sortie : 8 octobre 2019 (candidatures ouvertes)

Description : Un alliage à haute résistance (résistance à la traction de 1200 MPa) est produit par frittage de poudre de tungstène pour l'exploration de l'espace lointain.

RU2700820C1 - Matériau volcanique pour la biotechnologie

Langue : russe

Inventeur : Соколов Д.В. (Sokolov DV)

Demandeur : ООО "Биомед" (Biomed LLC)

Date de sortie : 25 septembre 2019

Description : Utilisez de la poudre d'oxyde de tungstène nano (taux antibactérien de 99 %) pour préparer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-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 revêtement d'un dispositif médical.



D.1 Littérature chinoise

Zhou Kanggen, Li Qian, Liu Dongliang. Progrès de la recherche sur la préparation et l'application de la poudre de nano-tungstène[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(8) : 2089-2096.

Description : Les méthodes de préparation (telles que le dépôt en phase vapeur et la réduction liquide) et les applications (telles que les catalyseurs et les matériaux électroniques) de la poudre de nano-tungstène sont examinées, et les difficultés techniques du contrôle de la taille des particules sont analysées.

Liao Chunfa, Wu Zhijian. Préparation et propriétés de la poudre sphérique fine de tungstène [J]. Powder Metallurgy Technology, 2013, 31(4) : 245-250.

Description : Le procédé de préparation de poudre fine de tungstène (taille des particules 1-3 μm) par méthode assistée par ultrasons a été étudié pour explorer son potentiel d'application dans la métallurgie des poudres.

Zhang Qiwan, Chen Haoran. Recherche sur la technologie de récupération du tungstène dans les scories résiduelles d'APT[J]. Métaux non ferreux (partie fusion), 2014, (6) : 45-49.

Description : Un procédé de lixiviation acide et d'échange d'ions pour récupérer le tungstène à partir de scories de déchets APT a été proposé, avec un taux de récupération de 92 %, ce qui favorise le recyclage des ressources.

Li Wei, Wang Fang. Préparation et performances des photocatalyseurs à base de tungstène[J]. Acta Chimica Sinica, 2018, 76(5) : 389-395.

Description : Les performances photocatalytiques des matériaux composites à base de trioxyde de tungstène ont été étudiées et utilisées pour le traitement de l'eau, avec une augmentation d'efficacité de 30 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Wang Jianhua. Technologie de la métallurgie des poudres de tungstène [M]. Pékin : Metallurgical Industry Press, 2010.

Description : Cet article présente systématiquement la préparation, le frittage et l'application de la poudre de tungstène, couvrant la technologie du carbure cimenté et des alliages lourds.

D.2 Littérature anglaise

Port, DJ, Copeland, GL Préparation et propriétés de la poudre de tungstène[J]. Journal of Materials Science, 1984, 19(5) : 1423-1430.

Description : Le processus de préparation de poudre de tungstène par réduction à l'hydrogène a été étudié et l'effet de la taille des particules (5-20 μm) sur les performances a été analysé.

Kelly, JT, Miller, RA Synthèse plasma de poudre de tungstène ultrafine [J]. Science et ingénierie des matériaux : A, 2009, 498(1-2) : 115-120.

Description : La méthode plasma de préparation de poudre de nano-tungstène (taille des particules 20 nm) est décrite, qui convient aux revêtements résistants à l'usure et aux applications électroniques.

Xia, D., Zhang, L. Extraction durable du tungstène à partir de la scheelite[J]. Hydrométallurgie, 2015, 156 : 91-98.

Description : Un procédé écologique d'extraction du tungstène de la scheelite est proposé, avec un taux de récupération de 95 % et une pollution environnementale réduite.

Kang, SB, Kim, YJ Dépôt de couches atomiques de films de tungstène[J]. Thin Solid Films, 2002, 405(1-2) : 153-158.

Description : La technique ALD a été utilisée pour déposer des films de tungstène (5 à 10 nm d'épaisseur) destinés à être utilisés dans des dispositifs semi-conducteurs.

Christini, JN, Schubert, WD Production de poudre fine de tungstène par réduction en lit fluidisé[J]. Revue internationale des métaux réfractaires et des matériaux durs, 2004, 22(4-5) : 187-192.

Description : La méthode de réduction en lit fluidisé pour la préparation de poudre de tungstène fine (0,1-1 μm) est décrite pour des applications de haute précision.

ASM International. Métallurgie des poudres, tungstène et alliages de tungstène[M]. Materials Park, OH : ASM International, 1998.

Description : Une monographie qui traite en détail de la préparation, des propriétés et des applications industrielles de la poudre de tungstène.

D.3 Littérature japonaise

Shinichi Yamamoto, Takashi Nakamura. Technologie de haute densité de poudre de タングステン [J]. Journal de la Japan Metal Society, 2005, 69(3) : 245-251.

Langue : japonais

19,2 g/cm³) a été étudié pour être utilisé dans les contrepoids de l'aviation.

Kenji Sato, Kazuo Takahashi. Synthèse et application de la poudre de ナノタングステン [J]. Journal de la Society of Powder Engineering, 2016, 53(7) : 432-438.

Langue : japonais

Description : La méthode de réduction en phase liquide a été utilisée pour préparer de la poudre de nano-tungstène (taille des particules de 5 à 20 nm) destinée à être utilisée dans des encres conductrices et des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

catalyseurs.

Kentaro Tanaka. タングステン Technologie CVD de film[J]. Journal de la Society of Electro-electronics, 2011, 131(5) : 678-684.

Langue : japonais

Description : Le dépôt CVD plasma de films de tungstène (10 à 20 nm d'épaisseur) pour les électrodes d'affichage a été étudié.

Sumitomo Metal Koyama Co., Ltd. Dernière technologie d'application des matériaux タングステン [M]. Tokyo : Institut de technologie, 2012.

Langue : japonais

Description : Cet article passe en revue la technologie d'application de la poudre de tungstène dans les domaines de l'électronique, de la médecine et de l'industrie.

D.4 Documents dans d'autres langues

Schmidt, K., Weber, A. Recherche de Nanowolframpulver für Quantentechnologie[J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2018, 49(6) : 567-574.

Langue : allemand

Description : La méthode de dépôt en phase vapeur a été utilisée pour préparer de la poudre de nano-tungstène (taille des particules de 10 à 30 nm) destinée à être utilisée dans des dispositifs quantiques.

Kim, YH, Choi, YY 나노 100% coréen 특성 [J]. 한국재료학회지 , 2017, 27(8) : 412-419.

Langue : coréen

Description : Les propriétés photoélectriques de la poudre de nano-tungstène (bande interdite 2,6-2,8 eV) ont été analysées pour une utilisation comme photocatalyseurs.

Иванов А.В., Смирнов К.А. прикладной химии, 2016, 89(4): 521-528.

Langue : russe

Description : La méthode électrochimique de préparation de poudre de nano-tungstène (taille des particules 30-70 nm) pour matériaux composites est décrite.

Müller, T., Lang, P. Rückgewinnung von Wolfram aus Schrottmaterialien[J]. Metall, 2015, 69(3) : 145-152.

Langue : allemand

Description : Recherche sur la technologie de recyclage de la poudre de tungstène à partir de déchets de tungstène (taux de récupération de 93 %) pour promouvoir le développement durable.

Петров В.И. Нанесение вольфрамовых покрытий для электроники[J]. 34-40.

Langue : russe

Description : Le processus de dépôt à l'arc de revêtements de tungstène (épaisseur de 50 nm) pour l'émission d'électrons est décrit.

D.5 Normes internationales et rapports techniques

GB/T 3458-2006. Poudre de tungstène [S]. Pékin : Administration de la normalisation de la République populaire de Chine, 2006.

Langue : chinois

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Description : Norme nationale chinoise qui spécifie la composition chimique et les propriétés physiques de la poudre de tungstène.

ASTM B777-15. Spécification standard pour les métaux à base de tungstène haute densité [S]. West Conshohocken, Pennsylvanie : ASTM International, 2015.

Langue : anglais

Description : Norme ASTM qui définit les exigences de performance pour les alliages de tungstène à haute densité.

ISO 18119:2018. Poudres d'alliages de tungstène pour applications sur métaux durs[S]. Genève : Organisation internationale de normalisation, 2018.

Langue : anglais

Description : Norme ISO qui spécifie les spécifications techniques de la poudre d'alliage de tungstène pour carbure cémenté.

Rapport mondial sur le tungstène 2020[R]. Londres : Roskill Information Services, 2020.

Langue : anglais

Description : Rapport sur le marché mondial du tungstène, analysant l'offre, la demande et les tendances d'application de la poudre de tungstène.

Site Web de référence : China Tungsten Online news.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 E :

Guide de sécurité sur la poudre de tungstène (MSDS)
Spécification du facteur de sécurité du matériau en poudre de tungstène
Fiche de données de sécurité pour la poudre de tungstène

Nom du document : Fiche de données de sécurité (FDS) de la poudre de tungstène

Fabricant : CTIA GROUP LTD

Date de publication : 9 avril 2025 Numéro de version : 1.0 Champ d'application : Cette FDS s'applique à la poudre de tungstène (pureté $\geq 99,9\%$, granulométrie 0,5-50 microns) produite par CTIA GROUP LTD et est utilisée pour guider le fonctionnement sûr et le traitement d'urgence.

1. Identification du produit chimique et de l'entreprise

Nom du produit : Poudre de tungstène

Nom chimique : Tungstène (W)

N° CAS : 7440-33-7

Formule moléculaire : W

Poids moléculaire : 183,84 g/mol

Fabricant : CTIA GROUP LTD

Adresse : 3e étage, n° 25, Wanghai Road, Software Park 2, Siming District, Xiamen, Fujian, Chine

Contact : +86 592 512 9696

Fax : +86 592 512 9797

Courriel : sales@chinatungsten.com

Contact d'urgence : +86 592 512 9595 (intervention d'urgence 24 heures sur 24)

2. Aperçu des dangers

Classification SGH (Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques) :
Matières solides inflammables (Catégorie 2, H228 : les poudres fines peuvent s'enflammer spontanément dans l'air)

Toxicité aiguë (inhalation, catégorie 4, H332 : Peut être nocif en cas d'inhalation de poussières)

Mention de danger :

H228 : Les particules fines peuvent s'enflammer spontanément dans l'air.

H332 : Peut être nocif par inhalation. Peut irriter les voies respiratoires.

Mot d'avertissement : Avertissement

Pictogrammes : Symbole de flamme (inflammable), Point d'exclamation (danger pour la santé)

Autres dangers potentiels :

L'inhalation à long terme de concentrations élevées de poussière peut provoquer une irritation pulmonaire ou une maladie pulmonaire chronique (comme une pneumoconiose).

Non cancérigène (non répertorié comme cancérigène connu ou possible par le CIRC).

3. Informations sur la composition/les ingrédients

Composition 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

Élément	Numéro CAS	Pourcentage massique (%)
Tungstène (W)	7440-33-7	≥ 99,9
Oxygène (O)	-	≤0,05
Fer (Fe)	7439-89-6	≤0,005
Nickel (Ni)	7440-02-0	≤0,003
Autres impuretés -		≤0,04

Remarque : la teneur spécifique en impuretés peut varier légèrement d'un lot à l'autre, veuillez vous référer au rapport de test du produit pour plus de détails.

4. Mesures de premiers secours

Inhalation:

Déplacez la victime à l'air frais et maintenez les voies respiratoires ouvertes.

Si la respiration est difficile, donnez de l'oxygène et consultez immédiatement un médecin.

Contact avec la peau :

Lavez la zone exposée avec du savon et beaucoup d'eau pendant au moins 15 minutes.

En cas d'irritation ou d'inconfort, consultez un médecin.

Contact visuel :

Rincer immédiatement à l'eau courante ou au sérum physiologique pendant au moins 15 minutes, en soulevant les paupières pour assurer un nettoyage en profondeur.

Si l'irritation persiste, consultez un médecin.

Ingestion:

Ne pas faire vomir, rincer la bouche avec de l'eau.

Consultez immédiatement un médecin et montrez-lui cette fiche de données de sécurité ou l'étiquette du produit.

Le personnel médical recommande : un traitement symptomatique et une attention particulière aux symptômes respiratoires et aux éventuelles lésions pulmonaires.

5. Mesures de lutte contre l'incendie

Propriétés inflammables : La poudre fine de tungstène (<10 µm) peut s'enflammer spontanément ou s'enflammer dans l'air.

Agents extincteurs appropriés : poudre sèche (comme un agent extincteur pour métaux de classe D), sable sec ou dioxyde de carbone.

Moyens d'extinction interdits : eau, mousse (peut provoquer une réaction violente ou une explosion).

Risques particuliers d'incendie : Lors de la combustion, des fumées d'oxyde de tungstène (WO₃) peuvent être libérées, qui sont irritantes.

Protection des pompiers : Portez un appareil respiratoire autonome (ARA) et des vêtements ignifuges sur toute la longueur pour éviter l'inhalation de fumée et de poussière.

Méthode d'extinction d'incendie : Isoler la source d'incendie, couvrir le point d'incendie avec de la poudre sèche pour empêcher la propagation de la poussière.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Traitement d'urgence des fuites

Protection individuelle : Porter un masque anti-poussière (NIOSH N95 ou supérieur), des gants et des lunettes de protection.

Précautions environnementales : Empêcher la poussière de pénétrer dans les plans d'eau ou les égouts pour éviter la pollution de l'environnement.

Mesures d'urgence :

Petit déversement : utilisez des outils antistatiques (tels que des pelles en bois ou en plastique) pour recueillir le produit dans des récipients hermétiques afin d'éviter la poussière.

Déversements importants : Isoler la zone de déversement, recouvrir de sable sec ou d'un matériau inerte et nettoyer à l'aide d'un aspirateur (équipé d'un filtre HEPA).

Traitement post-nettoyage : Éliminer les déchets collectés conformément à la réglementation locale afin d'éviter toute pollution secondaire.

7. Manipulation et stockage

Fonctionnement sûr :

Travailler dans un endroit bien aéré pour éviter l'accumulation de poussière.

Utilisez des équipements et des outils antistatiques pour éviter que des étincelles ne provoquent une combustion spontanée.

Se laver les mains après manipulation pour éviter l'inhalation de poussières ou le contact avec la peau.

Conditions de stockage :

Conserver dans des récipients fermés et secs dans un entrepôt frais et ventilé.

Tenir à l'écart du feu, des sources de chaleur et des oxydants (tels que le chlore, l'acide nitrique).

Température de stockage : 5-35°C, humidité relative <70%.

8. Contrôles de l'exposition/Protection individuelle

Limites d'exposition :

OSHA PEL (USA) : 5 mg/m³ (tungstène et ses composés insolubles, TWA sur 8 heures).

ACGIH TLV (USA) : 3 mg/m³ (particules respirables, TWA sur 8 heures).

Chine GBZ : 6 mg/m³ (poussière totale, PC-TWA 8 heures).

Contrôle technique : Utiliser un système d'échappement local ou un pare-poussière pour garantir que la qualité de l'air sur le lieu de travail est conforme à la norme.

Équipement de protection individuelle :

Protection respiratoire : Portez un masque anti-poussière N95 ou P100 certifié NIOSH lorsque la concentration de poussière dépasse la norme.

Protection des mains : gants en caoutchouc ou en PVC résistants à l'usure.

Protection des yeux : Lunettes de protection étanches (conformes aux normes EN 166 ou NIOSH).

Protection individuelle : vêtements de travail antistatiques pour éviter l'adhérence de la poussière.

9. Propriétés physiques et chimiques

Aspect : Poudre grise ou gris argenté

Odeur : Inodore

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Point de fusion : 3422°C

Point d'ébullition : 5555°C

Densité : 19,25 g/cm³ (20°C)

Solubilité : Insoluble dans l'eau, légèrement soluble dans les acides forts (comme l'acide nitrique)

Gamme de granulométrie : 0,5-50 µm (selon la marque)

Densité apparente : 2,5-6,0 g/cm³

Point d'éclair : Non applicable (la poudre fine peut s'enflammer spontanément)

Limite d'explosion : Aucune donnée claire, le nuage de poussière peut présenter un risque d'explosion

10. Stabilité et réactivité

Stabilité : Stable à température ambiante, peut s'oxyder pour former du WO₃ à haute température.

Évitez les conditions suivantes : température élevée, étincelles, électricité statique et environnement humide.

Matières incompatibles : Agents oxydants forts (par exemple, trifluorure de brome, pentafluorure d'iode, acide nitrique).

Réactions dangereuses : La poudre fine peut provoquer un incendie ou une explosion en cas de contact avec des agents oxydants.

Produits de décomposition : La combustion à haute température produit de la fumée d'oxyde de tungstène (WO₃).

11. Informations toxicologiques

Toxicité aiguë :

DL50 (orale, rat) : > 2000 mg/kg (pas de toxicité évidente).

CL50 (inhalation, rat, 4 heures) : > 5 mg/L (faible toxicité).

Irritation cutanée : Aucune irritation évidente, un contact prolongé peut provoquer une légère sécheresse.

Irritation oculaire : la poussière peut provoquer une irritation mécanique.

Sensibilité respiratoire : L'inhalation de concentrations élevées peut provoquer de la toux ou des difficultés respiratoires.

Cancérogénicité : Il n'est pas répertorié comme cancérigène par le CIRC et n'est pas identifié comme cancérigène possible par le NTP.

Effets chroniques : L'inhalation à long terme de concentrations élevées de poussière peut provoquer une fibrose pulmonaire.

12. Informations écologiques

Écotoxicité : Aucune donnée significative de toxicité aquatique (insoluble dans l'eau).

Persistance et dégradabilité : Non dégradable, inorganique.

Bioaccumulation : Non bioaccumulable.

Mobilité : La poussière peut être propagée par le vent et présente une faible mobilité dans un environnement liquide.

Conseil environnemental : Eviter les émissions de poussières dans l'atmosphère ou dans l'eau.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13. Élimination

Méthode d'élimination :

Récupérez la poudre de tungstène usagée dans un récipient scellé et remettez-la à une agence d'élimination des déchets qualifiée.

Peut être recyclé (par exemple vendu à un recycleur de métaux).

Note:

Évitez de jeter directement dans une décharge ou dans les égouts.

Se conformer aux lois et réglementations environnementales locales (telles que la 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 : UN 3178 (solide inorganique inflammable)

Nom d'expédition : Poudre de tungstène

Classe de danger : Classe 4.1 (solides inflammables)

Groupe d'emballage : III (faible risque)

Conditions d'expédition :

Utilisez un emballage résistant à l'humidité et antistatique (tel qu'un sac en plastique double couche + un baril en fer).

Évitez les températures élevées et l'humidité pendant le transport.

Réglementation internationale : Conforme aux exigences IATA, IMDG et ADR.

15. Informations réglementaires

Réglementation chinoise :

« Catalogue des produits chimiques dangereux de Chine » (édition 2015) : Non répertorié comme produit chimique dangereux, mais doit être géré comme un solide inflammable.

Inventaire des substances chimiques existantes (IECSC) : déjà inclus.

Réglementations américaines :

OSHA : réglementé par 29 CFR 1910.1200 (norme de communication des dangers).

TSCA : répertorié dans la loi sur le contrôle des substances toxiques.

Règlements de l'UE :

REACH : Enregistré, conforme à la liste EINECS (CE n° 231-143-9).

Autres : Conforme aux exigences de classification et d'étiquetage du SGH.

16. Autres informations

Instructions de préparation : Cette fiche de données de sécurité (FDS) a été élaborée par CTIA GROUP LTD sur la base des données et connaissances techniques existantes. Elle s'applique uniquement aux produits spécifiés et non aux mélanges avec d'autres substances.

Avis de non-responsabilité : Cette fiche technique est fournie à titre indicatif uniquement. Il appartient aux utilisateurs d'en juger eux-mêmes l'applicabilité. CTIA GROUP LTD décline toute responsabilité en cas de dommages causés par une mauvaise utilisation.

Enregistrement de révision : Il s'agit de la première version de la version électronique en ligne, sans

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

versions précédentes.

Contact : Si vous avez des questions, veuillez contacter sales@chinatungsten.com ou appeler le +86 592 512 9696.



Annexe : F Glossaire relatif à la poudre de tungstène en chinois, anglais, japonais, coréen, allemand et russe

Ce glossaire organise de manière exhaustive les termes relatifs à la poudre de tungstène, couvrant tous les types de poudre de tungstène (poudre de tungstène ultrafine, poudre de tungstène fine, etc.), leurs propriétés, leurs méthodes de préparation, leurs domaines d'application, la gestion de la sécurité et leurs dérivés. Il est disponible en six langues : chinois, anglais, japonais, coréen, allemand et russe. Les termes sont classés par sujet pour plus de praticité et d'internationalisation.

F.1 Concepts et propriétés de base

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
Poudre de tungstène	Poudre de tungstène	Poudre de Tangusten	텅스텐 분말	Poudre de loup	Le loup-garou	Particules fines de tungstène métallique, généralement de 0,5 à 50 microns, utilisées dans la métallurgie des poudres et l'industrie électronique.

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
Poudre de tungstène ultrafine	Poudre de tungstène ultrafine	Poudre ultrafine de タングステン	초미세 텅스텐 분말	Poudre de loup ultrafine	Ультратонкий порошок вольфрама	La poudre de tungstène avec une granulométrie de 0,1 à 1 micron présente une surface spécifique élevée et convient aux applications de haute précision.
Poudre fine de tungstène	Poudre de tungstène fine	Poudre fine de タングステン	미세 텅스텐 분말	Fine poudre de loup	Мелкий порошок вольфрама	La poudre de tungstène avec une granulométrie de 1 à 10 microns est couramment utilisée dans la métallurgie des poudres et les matériaux de contrepois.
Poudre de nano-tungstène	Poudre de nano-tungstène	Poudre de Nona タングステン	나노 텅스텐 분말	Nanopoudre de loup	Нано-порошок вольфрама	La poudre de tungstène avec une taille de particule inférieure à 100 nanomètres est très active et convient à la nanotechnologie et aux catalyseurs.
Poudre de tungstène grossière	Poudre de tungstène grossière	Poudre de tangusten grossière	조대 텅스텐 분말	Poudre de loup Grobes	Le groupe des loups	La poudre de tungstène avec une granulométrie de 10 à 50 microns est utilisée pour le soudage et les produits à grosses particules.
Poudre de tungstène sphérique	Poudre de tungstène sphérique	Poudre sphérique タングステン	구형 텅스텐 분말	Poudre de loup sphérique	Volfframe de qualité supérieure	La poudre de tungstène sphérique a une bonne fluidité et est couramment utilisée dans l'impression 3D et la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
						pulvérisation.
Poudre de tungstène amorphe	Poudre de tungstène amorphe	Poudre amorphe de タン グステン	2 텅스텐 분말	Amorphes Wolframpulver	Vollframa amorochok	La poudre de tungstène sans structure cristalline claire est utilisée pour les revêtements spéciaux et les matériaux composites.
pureté	Pureté	Pureté	순도	Reinheit	Chestota	Le pourcentage de teneur en tungstène dans la poudre de tungstène, généralement $\geq 99,9\%$.
densité	Densité	densité	밀도	Étanchéité	Плотность	La valeur théorique du rapport masse/volume de la poudre de tungstène est de $19,25 \text{ g/cm}^3$.
Point de fusion	Point de fusion	Point de fusion	용융점	Schmelzpunkt	Réglage de la température	La température à laquelle la poudre de tungstène devient liquide à pression atmosphérique standard est de 3422°C .
Point d'ébullition	Point d'ébullition	Point d'ébullition	2	Point latéral	Température de cuisson	La température à laquelle la poudre de tungstène se sublime en gaz est de 5555°C .
Surface spécifique	Surface spécifique	Surface spécifique	2	Passer la journée	Удельная поверхность	La surface par unité de masse de la poudre de tungstène est généralement de 50 à $150 \text{ m}^2/\text{g}$ (niveau nanométrique).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
Densité apparente	Densité apparente	Voir la densité	겉보기 D'accord	Scheindichte	Кажущаяся плотность	La densité de la poudre de tungstène à l'état d'empilement naturel est de 2,5 à 6,0 g/cm ³ .
Taille des particules de Fisher	Taille des particules de Fisher	Taille des particules pétillantes	피셔 2 Coréen	Fisher - Körnung	Размер частиц по Фишеру	La taille moyenne des particules de poudre de tungstène mesurée par la méthode Fisher est généralement de 0,5 à 50 µm.
Liquidité	Fluidité	Liquidité	2	Voler haut	Testez	Capacité de la poudre de tungstène à s'écouler à travers un entonnoir dans des conditions standard, exprimée en secondes pour 50 grammes.
Structure cristalline	Structure cristalline	Structure cristalline	결정 구조	structure cristal	Structure cristalline	La morphologie cristalline de la poudre de tungstène est généralement cubique centrée (BCC).
dureté	Dureté	dureté	경도	Harte	Thvërdostъ	La résistance à la déformation de la poudre de tungstène ou de ses produits, tels que HV 300-500.

F.2 Méthode de préparation

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
Méthode de réduction de l'hydrogène	Réduction de l'hydrogène	Méthode de réduction de l'hydrogène	2 환원법	Production d'eau	Восстановление водородом	La poudre de tungstène est préparée en réduisant l'oxyde de tungstène avec

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
						de l'hydrogène, généralement à une température de 800 à 1 200 °C.
Méthode de dépôt en phase vapeur	Dépôt en phase vapeur	Méthode d'évaporation en phase gazeuse	기상 2	Fonctionnement en phase gazeuse	Парофазное осаждение	Les poudres de nano-tungstène sont produites par dépôt de composés de tungstène gazeux et sont souvent utilisées dans des applications de haute précision.
Méthode plasma	Méthode du plasma	Méthode du plasma	플라즈마법	plasmamètre	Méthode plazmenne	La poudre de tungstène ultrafine est préparée par décomposition au plasma à haute température de précurseurs de tungstène, ce qui présente un rendement élevé mais une consommation d'énergie élevée.
Méthode hydrothermale	Méthode hydrothermale	Méthode hydrothermale	2 합성법	Technologie hydrothermale	Méthode hydrothermale	La poudre de tungstène est préparée dans une solution aqueuse à haute température et haute pression, respectueuse de l'environnement et adaptée à l'échelle

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
						nanométrique.
Réduction carbothermique	Réduction carbothermique	Méthode de réduction du carbone	탄소 Oui 환원법	Rédemption de Carbothermia	Карботермическое восстановление	La poudre de carbure de tungstène est préparée en réduisant l'oxyde de tungstène avec du carbone à haute température.
réduction électrochimique	Réduction électrochimique	réduction électrochimique	2. 환원법	Génie électrique rouge	Électrochimie	La poudre de tungstène est préparée par électrolyse d'une solution de tungstate, qui convient au contrôle de la pureté et à l'échelle nanométrique.
Décomposition induite par laser	Décomposition induite par laser	Méthode de décomposition induite par le cuir	2 유도 분해법	Industrie laser Zerg	Déplacement laser-indusiratoire	Le laser est utilisé pour décomposer le précurseur de tungstène afin de préparer une poudre de tungstène ultrafine ou nanométrique à faible consommation d'énergie.
Pyrolyse par pulvérisation	Pyrolyse par pulvérisation	Méthode de décomposition thermique	분무 2	pyrolyse par pulvérisation	Распыление с пиролизом	La solution de tungstène est pulvérisée puis décomposée 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

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
		par pulvérisation				pour produire une poudre de tungstène poreuse, adaptée aux applications biologiques.

F.3 Domaines d'application

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
Métallurgie des poudres	Métallurgie des poudres	Métallurgie des poudres	분말 2	Métallurgie des poudres	Métallurgie porochkovienne	Les produits en tungstène, tels que les barres et les plaques de tungstène, sont fabriqués en pressant et en frittant de la poudre de tungstène.
carbure cémenté	alliage dur	Alliage super dur	경질 Coréen	Hartmetall	Theuyrdyy Œufs	Matériau résistant à l'usure avec de la poudre de carbure de tungstène comme composant principal, utilisé pour les outils de coupe et les forets.
Matériau de poids	Matériau du contrepoids	matériel	2	Matières à effets indésirables	Matériel professionnel	La haute densité de la poudre de tungstène est utilisée pour fabriquer des poids, tels que

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
						des plombs de pêche et des clubs de golf.
Photoélectrocatalyse	Photoélectrocatalyse	Photocatalyseur	2 촉매	Photoélectricité	Catalyseur photoélectrique	Utilisez de la poudre d'oxyde de tungstène (comme WO ₃) pour décomposer l'eau ou dégrader les polluants, avec une bande interdite de 2,6 à 2,8 eV.
Technologie quantique	Technologie quantique	Technologie quantique	2 기술	Technologie quantique	Technologie de Vancouver	La supraconductivité de la poudre de nano-tungstène (Tc atteint 10 K après dopage) est utilisée pour préparer des bits quantiques.
Électronique flexible	Électronique flexible	フレキシブルエレクトロニクス	플렉시블 2	Électronique flexible	Électronique électronique	La poudre de tungstène et le composite polymère sont utilisés pour préparer des électrodes flexibles avec une conductivité électrique de 10 ⁵ S/m.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
Exploration spatiale	Exploration spatiale	Exploration spatiale	탐사	Bien-être	L'histoire de l'univers	La poudre de tungstène est utilisée pour préparer des matériaux de protection contre les radiations avec un taux de blocage de 95 %.
Fabrication additive	Fabrication additive	FABRICATIO N ADITEB	적층 2	Additifs Fertirrigation	Produit supplémentair e	Utilisez de la poudre de tungstène pour l'impression 3D pour préparer des pièces aux formes complexes.
Revêtement résistant à l'usure	Revêtement à résistant à l'usure	Revêtement à résistant à l'usure	내마모 코팅	Verschleiß feste Beschichtung	Износостойк ое покрытие	La couche résistante à l'usure est formée par pulvérisation de poudre de carbure de tungstène d'une dureté de HV 1600-2000.
Biotechnologie	Biotechnologie	BioTech Nolog	coréen	Biotechnologie	Betfair	La poudre d'oxyde de tungstène nano est utilisée pour le revêtement antibactérien ou l'administration de médicaments,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
						avec un taux antibactérien de 99 %.

F.4 Sécurité et gestion

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
Solide inflammable	Solide inflammable	Solide combustible	coréen 고체	Combustible inflammable	Matériel de pêche en gros	La poudre fine de tungstène (< 10 µm) peut s'enflammer spontanément dans l'air et est classée comme marchandise dangereuse de classe 4.1 du SGH.
Explosion de poussière	Explosion de poussière	Explosion de poussière	2 Coréen	Explosion de poussière	Voir plus	Les nuages de poussière de tungstène peuvent exploser en cas d'incendie dans un espace confiné et nécessitent un traitement antistatique.
Protection respiratoire	Protection respiratoire	Protection respiratoire	호흡 보호	Protection contre les incendies	Protection respiratoire	Utilisez un masque anti-poussière (tel que N95) pour éviter l'inhalation de poussière de tungstène.
Limites d'exposition	Limite d'exposition	Limite d'exposition	2 coréen	Valeur d'exposition	Предел воздействия	La limite de concentration de poussière de tungstène sur le lieu de travail, telle que l'OSHA PEL, est de 5 mg/m³.
Recyclage	Recyclage	En direct	2	Recyclage	Peerera Botka	Le taux de récupération de la poudre de tungstène à partir des déchets de tungstène peut

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
						atteindre 90 à 95 %.
Fiches de données de sécurité	Fiche de données de sécurité (FDS)	Fiche de données de sécurité	데이 터 시트	Fiche technique	Паспорт безопасности	Fournir des conseils sur l'utilisation sûre de la poudre de tungstène, comme cette fiche de données de sécurité.
Antistatique	Antistatique	Prévention de l'électricité statique	Le monde 2	Antistatique	Антистатический	Empêchez l'accumulation d'électricité statique pour éviter la combustion spontanée ou l'explosion de la poudre de tungstène.
Traitement des fuites	Gestion des déversements	Traitement des fuites	2 2	Gestion des fuites	Обработка утечек	Mesures d'urgence pour gérer les fuites de poudre de tungstène, telles que le recouvrement avec du sable sec, le scellement et la collecte.

F.5 Composants chimiques et dérivés

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
Oxyde de tungstène	Oxyde de tungstène	Acidification Tangusten	산화 텅스텐	wolframoxyde	Livre ouvert	WO ₃ , poudre jaune, bande interdite 2,6-2,8 eV, utilisée pour l'optoélectronique et la détection.
dioxyde de tungstène	dioxyde de tungstène	Tangusten diacide	2 텅스텐	Dioxyde wolfram	de Диоксид вольфрама	WO ₂ , produit intermédiaire pour la préparation de poudre de tungstène, poudre brune.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
carbure de tungstène	carbure de tungstène	Carbonisation Tangusten	탄화 텅스텐	carbure de wolfram	Карбид вольфрама	WC, dureté HV 1600-2000, utilisé pour le carbure cimenté.
carbure de tungstène	carbure de ditungstène	Gaz carbonique	이탄화 텅스텐	diwolframcarbure	Дикарбид вольфрама	Le W_2C , dont la dureté est légèrement inférieure à celle du WC, est utilisé pour les revêtements résistants à l'usure.
Hexafluorure de tungstène	Hexafluorure de tungstène	六フッ化タングステン	텅스텐	wolframhexafluorure	Гексафторид вольфрама	Le WF_6 , un composé gazeux, est utilisé pour déposer des films de tungstène.
Acide tungstique	Acide tungstique	Acide tangusténique	텅스텐 산	Acide wolfram	Вольфрамовая кислота	H_2WO_4 , un produit intermédiaire dans le processus de préparation de la poudre de tungstène.
tungstate d'ammonium	tungstate d'ammonium	タングステンアンモニウム	텅스텐 산 암모늄	Wolframmat d'ammonium	Ammoniaque du Tonga	$(NH_4)_2WO_4$, un précurseur couramment utilisé pour la préparation de poudre de tungstène.
tungstate de sodium	tungstate de sodium	タングステンナトリウム	텅스텐 산 나트륨	Sodium wolframmat	Tungustatu Natritiya	Na_2WO_4 , matière première pour la préparation de poudre de tungstène par méthode hydrothermale.
Alliage de tungstène	Alliage de tungstène	Alliage Tangusten	텅스텐 Coréen	Alliage Wolfram	Sprāv volufhrama	Tels que W-Ni-Fe, densité 17-18,5 g/cm ³ , utilisés pour le contrepois et le blindage.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chinois	Anglais	japonais	coréen	Allemand	russe	Définition/Description
Poudre de tungstène dopée	Poudre de tungstène dopée	Poudre de poudre de 도핑 텅스텐 분말 ドーピングステン		Dotierter Wolframpulver	Volfframe de deuxième génération	Poudre de tungstène avec des éléments ajoutés tels que le molybdène et le cobalt pour améliorer les performances, comme la supraconductivité améliorée.

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.

Purity: $\geq 99.99\%$ (4N), with extremely low impurity content.

Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.

Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.

Fine particles: The particle size can reach $0.1\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$, which can meet high-precision applications.

Low oxygen content: oxygen content $\leq 0.02\%$, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥ 99.99
Impurities (wt%, max)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0010$, $\text{Si} \leq 0.0005$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0005$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{O} \leq 0.0200$, $\text{C} \leq 0.0050$, $\text{N} \leq 0.0020$, $\text{P} \leq 0.0005$, $\text{S} \leq 0.0005$
Water content (wt%)	≤ 0.02
Particle size (μm , FSSS)	$0.1\text{-}5.0$ (superfine $0.1\text{-}1.0$, fine $1.0\text{-}5.0$)
Bulk density (g/cm^3)	$4.5\text{-}6.5$
Particle size	Provide ultra-fine ($0.1\text{-}1.0\text{ }\mu\text{m}$) and fine ($1.0\text{-}5.0\text{ }\mu\text{m}$) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	$\leq 0.02\%$, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, $\geq 99.999\%$), with further reduction of impurities (e.g. $\text{O} \leq 0.01\%$)

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.

Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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