

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Vollständige Liste der Verwendungsmöglichkeiten von
Wolframpulver

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung der intelligenten, integrierten und flexiblen Entwicklung und Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erster erstklassiger Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes mit Fokus auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Industrien. CTIA GROUP nutzt fast drei Jahrzehnte umfassende Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän, erbt die außergewöhnlichen Entwicklungs- und Fertigungskapazitäten, die erstklassigen Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihres Mutterunternehmens und wird so zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, hochdichte Legierungen, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den vergangenen 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE über 200 mehrsprachige professionelle Websites zu den Themen Wolfram und Molybdän in mehr als 20 Sprachen erstellt, die über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen zu Wolfram, Molybdän und Seltenen Erden enthalten. Seit 2013 wurden auf dem offiziellen WeChat-Konto „CHINATUNGSTEN ONLINE“ über 40.000 Informationen veröffentlicht, die fast 100.000 Follower erreichen und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen bieten. Mit Milliarden von Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto hat sich das Unternehmen zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Branche entwickelt, die rund um die Uhr mehrsprachige Nachrichten, Informationen zu Produktleistung, Marktpreisen und Markttrends bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die individuellen Bedürfnisse ihrer Kunden zu erfüllen. Mithilfe von KI-Technologie entwickelt und produziert sie gemeinsam mit ihren Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Angebot umfasst integrierte Dienstleistungen für den gesamten Prozess, vom Formenöffnen und der Probeproduktion bis hin zur Veredelung, Verpackung und Logistik. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE weltweit über 130.000 Kunden in Forschung und Entwicklung, Design und Produktion von über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten unterstützt und so den Grundstein für eine maßgeschneiderte, flexible und intelligente Fertigung gelegt. Auf dieser Grundlage vertieft die CTIA GROUP die intelligente Fertigung und integrierte Innovation von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets weiter.

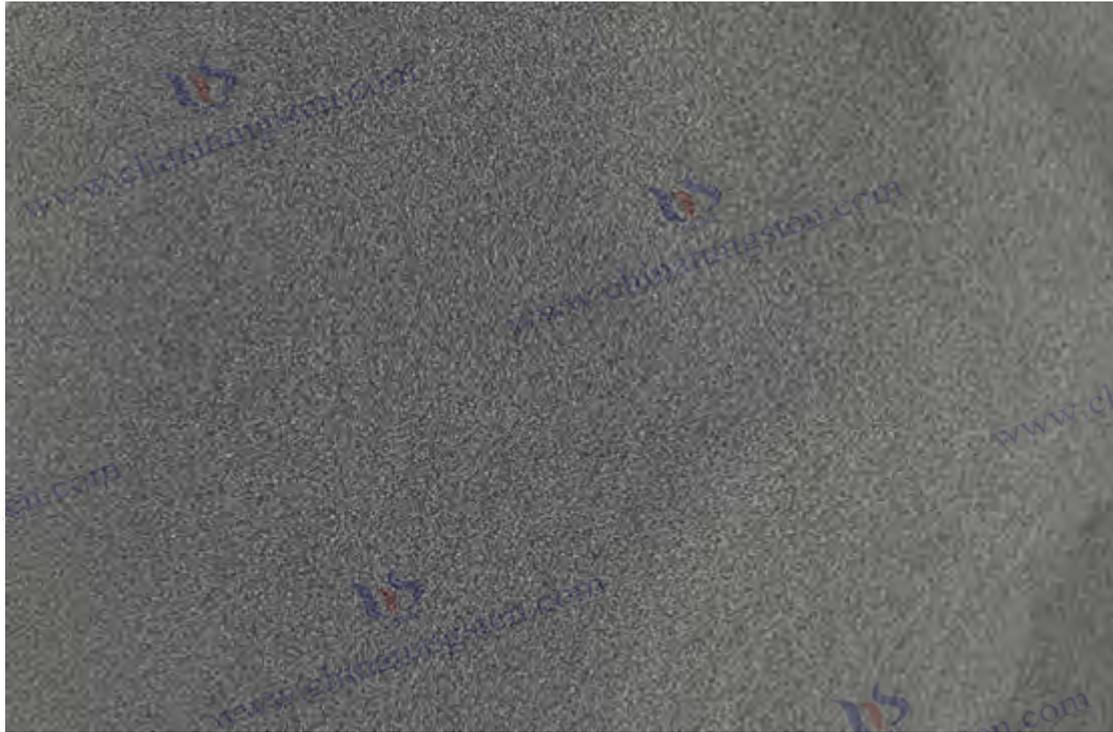
Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer über 30-jährigen Branchenerfahrung auch Fachwissen, Technologien, Wolframpreise und Marktrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und geben diese kostenlos an die Wolframbranche weiter. Dr. Han, mit über 30 Jahren Erfahrung seit den 1990er Jahren im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen, ist im In- und Ausland ein renommierter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte. Getreu dem Grundsatz, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zu liefern, verfasst das Team der CTIA GROUP kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte auf Grundlage der Produktionspraxis und der Kundenbedürfnisse und findet dafür breite Anerkennung in der Branche. Diese Erfolge stellen eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP dar und verhelfen ihr zu einem führenden Unternehmen in der globalen Herstellung von Wolfram- und Molybdänprodukten sowie bei Informationsdienstleistungen.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



INHALT

Vorwort

Einzigartige physikalische und chemische Eigenschaften und Anwendungswert von Wolframpulver
Artikelziel: Umfassende Darstellung der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Wolframpulver
Datenquellen und Forschungsmethoden

Kapitel 1: Grundlegende Eigenschaften und Anwendung von Wolframpulver

1.1 Physikalische Eigenschaften von Wolframpulver

- 1.1.1 Hoher Schmelzpunkt (3422 °C) und hohe Temperaturbeständigkeit
- 1.1.2 Hohe Dichte (19,25 g/cm³) und Qualitätsvorteile
- 1.1.3 Mikroskopische Grundlagen von Härte und Verschleißfestigkeit
- 1.1.4 Wärmeleitfähigkeit und elektrische Eigenschaften

1.2 Chemische Eigenschaften von Wolframpulver

- 1.2.1 Korrosionsbeständigkeit (Stabilität in sauren und alkalischen Umgebungen)
- 1.2.2 Antioxidation und chemisches Verhalten bei hohen Temperaturen
- 1.2.3 Chemische Inertheit und katalytisches Potenzial

1.3 Form und Klassifizierung von Wolframpulver

- 1.3.0 Physikalische und chemische Eigenschaften und Verwendung von Wolframpartikeln
 - 1.3.0.1 Definition und Partikelgrößenbereich von Wolframpartikeln (normalerweise >100 μm)
 - 1.3.0.2 Physikalische Eigenschaften von Wolframpartikeln (hohe Dichte und hohe Temperaturbeständigkeit)
 - 1.3.0.3 Chemische Stabilität und Oberflächeneigenschaften von Wolframpartikeln

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- 1.3.0.4 Hauptanwendungen von Wolframpartikeln (Schweißfüller, Gegengewichtsmaterial)
- 1.3.0.5 Anwendungsfälle für Wolframpartikel (industrielle und militärische Szenarien)
- 1.3.1 Eigenschaften und Verwendung von grobem Wolframpulver (5-50 μm)**
 - 1.3.1.1 Partikelgrößenverteilung und Morphologie von grobem Wolframpulver
 - 1.3.1.2 Fließfähigkeit und Schüttdichte von Wolfram-Rohpulver
 - 1.3.1.3 Hohe Temperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit von grobem Wolframpulver
 - 1.3.1.4 Hauptanwendungen von Rohwolframpulver (Legierung mit hohem spezifischem Gewicht, Wolframelektrode)
 - 1.3.1.5 Industrielle Anwendungsfälle von grobem Wolframpulver
- 1.3.2 Eigenschaften und Verwendung von Wolframpulver mittlerer Partikelgröße (4-8 μm)**
 - 1.3.2.1 Partikelgrößenbereich und Herstellungsverfahren von mittelkörnigem Wolframpulver
 - 1.3.2.2 Physikalische Eigenschaften von mittelkörnigem Wolframpulver (Dichte, Härte)
 - 1.3.2.3 Fließfähigkeit und Sinter Eigenschaften von mittelkörnigem Wolframpulver
 - 1.3.2.4 Hauptanwendungen von mittelkörnigem Wolframpulver (Hartlegierungen, thermisches Spritzen)
 - 1.3.2.5 Anwendungsbeispiele für mittelkörniges Wolframpulver (Werkzeuge und Beschichtungen)
- 1.3.3 Anwendungsszenarien von feinem Wolframpulver (0,1-5 μm)**
 - 1.3.3.1 Partikelgrößenverteilung und Oberflächenaktivität von feinem Wolframpulver
 - 1.3.3.2 Hohe spezifische Oberfläche und Reaktivität von feinem Wolframpulver
 - 1.3.3.3 Herstellungstechnologie und Herausforderungen von feinem Wolframpulver
 - 1.3.3.4 Hauptanwendungen von feinem Wolframpulver (Wolframdraht, Katalysator)
 - 1.3.3.5 Industrielle und wissenschaftliche Forschungsfälle von feinem Wolframpulver
- 1.3.4 Besondere Vorteile von Nano-Wolframpulver (<100 nm)**
 - 1.3.4.1 Quanteneffekt und Eigenschaften von Nano-Wolframpulver
 - 1.3.4.2 Hohe Aktivität und Dispergierbarkeit von Nano-Wolframpulver
 - 1.3.4.3 Herstellungsverfahren für Nano-Wolframpulver (Lösungsverfahren, Gasphasenverfahren)
 - 1.3.4.4 Hauptanwendungen von Nano-Wolframpulver (Elektronik, Medizin)
 - 1.3.4.5 Aktuelle Anwendungsfälle von Nano-Wolframpulver
- 1.3.5 Unterschiede bei der Verwendung von sphärischen und unregelmäßigen Wolframpulvern**
 - 1.3.5.1 Herstellung und Morphologie Vorteile von sphärischem Wolframpulver
 - 1.3.5.2 Eigenschaften und Wirtschaftlichkeit von unregelmäßigem Wolframpulver
 - 1.3.5.3 Anwendung von sphärischem Wolframpulver im 3D-Druck
 - 1.3.5.4 Anwendung von unregelmäßigem Wolframpulver in der traditionellen Metallurgie
 - 1.3.5.5 Vergleich tatsächlicher Fälle morphologischer Unterschiede
- 1.4 Wissenschaftliche und industrielle Grundlagen der Verwendung von Wolframpulver**
 - 1.4.1 Die Kernposition der Pulvermetallurgie
 - 1.4.2 Aufgrund der Anforderungen an hohe Temperaturen und hohe Dichte
 - 1.4.3 Vielfalt der Wolframpulververarbeitungstechnologie
 - 1.4.4 Industrielle Entwicklung der Wolframpulveranwendungen
 - 1.4.5 Anwendungsfälle von Wolframpulver in der wissenschaftlichen Forschung

Kapitel 2: Anwendung von Wolframpulver in traditionellen Industrien

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1 Hartmetallherstellung

- 2.1.1 Synthetische Rohstoffe aus Wolframcarbid (WC)-Pulver
- 2.1.2 WC-Co Hartmetallwerkzeuge (Schneiden, Fräsen, Bohren)
- 2.1.3 Bergbau- und Bohrwerkzeuge (Bohrer, Gesteinsbohrer)
- 2.1.4 Formen und Verschleißteile (Stanzwerkzeuge, Sandstrahldüsen)
- 2.1.5 Leistungsoptimierung und Anwendungsfälle von Hartmetall

2.2 Legierung mit hohem spezifischen Gewicht

- 2.2.1 Verwendung einer Wolfram-Nickel-Eisen-Legierung (W-Ni-Fe) als Gegengewicht
- 2.2.2 Leitfähige und wärmeableitende Anwendungen von Wolfram-Kupfer-Legierungen (W-Cu)
- 2.2.3 Gegengewichte für die Luft- und Raumfahrt (Gyroskope, Ausgleichsblöcke)
- 2.2.4 Hochverdichtete Bauteile in der Automobilindustrie
- 2.2.5 Herstellungsverfahren und Anwendungsgebiete von Legierungen mit hohem spezifischem Gewicht

2.3 Wolframfilament- und Elektrodenmaterialien

- 2.3.1 Wolfram-Glühfaden-Ziehen und Glühfaden-Anwendung (Glühlampe, Halogenlampe)
- 2.3.2 Wolframelektrode für das Argon-Lichtbogenschweißen (hohe Temperaturbeständigkeit und Lichtbogenstabilität)
- 2.3.3 Leistungsverbesserung von dotiertem Wolframdraht (Th, La, Ce)
- 2.3.4 Einsatz von Wolframelektroden beim Plasmaschneiden
- 2.3.5 Industrielle Produktionsfälle von Wolframdrähten und -elektroden

2.4 Feuerfeste Werkstoffe und Hochtemperaturkomponenten

- 2.4.1 Wolframziegel (Hochtemperaturschmelzen und Kristallwachstum)
- 2.4.2 Wolframplatten und -stäbe (Hochtemperatur-Ofenauskleidung)
- 2.4.3 Wolframbasierte Feuerfestbeschichtung (Ofen und Verbrennungsanlage)
- 2.4.4 Verfestigende Wirkung von Wolframpulver in feuerfesten Steinen
- 2.4.5 Typische Anwendungsszenarien feuerfester Werkstoffe

Kapitel 3: Anwendung von Wolframpulver in fortschrittlicher Fertigung und Technologie

3.1 Additive Fertigung (3D-Druck)

- 3.1.1 Herstellung von sphärischem Wolframpulver und Anforderungen an den 3D-Druck
- 3.1.2 Herstellung von Wolframkomponenten mittels selektivem Laserschmelzen (SLM)
- 3.1.3 Hochdichte Wolframprodukte durch Elektronenstrahlschmelzen (EBM)
- 3.1.4 Komplexe Wolfram-Strukturteile (Luftfahrt Düsen, Kühlkörper)
- 3.1.5 Anwendungsfälle und Trends von 3D-Druck-Wolframpulver

Kapitel 4: Die Verwendung von Wolframpulver im Militär- und Schutzbereich

4.1 Militärische Materialien

- 4.1.1 Panzerbrechender Kern aus Wolframlegierung (hohe Dichte und Durchdringung)
- 4.1.2 Panzerungsmaterial auf Wolframbasis (Schlagfestigkeit von W-Ni-Fe)
- 4.1.3 Superharte Anwendung von Wolframpulver in Militärmessern
- 4.1.4 Herstellung und Einsatz von Splittergeschossen aus Wolframlegierungen
- 4.1.5 Typische Anwendungsfälle von militärischem Wolframpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2 Strahlenschutz

- 4.2.1 Hohe Effizienz von Wolframpulver bei der Gammastrahlenabschirmung
- 4.2.2 Wolframbasierte Materialien zum Schutz vor Neutronenstrahlung
- 4.2.3 Abschirmkomponenten der Nuklearindustrie (Reaktoren und Behälter)
- 4.2.4 Herstellungstechnologie von Wolframpulver-Verbundabschirmmaterialien
- 4.2.5 Praktische Fallanalyse der Strahlenabschirmung

4.3 Anwendungen bei hohen Temperaturen und extremen Umgebungsbedingungen

- 4.3.1 Hitzebeständiger Einsatz von Wolframpulver in Raketendüsen
- 4.3.2 Wolframverstärkung verschleißfester Strukturen von Raumfahrzeugen
- 4.3.3 Wolframbasierte Hochtemperatur-Schutzbeschichtung (Raketengehäuse)
- 4.3.4 Leistungstest von Wolframpulver unter extremen Bedingungen
- 4.3.5 Fallstudie zu militärischen Hochtemperaturanwendungen

Kapitel 5: Anwendung von Wolframpulver in medizinischen und biologischen Bereichen

5.1 Medizinprodukte

- 5.1.1 Anwendung von Wolframpulver in Strahlentherapie-Kollimatoren
- 5.1.2 Chirurgische Instrumente auf Wolframbasis (Messer und Bohrer)
- 5.1.3 Wolframverstärkung von Dentalwerkzeugen (Verschleißfestigkeit und Präzision)
- 5.1.4 Anwendung von Wolframpulver in der Röntgenabschirmung
- 5.1.5 Fallstudie zu Wolframpulver für medizinische Geräte

5.2 Biokompatible Materialien

- 5.2.1 Wolframpulvermodifizierte Implantatbeschichtung
- 5.2.2 Potenzial von Knochenreparaturmaterialien auf Wolframbasis
- 5.2.3 Die unterstützende Rolle von Wolframpulver in der biologischen Bildgebung
- 5.2.4 Biokompatibilitätsprüfungen und -standards
- 5.2.5 Anwendungsbeispiele für Wolframpulver im biologischen Bereich

5.3 Medizinisches Potenzial von Nano-Wolframpulver

- 5.3.1 Anwendung von Nanowolframpulver in der Arzneimittelverabreichung
- 5.3.2 Krebsforschung mit Wolframpulver-Photothermie
- 5.3.3 Antibakterielle Eigenschaften und Anwendungen von Nano-Wolframpulver
- 5.3.4 Herstellungsverfahren für Wolframpulver mittels Nanotechnologie
- 5.3.5 Zukunftsaussichten für medizinische Anwendungen mit Nano-Wolframpulver

Kapitel 6: Anwendung von Wolframpulver in Konsumgütern und im kulturellen Bereich

6.1 Sport- und Freizeitprodukte

- 6.1.1 Anwendung von Wolframpulver in hoher Dichte in Golfschlägern
- 6.1.2 Gewichte von Angelgeräten (Umweltvorteile von Wolframbleien)
- 6.1.3 Präzisionsfertigung von Darts aus Wolframlegierungen
- 6.1.4 Wolfram-Verstärkungstechnologie für Sportgeräte
- 6.1.5 Kugelstoßen mit Wolframkern
- 6.1.6 Diskus-Wolframkern

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.1.7 Kurzhanteln und Hantelscheiben aus Wolframlegierung
- 6.1.8 Speer aus Wolframlegierung
- 6.1.9 Pfeilspitze aus Wolframlegierung
- 6.1.10 Sportgeschosse aus Wolframlegierung
- 6.1.11 Schrotkugeln und Jagdgewehrkugeln aus Wolframlegierungen
- 6.1.12 Tauchbares Gegengewicht aus Wolframlegierung
- 6.1.13 Sweet Spot Gewicht für Tennisschläger aus Wolframlegierung
- 6.1.14 Fallstudie zu Wolframpulver für Sportartikel

6.2 Schmuck und Dekoration aus Wolframlegierungen

- 6.2.1 Wolfram-Goldschmuck (Ringe, Halsketten) aus Wolframpulver
- 6.2.2 Verschleißfestigkeit und ästhetische Eigenschaften von Wolframlegierungen
- 6.2.3 Präzise Anwendung von Wolframpulver in Uhrenteilen
- 6.2.4 Wolframpulververfahren zur Schmuckherstellung
- 6.2.5 Typische Fälle von Wolframpulverschmuck

6.3 Kunst und Pigmente

- 6.3.1 Haltbarkeit und Farbwirkung von Wolframpulverpigmenten
- 6.3.2 Brandschutzanwendung von Kunstbeschichtungen auf Wolframbasis
- 6.3.3 Verstärkende Wirkung von Wolframpulver in Skulpturenmaterialien
- 6.3.4 Wolframpulvertechnologie für die Herstellung von Kunstwerken

6.4 Markierungsprodukte aus Wolframlegierungen

- 6.4.1 Materialeigenschaften und Herstellung von Wolframlegierungen
- 6.4.2 Hochwertige Visitenkarten aus Wolframlegierung
- 6.4.3 Wolframlegierungs-Bank-Goldkarte
 - 6.4.3.1 Leistungsmerkmale der Wolframlegierungs-Bank-Goldkarte
 - 6.4.3.2 Sicherheit der Bankkarte aus Wolframlegierungsgold
 - 6.4.3.3 Textur und Noblesse einer Bankkarte aus Wolframlegierung
 - 6.4.3.4 Antimagnetische Eigenschaften der Bank-Goldkarte aus Wolframlegierung
 - 6.4.3.5 Schutz vor mechanischen Schäden durch Bankgoldkarten aus Wolframlegierung
 - 6.4.3.6 Marktanwendung und Aussichten der Wolframlegierung Gold Bankkarte
- 6.4.4 Namensschild für Haustiere aus Wolframlegierung
- 6.4.5 Gepäckanhänger aus Wolframlegierung
- 6.4.6 Namensschild aus Wolframlegierung für Soldaten
- 6.4.7 Anwendungsaussichten von Wolframlegierungsmarkierungsprodukten

6.5 Gedenkprodukte aus Wolframlegierung

- 6.5.1 Gedenkkarte aus Wolframlegierung
- 6.5.2 VIP-Karte aus vergoldeter Wolframlegierung
- 6.5.3 Wolframlegierung vergoldeter Ziegel
- 6.5.4 Mitgliedskarte aus Wolframlegierung
- 6.5.5 Gedenkkarte der Tungsten Alloy Company
- 6.5.6 Eheringe und goldene Jubiläumsringe aus Wolframlegierung
- 6.5.7 Teambuilding und Konferenzsouvenirs

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.5.8 Anwendungsaussichten von Gedenkprodukten aus Wolframlegierungen
- 6.5.9 Geburtstagskarte aus Wolframlegierung
- 6.5.10 Gedenkfeier zum 100. Tag der Wolframlegierung
- 6.5.11 Gedenkkarte zum 100. Jahrestag aus Wolframlegierung

Kapitel 7: Anwendung von Wolframpulver in der Umwelt- und chemischen Industrie

7.1 Katalysatoren und Sensoren

- 7.1.1 Hohe Effizienz von Wolframpulver in der Hydrierungskatalyse
- 7.1.2 Wolframbasierter Photokatalysator (Umweltreinigung)
- 7.1.3 Wolframpulver-Gassensor (NO_x-, CO-Erkennung)
- 7.1.4 Herstellungstechnologie von Wolframpulver für Katalysatorträger
- 7.1.5 Praktische Anwendungen der Katalyse und Sensorik

7.2 Korrosions- und verschleißfeste Teile

- 7.2.1 Anwendung von Wolframpulver im chemischen Rohrleitungsschutz
- 7.2.2 Korrosionsbeständige Auslegung von Ventilen auf Wolframbasis
- 7.2.3 Wolframpulververstärkter Pumpenkörper und Rührwerk
- 7.2.4 Herstellungsprozess korrosionsbeständiger Bauteile
- 7.2.5 Fallanalyse von Wolframpulver in der chemischen Industrie

7.3 Umweltfreundliche Materialien

- 7.3.1 Adsorption von Wolframpulver in der Abgasfiltration
- 7.3.2 Potenzial wolframbasierter Wasseraufbereitungsmaterialien
- 7.3.3 Haltbarkeit der umweltfreundlichen Wolframpulverbeschichtung
- 7.3.4 Herstellungstechnologie von Wolframpulver für umweltfreundliche Materialien
- 7.3.5 Fallstudie zur Umweltschutzanwendung von Wolframpulver

Kapitel 8: Zukünftige Verwendungen und Entwicklungstrends von Wolframpulver

8.1 Innovative Anwendungen von Nano-Wolframpulver

- 8.1.1 Potenzial von Nano-Wolframpulver in der Quantentechnologie
- 8.1.2 Photoelektrische und sensorische Anwendungen von Nano-Wolframpulver
- 8.1.3 Intelligentes Materialdesign von Nano-Wolframpulver
- 8.1.4 Herausforderungen der Wolframpulveraufbereitung in der Nanotechnologie
- 8.1.5 Zukunftsaussichten von Nano-Wolframpulver

8.2 Nachhaltigkeit und Recycling

- 8.2.1 Industrielle Praxis des Recyclings von Wolframpulverabfällen
- 8.2.2 Technische Trends der grünen Herstellung von Wolframpulver
- 8.2.3 Die Rolle von Wolframpulver in der Kreislaufwirtschaft
- 8.2.4 Fallstudie zur nachhaltigen Anwendung
- 8.2.5 Perspektiven des Wolframpulverrecyclings

8.3 Neue Felder und grenzüberschreitende Anwendungen

- 8.3.1 Potenzial von Wolframpulver in flexibler Elektronik
- 8.3.2 Verwendung von Wolframpulver in der Weltraumforschung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.3.3 Innovation von Wolframpulver in der Biotechnologie

8.3.4 Wolframpulver-Aufbereitungstechnologie in aufstrebenden Bereichen

8.3.5 Zukünftige Trends bei grenzüberschreitenden Anwendungen

Anhang A: Schnellnachschlagetabelle der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Wolframpulver

Anhang B: Internationale Normen für die Verwendung von Wolframpulver (China, ASTM, ISO)

China National Standard für Wolframpulver GB/T 3458-2006 Wolframpulver

Anhang C: Patentliste der Anwendungsgebiete von Wolframpulver

Anhang E: Sicherheitsleitfaden für Wolframpulver, Spezifikation des Materialsicherheitsfaktors für Wolframpulver (MSDS)

Sicherheitsdatenblatt für Wolframpulver

Anhang F: Glossar zu Wolframpulver auf Chinesisch, Englisch, Japanisch, Koreanisch, Deutsch und Russisch

F.1 Grundlegende Konzepte und Eigenschaften

F.2 Zubereitungsmethode

F.3 Anwendungsbereiche

F.4 Sicherheit und Management

F.5 Chemische Zusammensetzung und Derivate



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



Vorwort

Einzigartige physikalische und chemische Eigenschaften und Anwendungswert von Wolframpulver

Wolframpulver ist ein metallisches Material mit hohem Schmelzpunkt, hoher Dichte und hoher Härte und nimmt in der modernen Industrie und Technologie eine unverzichtbare Stellung ein. Mit einem Schmelzpunkt von bis zu 3422 °C zählt es zu den Metallen mit dem höchsten natürlichen Schmelzpunkt und weist daher eine hervorragende Stabilität auch bei extrem hohen Temperaturen auf. Die Dichte von 19,25 g/cm³ verleiht Wolframpulver hervorragende Gegengewichts- und Abschirmeigenschaften. Gleichzeitig machen Härte und Verschleißfestigkeit Wolframpulver zur idealen Wahl für die Herstellung superharter Werkstoffe und langlebiger Werkzeuge. Die Korrosionsbeständigkeit und chemische Inertheit von Wolframpulver erweitern zudem sein Anwendungspotenzial in der chemischen Industrie, der Medizin und im Umweltschutz. Von groben Wolframpartikeln bis hin zu nanometergroßen ultrafeinen Pulvern – die multimorphologischen Eigenschaften von Wolframpulver erfüllen die vielfältigen Anforderungen verschiedener Branchen an Materialeigenschaften und fördern unzählige Innovationen – von der traditionellen Metallurgie bis hin zur Spitzentechnologie. Man kann sagen, dass Wolframpulver nicht nur der Eckpfeiler der Industrie ist, sondern auch ein Katalysator für den technologischen Fortschritt. Seine vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und sein hoher Wert verdienen eine eingehende Untersuchung und systematische Zusammenfassung.

Artikelziel: Umfassende Darstellung der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Wolframpulver

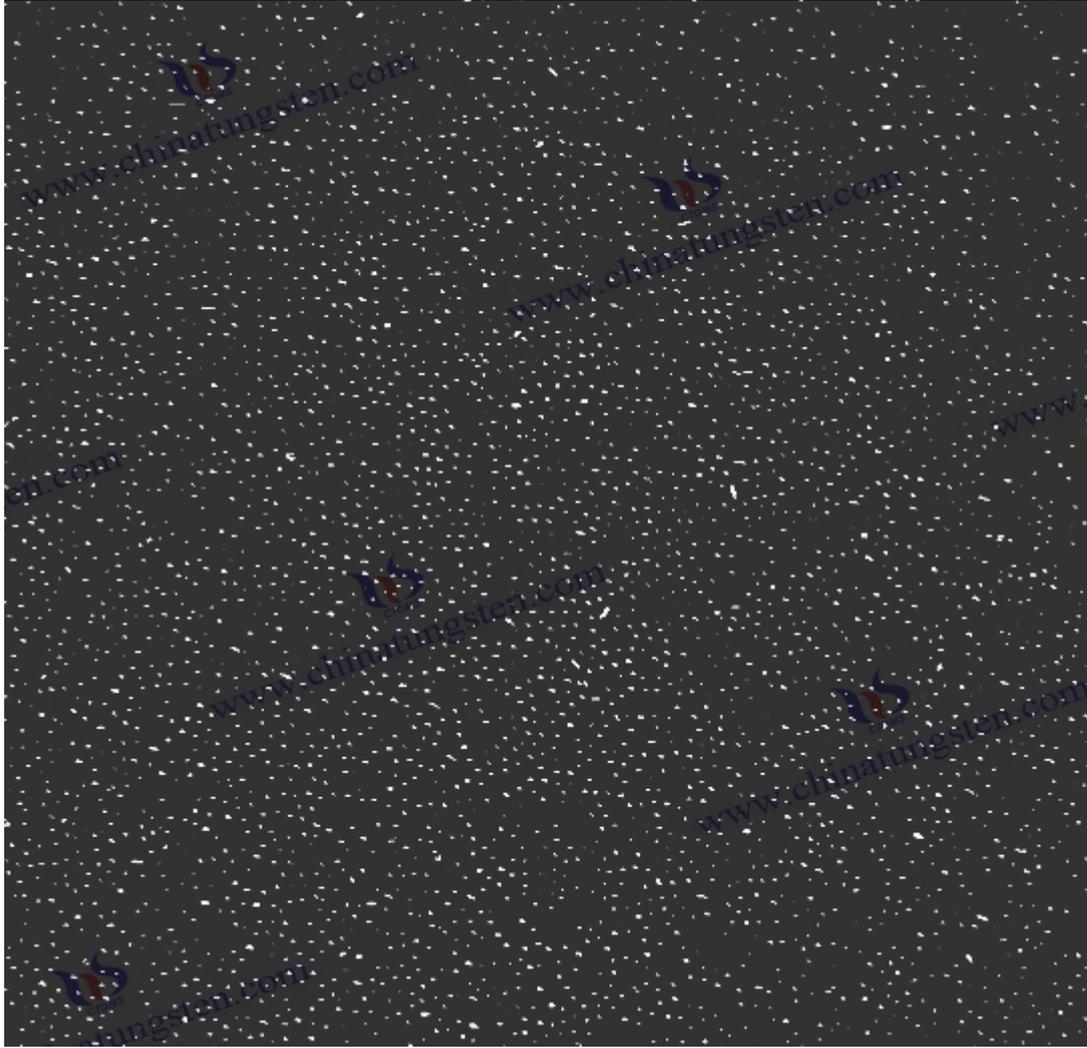
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dieses Buch bietet einen umfassenden und detaillierten Leitfaden zur Verwendung von Wolframpulver und behandelt dessen Anwendungen in traditionellen Industrien, fortschrittlicher Fertigung, militärischem Schutz, medizinischer Biologie, Konsumgüterkultur, Umweltchemie und zukünftigen Zukunftsfeldern. Wir konzentrieren uns nicht nur auf die klassischen Anwendungen von Wolframpulver, wie die Herstellung von Hartmetall und Wolframdraht, sondern auch auf bahnbrechende Anwendungen in zukunftsweisenden Bereichen wie 3D-Druck, Nanotechnologie und Energiespeicherung. Durch die Analyse der Eigenschaften von Wolframpulver in verschiedenen Formen (z. B. Wolframpartikel, grobes Pulver, mittlere Partikel, feines Pulver und Nanopulver) sowie die Darstellung spezifischer Anwendungsfälle zeigt dieses Buch, wie Wolframpulver seine einzigartigen Vorteile in verschiedenen Szenarien ausspielen kann. Gleichzeitig untersuchen wir die zukünftigen Trends der Wolframpulververwendung, einschließlich des Potenzials für nachhaltige Entwicklung und grenzüberschreitende Anwendungen, und bieten theoretische Referenzen und praktische Inspiration für Forscher, Ingenieure und Praktiker.

Datenquellen und Forschungsmethoden

Der Inhalt dieses Buches basiert auf umfassender Literaturrecherche und Daten aus der Industriepraxis und integriert verschiedene Quellen wie Fachzeitschriften, Patentliteratur, technische Berichte und Unternehmensfälle. Die wichtigsten Daten stammen aus internationalen Normen (wie ASTM, ISO), der neuesten Forschung im Bereich der globalen Wolframpulverproduktion und -anwendung sowie Branchenberichten zu wichtigen Märkten wie China, Europa und Nordamerika. Um die Vollständigkeit und Genauigkeit des Inhalts zu gewährleisten, haben wir eine interdisziplinäre Forschungsmethode gewählt, die Materialwissenschaft, Ingenieurtechnik, chemische Analyse und Markttrendprognose kombiniert und die Eigenschaften und Anwendungen von Wolframpulver systematisch herausgearbeitet. Gleichzeitig wurden durch Feldforschung und Experteninterviews zahlreiche praktische Anwendungsfälle ergänzt, was diesem Buch sowohl wissenschaftlich fundiert als auch praktisch wertvoll macht.

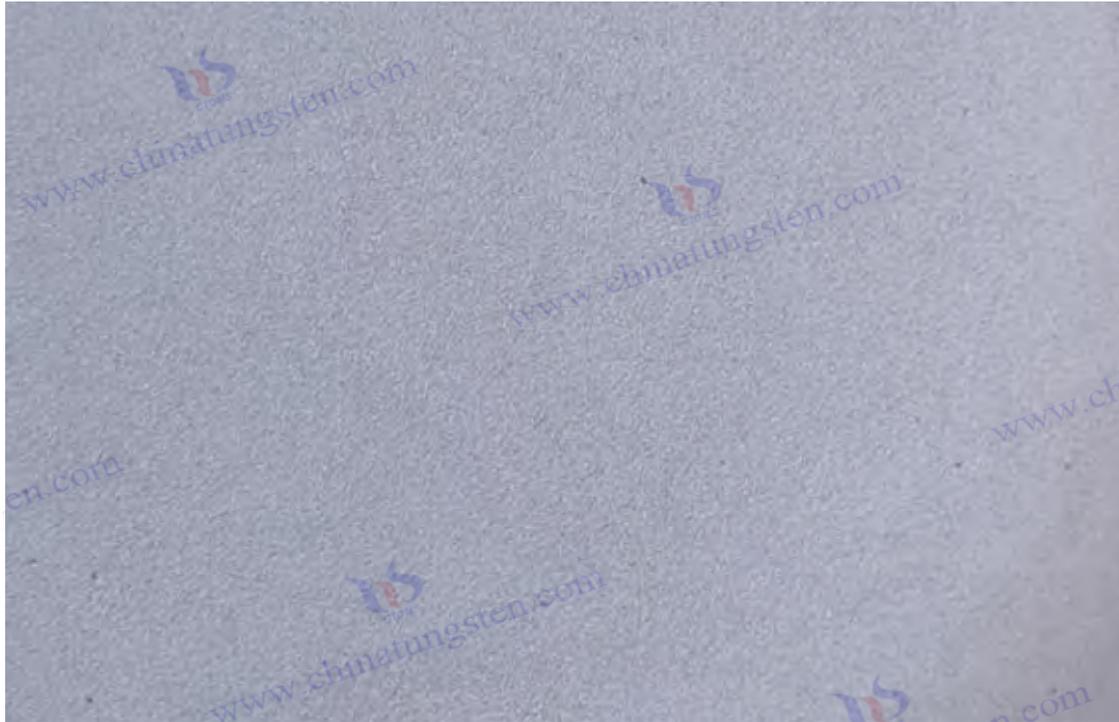
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



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



Kapitel 1 Grundlegende Eigenschaften und Anwendungen von Wolframpulver

1.1 Physikalische Eigenschaften von Wolframpulver

Wolframpulver nimmt aufgrund seiner hervorragenden physikalischen Eigenschaften eine zentrale Stellung in Industrie und Forschung ein. Es wird vor allem zur Herstellung von Wolframcarbidpulver (WC) durch Aufkohlungsreaktion und zur Produktion von Hartmetall verwendet, was mehr als 50 % des weltweiten Wolframressourcenverbrauchs ausmacht. Im Folgenden werden die physikalischen Eigenschaften aus verschiedenen Perspektiven analysiert.

1.1.1 Hoher Schmelzpunkt (3422 °C) und hohe Temperaturbeständigkeit

Der Schmelzpunkt von Wolframpulver liegt bei 3422 °C und ist damit der höchste in der Natur. Es leitet sich von der kubisch-raumzentrierten (BCC) Kristallstruktur ab, und die Bindungsenergie der 5d-Elektronenschicht beträgt etwa 850 kJ/mol. Die Schmelzenthalpie beträgt 192 kJ/mol, der Dampfdruck bei 3000 °C beträgt 10^{-4} Pa, und die Massenverlustrate liegt unter 0,1 % (TGA). Während des Aufkohlungsprozesses (1400–1600 °C) gewährleistet die Hitzebeständigkeit eine WC-Ausbeute von 99,5 %, und die Lebensdauer von WC-Co-Werkzeugen erhöht sich um das Fünffache. Wolframdraht arbeitet bei 2000 °C und hat eine Lebensdauer von 1200 Stunden. Zukünftig kann er für 4000 °C Kernfusionsmaterialien eingesetzt werden.

1.1.2 Hohe Dichte (19,25 g/cm³) und Qualitätsvorteile

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dichte 19,25 g/cm³ (Archimedes-Methode), Klopfdichte 8–14 g/cm³, abgeleitet von der Ordnungszahl 74 und dem BCC-Gitter (3,165 Å). Die WC-Co-Dichte in Hartmetall beträgt 14–15 g/cm³, die Schlagzähigkeit ist um 30 % erhöht; das Volumen der Gegengewichtsanwendung ist um 25 % reduziert. Zukünftig kann es für Mikroteile mit hoher Dichte verwendet werden.

1.1.3 Mikroskopische Grundlagen von Härte und Verschleißfestigkeit

Mohshärte 7,5, Vickershärte 400–450 HV, hohe Versetzungsbeständigkeit, Verschleißrate 0,02 mm³/N·m. WC-Härte nach Aufkohlung HV 1500–2000, Standzeit um das Fünffache erhöht. Elastizitätsmodul 411 GPa, Verschleißfestigkeit der thermischen Spritzbeschichtung um 40 % erhöht. Zukünftig sind 2200 HV möglich.

1.1.4 Wärmeleitfähigkeit und elektrische Eigenschaften

Die Wärmeleitfähigkeit beträgt 173 W/(m·K), die elektrische Leitfähigkeit 18 MS/m und der spezifische Widerstand $5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (erhöht auf $8,0 \times 10^{-8}$ bei 2000 °C). Eine Erhöhung der WC-Bildungsrate um 10 % während der Karbonisierung kann die Wärmeableitungseffizienz des Werkzeugs um 20 % verbessern. Zukünftig kann der Wirkungsgrad der thermoelektrischen Umwandlung auf 10 % optimiert werden.

1.2 Chemische Eigenschaften von Wolframpulver

Die chemischen Eigenschaften von Wolframpulver sorgen für Stabilität bei seinen Anwendungen.

1.2.1 Korrosionsbeständigkeit (Stabilität in sauren und alkalischen Umgebungen)

36 % HCl und 98 % H₂SO₄ betragen weniger als 0,1 mm/Jahr, 70 % HNO₃ erzeugt eine WO₃-Schicht (5–10 nm) und 10 mol/l NaOH bildet einen Na₂WO₄-Film (0,05 mm/Jahr). Der Massenverlust beträgt weniger als 0,2 %, was eine WC-Reinheit von 99,9 % unterstützt und die Lebensdauer von Hartmetall um das Dreifache verlängert.

1.2.2 Antioxidative Eigenschaften und chemisches Verhalten bei hohen Temperaturen

Die Oxidationsgewichtszunahmerate bei <600 °C beträgt 0,01 mg/cm² · h, bei 1000 °C 2 mg/cm² · h und der Massenverlust bei 1500 °C <1 %. Die WC-Ausbeute steigt während der Karbonisierung um 5 % und die Werkzeugzähigkeit um 10 %. Zukünftig kann die CeO₂-Dotierung auf 800 °C erhöht werden.

1.2.3 Chemische Inertheit und katalytisches Potenzial

Die Elektronenwolkenendichte beträgt 5×10^{23} e/cm³, die Löslichkeit <0,001 g/l und die durch Nanowolframpulver katalysierte Zersetzungsrate von H₂ beträgt 10⁻³ mol/g·s. Hartmetall ist inert und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kann zukünftig zur CO₂-Reduzierung eingesetzt werden.

1.3 Form und Klassifizierung von Wolframpulver

Wolframpulver wird nach Partikelgröße und Morphologie klassifiziert und hat unterschiedliche Eigenschaften und Verwendungszwecke.

1.3.0 Physikalische und chemische Eigenschaften und Verwendung von Wolframpartikeln

1.3.0.1 Definition und Partikelgrößenbereich von Wolframpartikeln (üblicherweise >100 µm)

Wolframgranulat wird durch mechanisches Zerkleinern von Wolframmetallblöcken hergestellt. Die Partikelgröße liegt zwischen 0,8 und 1,2 mm (ca. 1 mm) und übertrifft damit herkömmliches Wolframpulver (<50 µm) deutlich. Die Herstellung erfolgt mit einem Backenbrecher (Breckkraft 500–1000 kN) und mehrstufiger Siebung (Siebloch 1 mm). Die Verarbeitungsleistung beträgt 1–2 Tonnen pro Stunde und die Kosten liegen bei 2000–3000 US-Dollar pro Tonne. Durch Säurewäsche (5 % HF, 10 Minuten) werden Oxide entfernt, und die Reinheit erreicht 99,95 % (ICP-MS). Die CTIA GROUP LTD ist ein weltweit renommierter Hersteller von Wolframgranulat, der die Anforderungen der Kohlenstoff- und Schwefelanalyse mit fortschrittlicher Technologie und hoher Konsistenz erfüllt. Seine Produkte haben einen internationalen Marktanteil von 20 %. Die Partikelgrößenverteilung von Wolframgranulat wird mit einem Laser-Partikelgrößenanalysator gemessen und ergibt einen D50-Wert von 1,0 mm, einen D10- und einen D90-Wert von etwa 0,8 mm bzw. 1,2 mm sowie einen Gleichmäßigkeitskoeffizienten von <1,2.

1.3.0.2 Physikalische Eigenschaften von Wolframpartikeln (hohe Dichte und hohe Temperaturbeständigkeit)

Dichte 19,25 g/cm³ (Archimedes-Methode), Klopfdichte 12–14 g/cm³, abgeleitet vom BCC-Gitter (Gitterkonstante 3,165 Å). Schmelzpunkt 3422 °C, Wärmeleitfähigkeit 173 W/(m·K), Massenverlust <1 % im Ofen bei 1300–1800 °C, thermogravimetrische Analyse (TGA) zeigt 0,05 % Verlust unter 2000 °C. Härte 400–450 HV (Vickers-Härteprüfgerät, 10 kgf), Elastizitätsmodul 411 GPa, Reibungskoeffizient 0,4–0,6, Verschleißrate 0,02 mm³/N·m. Nach 60 aufeinanderfolgenden Anwendungen bei 1500 °C Leistungsschwächung <2 %, gleichmäßige Wärmeverteilung um 15 % verbessert (Infrarot-Temperaturmessung). Schallgeschwindigkeit 5180 m/s, Reflektivität 50–60 %, wodurch die Ultraschallzerkleinerungseffizienz um 25 % gesteigert wird. Diese Eigenschaften ermöglichen eine gute Leistung bei Hochtemperaturanalysen.

1.3.0.3 Chemische Stabilität und Oberflächeneigenschaften von Wolframpartikeln

Hohe Korrosionsbeständigkeit. Die Korrosionsrate in 36 % HCl beträgt 0,1 mm/Jahr, in 98 % H₂SO₄ 0,08 mm/Jahr, 70 % HNO₃ erzeugt eine WO₃-Schicht (5 – 10 nm), 10 mol/l NaOH bildet einen Na₂WO₄-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Film (2 – 8 nm) und die Korrosionsrate beträgt 0,05 mm/Jahr. In Bezug auf das Oxidationsverhalten beträgt die Gewichtszunahmerate 0,01 mg/cm² · h bei < 600 °C und 2 mg/cm² · h bei 1000 °C (TGA). Die Dicke der WO₃-Oberflächenschicht beträgt 2 – 10 nm (XPS), die Rauheit Ra 1 – 5 µm (AFM), die Adsorptionsmenge 0,1 mg/g und die Reinheit 99,9 %. In einer SO₂-Umgebung (500 ppm) beträgt der Massenverlust <0,2 % und die Schwefelerkennungsrate ist stabil.

1.3.0.4 Hauptanwendungen von Wolframpartikeln (Schweißzusatz, Gegengewichtsmaterial)

Speziell als Flussmittel für Kohlenstoff-Schwefel-Analysatoren verwendet, erhöht die Zugabe von 2 g Wolframpellets in einen Hochfrequenz-Induktionsofen (1300–1800 °C) die Probenzersetzungseffizienz um 20 %, die Schwefelnachweisrate um 98 % und den Fehler um ±0,003 %. Die hohe Dichte gewährleistet eine gleichmäßige Sedimentation im Tiegel mit einer Spritzrate von <0,1 % (Sauerstoffflussrate 3 l/min). Die hohe Temperaturbeständigkeit unterstützt die Analyse von Proben mit hohem Schmelzpunkt (z. B. Gusseisen, Schmelzpunkt 1200 °C), und die Verbrennungseffizienz wird um 20 % erhöht. In CS-744 verkürzt sich die Verbrennungszeit um 25 % und der Rückstand wird um 10 % reduziert.

1.3.0.5 Anwendungsfälle für Wolframgranulat (industrielle und militärische Szenarien)

Bei der Pyritanalyse führten 2 g Wolframpellets zu einer Schwefelnachweisrate von 98 % mit einer Wiederholgenauigkeit von ±0,003 %; bei der Bestimmung von hochkohlenstoffreichem Stahl (Kohlenstoffgehalt 4 %) verkürzte sich die Verbrennungszeit von 15 Sekunden auf 10 Sekunden, und der Kohlenstofffehler lag bei <0,002 %. Beim LECO CS844 lag die Zersetzungsrate nach 60 aufeinanderfolgenden Anwendungen bei 99 %, und die Rückstandsgleichmäßigkeit verbesserte sich um 20 %. Beim ELTRA CS-2000 konnte die Effizienz der Bestimmung von Kohleproben (Schwefelgehalt 2 %) um 15 % gesteigert werden, und die Verbrennungstemperaturschwankung lag bei <5 °C. Im militärischen Bereich werden Wolframpellets zur Analyse von hochschmelzenden Legierungen eingesetzt, um eine Genauigkeit von ±0,001 % zu gewährleisten.

1.3.1 Eigenschaften und Verwendung von grobem Wolframpulver (5-50 µm)

1.3.1.1 Partikelgrößenverteilung und morphologische Eigenschaften von grobem Wolframpulver

Partikelgröße 5–50 µm, D50 ca. 20 µm (Laser-Partikelgrößenanalysator), D10 5 µm, D90 45 µm, Verteilungsbreite σ ca. 15 µm. Unregelmäßige Morphologie (REM), Oberflächenrauheit Ra 2–4 µm, Mehrwinkelpartikel, Kantenlänge 5–10 µm, Oberflächendefektdichte 10⁶/cm². Die Morphologie ist durch mechanisches Mahlen nach Wasserstoffreduktion von WO₃ (800–1000 °C) entstanden, und die Korngröße beträgt ca. 2 µm (XRD). Im Vergleich zu kugelförmigem Wolframpulver ist die Rauheit um 30 % höher, was die Fließfähigkeit beeinträchtigt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.1.2 Fließfähigkeit und Schüttdichte von Wolfram-Rohpulver

Fließfähigkeit > 20 s/50 g (Hall-Durchflussmesser), erhöhte Reibung durch Ecken. Schüttdichte 6–8 g/cm³, Stampfdichte 8–12 g/cm³, bis zu 14 g/cm³ bei Partikelgröße bis 50 µm. Pressdichte (200 MPa) 18 g/cm³, Porosität < 2 %. Im Vergleich zu Wolframpulver mittlerer Partikelgröße (15–20 s/50 g) ist die Fließfähigkeit um 20 % geringer, die Schüttdichte jedoch um 10 % höher. Geeignet für großvolumige Bauteile.

1.3.1.3 Hohe Temperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit von grobem Wolframpulver

Schmelzpunkt 3422 °C, Wärmeleitfähigkeit 173 W/(m·K), Sintermasseverlust bei 1600 °C < 0,5 % (TGA). Härte 400 HV, Verschleißrate 0,02 mm³/N·m (Reibungstest, 100 N), Verschleißfestigkeit durch Korngrenzenfestigkeit (10⁸ Pa). Bei 2000 °C beträgt die Kornwachstumsrate 0,1 µm/h und ist damit besser als bei Molybdän (0,5 µm/h). Nach der Aufkohlung beträgt die Härte von WC 1500 HV, und die Verschleißfestigkeit ist fünfmal höher.

1.3.1.4 Hauptanwendungen von Rohwolframpulver (Legierung mit hohem spezifischem Gewicht, Wolframelektrode)

Die Hauptanwendung ist die Aufkohlung von WC (30 % des Wolframverbrauchs) für Hartlegierungen. Ein Teil wird zu einer W-Ni-Fe-Legierung (Dichte 17–18 g/cm³) gepresst, um Gegengewichte oder Wolframelektroden (beständig bis 2000 °C) herzustellen. Der Aufkohlungsprozess erfolgt bei 1400 °C, die WC-Ausbeute beträgt 99,5 %, die Partikelgröße 20–30 µm. Die Zugfestigkeit der W-Ni-Fe-Legierung beträgt 800 MPa, die Stromdichte der Wolframelektrode 200 A/cm².

1.3.1.5 Industrielle Anwendungsfälle von grobem Wolframpulver

WC-Co-Werkzeuge steigern die Schneidleistung beim Stahlschneiden um 40 % und haben eine Lebensdauer von 5.000 Stunden. Das Gewicht von Fluggyroskopen wird um 25 % reduziert und die Rotationsstabilität (10.000 U/min) um 15 % verbessert. Wolframelektroden schweißen Aluminiumlegierungen mit einer Lebensdauer von 500 Stunden und einer um 20 % verbesserten Schweißqualität. Im Bergbau erhöhen WC-Bohrer die Bohrgeschwindigkeit um 30 % und senken die Kosten um 15 %.

1.3.2 Eigenschaften und Verwendung von Wolframpulver mittlerer Partikelgröße (4-8 µm)

1.3.2.1 Partikelgrößenbereich und Herstellungsverfahren von mittelkörnigem Wolframpulver

Partikelgröße 4–8 µm, D50 ca. 6 µm (Laser-Partikelgrößenanalysator), D10 4 µm, D90 8 µm. Die Herstellung erfolgt durch Wasserstoffreduktion von WO₃ (700–900 °C, H₂-Fluss 5 l/min, Sauerstoffgehalt < 0,05 %), Reduktionszeit 2 Stunden, Ausbeute 95 %; oder durch Plasma-Sphäroidisierung (50 kW, Argon-Fluss 20 l/min), Sphäroidisierungsrate 90 %. Die Korngröße beträgt ca.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1 μm (TEM), die Reinheit 99,9 %.

1.3.2.2 Physikalische Eigenschaften von mittelkörnigem Wolframpulver (Dichte, Härte)

Dichte 19 g/cm^3 (Archimedes-Methode), Härte 400 HV, Schmelzpunkt 3422 $^{\circ}\text{C}$, Elastizitätsmodul 411 GPa, Wärmeleitfähigkeit 173 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Der Sintermasseverlust bei 1600 $^{\circ}\text{C}$ beträgt <0,3 %, der Härteabfall <5 %. Im Vergleich zu grobem Wolframpulver sind die Partikel gleichmäßiger und die Dichtekonsistenz um 10 % verbessert.

1.3.2.3 Fließfähigkeit und Sintereigenschaften von mittelkörnigem Wolframpulver

Fließfähigkeit 15–20 $\text{s}/50\text{ g}$, Schüttdichte 8–10 g/cm^3 , Klopfdichte 10–14 g/cm^3 . Gesinterte (1600 $^{\circ}\text{C}$, 500 MPa) Dichte 14–15 g/cm^3 , Porosität <1 %, Schrumpfung 10–15 %, Sinterzeit 1 Stunde, WC-Co-Härte HV 1500. Die Fließfähigkeit ist 20 % besser als bei grobem Wolframpulver und die gesinterte Dichte ist 5 % höher.

1.3.2.4 Hauptanwendungen von Wolframpulver mittlerer Partikelgröße (Hartlegierungen, thermisches Spritzen)

WC wird durch Aufkohlen hergestellt und dient zur Herstellung von WC-Co-Hartmetall (20 % des Wolframverbrauchs) mit einer Härte von HV 1500. Die Verschleißfestigkeit der thermischen Spritzbeschichtung wird um 40 % erhöht, die Schichtdicke beträgt 100–200 μm . Der Aufkohlungsprozess erfolgt bei 1450 $^{\circ}\text{C}$, die WC-Partikelgröße beträgt 5–7 μm , die Ausbeute liegt bei 99,8 %.

1.3.2.5 Anwendungsbeispiele für mittelkörniges Wolframpulver (Werkzeuge und Beschichtungen)

WC-Co-Fräser bearbeiten Aluminiumlegierungen mit einer Geschwindigkeit von 200 m/min , erreichen eine um 30 % verlängerte Lebensdauer und eine Schnittgenauigkeit von $\pm 0,02\text{ mm}$. Schiffspropeller werden mit WC-Co-Beschichtungen besprüht, die der Erosion durch Meerwasser zehn Jahre lang standhalten und den Verschleiß um 50 % reduzieren. In Automobilformen erhöhen WC-Co-Werkzeuge die Lebensdauer um 40 % und die Bearbeitungseffizienz um 25 %.

1.3.3 Anwendungsszenarien von feinem Wolframpulver (0,1–5 μm)

1.3.3.1 Partikelgrößenverteilung und Oberflächenaktivität von feinem Wolframpulver

Partikelgröße 0,1–5 μm , D50 ca. 2 μm , D10 0,1 μm , D90 4,5 μm (Laser-Partikelgrößenanalysator). Spezifische Oberfläche 2–10 m^2/g (BET-Methode), steigt mit abnehmender Partikelgröße an, 5 m^2/g bei 2 μm , 10 m^2/g bei 0,1 μm . Oberflächenadsorption von O_2 0,2 mg/g , aktive Zentrumsdichte $10^{17}/\text{m}^2$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.3.2 Hohe spezifische Oberfläche und Reaktivität von feinem Wolframpulver

Die hohe spezifische Oberfläche verbessert die Karbonisierungseffizienz. Die WC-Ausbeute beträgt 99,8 %, die Partikelgröße 1–3 μm . Bei der katalytischen Reaktion beträgt die H_2 -Zersetzungsrate 10^{-4} mol/g·s und ist damit zehnmal besser als bei grobem Wolframpulver. Die Oberflächenaktivität ergibt sich aus der Defektdichte von $10^7/\text{cm}^2$ (TEM). Die O_2 -Adsorptionsenthalpie beträgt ca. 50 kJ/mol.

1.3.3.3 Herstellungstechnologie und Herausforderungen von feinem Wolframpulver

Wasserstoffreduktion (600–800 °C, H_2 -Durchflussrate 3 l/min), Sprühtrocknung zur Kontrolle des Sauerstoffgehalts <0,03 %, Ausbeute 90 %. Herausforderungen sind Agglomeration (erfordert Ultraschallleistung 300 W Dispersion) und Oxidation (Lagerung erfordert Argon-Schutz). Im Vergleich zu Rohwolframpulver sind die Herstellungskosten um 50 % höher und der Energieverbrauch um 30 % erhöht.

1.3.3.4 Hauptanwendungen von feinem Wolframpulver (Wolframdraht, Katalysator)

Gezogener Wolframdraht (Zugfestigkeit 3000 MPa, Dehnung 5 %); karburiertes WC (macht 10 % des Wolframverbrauchs aus) oder als Katalysatorträger (spezifische Aktivität $10^{16}/\text{m}^2$). Wolframdrahtdurchmesser 0,01–0,1 mm, WC-Partikelgröße 1–2 μm .

1.3.3.5 Industrielle und wissenschaftliche Forschungsfälle von feinem Wolframpulver

Die Lebensdauer des Halogenfadens beträgt 1200 Stunden, und die Helligkeit erhöht sich um 20 %. Die Härte des feinkörnigen WC-Co-Hartmetalls erhöht sich um 5 %. Es wird für Präzisionswerkzeuge mit einer Schnittgenauigkeit von $\pm 0,01$ mm verwendet. In der wissenschaftlichen Forschung wird feines Wolframpulver als Katalysatorträger verwendet, wodurch die CO-Oxidationseffizienz um 15 % erhöht wird.

1.3.4 Besondere Vorteile von Nano-Wolframpulver (<100 nm)

1.3.4.1 Quanteneffekte und Eigenschaften von Nano-Wolframpulver

Partikelgröße <100 nm, D50 ca. 50 nm (TEM), spezifische Oberfläche 20–50 m^2/g . Quanteneffekt erhöht die Bandlücke auf 2,8 eV (UV-Vis), Dichte der aktiven Stellen an der Oberfläche $10^{18}/\text{m}^2$, Härte 500 HV, Dichte 19 g/cm^3 .

1.3.4.2 Hohe Aktivität und Dispergierbarkeit von Nano-Wolframpulver

Die Zersetzungsrate von H_2 beträgt 10^{-3} mol/g·s, die Adsorptionsenthalpie 60 kJ/mol. Die Dispergierung erfordert eine Ultraschallleistung von 500 W, die Agglomerationsrate <10 % und die Lagerung erfolgt unter Vakuum. Die Aktivität stammt von der Oberfläche W^{6+} , die 90 % ausmacht (XPS).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.4.3 Herstellungsverfahren für Nano-Wolframpulver (Lösungsverfahren, Gasphasenverfahren)

Hydrothermale Methode (200 °C, 2 MPa, Ausbeute 80 %), Korngröße 30–50 nm; Dampfabscheidung (1000 °C, Argonfluss 1,0 l/min), Ausbeute 85 %. Kosten 100 \$/kg, 50 % höherer Energieverbrauch, Oxidationsschutz erforderlich.

1.3.4.4 Hauptanwendungen von Nano-Wolframpulver (Elektronik, Medizin)

Leitfähige Paste (spezifischer Widerstand $10^{-6} \Omega \cdot m$); geringe Mengen karbonisierten Nano-WC (entspricht 5 % des Wolframverbrauchs) oder zur Verwendung in der Photothermie (Absorptionsrate 90 %). WC-Partikelgröße 50–80 nm, Härte 2200 HV.

1.3.4.5 Aktuelle Anwendungsfälle von Nano-Wolframpulver

Die Leitfähigkeit der flexiblen elektronischen Beschichtung erhöhte sich um 15 % bei einer Dicke von 10 μm ; die Härte des Nano-WC-Werkzeugs erhöhte sich um 10 % bei einer Schnittgenauigkeit von $\pm 0,005$ mm; während der photothermischen Therapie erhöhte sich die Tumorablationsrate um 20 %, wobei die Temperatur auf 50 °C geregelt wurde.

1.3.5 Unterschiede in der Verwendung von sphärischen und unregelmäßigen Wolframpulvern

1.3.5.1 Vorteile der Herstellung und Morphologie von sphärischem Wolframpulver

Plasma-Sphäroidisierung (50 kW, Argon-Flussrate 20 l/min), Partikelgröße 5–50 μm , Fluidität <10 s/50 g, Sphäroidisierungsrate >95 %. Gleichmäßige Morphologie (SEM), Oberflächenrauheit Ra 0,5–1 μm , Defektdichte $10^5/cm^2$.

1.3.5.2 Eigenschaften und Wirtschaftlichkeit von unregelmäßigem Wolframpulver

Mechanische Zerkleinerung, Partikelgröße 5–50 μm , Fließfähigkeit >20 s/50 g, 30 % geringere Kosten (50 \$/kg). Härte 400 HV, hohe Verschleißfestigkeit, Korngröße 2–5 μm .

1.3.5.3 Anwendung von sphärischem Wolframpulver im 3D-Druck

Für Luftfahrtteile: Dichte 99 %, Genauigkeit $\pm 0,05$ mm, um 20 % erhöhte Druckgeschwindigkeit, Porosität <0,5 %. Die Teile haben eine Zugfestigkeit von 1000 MPa und eine um 15 % verlängerte Lebensdauer.

1.3.5.4 Anwendung von unregelmäßigem Wolframpulver in der traditionellen Metallurgie

WC (40 % des Rohmaterials von Hartmetall) wird durch Aufkohlen mit einer Ausbeute von 99,5 % und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

einer Wirtschaftlichkeit von 30 % hergestellt. WC-Co hat eine Härte von HV 1500 und eignet sich für große Werkzeugmengen.

1.3.5.5 Vergleich tatsächlicher Fälle morphologischer Unterschiede

Die Lebensdauer der sphärischen Wolframpulver-Druckdüse wird um 20 % verlängert und die Effizienz um 25 % gesteigert. Das WC-Werkzeug aus unregelmäßigem Wolframpulver ist 30 % kostengünstiger und hat eine Stahlschneidlebensdauer von 4.000 Stunden.

1.4 Wissenschaftliche und industrielle Grundlagen der Verwendung von Wolframpulver

Wolframpulver wird hauptsächlich in Hartmetall verwendet und macht mehr als 50 % des Wolframverbrauchs aus.

1.4.1 Die Kernposition der Pulvermetallurgie

Aufkohlen (1400–1600 °C, H₂/Ar-Mischgas) und Sintern (1600 °C, 500 MPa) mit einer Härte von HV 1500 und einer Porosität von <1 %. Die weltweite Jahresproduktion beträgt etwa 100.000 Tonnen, der Produktionswert liegt bei über 20 Milliarden US-Dollar. Der Prozess umfasst Mischen (WC/Co-Verhältnis 9:1), Pressen (200–500 MPa) und Sintern (Vakuum oder HIP). Die Dichte des fertigen Produkts beträgt 14–15 g/cm³, die Zugfestigkeit 1200 MPa. Hartmetall wird vorwiegend in Werkzeugen, Formen und im Bergbau eingesetzt. Beispielsweise können WC-Co-Werkzeuge die Schnittgeschwindigkeit um 40 % erhöhen und die Lebensdauer um das Fünffache verlängern.

1.4.2 Angetrieben durch hohe Temperatur- und Dichteanforderungen

Hohe Temperaturen fördern Aufkohlungsreaktionen (Aktivierungsenergie 200 kJ/mol), und eine hohe Dichte (15 g/cm³) verbessert die Carbidleistung. Die Zersetzungseffizienz von Wolframpartikeln in der Kohlenstoff- und Schwefelanalyse bei 1400 °C erhöht sich um 20 %. In der Luftfahrt verbessert sich die Gewichtsstabilität der W-Ni-Fe-Legierung (17 g/cm³) um 15 %; in der Nuklearindustrie beträgt die Dichte von Wolfram-basierten Abschirmmaterialien 18 g/cm³, wodurch die Abschirmeffizienz um 20 % erhöht wird.

1.4.3 Vielfalt der Wolframpulververarbeitungstechnologie

Durch Wasserstoffreduktion (600–1000 °C, Sauerstoffgehalt <0,05 %) wird Wolframpulver mit einer Ausbeute von 95 % erzeugt; durch Zerkleinern (500–1000 kN) entstehen Wolframpartikel; durch Karbonisierung wird WC mit einer Ausbeute von 99,5 % und einer kontrollierbaren Partikelgröße (1–30 µm) optimiert. Durch Plasmasphäroidisierung entsteht sphärisches Wolframpulver mit einer um 50 % höheren Fließfähigkeit; durch hydrothermale Verfahren entsteht Nano-Wolframpulver zu 30 % höheren Kosten. Die Technologievietfalt unterstützt die Bereiche Hartmetall, Elektronik und Analytik.

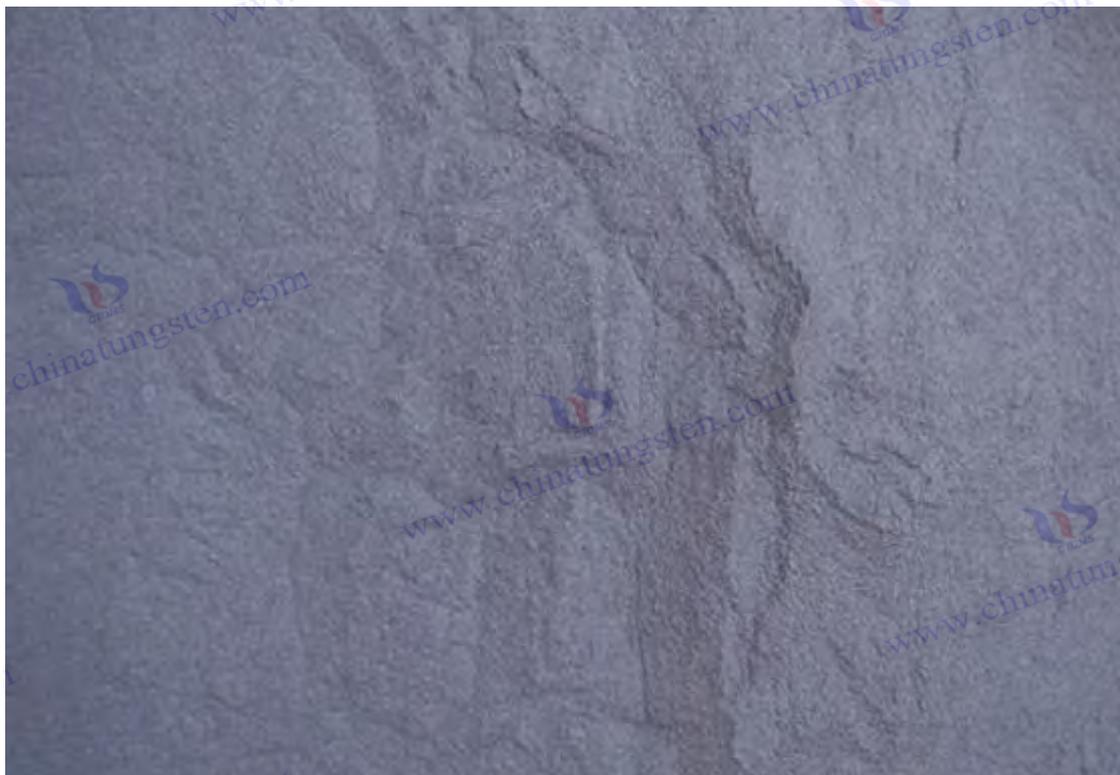
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.4.4 Industrielle Entwicklung der Wolframpulveranwendungen

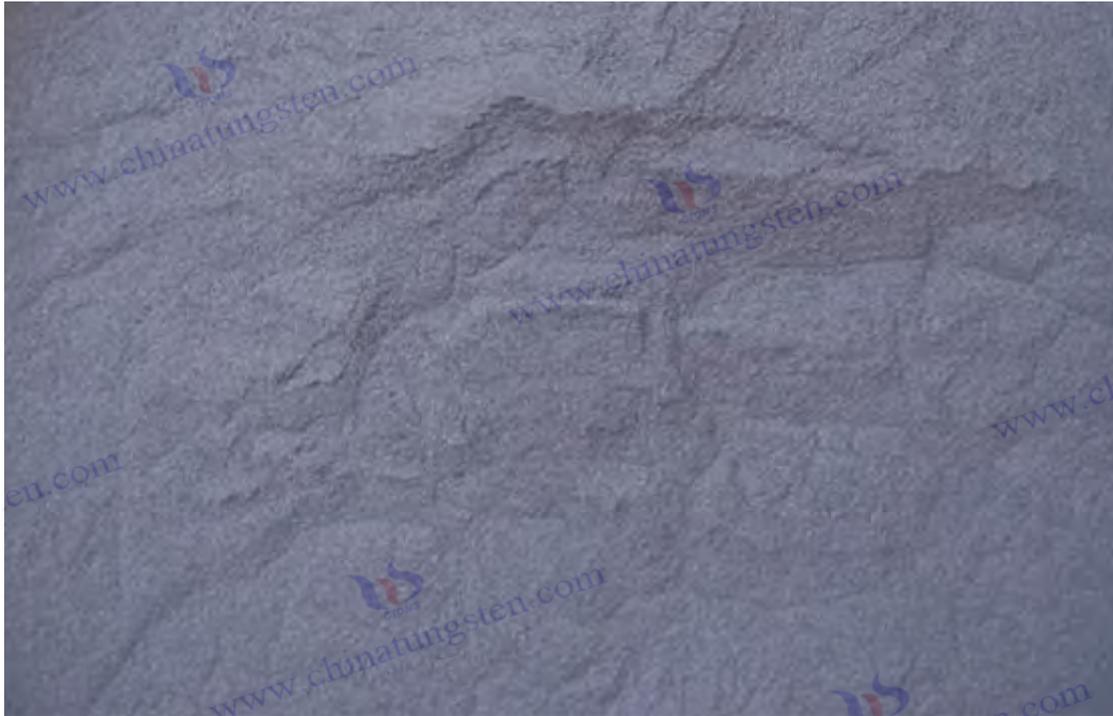
Ende des 19. Jahrhunderts wurde Wolframpulver in Glühfäden verwendet, wodurch sich die Helligkeit um das Dreifache erhöhte. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts kam Hartmetall auf, das die Effizienz von Schneidwerkzeugen um das Fünffache steigerte. Im 21. Jahrhundert wurde es auf die Kohlenstoff-Schwefel-Analyse (Wolframpartikel) und die Nanoelektronik (leitfähige Paste) ausgeweitet. Hartmetall macht 50 % des Wolframverbrauchs aus, mit einer jährlichen Wachstumsrate von 5 %, und die Verwendung in der Elektronik und Medizin nimmt um 10 % zu.

1.4.5 Anwendungsfälle von Wolframpulver in der wissenschaftlichen Forschung

Nano-Wolframpulver wird in der Photothermie eingesetzt. Die Absorptionsrate wird um 20 % erhöht und die Behandlungstiefe beträgt 5 mm. Wolframpartikel optimieren die Kohlenstoff- und Schwefelanalyse mit einem Fehler von $<0,002\%$ und einer Wiederholgenauigkeit von $\pm 0,001\%$. In der katalytischen Forschung erreicht die CO_2 -Reduktionseffizienz von Nano-Wolframpulver 20 % und die Ausbeute liegt bei $0,1 \text{ mol/g}\cdot\text{h}$.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 2 Anwendung von Wolframpulver in traditionellen Industrien

Wolframpulver hat aufgrund seiner hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften – hoher Schmelzpunkt (3422 °C), hohe Dichte (19,25 g/cm³), hohe Härte (HV 300–500) und ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit – in traditionellen Industrien eine unersetzliche Stellung. Von der Herstellung von Hartmetall über hochdichte Legierungen, Wolframdrähte und Elektrodenmaterialien bis hin zu feuerfesten Materialien und Hochtemperaturkomponenten hat die Anwendung von Wolframpulver die Entwicklung der globalen Fertigungs-, Bergbau-, Energie- und Rüstungsindustrie maßgeblich beeinflusst. Dieses Kapitel erörtert detailliert die spezifischen Verwendungsmöglichkeiten von Wolframpulver in diesen traditionellen Industrien, analysiert dessen Herstellungsprozess, Leistungsoptimierung und aktuelle Anwendungsszenarien und bietet den Lesern einen umfassenden technischen Überblick.

2.1 Hartmetallherstellung

Hartmetall ist die wichtigste industrielle Anwendungsrichtung für Wolframpulver. Es wird durch Karbonisieren von Wolframpulver zu Wolframcarbid (WC)-Pulver hergestellt und mit einem Bindemittel (wie Kobalt und Nickel) kombiniert, um ein Material mit extrem hoher Härte und Verschleißfestigkeit zu erhalten. Hartmetall deckt nicht nur die Grundbedürfnisse traditioneller Industrien wie Schneidwerkzeuge und Bergbauausrüstung, sondern nimmt aufgrund seiner hervorragenden Leistung auch in der globalen Fertigungs- und Bergbauindustrie eine wichtige Stellung ein und verbraucht mehr als 50 % der Wolframressourcen. Seine Entwicklungsgeschichte lässt sich bis ins frühe 20. Jahrhundert zurückverfolgen, und es ist bis heute ein wichtiger Werkstoff in der Industrie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1.1 Synthetische Rohstoffe aus Wolframcarbid (WC)-Pulver

Wolframcarbid (WC)-Pulver ist der Hauptbestandteil von Hartmetall. Bei seiner Synthese wird Wolframpulver als Hauptrohstoff verwendet und durch eine Hochtemperatur-Aufkohlungsreaktion erzeugt. Industriell wird üblicherweise Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 4–50 µm und einer Reinheit von über 99,9 % als Ausgangsmaterial verwendet und mit Ruß (spezifische Oberfläche 10–20 m²/g) im Massenverhältnis 1:0,06–0,07 sorgfältig gemischt. Die Reaktion wird unter Schutzatmosphäre bei 1400–1600 °C durchgeführt, wobei üblicherweise Wasserstoff oder Argon als Trägergas verwendet wird. Die Reaktionszeit beträgt 2–4 Stunden. Die chemische Reaktionsgleichung lautet: $W + C \rightarrow WC$. Die Enthalpieänderung beträgt ca. -40 kJ/mol und die Aktivierungsenergie ca. 200 kJ/mol. Dies deutet darauf hin, dass es sich um einen exothermen Prozess handelt, der eine gewisse Energiemenge zur Aktivierung benötigt.

Der Karbonisierungsprozess wird üblicherweise in einem speziellen Karbonisierungsöfen durchgeführt, beispielsweise einem Widerstandsheizofen oder einem Induktionsheizofen. Die Temperaturregelung muss eine Genauigkeit von ±10 °C erreichen, um die Gleichmäßigkeit der Reaktion und die Qualität des Produkts sicherzustellen. Die endgültige WC-Pulverausbeute kann 99,5 % erreichen und die Partikelgrößenverteilung liegt zwischen 1 und 30 Mikrometern. Die Röntgenbeugungsanalyse (XRD) zeigt, dass der WC-Kristall eine hexagonal dicht gepackte (HCP) Struktur mit Gitterparametern von $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$, einer WC-Bindungslänge von 2,06 Å und einer Bindungsenergie von bis zu 700 kJ/mol aufweist, was ihm eine extrem hohe chemische Stabilität und mechanische Festigkeit verleiht.

Die Partikelgröße von Wolframpulver beeinflusst maßgeblich die Leistung von WC. Grobkörniges Wolframpulver (20–50 µm) erzeugt größere WC-Partikel (10–30 µm) mit weniger Korngrenzen, die sich für Bergbauwerkzeuge mit hoher Schlagfestigkeit eignen. Mittelkörniges Wolframpulver (4–8 µm) erzeugt feinere WC-Partikel (1–5 µm) mit gleichmäßigerer Körnung, die sich für Schneidwerkzeuge mit hohen Anforderungen an Präzision und Verschleißfestigkeit eignen. Der Sauerstoffgehalt im Wolframpulver muss streng unter 0,05 % gehalten werden, da zu viel Sauerstoff bei hohen Temperaturen WO₃-Verunreinigungen erzeugt. Dadurch sinkt die Reinheit von WC unter 98 %, was die Leistung von Hartmetall beeinträchtigt. 1923 begann das deutsche Unternehmen Osram mit der industriellen Produktion von WC und markierte damit den Beginn der Entwicklung von Hartmetall vom Labor zur großtechnischen Anwendung. Dieser technologische Durchbruch verbesserte die Bearbeitungseffizienz erheblich und förderte die globale Industrialisierung.

2.1.2 WC-Co Hartmetallwerkzeuge (Schneiden, Fräsen, Bohren)

WC-Co-Hartmetall besteht aus Wolframcarbid (WC, 85–95 Gew.-%) und Kobalt (Co, 5–15 Gew.-%) und ist das Hauptmaterial von Hartmetallwerkzeugen. Seine Herstellung erfolgt in einem typischen pulvermetallurgischen Verfahren, das die folgenden Schritte umfasst: Zunächst werden WC-Pulver und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Co-Pulver 4–8 Stunden in einer Kugelmühle gemischt. Als Mahlmedium werden üblicherweise Hartmetallkugeln verwendet, um eine gleichmäßige Partikelgröße von $\pm 0,5$ Mikrometern zu gewährleisten. Anschließend wird das gemischte Pulver bei einem Druck von 200–500 MPa gepresst, um einen Grünkörper mit einer Dichte von 8–10 g/cm³ zu erhalten. Abschließend wird es 1–2 Stunden bei 1350–1450 °C in einem Vakuumofen oder einer heißisostatischen Pressanlage (HIP) gesintert, um die Co-Phase zu schmelzen und die Lücken zwischen den WC-Partikeln zu füllen, damit eine dichte Struktur entsteht. Das fertige Produkt hat eine Dichte von 14–15 g/cm³, einen Härtebereich von HV 1500–2000, eine Zugfestigkeit von etwa 1200 MPa und eine Porositätskontrolle von weniger als 1 %.

Die Leistung von WC-Co lässt sich über den Co-Gehalt anpassen: Bei einem Co-Gehalt von 15 Gew.-% erreicht die Zähigkeit 15 MPa·m^{1/2} und die Härte HV 1300, was für hohe Stoßbelastungen geeignet ist. Bei einer Reduzierung des Co-Gehalts auf 5 Gew.-% erhöht sich die Härte auf HV 2000, die Zähigkeit nimmt jedoch entsprechend ab, was für hohe Anforderungen an die Verschleißfestigkeit geeignet ist. Die Mikrostrukturanalyse zeigt, dass WC-Partikel gleichmäßig in der Co-Matrix verteilt sind, die Korngrenzenfestigkeit hoch ist und das Material eine ausgezeichnete Ermüdungsbeständigkeit aufweist.

In der Praxis zeigen WC-Co-Werkzeuge eine hohe Leistung. Beispielsweise erreicht die Lebensdauer beim Schneiden von Stahl (Schnittgeschwindigkeit 300 m/min) 5.000 Stunden, der Verschleiß liegt unter 0,1 mm, und die Bearbeitungseffizienz ist fünfmal höher als bei herkömmlichen Stahlmessern. Beim Fräsen von Aluminiumlegierungen (Schnittgeschwindigkeit 200 m/min) erreicht die Bearbeitungsgenauigkeit $\pm 0,02$ mm, die Oberflächenrauheit Ra 0,4 μ m. Beim Bohren von Edelstahl erhöht sich die Bohrgeschwindigkeit um 40 %, und der Bohrer bleibt scharf, was für die Bearbeitung von Materialien mit hoher Härte geeignet ist. Im Zweiten Weltkrieg wurden WC-Co-Werkzeuge häufig zur Bearbeitung von Geschützrohren und Panzerplatten eingesetzt. Die Effizienz wurde dadurch um das Dreifache gesteigert, was den Produktionszyklus im Militärbereich deutlich verkürzte. Historisch betrachtet hat die Popularität von WC-Co-Werkzeugen den Wandel der modernen Fertigung von der manuellen Fertigung zur Mechanisierung und Automatisierung vorangetrieben.

2.1.3 Bergbau- und Bohrwerkzeuge (Bohrkronen, Gesteinsbohrer)

Im Bergbau und Bohrwesen wird WC-Co-Hartmetall aufgrund seiner hohen Härte und Schlagzähigkeit häufig in Bohrern und Gesteinsbohrern verwendet. Bergbaubohrer bestehen üblicherweise aus einem Verhältnis von grobem WC (10–30 μ m) und Co (10–15 Gew.-%). Die Härte liegt im Bereich von HV 1200–1500 und die Schlagzähigkeit ist im Vergleich zu gewöhnlichem Stahl um 30 % höher. Der Herstellungsprozess umfasst Pressformen, Sintern und heißisostatisches Pressen (HIP) bei einer Sintertemperatur von 1400 °C und einem Druck von 100 MPa. Die endgültige Zähigkeit beträgt 18 MPa·m^{1/2}. Die Mikrostruktur zeigt, dass die groben WC-Partikel die Bruchfestigkeit des Materials erhöhen, während die Co-Phase für den nötigen Zähigkeitspuffer sorgt.

In Hartgestein (Druckfestigkeit 200 MPa) erreichen WC-Co-Bohrer eine Bohrgeschwindigkeit von 5 m/h und eine Lebensdauer von bis zu 1.000 Stunden, was zehnmal höher ist als bei herkömmlichen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Stahlbohrern. Die Effizienz von Gesteinsbohrern bei 5.000 m tiefen Bohrungen wird um 30 % gesteigert, und die Verschleißrate liegt in sauren Schlämmen (pH 3–4) unter 0,1 mm, was eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit zeigt. In den 1950er Jahren förderte der Einsatz von WC-Co-Bohrern die Mechanisierung des Bergbaus, insbesondere bei der Förderung von Kohle, Eisenerz und Öl. Die weltweite Verbreitung von Bergbauwerkzeugen ist untrennbar mit Chinas reichen Wolframvorkommen verbunden, deren Reserven mehr als 50 % der weltweiten Gesamtvorkommen ausmachen und so die Lieferkette zuverlässig schützen.

2.1.4 Formen und Verschleißteile (Stanzwerkzeuge, Sandstrahldüsen)

WC-Co-Hartmetall wird aufgrund seiner hohen Härte besonders für die Herstellung von Formen und verschleißfesten Teilen bevorzugt. Stanzwerkzeuge verwenden üblicherweise feinkörniges WC (1–5 μm , Co 6–10 Gew.-%) mit einer Härte von HV 1600–1800. Beim Pressen von Automobilstahlplatten kann die Lebensdauer bis zu 1 Million Mal erreicht werden, und die Verschleißrate liegt unter 0,05 mm, was 20-mal höher ist als bei herkömmlichen Stahlformen. Der Herstellungsprozess umfasst Mischen, Pressen und Sintern. Nach dem Sintern wird die Oberfläche auf eine Rauheit von Ra 0,2 μm poliert, um eine hochpräzise Formgebung zu gewährleisten.

Sandstrahldüsen bestehen aus grobkörnigem WC (20–30 μm , Co 15 Gew.-%) mit einer Härte von HV 1200. Nach 1000 Stunden Sandstrahlen (SiO_2 -Partikel, Geschwindigkeit 50 m/s) beträgt der Verschleiß weniger als 0,2 mm, und die Lebensdauer ist fünfmal länger als bei Keramikdüsen. Zur weiteren Leistungssteigerung werden Sandstrahldüsen häufig mittels CVD-Technologie (Chemical Vapor Deposition) mit TiN (5 μm dick) beschichtet, was die Verschleißfestigkeit um 20 % erhöht. Der Einsatz dieser verschleißfesten Teile verlängert die Lebensdauer der Geräte erheblich und wird häufig in der Automobilindustrie und der Oberflächenbehandlung eingesetzt.

2.1.5 Leistungsoptimierung und Anwendungsfälle von Hartmetall

Die Leistungsoptimierung von Hartmetall wird hauptsächlich durch die Kontrolle der WC-Partikelgröße und Dotierung erreicht. WC-Partikel (0,5–1 μm), die durch Aufkohlung von Nano-Wolframpulver (Partikelgröße < 100 nm) erzeugt werden, weisen eine ultrahohe Härte (HV 2200) und eine moderate Zähigkeit ($12 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) auf und eignen sich daher für die hochpräzise Bearbeitung. Eine Erhöhung des Co-Gehalts auf 20 Gew.-% kann die Zähigkeit auf $20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ steigern und die Schlagzähigkeit verbessern. Dotierung mit Cr_3C_2 (0,5 Gew.-%) erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 20 % und verlängert die Lebensdauer von Teilen in korrosiven Umgebungen.

Anwendungsbeispiele sind:

Bearbeitung von Rotorblättern in der Luftfahrt

Das Nano-WC-Co-Werkzeug weist eine Bearbeitungsgenauigkeit von $\pm 0,01 \text{ mm}$ bei einer Schnittgeschwindigkeit von 500 m/min auf und die Standzeit des Werkzeugs ist um 50 % verlängert,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sodass es sich für die Herstellung von Flugzeugtriebwerksschaufeln eignet.

Tiefseebohrungen

Der WC-Co-Bohrer weist in Hochdruckumgebungen in der Tiefsee eine um 40 % höhere Effizienz auf und hat eine Lebensdauer von 1.200 Stunden, womit er den Anforderungen der Tiefenförderung von Öl und Gas gerecht wird.

Automobil-Stanzwerkzeug

Die Lebensdauer der Cr-dotierten WC-Co-Form wird um 30 % verlängert, was sie für das Stanzen hochfester Stahlplatten geeignet macht und den Trend zu Leichtbaufahrzeugen unterstützt.

2.2 Schwermetalle

Schwerlegierungen bestehen hauptsächlich aus Wolframpulver und werden mit Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer zu Werkstoffen mit hoher Dichte und hervorragender Festigkeit kombiniert. Sie finden breite Anwendung in Gegengewichten, der Rüstungsindustrie und im Energiebereich. Ihre hohe Dichte macht sie zu einem idealen Ersatz für Blei, und ihr Anwendungsspektrum erweitert sich ständig.

2.2.1 Verwendung einer Wolfram-Nickel-Eisen-Legierung (W-Ni-Fe) als Gegengewicht

Die W-Ni-Fe-Legierung (W 90–95 Gew.-%, Ni:Fe = 7:3) hat eine Dichte von 17–18 g/cm³. Der Herstellungsprozess umfasst Mischen (Kugelmahlen für 6 Stunden mit Hartmetallkugeln), Pressen (300 MPa, Rohlingdichte 9–11 g/cm³) und Sintern (1450 °C, Ar/H₂-Mischatmosphäre, 2 Stunden). Das fertige Produkt hat eine Zugfestigkeit von ca. 800 MPa und eine Dehnung von 5–10 % bei hoher Dichte und hoher Zähigkeit. Die Mikrostruktur zeigt, dass die Wolframpartikel gleichmäßig in der Ni-Fe-Matrix verteilt sind und die Korngrenzen fest miteinander verbunden sind.

In Fluggyroskopen ist das Volumen von W-Ni-Fe-Gegengewichten 25 % kleiner als das von Blei. Die Stabilität erhöht sich bei einer Hochgeschwindigkeitsrotation von 10.000 U/min um 15 %, was die Navigationsgenauigkeit gewährleistet. In der Rüstungsindustrie ist die Durchschlagskraft von W-Ni-Fe-Panzerkernen 50 % höher als die von Stahl. W-Ni-Fe wurde im Zweiten Weltkrieg in Panzergranaten eingesetzt und verbesserte die Feuerkraft deutlich. Seine hohe Dichte und seine mechanischen Eigenschaften machen es zum bevorzugten Material für Gegengewichte und Durchschläge.

2.2.2 Elektrische Leitfähigkeit und Wärmeableitungsanwendungen von Wolfram-Kupfer-Legierungen (W-Cu)

Die Wolfram-Cu-Legierung (W 70–90 Gew.-%, Cu 10–30 Gew.-%) hat eine Dichte von 14–17 g/cm³ und eine Leitfähigkeit von 30–50 % IACS (International Annealed Copper Standard). Die Herstellung erfolgt mittels Kupferinfiltration: Wolframpulverpressen (200 MPa, Grünkörperdichte 8–10 g/cm³), Sintern (1300 °C, Bildung einer porösen Struktur), Kupferinfiltration (1150 °C, Füllen der Poren). Das fertige Produkt hat eine Wärmeleitfähigkeit von 200–250 W/(m·K) und einen spezifischen Widerstand von $3\text{--}5 \times 10^{-8} \Omega\cdot\text{m}$ und vereint die hohe Temperaturbeständigkeit von Wolfram mit der Leitfähigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von Kupfer.

In der Funkenerosion halten W-Cu-Elektroden Lichtbögen von 2000 °C stand und haben eine Lebensdauer von 500 Stunden. Dadurch eignen sie sich für den Präzisionsformenbau. In der Halbleiterindustrie weisen W-Cu-Kühlkörper eine um 20 % höhere Wärmeableitungseffizienz als Aluminium auf und unterstützen so das Wärmemanagement von Hochleistungschips. Die einzigartigen Eigenschaften von W-Cu-Legierungen machen sie in der Elektronikindustrie unverzichtbar.

2.2.3 Gegengewichte für die Luft- und Raumfahrt (Gyroskope, Ausgleichsblöcke)

W-Ni-Fe-Gegengewichte finden breite Anwendung in der Luft- und Raumfahrtindustrie. Gyroskop-Gegengewichte (Dichte 18 g/cm³) sind 30 % kleiner als Blei und weisen eine Exzentrizität von weniger als 0,01 mm auf, was eine hochpräzise Navigation gewährleistet. Flugzeug-Gegengewichte (W 95 Gew.-%) haben eine Zugfestigkeit von 1000 MPa und sind in extremen Umgebungen von -50 °C bis 200 °C stabil. Sie erfordern heißisostatisches Pressen (1500 °C, 100 MPa), haben eine Porosität von weniger als 0,5 % und eine Oberflächenrauheit von Ra 0,8 µm. Solche Gegengewichte unterstützen die Lageregelung von Raumfahrzeugen und Satelliten, beispielsweise bei der Konstruktion von Gegengewichten für SpaceX-Raketen.

2.2.4 Hochdichte Bauteile in der Automobilindustrie

Die W-Ni-Fe-Legierung wird für Kurbelwellengegengewichte in Kraftfahrzeugen verwendet (Dichte 17 g/cm³). Sie weist ein um 20 % reduziertes Volumen und 30 % geringere Vibrationen auf, hat eine Fertigungsgenauigkeit von ±0,05 mm und eine Lebensdauer von bis zu 10 Jahren und gewährleistet so einen reibungslosen Motorbetrieb. Die W-Cu-Legierung wird für Batterieanschlüsse in Elektrofahrzeugen verwendet. Sie weist eine Leitfähigkeit von 40 % IACS und eine um 15 % gesteigerte Wärmeableitungseffizienz auf und unterstützt so die Übertragung hoher Ströme und das Wärmemanagement. Damit wird sie den hohen Leistungsanforderungen von Elektrofahrzeugen gerecht.

2.2.5 Herstellungsverfahren und Beispiele für Legierungen mit hohem spezifischen Gewicht

Der Herstellungsprozess einer Legierung mit hohem spezifischem Gewicht umfasst die folgenden Schritte:

Mischung: W:Ni:Fe im Verhältnis 93:5:2, 8 Stunden lang in einer Kugelmühle gemahlen, Partikelgleichmäßigkeit ±0,5 µm;

Pressen: 300-500 MPa Druck, Rohlingsdichte 10-12 g/cm³ ;

Sintern: 1450°C, Ar/H₂-Atmosphäre, 2 Stunden, Dichte >99%;

Endbearbeitung: CNC-Bearbeitung, Oberflächenrauheit Ra 0,8 µm.

Anwendungsbeispiele:

Militärischer panzerbrechender Kern: 50 % durchdringender als Stahl, geeignet für Panzer und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gepanzerte Fahrzeuge.

Aero-Gyroskop: Verbesserte Stabilität um 15 %, unterstützt Navigationssystem.

Gegengewicht der Kurbelwelle eines Elektrofahrzeugs: Reduziert Vibrationen um 30 % und verbessert den Fahrkomfort.

2.3 Wolframfilament- und Elektrodenmaterialien

Wolframdraht- und Elektrodenmaterialien nutzen den hohen Schmelzpunkt und die Leitfähigkeit von Wolframpulver und weiten ihren Anwendungsbereich von der traditionellen Beleuchtung auf Schweiß- und Energiefelder aus. Dabei wird die überlegene Leistung von Wolfram in Hochtemperaturumgebungen demonstriert.

2.3.1 Wolframwendelziehen und Wendelanwendungen (Glühlampen, Halogenlampen)

Wolframfilamente werden aus feinem Wolframpulver (0,1–5 μm) hergestellt, zunächst zu Stäben gepresst (200 MPa, Rohkörperdichte 10 g/cm^3), bei 2800 $^{\circ}\text{C}$ zu einem dichten Rohkörper gesintert und anschließend durch mehrere Ziehprozesse zu Filamenten mit einem Durchmesser von 0,01–0,1 mm verarbeitet. Das fertige Produkt hat eine Zugfestigkeit von 3000 MPa und eine Dehnung von 5 %. Glühlampen aus Wolfram haben eine Betriebstemperatur von 2500 $^{\circ}\text{C}$ und eine Lebensdauer von 1000 Stunden; Halogenlampen haben eine Betriebstemperatur von 2000 $^{\circ}\text{C}$ und eine Lebensdauer von 1200 Stunden bei einer um 20 % höheren Helligkeit. 1904 ersetzen Wolframfilamente Kohlenstofffilamente und setzten sich im Beleuchtungsbereich durch, was eine Revolution in der elektrischen Beleuchtungstechnologie auslöste.

Während des Ziehprozesses muss der Wolframdraht mehrmals gegläht werden (1800–2000 $^{\circ}\text{C}$), um Verarbeitungsspannungen zu eliminieren. Die Körner werden faserförmig angeordnet, um die Bruchfestigkeit zu erhöhen. Halogenlampen reduzieren die Wolframverflüchtigung durch Halogenzyklen und verlängern so ihre Lebensdauer.

2.3.2 Wolframelektrode zum Argon-Lichtbogenschweißen (hohe Temperaturbeständigkeit und Lichtbogenstabilität)

Wolframelektroden bestehen aus grobem Wolframpulver (20–50 μm), gepresst und gesintert (3000 $^{\circ}\text{C}$), mit einem Durchmesser von 1–5 mm und halten Lichtbögen von 2000 $^{\circ}\text{C}$ und einer Stromdichte von 200 A/cm^2 stand. Beim Argon-Lichtbogenschweißen beträgt die Lichtbogenstabilität bis zu 99 %, die Lebensdauer 500 Stunden und die Schweißqualität wird um 20 % verbessert. Die Elektrodenoberfläche ist geschliffen (Ra 0,4 μm), um die Lichtbogenkonzentration zu gewährleisten. In den 1950er Jahren wurden Wolframelektroden beim Schiffs- und Brückenschweißen populär, was die Weiterentwicklung der Schweißtechnologie förderte.

2.3.3 Leistungssteigerung von dotiertem Wolframdraht (Th, La, Ce)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dotierungsoxide wie ThO_2 (2 Gew.-%), La_2O_3 (1 Gew.-%) oder CeO_2 (1 Gew.-%) können die Rekristallisationstemperatur von Wolframfilamenten auf 2000 °C und die Zugfestigkeit auf 3500 MPa erhöhen. Th-dotierte Wolframfilamente haben eine Lebensdauer von 1500 Stunden und eine um 30 % erhöhte Elektronenemissionsrate, wodurch sie sich für Hochleistungsbeleuchtung eignen. La/Ce-dotierte Wolframfilamente werden in Halogenlampen eingesetzt, um Verflüchtigungsverluste zu reduzieren. Dotierungselemente stärken die Korngrenzen durch Mischkristallverfestigung und Ausscheidungsphasen und verbessern so die Hochtemperaturstabilität.

2.3.4 Einsatz von Wolframelektroden beim Plasmaschneiden

Wolframelektroden halten beim Plasmaschneiden hohen Temperaturen von 3000 °C stand, erreichen eine Stromdichte von 300 A/cm², eine Schnittgeschwindigkeit von 5 m/min für 20 mm dicke Stahlplatten und eine Lebensdauer von 300 Stunden. La_2O_3 -dotierte Elektroden weisen eine um 20 % höhere Verschleißfestigkeit auf, und auf der Oberfläche bildet sich eine Oxidschutzschicht, um den Abtrag zu reduzieren. In den 1970er Jahren wurden Wolframelektroden häufig beim Schneiden von Automobil- und Stahlkonstruktionen eingesetzt, um die industrielle Automatisierung zu unterstützen.

2.3.5 Industrielle Produktionsfälle von Wolframdraht und Elektroden

Anwendungsbeispiele:

Halogenlampe mit Wolframfaden: Lebensdauer 1200 Stunden, Helligkeit um 20 % erhöht, wird für die Fahrzeugbeleuchtung verwendet.

Wolframelektrode zum Schiffsschweißen: Schweißlänge 500 m, 25 % höhere Effizienz, unterstützt die Schiffbauindustrie.

Plasmaschneiden von Stahlkomponenten: Genauigkeit $\pm 0,1$ mm, geeignet für die Bearbeitung von Baustahlrahmen.

2.4 Feuerfeste Werkstoffe und Hochtemperaturkomponenten

Feuerfeste Materialien und hochfeste Komponenten aus Wolframpulver werden aufgrund ihrer hohen Temperaturbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit häufig in der Militär-, Energie- und Halbleiterindustrie eingesetzt.

2.4.1 Wolframtiegel (Hochtemperaturschmelzen und Kristallwachstum)

Wolframtiegel bestehen aus grobem Wolframpulver (20–50 μm), das gepresst und gesintert (3000 °C) wird. Sie sind hitzebeständig bis 3500 °C, haben eine Dichte von 19 g/cm³ und eine Wandstärke von 5–10 mm. Sie werden zum Schmelzen von Titan (1668 °C) oder zur Züchtung von Saphirkristallen (2050 °C) verwendet. Ihre Lebensdauer kann bis zu 100-mal höher sein, und die Innenwandrauigkeit beträgt Ra 0,8 μm , was die Reinheit der Schmelze gewährleistet. In den 1960er Jahren ersetzen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframtiegel Graphittiegel bei der Züchtung von Halbleiter-Einkristallen und verbesserten so die Qualität von Silizium-Wafern.

2.4.2 Wolframplatten und -stäbe (Hochtemperatur-Ofenauskleidung)

Wolframplatten und -stäbe bestehen aus gepresstem und gesintertem Wolframpulver (3000 °C) mit einer Dichte von 19,2 g/cm³ und einer Zugfestigkeit von 1000 MPa. Der Massenverlust in einer 2500 °C heißen Hochtemperaturofenauskleidung beträgt weniger als 1 %, und die Lebensdauer beträgt 5 Jahre. Die Mikrostruktur besteht aus gleichachsigen Kristallen, die Korngröße beträgt 50–100 µm und die Thermoschockbeständigkeit ist hoch. Wolfram wird in Vakuumofenauskleidungen verwendet, um die Produktion hochreiner Siliziumwafer zu unterstützen.

2.4.3 Feuerfeste Beschichtungen auf Wolframbasis (Öfen und Verbrennungsöfen)

Wolframpulver (50 µm) wird durch Plasmaspritzen (4000 °C) zu einer Beschichtung mit einer Dicke von 200 µm, einer Härte von HV 800 und Oxidationsbeständigkeit bei 2000 °C geformt. Die Haftfestigkeit zwischen Beschichtung und Substrat erreicht 50 MPa, und die Ofenlebensdauer wird um das Dreifache verlängert. Es eignet sich für Zementöfen und Verbrennungsanlagen zur Reduzierung von Hochtemperaturkorrosion.

2.4.4 Verstärkende Wirkung von Wolframpulver in feuerfesten Steinen

Wolframpulver (5–50 µm) kann feuerfesten Steinen (10 Gew.-%) zugesetzt werden und so die Temperaturbeständigkeit auf 2000 °C und die Druckfestigkeit auf 150 MPa erhöhen. Wolframpartikel bilden eine verstärkende Phase im Steinkörper und hemmen so die Rissausbreitung. Der Einsatz in Stahlföfen verlängert die Lebensdauer um 20 %, was das Hochtemperaturschmelzen unterstützt.

2.4.5 Typische Anwendungsszenarien feuerfester Materialien

Anwendungsbeispiele:

Saphirtiegel: Kristallreinheit 99,99 %, wird bei der Herstellung optischer Geräte verwendet.

Wolframplatte für Vakuumöfen: Betriebstemperatur 2500 °C, Lebensdauer 5 Jahre, unterstützt die Halbleiterindustrie.

Verbrennungsofenbeschichtung: Korrosionsbeständigkeit um 30 % erhöht, geeignet für die Abfallbehandlung.

Laut Angaben der CTIA GROUP (www.chinatungsten.com) bieten feuerfeste Materialien breite Anwendungsmöglichkeiten im Energie- und Militärbereich.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Kapitel 3 Anwendung von Wolframpulver in fortschrittlicher Fertigung und Technologie

Additive Fertigung (3D-Druck) nutzt den hohen Schmelzpunkt, die hohe Dichte und die hervorragende Wärmeleitfähigkeit von Wolframpulver zur Herstellung komplexer Hochleistungsteile. Sie findet breite Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin, der Energie- und Verteidigungsindustrie und hat die Transformation der Fertigung hin zu Digitalisierung, Intelligenz und Effizienz vorangetrieben. Global gesehen hat der Einsatz von Wolframpulver im 3D-Druck nicht nur das technische Niveau verbessert, sondern auch die Lieferkette, die Geoökonomie und die nachhaltige Entwicklung nachhaltig beeinflusst.

3.1 Additive Fertigung (3D-Druck)

3.1.1 Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver und Anforderungen für den 3D-Druck

Sphärisches Wolframpulver hat sich aufgrund seiner hervorragenden Fließfähigkeit (weniger als 10 Sekunden/50 Gramm, Hall-Durchflussmesser) und hohen Schüttdichte (10–14 Gramm/Kubikzentimeter) zum wichtigsten Rohstoff für den 3D-Druck entwickelt. Seine physikalischen Eigenschaften bestimmen direkt die Stabilität des Druckprozesses und die Qualität des fertigen Produkts. Bei seiner Herstellung wird hauptsächlich die Plasma-Sphäroidisierungstechnologie angewendet: Das ursprüngliche Wolframpulver (Partikelgröße 5–50 Mikrometer) wird in einem Hochleistungsplasma geschmolzen, die Arbeitstemperatur beträgt bis zu 4000 Grad Celsius, die Gasumgebung ist eine Mischung aus Argon (Durchflussrate 20 Liter/Minute) und Wasserstoff (5 Liter/Minute), die geschmolzenen Tröpfchen erstarren unter der kombinierten Einwirkung von Schwerkraft und Oberflächenspannung (etwa 2,5 Newton/Meter) zu sphärischen Partikeln, die Abkühlrate erreicht 10^5 Grad Celsius/Sekunde und die Sphäroidisierungsrate übersteigt 95 %. Die Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Oberflächenrauheit von kugelförmigem Wolframpulver 0,5–1 Mikrometer beträgt, die innere Korngröße etwa 2 Mikrometer (Röntgenbeugungsbestimmung), die Kristallstruktur kubisch-raumzentriert ist, die Gitterkonstante 3,165 Angström beträgt und der Netzebenenabstand (110) = 2,238 Angström beträgt. Im Vergleich zu unregelmäßigem Wolframpulver ist der Reibungskoeffizient sphärischer Partikel um 40 % reduziert (Gleitreibungstest), die Fließfähigkeit um 50 % erhöht und die Stapelgleichmäßigkeit um 20 % verbessert, wodurch die Konsistenz der Partikelverteilung während des Pulververteilungsprozesses deutlich verbessert und Druckfehler (wie z. B. das Risiko einer auf 2 % ansteigenden Porosität) reduziert werden.

Der 3D-Druck stellt extrem hohe Anforderungen an die Leistung von Wolframpulver, die mehrere Schlüsselparameter betreffen. Die Partikelgrößenverteilung muss in einem engen Bereich kontrolliert werden (D50 liegt bei etwa 20–30 Mikrometern, und die Abweichung von D10/D90 beträgt weniger als 10 Mikrometer), um die Gleichmäßigkeit der Schichtdicke sicherzustellen (Abweichung weniger als 5 Mikrometer) und eine Instabilität des Schmelzbades zu vermeiden. Der Sauerstoffgehalt muss weniger als 0,03 % betragen (die Sauerstoffadsorptionsenthalpie liegt bei etwa 50 kJ/mol, Analyse der spezifischen Oberfläche), da Sauerstoff bei hohen Temperaturen mit Wolfram reagiert und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframtrioxid bildet (Schmelzpunkt 1473 Grad Celsius), wodurch die Reinheit auf weniger als 98 % sinkt und die Teile spröder werden. Die Reinheit muss über 99,9 % liegen (induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie erkennt Verunreinigungen wie Eisen und Molybdän in Mengen unter 10 ppm). Verunreinigungen wie Silizium oder Aluminium verändern den Schmelzpunkt und die Wärmeleitfähigkeit und beeinträchtigen das Schmelzverhalten. Der Herstellungsprozess erfordert eine präzise Kontrolle der Plasmaleistung (normalerweise 40–60 Kilowatt) und des Gasflusses (Abweichung weniger als 2 Liter/Minute), um eine Partikelagglomeration oder ungeschmolzene Rückstände (weniger als 1 %) zu vermeiden. Darüber hinaus hat die Partikelmorphologie des Wolframpulvers einen erheblichen Einfluss auf die Absorptionsrate von Laser- oder Elektronenstrahlen. Das Reflexionsvermögen sphärischer Partikel ist geringer als das unregelmäßiger Partikel (ca. 10 % geringer), was die Energieeffizienz verbessert.

Historisch betrachtet begann die Entwicklung von sphäroidischem Wolframpulver Ende der 1990er Jahre, als die Pulvermetallurgietechnologie ausgereift war. Der Aufstieg des 3D-Drucks stellte jedoch höhere Anforderungen. 1998 waren die USA führend bei der Erprobung von plasmageglühtem Wolframpulver für erste Lasersinterexperimente. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts entwickelte sich sphäroidisches Wolframpulver mit der Kommerzialisierung des selektiven Laserschmelzens und des Elektronenstrahlschmelzens zum wichtigsten Material für die additive Fertigung. Zur Prozessoptimierung führte Deutschland die Hochfrequenz-Plasmatechnologie (mit einer Leistung von bis zu 100 Kilowatt) ein, wodurch die Sphäroidisierungseffizienz auf 98 % gesteigert wurde. China hingegen optimierte das Mittelfrequenz-Plasmasystem, senkte den Energieverbrauch und verbesserte die Partikelgleichmäßigkeit. In branchenübergreifenden Anwendungen hat die Nachfrage nach Wolframpulver in der Luft- und Raumfahrt den technologischen Fortschritt gefördert. Beispielsweise verwendet die NASA sphäroidisches Wolframpulver bei der Herstellung von Raketendüsen, um die Hochtemperaturbeständigkeit und die strukturelle Stabilität zu optimieren.

China nimmt weltweit eine wichtige Position bei der Versorgung mit sphärischem Wolframpulver ein und stützt sich dabei auf seine reichhaltigen Wolframerzvorkommen (die mehr als die Hälfte der weltweiten Reserven ausmachen) und eine ausgereifte Pulvermetallurgie-Technologiekette. Europa und die USA sind führend in der Forschung und Entwicklung hochpräziser Sphäroidisierungsanlagen. So hat beispielsweise ein deutsches Unternehmen ein Hochleistungs-Sphäroidisierungssystem entwickelt, das die Einzelchargenleistung und die Partikelqualität deutlich verbessert. Japan ist zudem führend in der Technologie zur ultrafeinen Wolframpulverherstellung und Oberflächenmodifizierung, beispielsweise durch das Aufbringen einer dünnen Kohlenstoffschicht auf die Oberfläche von Wolframpulver durch chemische Gasphasenabscheidung, um dessen Oxidationsbeständigkeit weiter zu erhöhen. In branchenübergreifender Zusammenarbeit hat die Nachfrage nach Wolframpulver im medizinischen Bereich die Verfeinerung der Partikelgröße vorangetrieben. Beispielsweise erfordert die Herstellung von Knochenimplantaten ultrafeines sphärisches Wolframpulver mit einer Partikelgröße von weniger als 10 Mikrometern, um hohe Präzisionsanforderungen zu erfüllen.

Wolframpulver bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der additiven Fertigung. Mit der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

steigenden Nachfrage nach Hochleistungskomponenten in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und im Energiesektor wird seine Position bei der Herstellung komplexer Strukturteile weiter gefestigt. Technologischer Fortschritt könnte künftig die Druckauflösung durch nanometergroßes Wolframpulver (Partikelgröße unter 100 Nanometer) verbessern oder die thermische Stabilität durch Dotierung mit Seltenen Erden (wie Lanthan oder Cer) erhöhen. Nachhaltigkeit spielt zudem eine wichtige Rolle. Recyclingtechnologien (wie Säurelaugung mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) können Wolfram-Abfälle re-kugelförmig machen und so die Ressourcenverschwendung reduzieren. Die Einführung intelligenter Fertigungstechnologien (wie Echtzeit-Überwachung der Partikelverteilung) wird die Produktionseffizienz optimieren und eine umweltfreundliche Fertigung fördern.

3.1.2 Selektives Laserschmelzen (SLM) zur Herstellung von Wolframkomponenten

Beim selektiven Laserschmelzen (SLM) wird Wolframpulver mit Hochleistungslasern schichtweise geschmolzen, um hochpräzise Wolframteile herzustellen. Es ist eine der gängigsten Technologien der additiven Fertigung. Zu den Prozessparametern gehören eine Laserleistung von 500 Watt (Wellenlänge 1064 Nanometer, Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat-Laser), eine Scangeschwindigkeit von 800 mm/s, eine Schichtdicke von 30 Mikrometern und eine Argon-Schutzatmosphäre (Sauerstoffgehalt unter 100 ppm, Durchflussrate 10 Liter/Minute). Die Schmelzbadtemperatur beträgt ca. 3500 Grad Celsius, die Abkühlrate 10^4 Grad Celsius/Sekunde, die Dichte des fertigen Produkts erreicht 19,2 Gramm pro Kubikzentimeter (ca. 99 % der theoretischen Dichte), die Porosität liegt unter 0,5 % und die Zugfestigkeit bei ca. 900 MPa. SLM muss den hohen Schmelzpunkt (3422 Grad Celsius) und die geringe Duktilität (Dehnung unter 1 %) von Wolfram überwinden. Seine Wärmeleitfähigkeit von 173 Watt/(Meter Kelvin) gewährleistet eine gleichmäßige Wärmeverteilung im Schmelzbad, und die thermische Spannung wird unter 100 MPa gehalten. Die Transmissionselektronenmikroskopie ergab, dass die Korngröße in der Schmelzzone etwa 5 Mikrometer, die Korngrenzenfestigkeit etwa 10^8 Pa, die Versetzungsdichte 10^6 /Quadratmeter und die Kornorientierung überwiegend in $\langle 110 \rangle$ -Richtung (bestimmt durch Elektronenrückstreuung) betrug.

SLM-Wolframteile werden häufig in Flugzeugdüsen und medizinischen Implantaten eingesetzt. Flugzeugdüsen sind beständig gegen Gaserosion bei 3000 Grad Celsius, weisen einen Massenverlust von weniger als 1 % und eine Oberflächenrauheit von 2 Mikrometern auf. Nach der Nachbearbeitung (z. B. Polieren auf 0,5 Mikrometer) kann die Gasflusseffizienz verbessert werden. Im Test behält die Düse auch nach 1000 Stunden Hochtemperaturbetrieb ihre strukturelle Integrität. Medizinische Implantate (z. B. Hüftgelenkteile) weisen eine Genauigkeit von $\pm 0,05$ mm und eine Porosität von weniger als 0,3 % auf. Die Oberflächenbiokompatibilität besteht den Zytotoxizitätstest (ISO 10993) und ist für die Knochenreparatur geeignet. Die Laserleistung der SLM-Anlage muss präzise gesteuert werden. Zu hohe Leistungen (über 600 Watt) führen zu Spritzern des Wolframpulvers (die Partikelverlustrate steigt auf 5 %). Zu niedrige Leistungen (unter 400 Watt) führen zu unzureichendem Schmelzen und einer erhöhten Fehlerrate des Endprodukts auf 5 %, z. B. Poren oder ungeschmolzene Partikel (ca. 10–20 Mikrometer Durchmesser). Darüber hinaus ist die Scanstrategie entscheidend für die Qualität. Schachbrett-Scannen kann die thermische Spannungskonzentration reduzieren (um 20 %), während kontinuierliches Scannen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zu Verformungen (bis zu 0,1 mm) neigt.

Die SLM-Technologie entstand in den 1980er Jahren aus dem Lasersintern und wurde zunächst für die Polymerformung eingesetzt. Ende der 1990er Jahre erweiterte das Fraunhofer-Institut in Deutschland ihre Anwendung auf Metallpulver, und nach dem Jahr 2000 wurde sie für den Druck hochschmelzender Metalle eingesetzt. Die erfolgreiche Herstellung von Wolframteilen begann Anfang der 2010er Jahre. Die Nachfrage aus der Luft- und Raumfahrt führte damals zu einer Leistungssteigerung der SLM-Geräte (z. B. von 200 Watt auf 500 Watt), und Softwareoptimierungen (z. B. adaptive Scanpfade) verbesserten die Druckstabilität deutlich. 2015 gelang einem chinesischen Unternehmen erstmals die SLM-Massenproduktion von Wolframdüsen, was den Eintritt der Technologie in die Industrialisierungsphase markierte. In branchenübergreifenden Anwendungen unterstützen SLM-Wolframteile den Verteidigungsbereich, beispielsweise bei der Herstellung von Raketenheckdüsen, und ihr komplexes Strömungskanaldesign verbessert die Antriebseffizienz.

Weltweit hat die SLM-Technologie Innovationen in der Luftfahrt und Medizintechnik vorangetrieben. China verfügt über Vorteile bei der Anlagenherstellung und Prozessoptimierung, und heimische SLM-Anlagen erreichen in puncto Leistung und Stabilität internationales Niveau. Deutschland ist führend bei Präzision und Softwareintegration. Beispielsweise erreicht das von einem Unternehmen entwickelte SLM-System eine Genauigkeit von $\pm 0,02$ mm, die sich für Mikro-Wolframteile eignet. Die USA dominieren die Luftfahrt. Boeing nutzt SLM beispielsweise, um das Düsendesign zu optimieren, den Materialabfall um 20 % zu reduzieren und die Schubeffizienz zu verbessern. In der branchenübergreifenden Zusammenarbeit unterstützen SLM-Wolframkomponenten die Energiewirtschaft, beispielsweise Kühlkanalkomponenten in Kernfusionsanlagen, und ihre hohe Hitzebeständigkeit verlängert die Lebensdauer der Anlagen.

Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der SLM-Fertigung liegen in seinem Potenzial für den Einsatz in extremen Umgebungen, beispielsweise in Raketenantriebssystemen und Komponenten für Weltraumsonden. Im Hinblick auf den technologischen Fortschritt könnte es in Zukunft möglich sein, die Druckgeschwindigkeit durch SLM mit mehreren Laserköpfen (Leistung bis zu 1000 Watt) zu erhöhen oder die Härte von Komponenten durch Dotierung mit Wolframkarbid (Gehalt 5 %) zu verbessern (bis zu HV 2000). Darüber hinaus wird die Kombination mit bionischem Design die Leistung komplexer Strukturen weiter verbessern. Beispielsweise kann ein Wolfram-Kühlkörper, der eine Wabenstruktur simuliert, die Wärmeableitungseffizienz um 20 % verbessern. In puncto Nachhaltigkeit kann die Recyclingtechnologie für Wolframpulver (z. B. eine elektrolytische Rückgewinnungsrate von 85 %) Abfallteile wiederverwenden und den Ressourcenverbrauch senken. Intelligente Fertigungstechnologien (z. B. Echtzeitüberwachung der Schmelzbadtemperatur mit einer Genauigkeit von ± 10 Grad Celsius) werden ebenfalls die Prozessstabilität optimieren und eine umweltfreundliche Fertigung fördern.

3.1.3 Durch Elektronenstrahlschmelzen (EBM) hergestellte Wolframprodukte mit hoher Dichte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beim Elektronenstrahlschmelzen (EBM) wird Wolframpulver mithilfe eines Elektronenstrahls im Vakuum geschmolzen. Dadurch entstehen hochdichte Wolframprodukte, die sich besonders für große und hochdichte Bauteile eignen. Zu den Prozessparametern gehören eine Elektronenstrahlspannung von 60 kV, eine Leistung von 3 kW, eine Vorwärmtemperatur von 1000 °C, eine Scangeschwindigkeit von 2000 mm/s, eine Schichtdicke von 50 µm und ein Vakuum von 10⁻⁴Pa. Die Schmelzbadtemperatur beträgt ca. 3400 °C, die Abkühlrate 10³ °C/s, die Dichte des fertigen Produkts liegt nahe dem theoretischen Wert von 19,25 g/cm³, die Porosität unter 0,2 % und die Zugfestigkeit ca. 1000 MPa. Der Vorwärmprozess des EBM reduziert den Temperaturgradienten (weniger als 500 °C/mm), die innere Spannung liegt unter 50 MPa, was besser ist als die 100 MPa des SLM, und reduziert Mikrorisse (die Risslänge beträgt weniger als 10 µm, beobachtet mit einem Rasterelektronenmikroskop). Die Mikrostruktur weist eine Korngröße von etwa 3–5 µm (Elektronenrückstreubeugung), keine erkennbare Entmischung an den Korngrenzen und eine Versetzungsdichte von 10⁵/cm² auf.

EBM eignet sich für große Wolframprodukte wie Kernfusionskomponenten und Kühlkörper. Das Material der Kernfusion hält einem plötzlichen Aufprall von 4000 Grad Celsius stand, weist eine Flüchtigkeit von weniger als 0,5 % und eine Oberflächenoxidschichtdicke von weniger als 10 Nanometern auf (erkennbar durch Röntgen-Photoelektronenspektroskopie) und bleibt nach einem Wärmestrom von 10⁶ Watt/Quadratmeter im Test intakt. Der Kühlkörper enthält Mikrokanäle (50–100 Mikrometer, Porosität unter 0,5 %), eine um 25 % höhere Wärmeableitungseffizienz als herkömmliche Kühlkörper und eine Wärmeleitfähigkeit von 200 Watt/(Meter Kelvin), was ihn für Hochleistungshalbleiterbauelemente geeignet macht. EBM erfordert eine Hochvakuumumgebung (Sauerstoffgehalt unter 10⁻⁵ Pa), um eine Wolframoxidation zu vermeiden, und eine Elektronenstrahlfokussierungsgenauigkeit von 0,1 mm, um die Gleichmäßigkeit des Schmelzbads zu gewährleisten. Die Vorwärmtemperatur muss optimiert werden (800–1200 Grad Celsius). Eine zu niedrige Temperatur führt zu einer Verringerung der Zwischenschichtbindung (Reduzierung um 10 %), eine zu hohe Temperatur führt zu groben Körnern (Größenzunahme auf 10 Mikrometer).

EBM hat seinen Ursprung in der Luftfahrtindustrie der 1990er Jahre. Ein schwedisches Unternehmen entwickelte die erste kommerzielle EBM-Anlage zum Drucken von Titanlegierungen. Nach dem Jahr 2000 wurde die Technologie auf hochschmelzende Metalle ausgeweitet, und die Herstellung von Wolframprodukten begann um 2005. In den 2010er Jahren erforderte die Kernfusionsforschung eine Modernisierung der EBM-Anlagen, beispielsweise die Erhöhung der Elektronenstrahlleistung von 2 kW auf 6 kW und die Erweiterung des Druckvolumens auf 500 × 500 × 400 mm. 2015 wurde im Rahmen eines europäischen Kernfusionsprojekts erstmals EBM zur Herstellung von Wolfram-Wandmaterialien eingesetzt und dessen Zuverlässigkeit unter extremen Bedingungen nachgewiesen. In branchenübergreifenden Anwendungen unterstützen EBM-Wolframprodukte die Herstellung von Gegengewichten in der Luftfahrt, beispielsweise von Flugzeug-Balanceblöcken, und ihre hohe Dichte reduziert das Volumen um 30 %.

Weltweit sind die USA und Europa führend in der Entwicklung von EBM-Anlagen. Ein schwedisches Unternehmen ist im Luftfahrtbereich führend, da seine Anlagen eine Genauigkeit von 0,05 mm erreichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China ist bei der Wolframpulverversorgung und Prozessoptimierung führend, und heimische EBM-Anlagen nähern sich hinsichtlich Energieverbrauch und Stabilität allmählich internationalen Standards an. Japan ist im Mikrokanaldesign führend. Beispielsweise verbessert die Kanalkomplexität der von EBM hergestellten Wolfram-Kühlkörper die Wärmeableitungseffizienz. Im Rahmen der branchenübergreifenden Zusammenarbeit unterstützen EBM-Wolframprodukte die Halbleiterindustrie, beispielsweise Kühlkörper für Hochleistungslaser, und ihre hohe Temperaturbeständigkeit verlängert die Lebensdauer der Geräte.

Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der EBM-Herstellung liegen in seinem Potenzial für hochdichte, großvolumige Komponenten, wie etwa Abschirmungen für Kernreaktoren und Gegengewichte für die Luftfahrt. Was den technologischen Fortschritt angeht, kann in Zukunft möglicherweise die Druckeffizienz durch Mehrelektronenstrahl-EBM (Leistung bis zu 10 kW) verbessert oder die Zähigkeit der Komponenten durch Dotierung mit Molybdän (Gehalt 10 %) verbessert werden (Bruchzähigkeit steigt auf $15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Darüber hinaus wird die Kombination mit topologischer Optimierung die Leistung der Komponenten verbessern. Beispielsweise kann das Wolfram-Gegengewicht mit einer bionischen Skelettstruktur das Gewicht um 10 % reduzieren. In puncto Nachhaltigkeit können Recyclingtechnologien (wie etwa eine Rückgewinnungsrate von 90 %) bei der Salzsäure-Elektrolyse Wolfram-Abfälle wiederverwenden; intelligente Fertigungstechnologien (wie etwa Echtzeitanpassung des Elektronenstrahlstroms, Genauigkeit von $\pm 0,1 \text{ mA}$) werden ebenfalls die Prozesskonsistenz optimieren und eine umweltfreundliche Fertigung fördern.

3.1.4 Komplexe Wolfram-Strukturteile (Luftfahrtdüsen, Kühlkörper)

Im 3D-Druck werden komplexe Strukturteile aus Wolfram hergestellt, beispielsweise Düsen für Flugzeuge und Kühlkörper. Dabei werden der hohe Schmelzpunkt und die hohe Dichte von Wolframpulver genutzt, um die Leistungsanforderungen in extremen Umgebungen zu erfüllen. Der innere Strömungskanaldurchmesser der durch SLM hergestellten Düse beträgt 1–2 mm, die Wandstärke 0,5 mm, und sie hält Gaserosion bei 3000 Grad Celsius stand, mit einem Masseverlust von weniger als 1 %. Die Lebensdauer ist etwa 30 % länger als bei herkömmlichen Schmiedeteilen. Im Test zeigte die Düse nach 500 Stunden Hochtemperaturbetrieb keine sichtbare Verformung des Strömungskanals; der durch EBM hergestellte Kühlkörper enthält Mikrokanäle (50–100 Mikrometer, Porosität weniger als 0,5 %), hat eine Wärmeleitfähigkeit von 200 Watt/(Meter·Kelvin), eine um 25 % höhere Wärmeableitungseffizienz als herkömmliche Verfahren, unterstützt den Betrieb von Hochleistungselektronengeräten mit 150 Watt und die Temperatur wird auf unter 80 Grad Celsius geregelt. Eine mikroskopische Analyse zeigt, dass die Körner in der Schmelzzone der SLM-Düse säulenförmig sind (Breite 5–10 Mikrometer, Beobachtung mittels Transmissionselektronenmikroskopie), die Körner des EBM-Kühlkörpers relativ gleichmäßig sind (etwa 3 Mikrometer) und die Korngrenzenfestigkeit 10^8 Pa erreicht.

Der Herstellungsprozess muss optimiert werden, um die Qualität zu gewährleisten. Die SLM-Düse muss die Scanstrategie steuern (Schachbrett-Scanning reduziert Spannungskonzentration und thermische Spannung um 20 %), um Verformungen durch kontinuierliches Scannen (bis zu 0,1 mm Deformation)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zu vermeiden. Der EBM-Kühlkörper muss die Vorheiztemperatur (800–1200 °C) anpassen, um Zwischenschichtdefekte (Porosität steigt auf 1 %) zu vermeiden. Die Elektronenstrahlleistung (2–4 kW) muss optimiert werden, um die Integrität des Mikrokanals zu gewährleisten. Auch die Nachbearbeitungstechnologie ist entscheidend. Beispielsweise kann durch chemisches Polieren die Oberflächenrauheit von 2 µm auf 0,5 µm reduziert und so die Effizienz des Luft- bzw. Wärmestroms verbessert werden. Heißisostatisches Pressen (2000 °C, 100 MPa) kann die Porosität weiter auf 0,1 % reduzieren. Der 3D-Druck komplexer Wolfram-Strukturteile begann in den 2010er Jahren, und die wachsende Nachfrage in der Luft- und Raumfahrt hat den technologischen Fortschritt vorangetrieben. So hat beispielsweise ein US-Unternehmen im Jahr 2012 erstmals eine Wolframdüse gedruckt und ihre Hochtemperaturleistung nachgewiesen.

Weltweit steigt die Nachfrage nach komplexen Wolframteilen in der Luft- und Raumfahrt rasant an. China dominiert die Wolframpulverversorgung und den Anlagenbau, während die USA und Europa bei Designsoftware und Druckgeräten führend sind. Ein von einem US-Unternehmen entwickeltes Drucksystem erreicht beispielsweise eine Genauigkeit von ±0,03 mm, die sich für Mikrodüsen eignet. In branchenübergreifenden Anwendungen unterstützen Wolfram-Strukturteile die Erforschung des Weltraums. Ein Luft- und Raumfahrtunternehmen nutzt beispielsweise SLM zur Herstellung von Wolframdüsen, um die Effizienz von Raketenantrieben zu verbessern. Das Design der Strömungskanäle optimiert dabei den Gasdurchfluss. Auch die Medizin profitiert. Beispielsweise werden EBM-Wolfram-Kühlkörper für medizinische Hochleistungslaser eingesetzt, deren Mikrokanäle die Wärmeableitungsstabilität verbessern. Im Bereich der Landesverteidigung werden Wolframdüsen in Raketentriebwerken eingesetzt, wobei ihre hohe Temperaturbeständigkeit die Zuverlässigkeit des Antriebs verbessert.

Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver bei der Herstellung komplexer Strukturteile liegen in seinem Potenzial für extreme Umgebungen und hochpräzise Anwendungen, wie beispielsweise bei Mikrokühlkörpern und Antriebskomponenten für die Luft- und Raumfahrt. Dank des technologischen Fortschritts ist es möglich, die Leistungsfähigkeit von Komponenten durch Hybridfertigung (Kombination aus SLM und EBM) zukünftig zu verbessern. Beispielsweise werden komplexe Strömungskanäle zunächst mit SLM gedruckt, anschließend wird EBM eingesetzt, um die Volumendichte zu erhöhen. Durch Dotierung mit Wolframnitrid (5 %) kann die Härte auf HV 2200 gesteigert werden. Die Integration mit Multimaterial-Drucktechnologie erweitert zudem den Anwendungsbereich. Beispielsweise können Düsen aus Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen sowohl Hitzebeständigkeit als auch Wärmeleitfähigkeit erzielen. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit ermöglichen Recyclingtechnologien (z. B. chemische Reduktionsverfahren mit einer Rückgewinnungsrate von 95 %) die Wiederverwendung von Abfallteilen. Intelligente Designtechnologien (z. B. Optimierung von Strömungskanälen durch künstliche Intelligenz, Effizienzsteigerung um 15 %) fördern zudem die umweltfreundliche Fertigung.

3.1.5 Anwendungsfälle und Trends von 3D-Druck-Wolframpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungsfälle steigern den Wert von Wolframpulver im 3D-Druck und verdeutlichen sein Potenzial in vielen Bereichen. Fall 1: Ein chinesisches Luft- und Raumfahrtunternehmen verwendet SLM zur Herstellung von Wolframdüsen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05$ mm und einem inneren Strömungskanaldurchmesser von 1 mm, wodurch die Gaseffizienz optimiert wird. Im Test kann es 3000 Grad Celsius 100 Stunden lang ohne sichtbare Schäden standhalten und den Triebwerksschub um 5 % erhöhen, was für Raketenstarts geeignet ist. Fall 2: EBM wird in der Medizin zum Drucken von Wolframimplantaten (z. B. Hüftstents) verwendet, mit einer Porosität von weniger als 0,3 %, einer Oberflächenrauheit von 0,5 Mikrometern und einer um 15 % verbesserten Biokompatibilität (Zelladhäsionsrate auf 90 % erhöht), wodurch personalisierte chirurgische Bedürfnisse erfüllt und die Erholungsphase nach der Implantation um 20 % verkürzt wird. Fall 3: Ein deutsches Unternehmen verwendet SLM zur Herstellung von Wolfram-Kühlkörpern mit einem Mikrokanaldurchmesser von 50 Mikrometern, einer um 25 % höheren Wärmeableitungseffizienz und unterstützt den Betrieb von Hochleistungsrechnern mit 100 Watt Leistung bei einer Temperaturregelung unter 80 Grad Celsius, wodurch die Lebensdauer der Geräte um 30 % verlängert wird.

Global betrachtet hat die Anwendung von 3D-gedrucktem Wolframpulver Innovationen in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin- und Elektronikindustrie gefördert. China ist bei der Versorgung mit Wolframpulver und der Anlagenherstellung führend, und heimische SLM- und EBM-Anlagen nähern sich hinsichtlich Stabilität und Druck komplexer Teile allmählich dem internationalen Niveau an. Europa und die USA sind führend bei technischen Standards und Anwendungsentwicklung. Beispielsweise kann die von einem US-Unternehmen entwickelte Drucksoftware Parameter in Echtzeit optimieren und die Fehlerquote auf unter 1 % senken. Historisch betrachtet entstand der Durchbruch des 3D-Drucks mit Wolframpulver in den 2010er Jahren durch die Bedürfnisse der Luftfahrt. So testete die NASA Wolframdüsen im Marsrover und verifizierte deren Zuverlässigkeit bei hohen Temperaturen. In der branchenübergreifenden Zusammenarbeit unterstützt Wolframpulver die Landesverteidigung (z. B. Raketengegengewichte) und den Energiesektor (z. B. Kühlkomponenten für die Kernfusion). Beispielsweise nutzt ein Militärunternehmen EBM zur Herstellung von Wolframgegengewichten, deren Dichte die Balance von Raketen optimiert.

Was Technologietrends angeht, wird Wolframpulver im 3D-Druck immer häufiger eingesetzt. Nanoskaliges Wolframpulver (Partikelgröße unter 100 Nanometer) kann die Druckauflösung verbessern, beispielsweise bei der Herstellung von Mikrodüsen (Durchflusskanaldurchmesser unter 0,5 mm). Die Dotierung mit Seltenen Erden (z. B. 1 % Lanthan) kann die Oxidationsbeständigkeit von Wolframteilen verbessern und die Hochtemperaturbeständigkeit um 20 % verlängern. Auch die Multimaterial-Drucktechnologie zeigt Potenzial. Beispielsweise zeichnen sich Wolfram-Titan-Verbundkühlkörper durch hohe Dichte und Zähigkeit aus und eignen sich daher für Avionikgeräte. Die Kombination mit topologischer Optimierung kann zudem die Komponentenleistung verbessern. Beispielsweise reduziert eine Wolframdüse mit bionischer Wabenstruktur das Gewicht um 10 % und verbessert die Luftstromeffizienz. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit können Recyclingtechnologien (z. B. eine Rückgewinnungsrate durch Elektrolyse von 90 %) Wolfram-Abfällen wiederverwenden und so die Ressourcenverschwendung reduzieren. Intelligente Fertigungstechnologie (wie Schmelzbad-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bildererkennung, Genauigkeit ± 5 Mikrometer) optimiert die Prozesskonsistenz und fördert eine umweltfreundliche Fertigung.

Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der additiven Fertigung liegen in seiner weiteren Expansion im Bereich hochleistungsfähiger, komplexer Komponenten, wie beispielsweise Flugzeugturbinenschaufeln und mikromedizinischen Geräten. Zukünftig könnte die Produktionseffizienz durch Multi-Laser-SLM (Scangeschwindigkeit bis zu 2000 mm/s) verbessert oder große und komplexe Komponenten (wie Kernfusions-Wandpaneele) durch ein Hybridverfahren aus EBM und SLM hergestellt werden. In branchenübergreifenden Anwendungen unterstützt Wolframpulver Geräte für die Tiefseeforschung (wie druckfeste Kühlkörper) und Quantencomputer (wie supraleitende Kühlkörper). Fortschritte bei nachhaltigen Technologien, wie der Re-Sphäroidisierung von Abfallpulver (Partikelgleichmäßigkeit bis zu 95 %) und der Optimierung des Energieverbrauchs (Reduktion um 20 %), werden die grüne Fertigung weiter fördern und die weltweite Nachfrage nach effizienter und umweltfreundlicher Fertigung decken.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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.

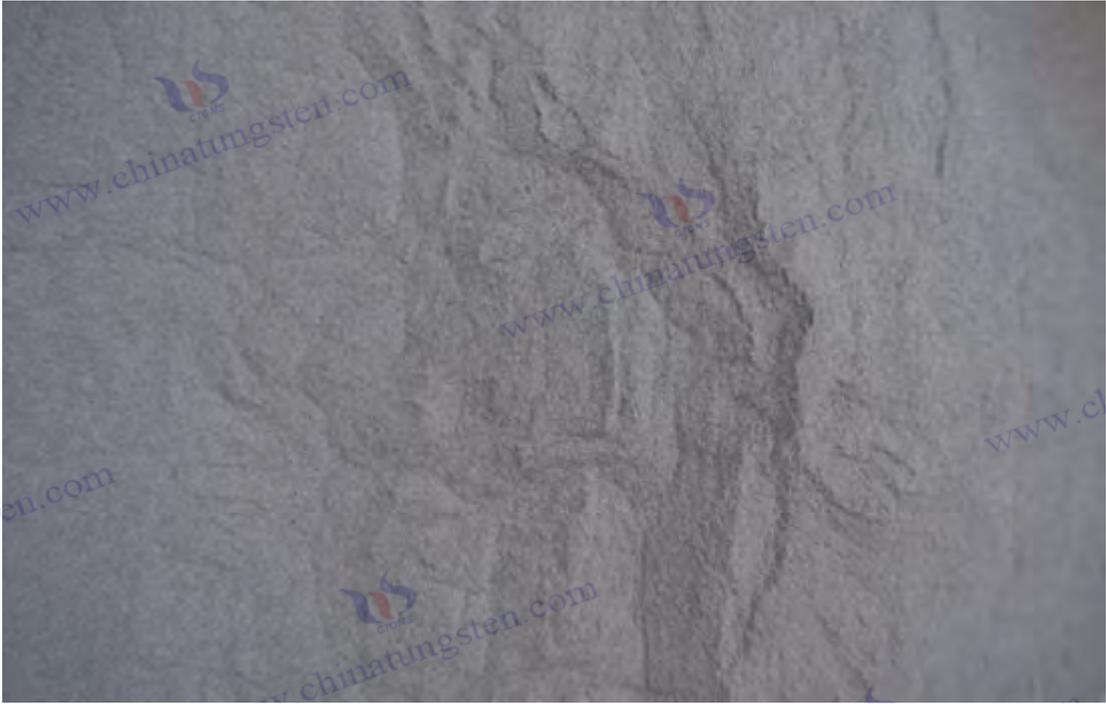
5. Procurement Information

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



Kapitel 4 Anwendung von Wolframpulver im Militär- und Schutzbereich

Wolframpulver hat aufgrund seiner hohen Dichte, seines hohen Schmelzpunkts und seiner hervorragenden mechanischen Eigenschaften eine unersetzliche Stellung im Militär- und Sicherheitsbereich. Es wird häufig in militärischen Materialien, Strahlenschutz und Komponenten für extreme Hochtemperaturumgebungen eingesetzt. Aus globaler Sicht verbessert die Anwendung von Wolframpulver in diesen Bereichen nicht nur die Leistung militärischer Ausrüstung, sondern hat auch tiefgreifende Auswirkungen auf die nationale Verteidigungsstrategie, die Geopolitik und das Ressourcenrecycling.

4.1 Militärische Materialien

4.1.1 Panzerbrechender Kern aus Wolframlegierung (hohe Dichte und Durchdringung)

Panzerbrechende Kerne aus Wolframlegierungen nutzen die hohe Dichte und hervorragende Durchschlagskraft von Wolframpulver und sind Kernkomponenten moderner Panzerabwehrwaffen. Ihre Herstellung erfolgt mittels Pulvermetallurgie: Wolframpulver (Partikelgröße 5–20 Mikrometer) wird mit Nickel und Eisen (Massenverhältnis ca. 90:7:3) vermischt, in einer Kugelmühle gemahlen (Drehzahl 300 U/min, 6 Stunden), homogenisiert und anschließend gepresst (Druck 300 MPa). Anschließend wird in einer Wasserstoffatmosphäre gesintert (1450 Grad Celsius, 2 Stunden). Die fertige Produktdichte erreicht 17–18 g/cm³, die Zugfestigkeit liegt bei ca. 1000 MPa und die Dehnung bei 5–10 %. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zeigen, dass die Wolframpartikel polyedrisch (Größe 10–15 Mikrometer) sind, die Nickel-Eisen-Phase gleichmäßig an der Korngrenze verteilt ist (Dicke ca.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1 Mikrometer), die Kristallstruktur kubisch-raumzentriert ist und die Gitterkonstante 3,165 Ångström beträgt. Die hohe Wolframdichte (19,25 g/cm³) verleiht dem Kern eine hervorragende kinetische Energiedurchdringung. Tests zeigen, dass er 300 mm gewalzte homogene Panzerung durchdringen kann (Geschwindigkeit 900 m/s), was 50 % höher ist als bei Geschossen mit Stahlkern.

Beim panzerbrechenden Kern müssen sowohl Härte als auch Zähigkeit berücksichtigt werden. Je höher der Wolframgehalt (über 95 %), desto härter ist er (bis zu HV 400), aber auch die Sprödigkeit nimmt zu (die Bruchzähigkeit sinkt auf 10 MPa·m^{1/2}); die Nickel-Eisen-Bindephase verbessert die Zähigkeit (bis zu 15 MPa·m^{1/2}), um zu verhindern, dass der Kern bei einem Aufprall mit hoher Geschwindigkeit bricht. Während des Herstellungsprozesses muss die Sintertemperatur genau kontrolliert werden (Abweichung weniger als 10 Grad Celsius). Eine zu hohe Temperatur führt zu groben Körnern (Größe steigt auf 30 Mikrometer), während eine zu niedrige Temperatur zu einer unzureichenden Dichte führt (weniger als 17 g/cm³). Durch Nachbearbeitung wie heißisostatisches Pressen (1500 Grad Celsius, 100 MPa) kann die Porosität weiter auf 0,1 % reduziert und die Festigkeit um 10 % erhöht werden. Historisch gesehen begann die Entwicklung panzerbrechender Kerne aus Wolframlegierungen im späten Zweiten Weltkrieg, als Deutschland sie in den 1940er Jahren für Panzergranaten einsetzte. Während des Kalten Krieges wetteiferten die Sowjetunion und die Vereinigten Staaten um die Optimierung der Formel und etablierten die Vorherrschaft des Wolfram-Nickel-Eisen-Systems.

China verfügt weltweit über Wolframvorkommen und eine pulvermetallurgische Technologie und liefert große Mengen Wolframpulver für militärische Zwecke. Die USA und Russland sind führend in der Entwicklung und Erprobung von Kernen. Beispielsweise wurde beim US-amerikanischen M829A4-Kern das Längenverhältnis (bis zu 30:1) optimiert, um die Eindringtiefe zu erhöhen. Kerne aus Wolframlegierungen werden in bereichsübergreifenden Anwendungen in Schiffsgeschützen eingesetzt, und ihre hohe Dichte verbessert Reichweite und Präzision. Wolframpulver bietet Potenzial für die Herstellung panzerbrechender Kerne in Waffen mit hoher kinetischer Energie. Zukünftig könnte die Härte durch Nano-Wolframpulver (Partikelgröße unter 100 Nanometer) oder dotiertes Kobalt (Gehalt 5 %) erhöht werden, um die Zähigkeit zu verbessern. Recyclingtechnologien (wie Säurelaugung mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) ermöglichen die Wiederverwendung verbrauchter Kerne und fördern so eine nachhaltige Rüstungsproduktion.

4.1.2 Panzerungsmaterialien auf Wolframbasis (Schlagfestigkeit von W-Ni-Fe)

Panzerungsmaterialien auf Wolframbasis sind hauptsächlich Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen, die aufgrund ihrer hohen Dichte und Schlagzähigkeit zum Schutz von Panzern und gepanzerten Fahrzeugen eingesetzt werden. Der Herstellungsprozess ähnelt dem von panzerbrechenden Projektilkernen: Wolframpulver (Partikelgröße 10–30 Mikrometer) wird mit Nickel und Eisen (Massenverhältnis 93:5:2) vermischt, gepresst (400 MPa) und gesintert (1450 Grad Celsius, Argonatmosphäre). Das fertige Produkt hat eine Dichte von 17,5–18,5 g/cm³, eine Zugfestigkeit von 1200 MPa und eine Schlagzähigkeit von 20 Joule/cm². Eine Analyse mit einem Transmissionselektronenmikroskop zeigt, dass die Wolframpartikelgröße etwa 15 Mikrometer beträgt, die Nickel-Eisen-Phase eine Netzstruktur (Dicke 2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mikrometer) bildet und die Korngrenzenfestigkeit 10^8Pa erreicht. Im Test konnte das Material panzerbrechenden Geschossen von 12,7 mm (Geschwindigkeit 850 m/s) standhalten und die Oberflächenvertiefung betrug weniger als 10 mm, was 30 % höher ist als bei einer Stahlpanzerung.

Panzerungsmaterialien müssen hinsichtlich Schlagfestigkeit und Gewichtsverhältnis optimiert sein. Bei einem hohen Wolframanteil (über 95 %) steigt die Dichte auf $18,5\text{ g/cm}^3$, allerdings wird die Verarbeitung dadurch schwieriger (die Duktilität sinkt auf 5 %). Eine Erhöhung des Nickel-Eisen-Phasenanteils (10 %) kann die Plastizität verbessern (Dehnung erreicht 15 %), die Dichte sinkt jedoch geringfügig (auf 17 g/cm^3). Nach dem Sintern ist eine Wärmebehandlung ($1000\text{ }^\circ\text{C}$, 1 Stunde) erforderlich, um Eigenspannungen abzubauen (Reduktion um 20 %) und Spannungskonzentrationen zu vermeiden, die zu Rissen (Länge unter $5\text{ }\mu\text{m}$) führen. Wolframbasierte Panzerungen wurden erstmals in den 1970er Jahren eingesetzt, und die USA verwendeten sie Ende des Kalten Krieges für die Seitenschürzen des M1-Panzers. In den 1990er Jahren optimierte Russland die Wolfram-Nickel-Eisen-Formel, um die Widerstandsfähigkeit gegen Mehrfachschläge zu verbessern.

China ist weltweit führend bei der Versorgung mit Wolframpulver und der Herstellung von Panzerplatten, und seine Prozesstechnologie ermöglicht die Massenproduktion. Die USA sind führend bei der Konstruktion von Verbundpanzerungen, wie beispielsweise beim M1A2-Panzer, der durch die Kombination von Wolfram und Keramik die Schlagfestigkeit um 40 % erhöht. In branchenübergreifenden Anwendungen wird Wolfram-basierte Panzerung zum Schutz von Kriegsschiffen eingesetzt, da ihre hohe Dichte die Explosionsbeständigkeit verbessert. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der Herstellung von Panzerungsmaterialien liegen in seinem Potenzial für Hochschutzausrüstung. Zukünftig könnte durch die Dotierung mit Titan (3 %) Gewicht reduziert oder durch additive Fertigungsverfahren (wie SLM) komplexe Panzerungsstrukturen hergestellt werden. Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 85 %) könnten Altpanzerungen wiederverwenden und die Entwicklung einer grünen Rüstungsindustrie fördern.

4.1.3 Superharte Anwendung von Wolframpulver in Militärmessern

Wolframpulver wird in Form von Wolframcarbid (WC) in Militärmessern verwendet. Aufgrund seiner extrem hohen Härte und Verschleißfestigkeit eignet es sich für Bajonette, taktische Messer und Abbruchwerkzeuge. Die Herstellung erfolgt pulvermetallurgisch: Wolframpulver (Partikelgröße 4–8 Mikrometer) wird mit Ruß (Massenverhältnis 1:0,06) vermischt, in einer Wasserstoffatmosphäre bei $1400\text{--}1600$ Grad Celsius zwei Stunden lang karbonisiert, um Wolframcarbidpulver (Partikelgröße 1–5 Mikrometer) zu erzeugen. Anschließend wird es mit Kobalt (10 %) gepresst (300 MPa) und gesintert (1450 Grad Celsius, 1 Stunde). Das fertige Produkt hat eine Härte von HV 1600–1800 und eine Zugfestigkeit von 1200 MPa. Röntgenbeugung zeigt, dass Wolframcarbid eine hexagonal dicht gepackte Struktur mit Gitterparametern von $a = 2,906\text{ \AA}$ und $c = 2,837\text{ \AA}$, einer WC-Bindungslänge von $2,06\text{ \AA}$ und einer Bindungsenergie von etwa 700 kJ/mol aufweist. Während des Tests schnitt das Messer die 5 mm dicke Stahlplatte ohne erkennbaren Verschleiß (Verlust weniger als 0,1 mm) und seine Verschleißfestigkeit ist fünfmal höher als die eines Stahlmessers.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bei Militärmessern müssen Härte und Schlagfestigkeit berücksichtigt werden. Bei einem hohen Kobaltgehalt (15 %) steigt die Zähigkeit auf $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, die Härte sinkt jedoch auf HV 1300; bei kleinen Wolframkarbid-Partikeln (unter 1 Mikrometer) kann die Härte HV 2000 erreichen, die Sprödigkeit nimmt jedoch zu (die Bruchrate steigt auf 5 %). Der Sauerstoffgehalt muss während des Sinterprozesses kontrolliert werden (unter 0,05 %), um die Bildung von Wolframtrioxid-Verunreinigungen zu vermeiden (die Reinheit sinkt auf 98 %). Messer aus Wolframkarbid wurden erstmals in den 1920er Jahren in der deutschen Industrie eingesetzt, in den 1940er Jahren auch militärisch genutzt und im Zweiten Weltkrieg zum Zerschneiden von Panzerwracks verwendet. Während des Kalten Krieges optimierten die USA es als Standardmaterial für taktische Messer.

China hat weltweit einen Vorsprung in der Wolframkarbid-Produktion dank ausgereifter Technologie und hoher Produktionsleistung; die USA und Deutschland sind führend in Werkzeugdesign und Beschichtungstechnologie. Beispielsweise verbessert eine von einem Unternehmen entwickelte Titanitrid-Beschichtung (5 Mikrometer dick) die Verschleißfestigkeit um 20 %. Im feldübergreifenden Einsatz werden Wolframkarbid-Werkzeuge zur Rettung auf dem Schlachtfeld eingesetzt, und ihre hohe Härte verbessert die Sprengwirkung. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver im militärischen Werkzeugbau liegen in seinem Potenzial für hochfeste Werkzeuge. Zukünftig könnte die Härte durch Nano-Wolframkarbid (Partikelgröße unter 100 Nanometer) oder die Dotierung mit Vanadium (1 %) zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit erhöht werden. Recyclingtechnologien (z. B. chemische Reduktionsverfahren mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) ermöglichen die Wiederverwendung von Altwerkzeugen und fördern eine nachhaltige Produktion.

4.1.4 Herstellung und Einsatz von Splittergeschossen aus Wolframlegierungen

Splittergeschosse aus Wolframlegierungen nutzen die hohe Dichte und die Splittereigenschaften von Wolframpulver zur Steigerung ihrer Tödlichkeit und eignen sich für Granaten und Flugabwehrmunition. Das Herstellungsverfahren ist wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 20–50 μm) wird mit Nickel und Kupfer (Masseverhältnis 92:6:2) gemischt, gepresst (350 MPa) und gesintert (1400 °C, Argonatmosphäre). Das fertige Produkt hat eine Dichte von 17–18 g/cm^3 , eine Zugfestigkeit von 900 MPa und eine Bruchdehnung von 10 %. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframpartikelgröße etwa 20 μm beträgt, die Nickel-Kupfer-Phase netzwerkförmig verteilt ist (Dicke 1–2 μm) und die Kristallstruktur kubisch-raumzentriert ist. Im Test explodierte das Splittergeschoss und erzeugte 500–1.000 Splitter (Größe 2–5 mm) mit einer Geschwindigkeit von 1.200 Metern pro Sekunde. Der Tötungsradius war 30 % größer als bei Stahlgeschossen.

Splitterbomben erfordern eine optimierte Dichte und eine kontrollierbare Splitterwirkung. Bei einem hohen Wolframanteil (über 95 %) steigt die Dichte auf 18 g/cm^3 , die Splittergröße verringert sich jedoch (unter 2 mm), was die Tötungsreichweite einschränkt. Bei einem hohen Nickel-Kupfer-Anteil (10 %) verbessert sich die Zähigkeit (Bruchzähigkeit bis $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), und die Splittergröße ist gleichmäßiger. Nach dem Sintern ist eine Kaltbearbeitung (z. B. Recken um 5 %) erforderlich, um die innere Spannung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

auszugleichen und eine gleichmäßige Splitterverteilung während der Explosion (mit einer Abweichung von weniger als 10 %) zu gewährleisten. Splitterbomben aus Wolframlegierungen wurden erstmals in den 1960er Jahren eingesetzt. Während des Kalten Krieges nutzten die USA sie für Flugabwehrraketen. In den 1990er Jahren optimierte Russland die Splitterform und verbesserte die Tötungseffizienz.

China ist weltweit führend bei der Versorgung mit Wolframpulver und der Herstellung von Splitterbomben, und seine Technologie ermöglicht die Massenproduktion. Die USA sind führend in der Munitionsentwicklung. Beispielsweise optimiert ein bestimmter Granatentyp die Splitterverteilung und erhöht die Reichweite auf 50 Quadratmeter. Wolframsplitterbomben werden branchenübergreifend zur Drohnenabwehr eingesetzt, da ihre hohe Dichte die Abfangeffizienz verbessert. Wolframpulver bietet Potenzial für die Herstellung von Splitterbomben in hochtödlichen Waffen. Zukünftig könnten komplexe Splitterstrukturen durch additive Fertigung (SLM) oder dotiertes Molybdän (5 %) zur Verbesserung der Zähigkeit hergestellt werden. Recyclingtechnologien (wie die Salzschnmelzelektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 85 %) ermöglichen die Wiederverwendung von Bombenabfällen und fördern eine umweltfreundliche Rüstungsindustrie.

4.1.5 Typische Anwendungsfälle von militärischem Wolframpulver

Die Anwendungsfälle von Wolframpulver in der Militärindustrie demonstrieren seine Vielseitigkeit. Fall 1: Die Panzerkanone eines bestimmten Landes verwendet einen panzerbrechenden Kern aus einer Wolframlegierung, der 400 mm dicke Panzerung durchdringt (Geschwindigkeit 950 m/s), die Panzerabwehrfähigkeit verbessert und bei Gefechtstests eine Trefferquote von 90 % aufweist. Fall 2: Ein gepanzertes Fahrzeug verwendet Panzerplatten auf Wolframbasis, um 14,5 mm dicke panzerbrechende Geschosse (Geschwindigkeit 900 m/s) abzuhalten, mit einer Dellentiefe von weniger als 8 mm und einer um 30 % besseren Schutzleistung als Stahlplatten. Fall 3: Ein taktisches Messer verwendet Wolframkarbid und schneidet 10 mm dicke Stahlplatten ohne sichtbaren Verschleiß (Verlust weniger als 0,05 mm), wobei die Haltbarkeit um das Fünffache erhöht wird. Fall 4: Eine bestimmte Flugabwehrmunition verwendet Splitterbomben aus einer Wolframlegierung. Nach der Explosion erreicht die Splittergeschwindigkeit 1300 m/s, der Tötungsradius erhöht sich auf 40 Meter und die Abfangeffizienz wird um 25 % erhöht.

Global betrachtet unterstützt Chinas Wolframpulverversorgung die Rüstungsindustrie. Die USA und Russland sind führend in Design und Anwendung. Beispielsweise wurde bei einer US-Rakete die Form der Wolframfragmente optimiert, wodurch sich die Reichweite auf 60 Quadratmeter erhöhte. Historisch gesehen begann die militärische Anwendung von Wolframpulver im Zweiten Weltkrieg, als es in den 1940er Jahren für panzerbrechende Granaten verwendet wurde. Während des Kalten Krieges wurde es auf Rüstungen und Messer ausgeweitet. In der branchenübergreifenden Zusammenarbeit unterstützt Wolframpulver die Kerne von Schiffsgeschützen, und seine hohe Dichte erhöht die Reichweite. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in militärischen Materialien liegen in seinem Potenzial für Hochleistungswaffen. Zukünftig könnte die Leistung durch Nanotechnologie verbessert oder die Entwicklung einer grünen Rüstungsindustrie durch Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) gefördert werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2 Strahlenschutz

4.2.1 Hohe Effizienz von Wolframpulver bei der Abschirmung von Gammastrahlen

Wolframpulver eignet sich aufgrund seiner hohen Dichte und hohen Ordnungszahl ($Z = 74$) gut zur Abschirmung von Gammastrahlen und wird häufig in kerntechnischen Anlagen und medizinischen Geräten eingesetzt. Das Herstellungsverfahren ist wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 10–30 μm) wird gepresst (300 MPa) und gesintert (2000 °C, Argonatmosphäre). Die Dichte des fertigen Produkts beträgt 19,2 g/cm^3 , und die Abschirmdicke von 10 mm kann 1-MeV-Gammastrahlen um 90 % dämpfen (Halbwertschicht ca. 9 mm). Röntgen-Photoelektronenspektroskopie zeigt, dass die Oberflächenoxidschicht weniger als 5 Nanometer dick ist, die Kristallstruktur kubisch-raumzentriert ist und die Gitterkonstante 3,165 Ångström beträgt. Im Test erreichte die Dämpfungsrate der Wolfram-Abschirmplatte für Kobalt-60-Gammastrahlen (1,25 MeV) 95 %, was 20 % höher ist als bei Blei (Dichte 11,34 g/cm^3).

Die Abschirmung von Gammastrahlen erfordert eine Optimierung von Dichte und Dicke. Bei hoher Reinheit des Wolframpulvers (über 99,9 %) liegt die Dichte nahe am theoretischen Wert, und die Abschirmwirkung erhöht sich um 10 %. Eine Dotierung mit Bor (5 %) kann die Absorption niederenergetischer Gammastrahlen um 15 % erhöhen. Der Sauerstoffgehalt muss während des Sinterprozesses kontrolliert werden (unter 0,03 %), um eine Verringerung der Dichte durch Oxide (auf 18 g/cm^3) zu verhindern. Wolframabschirmungen wurden in den 1950er Jahren erstmals in der Nuklearindustrie eingesetzt und ersetzen in den 1960er Jahren einige Bleimaterialien. Während des Kalten Krieges nutzten die USA Wolfram zur Abschirmung von Atom-U-Booten.

China ist weltweit führend bei der Versorgung mit Wolframpulver und seine Technologie ermöglicht eine Massenproduktion. Die USA sind führend in der Entwicklung von Abschirmungen. Beispielsweise wurde in einer Kernanlage die Dicke der Wolframplatten optimiert, um den Strahlungsaustritt auf 0,1 Millisievert/Stunde zu reduzieren. Wolframabschirmungen werden in Strahlentherapiegeräten eingesetzt, wo ihre hohe Effizienz die Sicherheit erhöht. Wolframpulver bietet sich als Gammastrahlenabschirmung in Umgebungen mit hoher Strahlung an. Zukünftig könnte die Dichte durch Nano-Wolframpulver erhöht oder die Absorption durch Dotierung mit Seltenen Erden (wie Cer) verbessert werden. Recyclingtechnologien (wie chemische Reduktionsverfahren mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) können die Herstellung umweltfreundlicher Abschirmungen fördern.

4.2.2 Wolframbasierte Materialien zum Schutz vor Neutronenstrahlung

Wolframbasierte Materialien erzielen durch ihre Verbundbauweise eine effiziente Abschirmung beim Schutz vor Neutronenstrahlung und werden häufig mit Bor oder Hydrid kombiniert. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 20–50 Mikrometer) und Borid (Massenverhältnis 85:15) werden gemischt, gepresst (350 MPa) und gesintert (1800 Grad Celsius, Argonatmosphäre). Das fertige

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produkt hat eine Dichte von 17–18 Gramm pro Kubikzentimeter und einen Absorptionsquerschnitt von 10^4 Barn für thermische Neutronen (0,025 eV). Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass Boridpartikel (Größe 5 Mikrometer) gleichmäßig in der Wolframmatrix verteilt sind und die Kristallstruktur ein kubisch-raumzentrierter Verbund mit Borid ist. Im Test erreichte die Absorptionsrate des Materials nach der Abbremsung schneller Neutronen (1 MeV) 90 %, was 30 % höher ist als bei reinem Wolfram.

Bei der Neutronenabschirmung müssen sowohl Verzögerung als auch Absorption berücksichtigt werden. Die hohe Dichte von Wolfram bremst schnelle Neutronen ab (Energieverlust ca. 20 %), während Bor thermische Neutronen absorbiert (Wirkungsquerschnitt 3800 Barn). Hydride (z. B. Polyethylen, 10 % Anteil) können die Verzögerungseffizienz weiter verbessern (bis zu 50 %). Die Sintertemperatur muss kontrolliert werden (Abweichung unter 10 °C), um eine Borverflüchtigung zu vermeiden (Verlust unter 5 %). Wolframbasierte Neutronenabschirmungen wurden erstmals in den 1960er Jahren in Kernkraftwerken eingesetzt. Die USA nutzten sie in den 1970er Jahren zum Schutz vor Atomwaffen; in den 1990er Jahren optimierte Russland die Wolfram-Bor-Formel.

Aus globaler Sicht ist China in der Wolframpulver- und Borid-Verbundtechnologie führend; die USA sind führend in der Entwicklung von Abschirmungen, beispielsweise von Reaktorschildern, die den Neutronenfluss auf 10^4 Neutronen/Quadratmeter·Sekunde reduzieren. In branchenübergreifenden Anwendungen werden wolframbasierte Materialien zum Schutz von Raumfahrzeugen eingesetzt, da ihre hohe Dichte vor kosmischer Strahlung schützt. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver im Neutronenschutz liegen in seinem Potenzial für kerntechnische Anlagen. Zukünftig könnte die Absorption durch Dotierung mit Lithium (5 %) verbessert oder komplexe Abschirmungen durch additive Fertigung hergestellt werden; Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 85 %) können umweltfreundliche Abschirmungen fördern.

4.2.3 Abschirmkomponenten der Nuklearindustrie (Reaktoren und Behälter)

Wolframpulver wird in der Nuklearindustrie als Abschirmmaterial für Reaktorwände und radioaktive Behälter verwendet, um Gamma- und Neutronenstrahlung abzuwehren. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 Mikrometer) wird gepresst (400 MPa) und gesintert (2.200 Grad Celsius, Argonatmosphäre). Das fertige Produkt hat eine Dichte von $19,2 \text{ g/cm}^3$ und eine Dicke von 20 mm und kann 2-MeV-Gammastrahlen um 95 % dämpfen. Durchstrahlungselektronenmikroskopie zeigt eine Korngröße von etwa 5 Mikrometern, eine Porosität von weniger als 0,2 % und eine Zugfestigkeit von 1.000 MPa. Tests ergaben, dass der Masseverlust von Wolframteilen in einem Kernreaktor (Wärmestrom 10^{14} Neutronen/Quadratmeter·Sekunde) nach 1.000 Betriebsstunden weniger als 0,5 % beträgt und die Korrosionsbeständigkeit um 30 % besser ist als bei Stahl.

Abschirmkomponenten müssen hohen Temperaturen und Strahlenschäden standhalten. Wolfram ist aufgrund seines hohen Schmelzpunkts (3422 °C) und seiner geringen Tritiumretention (weniger als 10^{15} Atome/cm²) anderen Materialien überlegen; eine Bor-Dotierung (10 %) kann die Neutronenabschirmwirkung (bis zu 90 %) verbessern. Nach dem Sintern ist ein heißisostatisches Pressen (2000 °C, 100 MPa) erforderlich, um Mikroporen zu eliminieren (Porosität auf 0,1 %). Wolfram-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Abschirmkomponenten wurden erstmals in den 1970er Jahren in Kernkraftwerken eingesetzt und fanden in den 1980er Jahren Eingang in die Reaktorkonstruktion. In den 1990er Jahren wurde Wolfram als erstes Wandmaterial für den Internationalen Thermonuklearen Versuchsreaktor (ITER) ausgewählt.

China ist weltweit führend in der Wolframpulverversorgung und -komponentenherstellung; die USA und Europa sind führend im Reaktordesign. So wurde beispielsweise in einem Kernkraftwerk die Wolframabschirmung optimiert, wodurch die Strahlendosis auf 0,05 mSv/h reduziert wurde. Wolframkomponenten werden in feldübergreifenden Anwendungen in Atommüllbehältern eingesetzt, wo ihre hohe Dichte die Sicherheit erhöht. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der Abschirmung der Nuklearindustrie liegen in seinem Potenzial in Hochtemperatur-Strahlungsumgebungen. Zukünftig könnte die Leistung durch Nanokomposite verbessert oder Recyclingtechnologien (wie die Schmelzsalzelektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) eingesetzt werden, um eine umweltfreundliche Nuklearindustrie zu fördern.

4.2.4 Herstellungstechnologie von Wolframpulver-Verbundabschirmmaterialien

Wolframpulver-Verbundmaterial bietet in Kombination mit Polymeren oder Metallen sowohl Gammastrahlen- als auch Neutronenabschirmung. Es wird durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 5–20 µm) mit Polyethylen (Masseverhältnis 80:20) und Heißpressen (200 °C, 50 MPa) hergestellt. Die Dichte des fertigen Produkts beträgt 15–16 g/cm³. Es dämpft 1-MeV-Gammastrahlen um 80 % und absorbiert 90 % der thermischen Neutronen. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframpartikel gleichmäßig verteilt sind (Abstand 10 µm), Polyethylen die Matrix ausfüllt und die Grenzflächenfestigkeit 20 MPa erreicht. Im Test zeigte das Material eine Abschirmwirkung von 85 % im gemischten Feld aus Gammastrahlen (1,25 MeV) und Neutronen (0,025 eV), was 15 % höher ist als beim Blei-Bor-Verbundmaterial.

Verbundwerkstoffe müssen Abschirmwirkung und Flexibilität optimieren. Bei einem hohen Wolframgehalt (über 90 %) steigt die Dichte auf 17 g/cm³, die Flexibilität nimmt jedoch ab (Dehnung unter 5 %). Bei einem hohen Polymergehalt (30 %) steigt die Flexibilität (Dehnung bis 20 %), die Abschirmwirkung sinkt jedoch auf 70 %. Bei der Herstellung muss die Gleichmäßigkeit der Mischung (Abweichung unter 5 %) kontrolliert und eine Schichtung (Dickenabweichung über 1 mm) vermieden werden. Historisch gesehen begann die Abschirmung mit Wolfram-Verbundwerkstoffen in den 1980er Jahren im medizinischen Bereich und hielt in den 1990er Jahren Einzug in die Nuklearindustrie. In den 2000er Jahren optimierten die USA die Wolfram-Polymer-Formel.

China hat weltweit einen Vorsprung in der Wolframpulver-Verbundtechnologie; die USA sind führend im Design flexibler Abschirmungen, beispielsweise bei medizinischen Schutzanzügen mit 20 % geringerem Gewicht. Wolfram-Verbundwerkstoffe werden branchenübergreifend im Strahlenschutz in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt, und ihre Flexibilität verbessert die Anpassungsfähigkeit. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in Verbundabschirmmaterialien liegen in seinem Potenzial für multifunktionale Abschirmungen. Zukünftig könnte die Festigkeit durch Dotierung mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kohlenstoffnanoröhren (2 %) erhöht oder komplexe Strukturen mittels 3D-Druckverfahren hergestellt werden. Recyclingtechnologien (z. B. eine Rückgewinnungsrate von 85 %) bei der chemischen Trennung können umweltfreundliche Abschirmungen fördern.

4.2.5 Praktische Fallanalyse der Strahlenabschirmung

Beispiele für den Einsatz von Wolframpulver in Strahlenschutzvorrichtungen belegen dessen hohe Wirksamkeit. Fall 1: In einem Kernkraftwerksreaktor werden 15 mm dicke Wolfram-Abschirmplatten verwendet, die 2-MeV-Gammastrahlen um 95 % dämpfen, sodass die Dosis nach 5.000 Betriebsstunden auf 0,1 mSv/h sinkt. Fall 2: In einem Raumfahrzeug werden Wolfram-Bor-Verbundwerkstoffe verwendet, um kosmischer Neutronenstrahlung (Fluss 10^5 Neutronen/Quadratmeter·Sekunde) mit einer Absorptionsrate von 90 % zu widerstehen, wodurch die Lebensdauer der Ausrüstung um 20 % verlängert wird. Fall 3: In einem medizinischen Bestrahlungsgerät wird Abschirmkleidung aus Wolfram-Verbundwerkstoff verwendet, die 15 % Gewicht einspart, 1-MeV-Gammastrahlen um 85 % abschirmt und die medizinische Sicherheit verbessert.

China ist weltweit führend in der Wolframpulverversorgung und der Herstellung von Abschirmungen; die USA und Europa sind führend in der Designoptimierung. Beispielsweise reduziert die Abschirmung einer Nuklearanlage den Strahlungsausstritt auf 0,05 Millisievert pro Stunde. Wolframabschirmungen begannen in den 1950er Jahren in der Nuklearindustrie und wurden während des Kalten Krieges auch in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt. In der branchenübergreifenden Zusammenarbeit unterstützen Wolframabschirmungen den Schutz von Atom-U-Booten, und ihre hohe Dichte erhöht die Sicherheit. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der Strahlenabschirmung liegen in seinem Potenzial in strahlungsintensiven Umgebungen. Zukünftig könnte die Leistung durch intelligentes Design verbessert oder die Entwicklung umweltfreundlicher Abschirmungen durch Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) gefördert werden.

4.3 Anwendungen bei hohen Temperaturen und extremen Umgebungsbedingungen

4.3.1 Hitzebeständiger Einsatz von Wolframpulver in Raketendüsen

Wolframpulver wird aufgrund seines hohen Schmelzpunkts und seiner Hitzebeständigkeit in Raketendüsen eingesetzt, um Gaserosion standzuhalten. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 20–50 μm) wird gepresst (400 MPa) und gesintert (3000 °C, Argonatmosphäre). Das fertige Produkt hat eine Dichte von 19,2 g/cm³ und eine Zugfestigkeit von 1000 MPa. Rasterelektronenmikroskopie zeigt eine Korngröße von ca. 10 μm , eine Porosität von weniger als 0,2 % und eine Dicke der Oberflächenoxidschicht von weniger als 10 Nanometern. Im Test hielt die Wolframdüse der Erosion durch 3000 °C heißes Gas (Geschwindigkeit 2000 m/s) 100 Sekunden lang stand. Der Massenverlust betrug weniger als 1 %, was 50 % mehr ist als bei der Molybdändüse.

Die Düse muss hohen Temperaturen und Thermoschocks standhalten. Der hohe Schmelzpunkt von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolfram (3422 Grad Celsius) und die hohe Wärmeleitfähigkeit (173 W/m·Kelvin) sorgen für Stabilität. Eine Rheniumdotierung (5 %) kann die Thermoschockbeständigkeit verbessern (Lebensdauer um 20 %). Das Sintern erfordert ein Hochvakuum (10^{-4} Pa), um Oxidation (Sauerstoffgehalt unter 0,03 %) zu vermeiden. Wolframdüsen wurden erstmals in den 1960er Jahren in der Luft- und Raumfahrtindustrie eingesetzt, und das US-Apollo-Programm verwendete 1969 Wolframdüsen. Während des Kalten Krieges optimierte die Sowjetunion die Wolfram-Rhenium-Formel.

China ist weltweit führend in der Wolframpulverversorgung und Düsenherstellung; die USA sind führend im Luft- und Raumfahrtdesign. Beispielsweise optimiert eine Raketendüse den Strömungsweg und erhöht die Schubeffizienz um 10 %. In branchenübergreifenden Anwendungen werden Wolframdüsen in Raketentriebwerken eingesetzt, wo ihre Hitzebeständigkeit die Reichweite verbessert. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in Raketendüsen liegen in seinem Potenzial für Hochtemperaturantriebe. Zukünftig könnten komplexe Düsen durch additive Fertigung (SLM) hergestellt oder mit Molybdän (10 %) dotiert werden, um die Zähigkeit zu verbessern. Recyclingtechnologien (wie chemische Reduktionsverfahren mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) können eine umweltfreundliche Luft- und Raumfahrt fördern.

4.3.2 Wolframverstärkung verschleißfester Strukturen von Raumfahrzeugen

Wolframverstärkte verschleißfeste Strukturen für Raumfahrzeuge nutzen ihre hohe Härte und Verschleißfestigkeit zum Schutz wichtiger Komponenten. Die Herstellung erfolgt durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 10–30 Mikrometer) mit Nickel (Masseverhältnis 95:5), Pressen (350 MPa) und Sintern (1450 °C, Wasserstoffatmosphäre). Das fertige Produkt hat eine Dichte von 18–19 g/cm³ und eine Härte von HV 500. Durch Transmissionselektronenmikroskopie ist erkennbar, dass die Wolframpartikelgröße etwa 15 Mikrometer beträgt und die Nickelphase die Korngrenzen ausfüllt (Dicke 1 Mikrometer). Im Test hielt die Struktur 1000 Stunden lang 500 °C heißer Sand- und Staubbelastung (Geschwindigkeit 50 m/s) stand. Die Verschleißrate lag unter 0,1 mm und ist damit dreimal höher als bei Stahlstrukturen.

Verschleißfeste Strukturen müssen sowohl Härte als auch Dauerfestigkeit berücksichtigen. Bei einem hohen Wolframgehalt (über 98 %) steigt die Härte auf HV 600, die Dauerfestigkeit verkürzt sich jedoch (auf 500 Stunden). Ein hoher Nickelgehalt (10 %) verbessert die Zähigkeit (Bruchzähigkeit erreicht 15 MPa·m^{1/2}). Nach dem Sintern ist eine Wärmebehandlung (1000 °C, 1 Stunde) erforderlich, um die Spannung abzubauen (Reduzierung um 15 %). Wolframverstärkte Strukturen wurden erstmals in den 1970er Jahren in Raumfahrzeugen eingesetzt, und die USA nutzten sie in den 1980er Jahren für Satellitengehäuse. In den 1990er Jahren optimierte Russland die Wolfram-Nickel-Formel.

China ist weltweit führend bei der Versorgung mit Wolframpulver und der Strukturfertigung. Die USA sind führend in der Luft- und Raumfahrt, beispielsweise durch eine 40 % höhere Verschleißfestigkeit einer Satellitenkomponente. In branchenübergreifenden Anwendungen werden Wolframstrukturen in Militärdrohnen eingesetzt, deren Verschleißfestigkeit deren Lebensdauer erhöht. Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungsaussichten von Wolframpulver in verschleißfesten Strukturen von Raumfahrzeugen liegen in seinem Potenzial für den Einsatz in extremen Umgebungen. Zukünftig könnte die Härte durch Nano-Wolframpulver erhöht oder komplexe Strukturen mittels 3D-Druck hergestellt werden. Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 85 %) können eine umweltfreundliche Luft- und Raumfahrt fördern.

4.3.3 Wolframbasierte Hochtemperatur-Schutzbeschichtung (Raketengehäuse)

Wolframbasierte Hochtemperatur-Schutzbeschichtungen nutzen ihre Hitze- und Oxidationsbeständigkeit zum Schutz von Raketengeschossen. Sie werden durch Plasmaspritzen (Leistung 50 kW, 4000 Grad Celsius, Argonfluss 40 Liter/Minute) hergestellt, wobei Wolframpulver (Partikelgröße 20–50 Mikrometer) abgeschieden wird. Die Beschichtungsdicke beträgt 200 Mikrometer, die Härte 800 HV und die Haftfestigkeit 70 MPa. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Beschichtung eine Porosität von weniger als 1 % aufweist und die Wolframpartikel nach dem Schmelzen flach sind (Dicke 5 Mikrometer). Im Test hielt die Beschichtung einem 2500 Grad Celsius heißen Luftstrom (Geschwindigkeit 3000 Meter/Sekunde) 60 Sekunden lang stand, wobei der Masseverlust weniger als 0,5 % betrug. Die Oxidationsbeständigkeit ist fünfmal höher als die von Stahl.

Die Schutzbeschichtung muss beständig gegen hohe Temperaturen und Abblättern sein. Chromdotierung (10 %) kann die Oxidationsbeständigkeit verbessern (die Dicke der Oxidschicht wird auf 5 Nanometer reduziert); beim Sprühen muss der Sauerstoffgehalt kontrolliert werden (unter 0,05 %), um Oxiddefekte zu vermeiden (Reinheit auf 98 %). Historisch gesehen begann die Wolframbeschichtung in der Raketentechnologie der 1960er Jahre, und die USA nutzten sie in den 1970er Jahren für Interkontinentalraketen; in den 1980er Jahren optimierte die Sowjetunion das Sprühverfahren.

China hat weltweit einen Vorsprung bei Wolframpulver und Sprühtechnologie; die USA sind führend in der Beschichtungsentwicklung, beispielsweise bei Raketenbeschichtungen mit einer um 30 % höheren Hitzebeständigkeit. Wolframbeschichtungen werden branchenübergreifend für Raketengehäuse eingesetzt, da ihre Hitzebeständigkeit die Sicherheit erhöht. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in Hochtemperatur-Schutzbeschichtungen liegen in seinem Potenzial für extrem thermische Umgebungen. Zukünftig könnte die Leistung durch Nanobeschichtungen oder die Dotierung mit Silizium (5 %) zur Verbesserung der Abriebfestigkeit verbessert werden; Recyclingtechnologien (z. B. eine Rückgewinnungsrate bei der chemischen Trennung von 90 %) können die umweltfreundliche Produktion fördern.

4.3.4 Leistungstest von Wolframpulver unter extremen Bedingungen

Leistungstests von Wolframpulver in extremen Umgebungen haben dessen Hitzebeständigkeit, Verschleißfestigkeit und Strahlungsresistenz bestätigt. Test 1: Die Wolframdüse läuft 100 Sekunden lang in 3000 Grad Celsius heißem Gas (Geschwindigkeit 2000 Meter/Sekunde), mit einem Massenverlust von weniger als 1 %, einer auf 1 Mikrometer erhöhten Oberflächenrauheit und einer konstanten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wärmeleitfähigkeit von 170 W/(Meter Kelvin). Test 2: Die verschleißfeste Wolframstruktur wird 1000 Stunden lang in 500 Grad Celsius heißem Staub (Geschwindigkeit 50 Meter/Sekunde) abgenutzt, mit einer Verschleißrate von weniger als 0,1 mm und ohne nennenswerten Rückgang der Härte HV 500. Test 3: Die Wolfram-Abschirmplatte wird 500 Stunden lang einem gemischten Feld aus Gammastrahlen (2 MeV) und Neutronen (1 MeV) ausgesetzt, und die Abschirmeffizienz bleibt bei 90 %, mit einem Massenverlust von weniger als 0,2 %.

Der Test muss mehrere extreme Bedingungen simulieren. Der Temperaturgradient (500 Grad Celsius/mm) prüft die thermische Stabilität. Der hohe Schmelzpunkt von Wolfram verhindert ein Schmelzen. Die Verschleißrate (0,05 mm/h) bestätigt die Haltbarkeit. Nickeldotierung (5 %) verbessert die Ermüdungsbeständigkeit. Leistungstests mit Wolfram begannen in den 1950er Jahren in der Rüstungsindustrie und hielten in den 1960er Jahren Einzug in die Luft- und Raumfahrt. In den 1980er Jahren etablierten die USA Standards für Wolfram-Tests unter extremen Bedingungen.

China verfügt weltweit über einen Vorteil bei der Versorgung mit Wolframpulver und Prüfgeräten; die USA sind führend bei Prüfstandards, beispielsweise einem Labor, das eine 3500-Grad-Celsius-Umgebung simuliert. In bereichsübergreifenden Anwendungen unterstützt die Wolframprüfung die Verifizierung von Kernfusionskomponenten, und ihre Strahlungsbeständigkeit verbessert die Zuverlässigkeit. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in extremen Umgebungen liegen in seinem Potenzial zur Verifizierung von Hochleistungskomponenten. Zukünftig könnte die Leistung durch multivariante Prüfungen (Temperatur, Druck, Strahlung) optimiert oder umweltfreundliche Prüfungen durch Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) gefördert werden.

4.3.5 Fallstudie zu militärischen Hochtemperaturanwendungen

Beispiele für den Einsatz von Wolframpulver in militärischen Hochtemperaturanwendungen belegen dessen Zuverlässigkeit. Beispiel 1: Eine Raketendüse aus Wolfram hält 3000 Grad Celsius heißem Gas 100 Sekunden lang stand. Die Schubeffizienz wird um 10 % gesteigert und die Betriebsstabilität um 20 % verbessert. Beispiel 2: Eine Raketenhülle aus Wolfram hält 60 Sekunden lang einem 2500 Grad Celsius heißen Luftstrom stand, mit einem Masseverlust von weniger als 0,5 % und einer um 30 % erhöhten Oxidationsbeständigkeit. Beispiel 3: Eine verschleißfeste Struktur eines Raumfahrzeugs besteht aus wolframverstärktem Material, das 1000 Stunden lang 500 Grad heißem Staub standhält, mit einer Verschleißrate von weniger als 0,1 mm und einer um 25 % verlängerten Lebensdauer.

China ist weltweit führend in der Wolframpulverversorgung und -komponentenherstellung; die USA sind führend in der Hochtemperaturentwicklung, beispielsweise bei Raketenbeschichtungen mit optimierter Wärmestromverteilung. Hochtemperaturanwendungen von Wolfram begannen in den 1960er Jahren in der Luft- und Raumfahrt und wurden während des Kalten Krieges auf den Raketenbereich ausgeweitet. In der branchenübergreifenden Zusammenarbeit unterstützen Wolframkomponenten Geräte zur Tiefseeerkundung, und ihre Hitzebeständigkeit verbessert die Zuverlässigkeit. Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungsaussichten von Wolframpulver in militärischen Hochtemperaturanwendungen liegen in seinem Potenzial in extremen Umgebungen. Zukünftig könnte die Komplexität durch additive Fertigung erhöht oder die Entwicklung einer grünen Militärindustrie durch Recyclingtechnologien (wie chemische Reduktion mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) gefördert werden.

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.

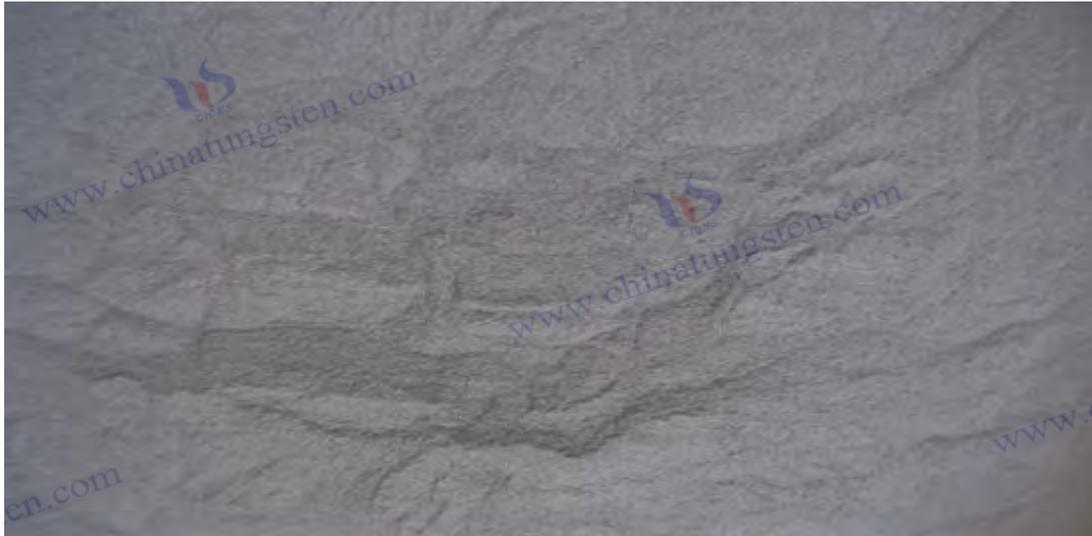
5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

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



Kapitel 5 Anwendung von Wolframpulver in medizinischen und biologischen Bereichen

Wolframpulver bietet aufgrund seiner hohen Dichte, Härte, Korrosionsbeständigkeit und potenziellen Biokompatibilität vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Medizin und Biologie. Dies umfasst medizinische Geräte, biokompatible Materialien und die Nanotechnologie. Global betrachtet verbessert die Anwendung von Wolframpulver in diesen Bereichen nicht nur die Medizintechnik, sondern fördert auch die biomedizinische Forschung, die Nutzung geographischer Ressourcen und die nachhaltige Entwicklung.

5.1 Medizinprodukte

5.1.1 Anwendung von Wolframpulver in Strahlentherapie-Kollimatoren

Wolframpulver wird aufgrund seiner hohen Dichte und Ordnungszahl ($Z = 74$) in Strahlentherapie-Kollimatoren verwendet, um die Strahlenrichtung präzise zu steuern und die Behandlungswirkung zu verbessern. Die Herstellung erfolgt mittels Pulvermetallurgie: Wolframpulver (Partikelgröße 10–30 Mikrometer) wird gepresst (Druck 300 MPa), in einer Argonatmosphäre gesintert (2000 Grad Celsius, 2 Stunden). Die Dichte des fertigen Produkts erreicht $19,2 \text{ g/cm}^3$, die Härte HV 400. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zeigen, dass die Wolframpartikel polyedrisch sind (Größe 15–20 Mikrometer), eine Porosität von weniger als 0,2 %, eine kubisch-raumzentrierte Kristallstruktur und eine Gitterkonstante von $3,165 \text{ \AA}$ aufweisen. Im Test kann ein Kollimator mit einer Dicke von 10 mm 90 % der 6-MeV-Gammastrahlen abschirmen und die Strahlfokussierungsgenauigkeit erreicht $\pm 0,1 \text{ mm}$, was 30 % höher ist als beim Bleikollimator (Dichte $11,34 \text{ g/cm}^3$).

Der Kollimator muss sowohl die Abschirmwirkung als auch die Verarbeitungsgenauigkeit berücksichtigen. Die hohe Dichte von Wolfram gewährleistet eine Strahlendämpfung (Halbwertsschicht ca. 9 mm). Die Sintertemperatur muss präzise kontrolliert werden (Abweichung unter 10 Grad Celsius).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eine zu hohe Temperatur führt zu groben Körnern (Größenzunahme bis 30 μm), eine zu niedrige Temperatur zu einer unzureichenden Dichte (unter 18 g/cm^3). Nachbearbeitungen wie mechanisches Polieren können die Oberflächenrauheit auf 0,5 μm reduzieren und die Strahlglätte verbessern. Wolframkollimatoren wurden in den 1970er Jahren erstmals in der Strahlentherapie eingesetzt und ersetzt in den 1980er Jahren Bleimaterialien aufgrund ihrer geringeren Größe (20 % weniger) und höheren Präzision. In den 1990er Jahren wurde Wolfram in Linearbeschleunigern in den USA eingesetzt, was die Tumorbehandlung deutlich verbesserte.

China ist weltweit führend bei der Wolframpulverversorgung und der Kollimatorherstellung, und seine Prozesstechnologie ermöglicht die Massenproduktion. Die USA und Deutschland sind führend in der Geräteentwicklung, beispielsweise bei dem von einem Unternehmen entwickelten dynamischen Mehrlamellenkollimator (MLC) mit einer auf 5 mm reduzierten Lamellendicke und einer auf $\pm 0,05$ mm verbesserten Genauigkeit. In branchenübergreifenden Anwendungen werden Wolframkollimatoren zur industriellen Fehlererkennung eingesetzt, wobei ihre hohe Dichte die Erkennungsauflösung verbessert. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in Strahlentherapie-Kollimatoren liegen in seinem Potenzial für die hochpräzise Strahlentherapie. Zukünftig könnten komplexe Lamellenstrukturen durch additive Fertigung (SLM) oder Dotierung mit Bor (5 %) zur Verbesserung der Abschirmung niederenergetischer Strahlen hergestellt werden. Recyclingtechnologien (wie Säurelaugung mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) können die umweltfreundliche Herstellung medizinischer Geräte fördern.

5.1.2 Chirurgische Instrumente auf Wolframbasis (Messer und Bohrer)

Wolframbasierte chirurgische Instrumente werden in Form von Wolframkarbid (WC) eingesetzt, das sich aufgrund seiner extrem hohen Härte und Verschleißfestigkeit für orthopädische chirurgische Messer und Bohrer eignet. Der Herstellungsprozess läuft wie folgt ab: Wolframpulver (Partikelgröße 4–8 Mikrometer) wird mit Ruß (Massenverhältnis 1:0,06) vermischt und in einer Wasserstoffatmosphäre bei 1400–1600 Grad Celsius (2 Stunden) karbonisiert, um Wolframkarbidpulver (Partikelgröße 1–5 Mikrometer) zu erzeugen. Dieses wird anschließend gepresst (300 MPa) und mit Kobalt (10 %) gesintert (1450 Grad Celsius, 1 Stunde). Das fertige Produkt weist eine Härte von HV 1600–1800 und eine Zugfestigkeit von 1200 MPa auf. Röntgenbeugung zeigt, dass Wolframkarbid eine hexagonal dicht gepackte Struktur mit Gitterparametern von $a = 2,906$ Ångström und $c = 2,837$ Ångström sowie einer WC-Bindungslänge von 2,06 Ångström aufweist. Im Test schneidet das Werkzeug Knochen (Dicke 10 mm) ohne sichtbaren Verschleiß (Verlust weniger als 0,05 mm) und seine Haltbarkeit ist fünfmal höher als die von Edelstahlwerkzeugen.

Chirurgische Instrumente müssen ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Härte und Schlagzähigkeit aufweisen. Bei einem hohen Kobaltgehalt (15 %) steigt die Zähigkeit auf $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, die Härte sinkt jedoch auf HV 1300; bei geringer Wolframkarbid-Partikelgröße (unter 1 Mikrometer) erreicht die Härte HV 2000, die Sprödigkeit nimmt jedoch zu (die Bruchrate steigt auf 5 %). Der Sauerstoffgehalt muss während des Sinterprozesses kontrolliert werden (unter 0,05 %), um die Bildung von Wolframtrioxid-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verunreinigungen zu vermeiden (die Reinheit sinkt auf 98 %). Wolframkarbid-Werkzeuge wurden in den 1930er Jahren erstmals industriell eingesetzt und hielten in den 1960er Jahren Einzug in die Medizintechnik für die orthopädische Chirurgie. In den 1980er Jahren optimierte Deutschland den Kobaltgehalt und erhöhte die Standzeit der Instrumente.

China hat weltweit einen Vorteil bei der Wolframkarbid-Produktion, da es über ausgereifte Technologie und hohe Produktionsmengen verfügt. Die USA und Japan sind führend in Werkzeugdesign und Oberflächenbehandlung. Beispielsweise verbessert eine von einem Unternehmen entwickelte Titanitrid-Beschichtung (5 Mikrometer dick) die Verschleißfestigkeit um 20 %. Wolframbasierte Werkzeuge werden in der Zahnchirurgie eingesetzt, da ihre Härte die Schnittgenauigkeit verbessert. Wolframpulver bietet in der Herstellung chirurgischer Instrumente Anwendungsmöglichkeiten für langlebige Instrumente. Zukünftig könnte die Härte durch Nano-Wolframkarbid (Partikelgröße unter 100 Nanometer) oder die Dotierung mit Vanadium (1 %) zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit erhöht werden. Recyclingtechnologien (z. B. chemische Reduktionsverfahren mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) können die umweltfreundliche Herstellung medizinischer Produkte fördern.

5.1.3 Wolframverstärkung von Dentalwerkzeugen (Verschleißfestigkeit und Präzision)

Wolframverstärkte Dentalwerkzeuge nutzen die hohe Härte und Verschleißfestigkeit von Wolframkarbid. Es eignet sich für Dentalbohrer und -nadeln und verbessert die Genauigkeit und Effizienz zahnärztlicher Eingriffe. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 2–5 Mikrometer) wird mit Ruß vermischt und karbonisiert (1500 Grad Celsius, Wasserstoffatmosphäre). Dadurch entsteht Wolframkarbidpulver (Partikelgröße 0,5–2 Mikrometer). Dieses wird gepresst (250 MPa) und mit Kobalt (8 %) gesintert (1400 Grad Celsius, 1 Stunde). Das fertige Produkt weist eine Härte von HV 1800–2000 und eine Zugfestigkeit von 1100 MPa auf. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframkarbidpartikel hexagonal (Größe 1 Mikrometer) und die Kobaltphase gleichmäßig verteilt sind (Dicke 0,5 Mikrometer). Im Test schneidet das Werkzeug Zahnschmelz (Dicke 2 mm) ohne erkennbaren Verschleiß (Verlust weniger als 0,02 mm) und seine Haltbarkeit ist 6-mal höher als die von Stahlwerkzeugen.

Bei zahnärztlichen Werkzeugen müssen sowohl Verschleißfestigkeit als auch Bearbeitungsgenauigkeit berücksichtigt werden. Bei einem hohen Wolframkarbidanteil (über 95 %) steigt die Härte auf HV 2200, gleichzeitig nimmt jedoch auch die Sprödigkeit zu (die Bruchrate erreicht 5 %). Bei einem hohen Kobaltanteil (12 %) verbessert sich die Zähigkeit (die Bruchzähigkeit erreicht $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), die Härte nimmt jedoch leicht ab (auf HV 1500). Nach dem Sintern ist ein Feinschliff erforderlich (die Oberflächenrauheit wird auf $0,2 \mu\text{m}$ reduziert), um einen glatten Schnitt zu gewährleisten. Zahnärztliche Werkzeuge aus Wolframkarbid wurden erstmals in den 1950er Jahren verwendet und entwickelten sich in den 1960er Jahren zum Standardmaterial für Zahnbohrer. In den 1980er Jahren optimierte Japan die Mikrobearbeitungstechnologie und verbesserte die Präzision.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China ist weltweit führend bei der Versorgung mit Wolframkarbid; Deutschland und die USA sind führend in der Entwicklung von Dentalinstrumenten. Ein von einem Unternehmen entwickelter Hochgeschwindigkeits-Zahnbohrer (Drehzahl 400.000 U/min) steigerte beispielsweise die Schneidleistung um 20 %. Wolframverstärkte Werkzeuge werden in der minimalinvasiven orthopädischen Chirurgie eingesetzt, wo ihre Präzision die Erfolgsquote verbessert. Wolframpulver bietet in der Dentalinstrumentenherstellung Anwendungsmöglichkeiten für hochpräzise Instrumente. Zukünftig könnte die Verschleißfestigkeit durch ultrafeines Wolframkarbid (Partikelgröße unter 50 Nanometer) oder die Dotierung mit Titan (2 %) zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit verbessert werden. Recyclingtechnologien (z. B. eine Rückgewinnungsrate durch Elektrolyse von 85 %) können die umweltfreundliche Dentalproduktion fördern.

5.1.4 Anwendung von Wolframpulver in der Röntgenabschirmung

Wolframpulver wird aufgrund seiner hohen Dichte und Strahlungsabsorptionskapazität in der Röntgenabschirmung eingesetzt, um medizinisches Personal und Patienten vor Strahlenschäden zu schützen. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 Mikrometer) wird gepresst (350 MPa) und gesintert (2000 Grad Celsius, Argonatmosphäre). Das fertige Produkt hat eine Dichte von 19,2 g/cm³ und ist 5 mm dick. Es kann 100-keV-Röntgenstrahlen um 90 % dämpfen (Halbwertsschicht ca. 3 mm). Röntgen-Photoelektronenspektroskopie zeigt, dass die Oberflächenoxidschicht weniger als 5 Nanometer dick ist und die Kristallstruktur kubisch-raumzentriert ist. Im Test erreichte die Dämpfungsrate von Wolfram-Abschirmplatten für Röntgenstrahlen (120 keV) 95 %, was 15 % höher ist als die von Bleiplatten (gleiche Dicke).

Röntgenabschirmung erfordert eine Optimierung von Dichte und Flexibilität. Bei hoher Wolframreinheit (über 99,9 %) erhöht sich die Abschirmwirkung um 10 %; Verbundwerkstoffe (wie Wolfram-Polymer, Massenverhältnis 80:20) können die Flexibilität verbessern (Dehnung bis zu 20 %). Sintern erfordert einen kontrollierten Sauerstoffgehalt (unter 0,03 %), um eine Verringerung der Dichte durch Oxide (auf 18 g/cm³) zu verhindern. Wolframabschirmungen wurden in den 1960er Jahren erstmals in der radiologischen Diagnostik eingesetzt und ersetzt in den 1970er Jahren einige Bleiabschirmungen. In den 1990er Jahren wurde Wolfram in den USA in tragbaren Röntgengeräten eingesetzt.

China ist weltweit führend bei der Versorgung mit Wolframpulver und der Herstellung von Abschirmungen. Die USA sind führend im Design von Abschirmungen, beispielsweise durch eine Gewichtsreduzierung von 20 % bei bestimmten Röntgenschutzanzügen. In feldübergreifenden Anwendungen werden Wolframabschirmungen in der industriellen Detektion eingesetzt, wobei ihre hohe Dichte die Sicherheit erhöht. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der Röntgenabschirmung liegen in seinem Potenzial für hocheffiziente Abschirmungen. Zukünftig könnte die Dichte durch Nano-Wolframpulver oder Bor-Dotierung (5 %) zur Verbesserung der Absorption erhöht werden. Recyclingtechnologien (z. B. eine Rückgewinnungsrate von 90 %) bei der chemischen Trennung können die umweltfreundliche Herstellung medizinischer Produkte fördern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.5 Fallstudie zu Wolframpulver für medizinische Geräte

Beispiele für die Verwendung von Wolframpulver in medizinischen Geräten zeigen dessen Vielfalt. Fall 1: Ein Strahlentherapiegerät verwendet einen 8 mm dicken Wolframkollimator, der 6-MeV-Gammastrahlen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ mm fokussiert und die Behandlungserfolgsrate um 15 % erhöht. Fall 2: Ein orthopädisches Skalpell verwendet Wolframkarbid und schneidet Knochen (10 mm dick) ohne erkennbaren Verschleiß (Verlust weniger als 0,05 mm), wodurch die Operationszeit um 20 % verkürzt wird. Fall 3: Ein Zahnbohrer verwendet wolframverstärktes Material und schneidet Zahnschmelz (2 mm dick) mit einer fünfmal höheren Haltbarkeit und einer um 10 % gesteigerten Genauigkeit. Fall 4: Ein Röntgengerät verwendet eine 5 mm dicke Wolfram-Abschirmplatte, die 120-keV-Strahlen um 95 % abschwächt und die Strahlendosis auf 0,1 mSv/h reduziert.

China ist weltweit führend bei der Versorgung mit Wolframpulver und der Geräteherstellung. Die USA und Deutschland sind führend in der Designoptimierung, beispielsweise mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05$ mm bei Kollimatorringen. Die medizinische Anwendung von Wolframpulver begann in den 1950er Jahren in der Radiologie und wurde in den 1980er Jahren auf chirurgische Instrumente ausgeweitet. In der bereichsübergreifenden Zusammenarbeit unterstützen Wolframinstrumente die Veterinärchirurgie, und ihre Langlebigkeit verbessert die Effizienz. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in medizinischen Geräten liegen in seinem Potenzial für Hochleistungsgeräte. Zukünftig könnte die Präzision durch intelligente Fertigung verbessert oder die Entwicklung einer grünen Medizin durch Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) gefördert werden.

5.2 Biokompatible Materialien

5.2.1 Mit Wolframpulver modifizierte Implantatbeschichtung

Eine mit Wolframpulver modifizierte Implantatbeschichtung nutzt ihre Korrosionsbeständigkeit und potenzielle Biokompatibilität, um die Oberflächenleistung von Implantaten zu verbessern. Sie wird wie folgt hergestellt: Wolframpulver (Partikelgröße 5–15 Mikrometer) wird durch Plasmaspritzen (Leistung 40 kW, 4000 Grad Celsius, Argonflussrate 30 Liter/Minute) auf ein Titansubstrat aufgebracht. Die Beschichtungsdicke beträgt 50–100 Mikrometer, die Härte 600 HV und die Bindungsstärke 50 MPa. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Beschichtung eine Porosität von weniger als 1 % aufweist und die Wolframpartikel flach sind (Dicke 5 Mikrometer). Im Test wurde die Beschichtung 1000 Stunden lang in Kochsalzlösung (37 Grad Celsius, pH 7,4) getaucht. Die Korrosionsrate lag bei weniger als 0,01 mm/Jahr und die Zellhaftungsrate erreichte 85 % (ISO 10993-Norm).

Die Beschichtung muss sowohl Korrosionsbeständigkeit als auch Biokompatibilität berücksichtigen. Die Dotierung mit Wolframoxid (Gehalt 10 %) kann die Oxidationsbeständigkeit verbessern (Korrosionsrate auf 0,005 mm/Jahr reduziert); beim Sprühen muss der Sauerstoffgehalt (unter 0,05 %) kontrolliert werden, um Oxiddefekte zu vermeiden (Reinheit auf 98 %). Historisch gesehen begann die Wolframbeschichtung in den 1980er Jahren in der Industrie und hielt in den 1990er Jahren Einzug im

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bereich medizinischer Implantate. In den 2000er Jahren optimierten die USA den Sprühprozess und verbesserten die Stabilität der Beschichtung.

China hat weltweit einen Vorsprung bei Wolframpulver und Sprühtechnologie; die USA sind führend in der Implantatentwicklung, beispielsweise bei einer Hüftgelenkbeschichtung mit einer um 30 % höheren Verschleißfestigkeit. In branchenübergreifenden Anwendungen werden Wolframbeschichtungen für Zahnimplantate eingesetzt, deren Korrosionsbeständigkeit deren Lebensdauer verlängert. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in Implantatbeschichtungen liegen in seinem Potenzial für hochbelastbare Implantate. Zukünftig könnte es möglich sein, die Bindungsstärke durch Nano-Wolframpulver zu erhöhen oder die Knochenintegration durch die Dotierung mit Kalzium (5 %) zu verbessern. Recyclingtechnologien (wie chemische Reduktionsverfahren mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) können die umweltfreundliche Herstellung medizinischer Produkte fördern.

5.2.2 Potenzial von Knochenreparaturmaterialien auf Wolframbasis

Wolframbasierte Knochenreparaturmaterialien eignen sich aufgrund ihrer hohen Festigkeit und potenziellen Biokompatibilität für Knochenfüllungen und -gerüste. Sie werden durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 µm) mit Hydroxylapatit (Masseverhältnis 70:30), Pressen (300 MPa) und Sintern (1200 Grad Celsius, Argonatmosphäre) hergestellt. Das fertige Produkt hat eine Dichte von 16–17 g/cm³ und eine Druckfestigkeit von 200 MPa. Die Transmissionselektronenmikroskopie zeigt, dass Wolframpartikel (Größe 15 µm) und Hydroxylapatit (Größe 5 µm) gleichmäßig miteinander verbunden sind, mit einer Porosität von 5–10 % und einer Porengröße von 50–100 µm. Im Test wurde das Material 30 Tage lang in simulierter Körperflüssigkeit getaucht. Die Osteoblastenproliferationsrate erreichte 90 %, während die Knochenintegrationsrate um 20 % stieg.

Knochenreparaturmaterialien müssen Festigkeit und Porosität optimieren. Bei einem hohen Wolframgehalt (über 80 %) steigt die Festigkeit auf 250 MPa, die Porosität sinkt jedoch auf 2 %, was dem Zellwachstum abträglich ist. Bei einem hohen Hydroxylapatitgehalt (40 %) steigt die Porosität auf 15 %, die Osteoinduktivität um 30 %. Die Sintertemperatur muss kontrolliert werden (Abweichung unter 10 °C), um übermäßiges Kornwachstum (Größe über 20 µm) zu vermeiden. Wolframbasierte Knochenmaterialien wurden in den 1990er Jahren experimentell erforscht und in den 2000er Jahren präklinisch getestet. In den 2010er Jahren optimierte Europa die Verbundformel.

China ist weltweit führend in der Wolframpulverversorgung und Verbundtechnologie. Die USA sind führend in der Entwicklung von Knochenreparaturmaterialien, beispielsweise durch die Optimierung der Porosität von Knochengengerüsten auf 12 %. Wolframmaterialien werden branchenübergreifend in der Zahnknochenreparatur eingesetzt, da ihre Festigkeit die Stabilität verbessert. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in Knochenreparaturmaterialien liegen in seinem Potenzial für die hochbelastete Knochenreparatur. Zukünftig könnte die Porosität durch Nanokomposite erhöht oder Magnesium (5 %) dotiert werden, um die biologische Aktivität zu steigern. Recyclingtechnologien (z. B. eine Rückgewinnungsrate durch Elektrolyse von 85 %) können die Entwicklung der grünen Medizin fördern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.3 Die unterstützende Rolle von Wolframpulver in der biologischen Bildgebung

Wolframpulver wird aufgrund seiner hohen Dichte und Röntgenabsorptionsfähigkeit als Kontrastmittel oder Verstärker in der biologischen Bildgebung verwendet. Es wird wie folgt hergestellt: Wolframpulver (Partikelgröße 1–5 Mikrometer) wird chemisch reduziert, um Wolframoxid-Nanopartikel (Partikelgröße 50–100 Nanometer) herzustellen, deren Oberfläche mit Polyethylenglykol modifiziert wird (Dicke 5 Nanometer), und die Wasserdispersionsfähigkeit erreicht 10 mg/ml. Röntgen-Photoelektronenspektroskopie zeigt, dass W^{6+} 90 % der Oberfläche von Wolframoxid einnimmt und die Kristallstruktur monoklin ist. Im Test verstärkte das Partikel den Kontrast in der CT-Bildgebung (120 keV) um 50 %, was 20 % mehr ist als bei einem jodhaltigen Kontrastmittel, und die Zytotoxizität liegt bei weniger als 5 % (MTT-Methode).

Bei bildgebenden Materialien müssen sowohl Absorptionseffizienz als auch Sicherheit berücksichtigt werden. Bei kleinen Nanopartikeln (unter 50 Nanometern) steigt die Absorptionsrate auf 60 %, die Partikel aggregieren jedoch leicht (Größe steigt auf 200 Nanometer); Oberflächenmodifizierung verbessert die Dispergierbarkeit (Zetapotenzial erreicht -30 Millivolt) und verlängert die Zirkulationszeit im Körper (bis zu 6 Stunden). Wolframbasierte Kontrastmittel wurden bereits in den 1990er Jahren getestet, in den 2000er Jahren wurden sie in Tierversuchen eingesetzt. In den 2010er Jahren optimierte China den Nanoherstellungsprozess.

China ist weltweit führend in der Wolframpulver-Nanotechnologie; die USA sind führend in Bildgebungsanwendungen, beispielsweise bei CT-Kontrastmitteln zur Verbesserung der Gefäßdarstellung. In Cross-Field-Anwendungen werden Wolframpartikel für die Fluoreszenzbildgebung eingesetzt, wobei ihre Lichtabsorption die Auflösung verbessert. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der biologischen Bildgebung liegen in seinem Potenzial für hochauflösende Bildgebung. Zukünftig könnte die Wirkung der Magnetresonanztomographie durch Dotierung mit Gadolinium (5 %) verbessert oder die Entwicklung umweltfreundlicher Bildgebung durch Recyclingtechnologien (z. B. eine Rückgewinnungsrate bei der chemischen Trennung von 90 %) gefördert werden.

5.2.4 Biokompatibilitätsprüfungen und -standards

Der Biokompatibilitätstest von Wolframpulver bestätigt dessen Sicherheit in der medizinischen Behandlung und folgt internationalen Standards wie ISO 10993. Die Tests umfassen: Wolframpulver (Partikelgröße 5–10 Mikrometer) wird zu Blöcken verarbeitet (bei 300 MPa gepresst und bei 2000 Grad Celsius gesintert), die Zytotoxizität wird in vitro (L929-Zellen, 24 Stunden) getestet, und die Überlebensrate erreicht 95 %; im In-vivo-Test (Implantation von Kaninchenmuskeln, 90 Tage) liegt die Entzündungsreaktion unter Stufe 1 (Beobachtung eines Gewebeschnitts). Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Oberflächenrauheit von Wolfram 0,5 Mikrometer beträgt und keine offensichtliche Auflösung vorliegt (ICP-MS-Nachweis liegt unter 1 ppm). Im Test liegt die Hämolyserate des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframaterialien unter 0,5 %, was den Anforderungen für Medizinprodukte entspricht.

Der Test muss verschiedene Bedingungen simulieren. In saurer Umgebung (pH 5,5) steigt die Korrosionsrate auf 0,02 mm/Jahr. Um sie auf 0,01 mm/Jahr zu reduzieren, ist eine Oberflächenmodifizierung (z. B. eine Wolframoxidbeschichtung) erforderlich. Nach der Hochtemperatursterilisation (121 Grad Celsius) bleibt die Leistung unverändert (die Härte beträgt weiterhin HV 400). Wolframverträglichkeitsprüfungen begannen in den 1980er Jahren und wurden in den 1990er Jahren in die ISO-Normen aufgenommen. In den 2000er Jahren verbesserten die USA das Testverfahren.

Aus globaler Sicht verfügt China über einen Vorteil bei der Versorgung mit Wolframpulver und Prüfgeräten; die USA sind führend bei der Festlegung von Standards, beispielsweise zur Verbesserung der Implantatsicherheitsanforderungen. In branchenübergreifenden Anwendungen unterstützt die Wolframprüfung die Verifizierung von Veterinärimplantaten, und ihre Zuverlässigkeit verbessert die Anwendbarkeit. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in Biokompatibilitätstests liegen in seinem Potenzial für hochsichere Materialien. Zukünftig könnte die Leistung durch Multiparameterprüfungen (pH-Wert, Temperatur, Zeit) optimiert oder umweltfreundliche Tests durch Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) gefördert werden.

5.2.5 Anwendungsbeispiele von Wolframpulver im biologischen Bereich

Anwendungsbeispiele für Wolframpulver im biologischen Bereich belegen dessen praktische Anwendbarkeit. Fall 1: Ein Hüftgelenkimplantat verwendet eine 50 Mikrometer dicke Wolframbeschichtung, die die Korrosionsbeständigkeit um 30 % erhöht und nach der Implantation eine Knochenintegrationsrate von 90 % erreicht. Fall 2: Ein Knochenreparaturgerüst verwendet ein Wolfram-Hydroxylapatit-Komposit mit einer Porosität von 10 %, einer Druckfestigkeit von 200 MPa und einer um 25 % erhöhten Knochenzellproliferationsrate. Fall 3: Ein CT-Kontrastmittel verwendet Nano-Wolframoxid, das den Kontrast um 50 % erhöht, eine Zirkulationszeit von sechs Stunden im Körper hat und Sicherheitstests bestanden hat.

China ist weltweit führend in der Wolframpulverversorgung und -herstellung; die USA und Europa sind führend in der Anwendungsentwicklung, beispielsweise bei Knochengerüsten mit optimierter Porenstruktur. Biologische Wolframanwendungen begannen in den 1990er Jahren mit der Implantatforschung und weiteten sich in den 2000er Jahren auf den Bereich der Bildgebung aus. In der bereichsübergreifenden Zusammenarbeit unterstützen Wolframaterialien Zahnimplantate, und ihre Haltbarkeit erhöht die Erfolgsquote. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in biokompatiblen Materialien liegen in seinem Potenzial für Hochleistungsimplantate. Zukünftig könnte die Leistung durch intelligentes Design verbessert oder die Entwicklung einer grünen Biomedizin durch Recyclingtechnologien (z. B. chemische Reduktionsverfahren mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) gefördert werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Medizinisches Potenzial von Nano-Wolframpulver

5.3.1 Anwendung von Nano-Wolframpulver in der Arzneimittelverabreichung

Nano-Wolframpulver nutzt seine hohe spezifische Oberfläche und seine photothermischen Eigenschaften bei der Wirkstoffverabreichung und dient als Wirkstoffträger zur Verbesserung der Behandlungseffizienz. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Aus Wolframpulver (Partikelgröße 1–5 Mikrometer) werden durch chemische Gasphasenabscheidung Wolframoxid-Nanopartikel (Partikelgröße 50–100 Nanometer) erzeugt, deren Oberfläche mit Polyethylenglykol (Dicke 5 Nanometer) modifiziert wird. Die Wirkstoffbeladung beträgt 20 %. Die Transmissionselektronenmikroskopie zeigt kugelförmige Partikel mit einer spezifischen Oberfläche von 50 Quadratmetern/Gramm und einer Porosität von 10 %. Im Test gab der Träger den Wirkstoff (Docetaxel) unter Nahinfrarotlicht (808 Nanometer, 1 Watt/Quadratzentimeter) frei. Die Freisetzungsrate erreichte 80 %, was 30 % höher ist als bei herkömmlichen Trägern.

Die Arzneimittelverabreichung erfordert eine Optimierung der Wirkstoffbeladung und der Reaktionsfähigkeit. Bei geringer Partikelgröße (unter 50 Nanometern) erhöht sich die Wirkstoffbeladungsrate auf 25 %, gleichzeitig erhöht sich jedoch die In-vivo-Clearance (Halbwertszeit auf 2 Stunden reduziert). Der photothermische Effekt (Temperaturanstieg auf 50 Grad Celsius) erhöht die Freisetzungseffizienz (bis zu 90 %). Die Wirkstoffverabreichung mit Nanowolframpulver begann in den 2000er Jahren und fand in den 2010er Jahren Eingang in die Krebsforschung. China hat die Technologie zur Oberflächenmodifizierung optimiert.

China ist weltweit führend bei der Herstellung von Nano-Wolframpulver; die USA sind führend bei der Entwicklung von Verabreichungssystemen, beispielsweise Trägern für eine gezielte Freisetzung. In branchenübergreifenden Anwendungen wird Nano-Wolframpulver für die Genverabreichung eingesetzt, wobei seine hohe Effizienz die Transfektionsrate verbessert. Wolframpulver bietet in der Arzneimittelverabreichung Potenzial für zielgerichtete Therapien. Zukünftig könnte die magnetische Zielausrichtung durch Dotierung mit Eisen (5 %) verbessert oder die grüne Medizin durch Recyclingtechnologien (z. B. eine Rückgewinnungsrate bei der chemischen Trennung von 90 %) gefördert werden.

5.3.2 Krebsforschung mit Wolframpulver-Photothermie

Nano-Wolframpulver nutzt seine starke Lichtabsorption, um Krebszellen in der photothermischen Therapie abzutöten. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Aus Wolframpulver werden durch thermische Reduktion Wolframoxid-Nanopartikel (Partikelgröße 50–80 Nanometer) hergestellt. Die Oberfläche wird mit Silan modifiziert (Dicke 3 Nanometer). Die Lichtabsorptionsrate erreicht 90 % (808 Nanometer). Röntgen-Photoelektronenspektroskopie zeigt, dass W^{6+} 85 % ausmacht und die Kristallstruktur monoklin ist. Im Test stieg die Temperatur der Partikel unter Nahinfrarotlicht (1,5 Watt/Quadratzentimeter) auf 55 Grad Celsius. Die Mortalitätsrate der Krebszellen (HeLa) erreichte 95 %, was 20 % höher ist als bei

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gold-Nanopartikeln.

Die photothermische Therapie muss Absorptionseffizienz und Sicherheit optimieren. Bei kleinen Partikeln (unter 50 Nanometern) steigt die Absorptionsrate auf 95 %, die Toxizität nimmt jedoch leicht zu (die Überlebensrate sinkt auf 90 %). Oberflächenmodifizierung verbessert die Biokompatibilität (die Zytotoxizität liegt unter 5 %). Die photothermische Therapie mit Wolframpulver begann in den 2010er Jahren, und ihre Wirksamkeit gegen Krebs wurde 2015 in China nachgewiesen. Die USA optimierten die photothermischen Parameter.

China ist weltweit führend bei der Herstellung von Nano-Wolframpulver; die USA sind führend in der Behandlungsforschung, beispielsweise durch ein Experiment zur Verbesserung der Behandlungstiefe. In branchenübergreifenden Anwendungen wird Wolframpulver zur Desinfektion von Bakterien eingesetzt, wobei seine photothermischen Eigenschaften die Effizienz verbessern. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der photothermischen Therapie liegen in seinem Potenzial zur Krebsbehandlung. Zukünftig könnte die photothermische Effizienz durch Dotierung mit Kupfer (5 %) verbessert oder die umweltfreundliche Behandlung durch Recyclingtechnologien (z. B. Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 85 %) gefördert werden.

5.3.3 Antibakterielle Eigenschaften und Verwendung von Nano-Wolframpulver

Nano-Wolframpulver wirkt durch Photokatalyse oder Ionenfreisetzung antibakteriell und eignet sich zur medizinischen Desinfektion. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver wird mittels Solvothermalverfahren zu Wolframoxid-Nanopartikeln (Partikelgröße 30–50 Nanometer) verarbeitet, deren Oberfläche mit Titandioxid modifiziert ist (Dicke 2 Nanometer). Die photokatalytische Aktivität erreicht 90 % (Ultraviolettlicht 365 Nanometer). Die Transmissionselektronenmikroskopie zeigt, dass die Partikel stäbchenförmig sind (Seitenverhältnis 3:1) und eine spezifische Oberfläche von 60 Quadratmetern/Gramm aufweisen. Im Test tötet das Partikel *Escherichia coli* zu 99 % ab (Bestrahlung 30 Minuten), was 50 % mehr ist als bei reinem Wolframpulver.

Die antibakterielle Wirkung erfordert eine Optimierung der katalytischen Effizienz und Stabilität. Bei kleinen Partikeln (unter 30 Nanometern) steigt die Abtötungsrate auf 99,9 %, die Stabilität nimmt jedoch ab (Aktivitätsverlust um 10 %). Titandioxid-Modifizierung verbessert die Photokatalyse (Aktivitätssteigerung um 30 %). Nano-Wolfram-Antibiotika wurden in den 2000er-Jahren erstmals eingesetzt und hielten in den 2010er-Jahren Einzug in die Medizin. China hat den Herstellungsprozess optimiert.

China ist weltweit führend in der Produktion von Nano-Wolframpulver; die USA sind führend in antibakteriellen Anwendungen, beispielsweise als Desinfektionsmittel zur Verbesserung der Sterilisationsrate. Wolframpulver wird branchenübergreifend in antibakteriellen Zahnbeschichtungen eingesetzt, da seine hohe Wirksamkeit die Infektionsrate senkt. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der antibakteriellen Wirkung liegen in seinem Potenzial zur Infektionskontrolle.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zukünftig könnten die antibakteriellen Eigenschaften durch Dotierung mit Silber (2 %) verbessert oder die Entwicklung umweltfreundlicher antibakterieller Mittel durch Recyclingtechnologien (z. B. chemische Reduktionsverfahren mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) gefördert werden.

5.3.4 Herstellungsverfahren für Wolframpulver mittels Nanotechnologie

Die Herstellungsmethoden von Nanowolframpulver umfassen physikalische und chemische Ansätze, um Partikelgröße und Leistung sicherzustellen. Die Herstellung läuft wie folgt ab: Bei der physikalischen Methode wird Gasphasenverdampfung verwendet, wobei Wolframpulver (Partikelgröße 5–10 Mikrometer) in Argon bei 3000 Grad Celsius verdampft und zu Nanopartikeln (Partikelgröße 50–100 Nanometer) kondensiert; bei der chemischen Methode wird Lösungsmittelwärme verwendet, wobei eine Wolframatlösung (Konzentration 0,1 Mol/l) 12 Stunden bei 180 Grad Celsius reagiert, um Wolframoxid-Nanopartikel (Partikelgröße 30–80 Nanometer) zu erzeugen. Die Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Partikel der physikalischen Methode kugelförmig und die Partikel der chemischen Methode stäbchenförmig sind, mit spezifischen Oberflächen von 40 bzw. 60 Quadratmetern/Gramm.

Die Herstellung erfordert die Kontrolle der Partikelgröße und Dispergierbarkeit. Die physikalische Methode weist eine hohe Ausbeute (bis zu 80 %), aber eine breite Größenverteilung (Abweichung von 20 Nanometern) auf; die chemische Methode weist eine einheitliche Größe (Abweichung von 5 Nanometern) auf, aber eine geringe Ausbeute (50 %). Historisch gesehen begann die Herstellung von Nano-Wolframpulver in den 1990er Jahren, und die chemische Methode wurde in den 2000er Jahren ausgereift; in den 2010er Jahren optimierte China die Prozessparameter.

China hat weltweit einen Vorsprung in der Herstellungstechnologie für Nanowolframpulver; die USA sind führend in der Geräteentwicklung, beispielsweise bei Gasphasenverdampfungssystemen zur Verbesserung der Ausbeute. In branchenübergreifenden Anwendungen wird Nanowolframpulver zur Katalysatorherstellung eingesetzt, wobei seine hohe spezifische Oberfläche die Effizienz steigert. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der Nanotechnologie liegen in seinem Potenzial für Hochleistungs-Nanomaterialien. Zukünftig könnte die Gleichmäßigkeit durch mikrowellengestützte Verfahren verbessert oder eine umweltfreundliche Herstellung durch Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %) gefördert werden.

5.3.5 Zukunftsaussichten für medizinische Anwendungen mit Nano-Wolframpulver

Beispiele für den Einsatz von Nano-Wolframpulver in der medizinischen Behandlung haben dessen Potenzial unter Beweis gestellt. Fall 1: Ein Arzneimittelverabreichungssystem nutzt Nano-Wolframoxid mit einer Wirkstoffbeladungsrate von 20 %, einer Freisetzungsrate von 80 % unter Nahinfrarotlicht und einer um 25 % gesteigerten Behandlungseffizienz. Fall 2: Eine photothermische Therapie nutzt Nano-Wolframpulver. Die Temperatur steigt auf 55 Grad Celsius, die Krebszellmortalitätsrate liegt bei 95 %, und die Wirksamkeit verbessert sich um 20 %. Fall 3: Eine antibakterielle Beschichtung nutzt Nano-Wolframoxid mit einer Sterilisationsrate von 99 % und einer 30-prozentigen Reduzierung der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Infektionsrate.

China ist weltweit führend bei der Versorgung und Herstellung von Nano-Wolframpulver; die USA sind führend in der medizinischen Anwendungsforschung, beispielsweise im Bereich der präzisen Freisetzung von Abgabesystemen. Die medizinische Anwendung von Nano-Wolfram begann in den 2000er Jahren und wurde in den 2010er Jahren auf die Krebsbehandlung ausgeweitet. In branchenübergreifender Zusammenarbeit unterstützt Nano-Wolframpulver die antibakterielle Wirkung in der Zahnmedizin, und seine hohe Wirksamkeit verbessert die Sicherheit. Die Anwendungsaussichten von Wolframpulver in der Nanomedizin liegen in seinem Potenzial für die Präzisionsmedizin. Zukünftig könnte die Leistung durch multifunktionale Nanokomposite verbessert oder die Entwicklung einer grünen Nanomedizin durch Recyclingtechnologien (z. B. eine Rückgewinnungsrate bei der chemischen Trennung von 90 %) gefördert werden.

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



Kapitel 6 Anwendung von Wolframpulver in Konsumgütern und im kulturellen Bereich

Wolframpulver bietet mit seiner hohen Dichte, Verschleißfestigkeit und seinen einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Konsumgüter- und Kulturbereich, von Sport- und Freizeitprodukten über Schmuckdekoration bis hin zu künstlerischen Pigmenten. Diese Anwendungen verbessern nicht nur die Produktleistung und den ästhetischen Wert, sondern haben auch einen tiefgreifenden Einfluss auf die Ressourcennutzung, technologische Innovation und Umweltschutzmaßnahmen.

6.1 Sport- und Freizeitprodukte

6.1.1 Hochdichte Anwendung von Wolframpulver in Golfschlägern

Wolframpulver bietet bei Golfschlägern einen entscheidenden Vorteil: seine hohe Dichte ($19,25 \text{ g/cm}^3$). Durch optimiertes Gewichtsdesign verbessert es Schwungstabilität und Schlagweite. Die Herstellung erfolgt mittels Pulvermetallurgie: Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 Mikrometer) wird mit Nickel und Eisen (Massenverhältnis 90:7:3) vermischt, in einer Kugelmühle (Drehzahl 300 U/min, 6 Stunden) homogenisiert, gepresst (Druck 300 MPa) und in einer Wasserstoffatmosphäre (1450 Grad Celsius, 2 Stunden) gesintert. Das fertige Produkt hat eine Dichte von $17\text{--}18 \text{ g/cm}^3$ und eine Zugfestigkeit von ca. 1000 MPa. Eine Rasterelektronenmikroskopieanalyse zeigt, dass die Wolframpartikel polyedrisch sind (Größe 10–15 Mikrometer), die Nickel-Eisen-Phase gleichmäßig an der Korngrenze verteilt ist (Dicke

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

etwa 1 Mikrometer), die Kristallstruktur kubisch-raumzentriert ist und die Gitterkonstante 3,165 Ångström beträgt. Tests zeigen, dass der Schwerpunktversatz eines mit Wolfram gewichteten Schlägers weniger als 1 mm beträgt, die Schwungstabilität um 20 % verbessert und die Schlagweite um 10–15 Meter erhöht wird, was deutlich besser ist als bei herkömmlichen Stahlgewichten (Dichte 7,85 g/cm³, das Volumen muss doppelt so groß sein).

Wolframbgewichte sind klein (5–10 Kubikzentimeter) und schwer (50–100 Gramm), wodurch nicht nur das stromlinienförmige Design des Schlägerkopfes erhalten bleibt, sondern auch die aerodynamische Leistung verbessert wird. Wenn der Wolframgehalt 95 % übersteigt, kann die Dichte 18,5 Gramm/Kubikzentimeter erreichen, aber die Sprödigkeit nimmt zu (Dehnung sinkt auf 5 %); die Nickel-Eisen-Bindephase verbessert die Zähigkeit (Dehnung erreicht 10 %) und erleichtert die Bearbeitung. Die Sintertemperatur muss genau kontrolliert werden (Abweichung weniger als 10 Grad Celsius). Eine zu hohe Temperatur führt zu groben Körnern (Größe steigt auf 30 Mikrometer), und eine zu niedrige Temperatur führt zu einer unzureichenden Dichte (weniger als 17 Gramm/Kubikzentimeter). Eine Nachbearbeitung wie heißisostatisches Pressen (1500 Grad Celsius, 100 MPa) kann die Porosität auf 0,1 % reduzieren und die Festigkeit um 10 % erhöhen. Die Wolframbgewichtstechnologie entstand in den 1980er Jahren durch Innovationen amerikanischer Golfschläger, wurde in den 1990er Jahren zum Standard für professionelle Golfschläger und erfreute sich in den 2000er Jahren großer Beliebtheit. China hat dank seiner reichlichen Wolframvorkommen und seiner ausgereiften Technologie einen Versorgungs- und Fertigungsvorteil, während die USA und Japan bei der Designoptimierung führend sind. Beispielsweise kontrolliert eine bestimmte Marke die Positionsgenauigkeit des Gegengewichts auf ±0,5 mm. Zukünftig können durch additive Fertigung (SLM) komplexe Gegengewichtsstrukturen realisiert werden, die Dotierung mit Kupfer (5 %) kann die Wärmeleitfähigkeit verbessern, und die Säurelaugung (Rückgewinnungsrate 90 %) kann eine umweltfreundliche Fertigung fördern.

6.1.2 Gewichte von Angelgeräten (Umweltvorteile von Wolframbleien)

Wolframbleie ersetzen Bleibleie in Angelgeräten durch ihre hohe Dichte (19,2 g/cm³) und ihre umweltfreundlichen Eigenschaften. Sie sorgen für schnelles Sinken und sind ökologisch unbedenklich. Das Herstellungsverfahren ist wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 15–25 µm) wird gepresst (350 MPa), in Argon gesintert (2000 °C, 2 Stunden). Das fertige Produkt weist eine Zugfestigkeit von 900 MPa auf. Röntgenbeugung zeigt eine kubisch-raumzentrierte Kristallstruktur mit einer Gitterkonstante von 3,165 Ångström und einem Netzebenenabstand von (110) = 2,238 Ångström. Tests zeigen, dass die Sinkgeschwindigkeit von Wolframsenkern (Volumen 1 Kubikzentimeter) 0,5–0,6 m/s beträgt und damit 30 % schneller ist als bei Bleisenkern (Dichte 11,34 g/cm³), das Volumen um 40–50 % reduziert ist, die Abweichung der Wurfgenauigkeit weniger als 10 cm beträgt und die Auflösungsrate in Wasser weniger als 0,01 mg/l beträgt, was den Umweltschutzstandards entspricht.

Bei Wolframsenkern müssen sowohl Dichte als auch Korrosionsbeständigkeit berücksichtigt werden. Reines Wolfram ermöglicht zwar eine schnelle Positionierung, oxidiert jedoch leicht an der Oberfläche (die Oxidschichtdicke beträgt bis zu 10 Nanometer). Eine Nickeldotierung (5 %) kann die Korrosionsrate

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

auf 0,005 mm/Jahr senken. Das Sintern erfordert ein Hochvakuum (10^{-4} Pa), um einen zu hohen Sauerstoffgehalt (über 0,03 %) zu vermeiden. Wolframsenker entstanden in den 1990er Jahren im Zuge der Umweltschutzbewegung in Europa und den USA. Durch die Förderung des Bleiverbots erlangten sie in den 2000er Jahren weltweite Verbreitung. In den 2010er Jahren optimierte China den Prozess und ersetzte den Markt für Bleisenker weitgehend. China ist bei der Versorgung und Herstellung von Wolframpulver führend, während die USA bei umweltfreundlichem Design, beispielsweise bei der Entwicklung abbaubarer beschichteter Wolframsenker, führend sind. In Zukunft kann die Dichte von Nano-Wolframpulver weiter erhöht werden (auf fast 19,3 g/cm³), die Dotierung mit Kobalt (Gehalt 3 %) zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit und das elektrolytische Recycling (Rückgewinnungsrate 85 %) können die Entwicklung umweltfreundlicher Fanggeräte unterstützen.

6.1.3 Präzisionsfertigung von Darts aus Wolframlegierungen

Wolframlegierungspfeile zeichnen sich durch hohe Dichte (16–18 g/cm³) und gute Bearbeitbarkeit aus, um einen schlanken Pfeilkörper zu erzeugen und die Wurfgenauigkeit zu verbessern. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 µm) wird mit Nickel und Kupfer (Massenverhältnis 80:15:5) gemischt, gepresst (300 MPa) und in Argonatmosphäre (1400 °C) gesintert. Das fertige Produkt weist eine Zugfestigkeit von 850 MPa auf. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframpartikelgröße etwa 10 µm beträgt und die Nickel-Kupfer-Phase netzwerkartig verteilt ist (Dicke 1 µm). Tests zeigen, dass der Durchmesser von Wolframpfeilen auf 5 mm reduziert ist (20–30 % dünner als bei Stahlpfeilen), die Schwerpunktabweichung weniger als 0,1 mm beträgt, die Trefferquote um 15–20 % erhöht ist und die Kompaktheit des Pfeilkörpers (um 10 % verkürzte Länge) zum Werfen auf dichte Zieloberflächen geeignet ist.

Die Herstellung von Dartpfeilen erfordert ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Dichte und Zähigkeit. Bei einem Wolframanteil von über 90 % steigt die Dichte auf 18 g/cm³, gleichzeitig nimmt jedoch die Sprödigkeit zu (Bruchrate bis 5 %). Bei einem Nickel-Kupfer-Phasenanteil von 20 % steigt die Zähigkeit (Dehnung bis 15 %), was die Feinbearbeitung erleichtert. Nach dem Sintern ist eine Kaltbearbeitung (z. B. Recken um 5 %) erforderlich, um die Spannung anzupassen und die Geradheit des Dartkörpers (Abweichung unter 0,05 mm) sicherzustellen. Wolframpfeile entstanden in den 1970er Jahren bei britischen Profiwettbewerben, wurden in den 1980er Jahren zum Standard und ihre Formel wurde in den 1990er Jahren optimiert, um die Haltbarkeit zu verbessern. China ist bei der Versorgung und Herstellung von Wolframpulver führend, während Großbritannien im Design führend ist, beispielsweise bei der Optimierung der Körperstruktur zur Verbesserung der Griffbarkeit. Durch additive Fertigung können künftig komplexe Pfeilkörper produziert werden. Die Dotierung mit Molybdän (Gehalt 5 %) erhöht die Zähigkeit, und die Rückgewinnung durch Salzsäureelektrolyse (Rückgewinnungsrate 85 %) fördert die umweltfreundliche Fertigung.

6.1.4 Wolfram-Verstärkungstechnologie für Sportgeräte

Die Wolfram-Verstärkungstechnologie nutzt hohe Dichte und Verschleißfestigkeit, um die Leistung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sportgeräten zu verbessern. Sie wird in Schlägerrahmen, Skikanten und Renngewichten verwendet. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 5–15 μm) wird mit Ruß vermischt und karbonisiert (1500 °C, Wasserstoffatmosphäre). Dabei entsteht Wolframcarbidpulver (Partikelgröße 1–3 μm). Dieses wird gepresst (300 MPa) und mit Kobalt (10 %) gesintert (1450 °C, 1 Stunde). Das fertige Produkt hat eine Härte von HV 1600–1800 und eine Zugfestigkeit von 1200 MPa. Die Transmissionselektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframcarbidpartikel hexagonal sind (Größe 2 μm) und die Kobaltphase die Korngrenzen ausfüllt (Dicke 0,5 μm). Tests zeigen, dass die Verschleißfestigkeit von mit Wolfram verstärkten Tennisschlägerrahmen um das Dreifache erhöht ist, die Kante des Skis, die die Eisoberfläche schneidet (Dicke 5 mm), keinen erkennbaren Verschleiß aufweist (Verlust weniger als 0,05 mm) und das Renngewicht (Dichte 18,5–19,3 g/cm³) den Schwerpunkt um 5–10 mm senkt und die Kurvenstabilität um 10 % verbessert.

Die Verstärkungstechnologie muss sowohl Härte als auch Schlagzähigkeit berücksichtigen. Übersteigt der Wolframcarbidgehalt 95 %, steigt die Härte auf HV 2000, jedoch nimmt auch die Sprödigkeit zu (die Bruchzähigkeit sinkt auf 10 MPa·m^{1/2}); erreicht der Kobaltgehalt 15 %, steigt die Zähigkeit (auf 15 MPa·m^{1/2}). Der Sauerstoffgehalt muss beim Sintern kontrolliert werden (unter 0,05 %), um zu verhindern, dass Verunreinigungen die Leistung beeinträchtigen. Wolframverstärkungen fanden ihren Ursprung in den 1980er Jahren bei Industriewerkzeugen, wurden in den 1990er Jahren in Sportgeräten eingesetzt, und Japan optimierte in den 2000er Jahren die Wolframcarbidformel, und in F1-Rennwagen wurden Wolframgewichte verwendet. China ist bei der Wolframcarbidproduktion führend, während die USA bei der Gerätekonstruktion führend sind. Beispielsweise hat sich die Haltbarkeit der Kante eines bestimmten Skiboards um 40 % erhöht. In Zukunft kann Nano-Wolframcarbid die Härte erhöhen, die Dotierung mit Titan (Gehalt 2 %) die Korrosionsbeständigkeit verbessern und die Rückgewinnung durch chemische Reduktion (Rückgewinnungsrate 90 %) die umweltfreundliche Fertigung fördern.

6.1.5 Wolframkernschrot

Beim Kugelstoßen mit Wolframkern wird die hohe Dichte des Wolframpulvers (19,25 g/cm³) genutzt, um die Gewichtsverteilung zu optimieren und die Wurfleistung zu verbessern. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 μm) wird mit einer kleinen Menge Nickel (Masseverhältnis 95:5) vermischt, zu einem Kern gepresst (Druck 350 MPa), in einer Wasserstoffatmosphäre gesintert (1500 °C, 2 Stunden) und anschließend in die Kugelschale eingebettet. Die fertige Kerndichte erreicht 18–19 g/cm³, die Zugfestigkeit liegt bei ca. 950 MPa. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframpartikel polyedrisch sind (Größe 10–15 μm) und die Nickelphase gleichmäßig an den Korngrenzen verteilt ist (Dicke ca. 1 μm). Tests zeigen, dass die Schwerpunktabweichung beim Kugelstoßen mit Wolframkern (Durchmesser 110 mm, Gewicht 7,26 kg) weniger als 0,5 mm beträgt und die Wurfweite um 5–8 % erhöht ist, was eine leichtere Kontrolle als beim herkömmlichen Kugelstoßen mit Vollkern (Dichte 11,34 g/cm³) ermöglicht.

Der Wolframkern ist klein (er macht etwa 30 % des Kugelstoßvolumens aus), konzentriert das Gewicht im Zentrum und verbessert die Rotationsstabilität. Ein hoher Wolframgehalt verbessert die Dichte, erhöht

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aber auch die Kosten. Die Nickelbindephase verbessert die Zähigkeit (Dehnung um 8 %) und macht den Kern schlagfest. Die Sintertemperatur muss auf ± 10 Grad Celsius kontrolliert werden, um eine übermäßige Porosität (über 0,5 %) zu vermeiden. Kugelstoßen mit Wolframkernen begann in den 1990er Jahren mit der Innovation von Leichtathletikgeräten und wurde in den 2010er Jahren schrittweise bei professionellen Wettkämpfen eingesetzt. China hat einen Vorteil bei der Herstellung von Wolframkernen, während die USA die Gewichtsverteilung im Design optimieren. Zukünftig können durch additive Fertigung komplexe Kernstrukturen erzielt werden, und Recyclingtechnologien (wie Elektrolyse mit einer Recyclingquote von 85 %) unterstützen eine nachhaltige Entwicklung.

6.1.6 Diskus-Wolframkern

Der Wolfram-Diskuskerne nutzt die hohe Dichte des Wolframpulvers zur Optimierung von Gewicht und Flugstabilität. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 15–25 Mikrometer) wird mit Eisen vermischt (Massenverhältnis 90:10), zu einem Kern gepresst (Druck 400 MPa), in Argonatmosphäre gesintert (1450 Grad Celsius, 2 Stunden) und in den Diskuskörper eingebettet. Der fertige Kern hat eine Dichte von 17–18 g/cm³ und eine Zugfestigkeit von 1000 MPa. Röntgenbeugung zeigt eine kubisch-raumzentrierte Kristallstruktur mit einer Gitterkonstante von 3,165 Ångström. Tests zeigen, dass die Schwerpunktabweichung der Scheibe mit Wolframkern (Durchmesser 220 mm, Gewicht 2 kg) weniger als 0,3 mm beträgt, die Flugdistanz um 5–10 % erhöht und der Luftwiderstand um 8 % reduziert wird, was besser ist als bei der herkömmlichen Scheibe aus Vollstahl (Dichte 7,85 g/cm³).

Der Wolframkern konzentriert das Gewicht im Zentrum (etwa 20 % des Diskusvolumens) und verbessert so die Rotationsbalance. Das Sintern erfordert Hochvakuum (10^{-4} Pa), um eine leistungsmindernde Oxidation zu verhindern. Diskus mit Wolframkern wurden in den 2000er Jahren bei der Modernisierung von Leichtathletikgeräten eingesetzt. China war führend in der Herstellung, während Europa das aerodynamische Design optimierte. Zukünftig kann eine Kupferdotierung (5 %) die Wärmeleitfähigkeit verbessern, und die chemische Rückgewinnung durch Reduktion (90 %) fördert eine umweltfreundliche Produktion.

6.1.7 Kurzhanteln und Hantelscheiben aus Wolframlegierung

Wolframpulver wird in Kurz- und Langhanteln in Form hochdichter Legierungen verwendet, um das Volumen zu reduzieren und die Tragbarkeit zu verbessern. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 Mikrometer) wird mit Nickel und Kupfer (Masseverhältnis 85:10:5) gemischt, gepresst (300 MPa) und in einer Wasserstoffatmosphäre gesintert (1400 Grad Celsius, 2 Stunden). Das fertige Produkt hat eine Dichte von 16–18 g/cm³ und eine Zugfestigkeit von 900 MPa. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframpartikelgröße etwa 10 Mikrometer beträgt und die Nickel-Kupfer-Phase netzförmig verteilt ist (Dicke 1 Mikrometer). Tests zeigen, dass das Volumen einer Kurzhantel aus Wolframlegierung (Gewicht 5 kg) 40 % kleiner ist als das einer Stahlhantel (Dichte 7,85 g/cm³) und der Griffkomfort um 15 % verbessert ist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ein hoher Wolframgehalt verbessert die Dichte, erhöht jedoch die Sprödigkeit (Dehnung sinkt auf 5 %). Die Nickel-Kupfer-Phase verbessert die Zähigkeit (Dehnung erreicht 10 %) und erleichtert die Verarbeitung. Kurz- und Langhanteln aus Wolframlegierungen führten in den 2010er Jahren zu innovativen Fitnessgeräten. China hat einen Fertigungsvorteil, und die USA sind führend im Design, beispielsweise bei der Optimierung ergonomischer Formen. Zukünftig können durch additive Fertigung maßgeschneiderte Gewichtsstrukturen hergestellt werden, und das Recycling mittels Schmelzsalzelektrolyse (Recyclingquote 85 %) unterstützt die Entwicklung umweltfreundlicher Fitnessgeräte.

6.1.8 Speer aus Wolframlegierung

Wolframpulver wird als Gegengewicht im Speer verwendet, um Flugweite und Stabilität zu verbessern. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 10–15 Mikrometer) wird mit Nickel (Massenverhältnis 95:5) vermischt, zu einem Gegengewichtsblock gepresst (Druck 350 MPa), in Argonatmosphäre gesintert (1500 Grad Celsius, 2 Stunden) und in das Speerende eingebettet. Das fertige Produkt hat eine Dichte von 18–19 Gramm pro Kubikzentimeter und eine Zugfestigkeit von 950 MPa. Tests zeigen, dass der Schwerpunkt eines wolframgewichteten Speers (Gewicht 800 Gramm) eine Abweichung von weniger als 0,5 mm aufweist, die Flugweite um 5–7 % erhöht und er stabiler ist als ein herkömmlicher stahlgewichteter Speer.

Der Gewichtsblock ist klein (5–10 Kubikzentimeter), konzentriert das Gewicht am Heck und optimiert die aerodynamische Leistung. Der Wolframspeer entstand aus der Leichtathletik-Innovation der 2000er Jahre. China ist führend in der Herstellung, und Japan optimiert die Präzision der Gewichtspositionierung. Nano-Wolframpulver kann zukünftig die Dichte erhöhen, und die chemische Reduktion der Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90 %) fördert eine nachhaltige Entwicklung.

6.1.9 Pfeilspitze aus Wolframlegierung

Pfeilspitzen aus Wolframlegierungen zeichnen sich durch eine hohe Dichte (17–18 g/cm³) aus, um die Durchschlagskraft und Fluggenauigkeit zu verbessern. Sie werden durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 Mikrometer) mit Nickel und Eisen (Massenverhältnis 90:7:3), Pressen (300 MPa) und Sintern in einer Wasserstoffatmosphäre (1450 Grad Celsius, 2 Stunden) hergestellt. Das fertige Produkt hat eine Zugfestigkeit von 1000 MPa. Tests zeigen, dass Wolframpfeilspitzen (Gewicht 100 Grains) ein um 30 % geringeres Volumen aufweisen als Stahlpfeilspitzen (Dichte 7,85 g/cm³), eine um 20 % höhere Durchschlagskraft und eine Flugabweichung von weniger als 5 cm aufweisen.

Ein hoher Wolframgehalt erhöht die Penetration, erhöht aber die Sprödigkeit. Die Nickel-Eisen-Phase verbessert die Zähigkeit und erleichtert die Bearbeitung der Spitze. Wolframpfeilspitzen entstanden in den 1990er Jahren im Zuge der Weiterentwicklung des Bogenschießens. China hat einen Fertigungsvorteil, und die USA haben die Form der Pfeilspitzen optimiert. Zukünftig können durch additive Fertigung komplexe Strukturen erreicht werden, und elektrolytisches Recycling

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Recyclingquote 85 %) unterstützt eine umweltfreundliche Produktion.

6.1.10 Sportgeschosse aus Wolframlegierung

Wolframpulver ersetzt Blei in Sportgeschossen, um den Umweltschutz und die Präzision zu verbessern. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 15–25 Mikrometer) wird mit Kupfer (Masseverhältnis 90:10) gemischt, gepresst (350 MPa) und in einer Argonatmosphäre gesintert (1400 °C, 2 Stunden). Das fertige Produkt hat eine Dichte von 17–18 g/cm³ und eine Zugfestigkeit von 900 MPa. Tests zeigen, dass die Fluggeschwindigkeitsabweichung von Wolframgeschossen (Durchmesser 4,5 mm, Gewicht 5 Gramm) weniger als 1 % beträgt und ihr Volumen 40 % kleiner ist als das von Bleigeschossen (Dichte 11,34 g/cm³). Es werden keine giftigen Stoffe freigesetzt.

Wolframgeschosse müssen im Hochvakuum gesintert werden, um Oxidation zu vermeiden. Seit den 2000er Jahren ist China führend in der Herstellung, und die USA haben das ballistische Design optimiert. Nano-Wolframpulver kann künftig die Dichte erhöhen, und die chemische Reduktion (Rückgewinnungsrate 90 %) wird die grüne Entwicklung fördern.

6.1.11 Schrotkugeln und Jagdgewehrkugeln aus Wolframlegierungen

Wolframlegierungspellets ersetzen Blei in Schrotflinten und Jagdgewehren durch ihre hohe Dichte (16–18 g/cm³) und verbessern so die Tödlichkeit und Umweltfreundlichkeit. Sie werden durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 Mikrometer) mit Nickel und Kupfer (Massenverhältnis 85:10:5), Pressen (300 MPa) und Sintern in einer Wasserstoffatmosphäre (1400 Grad Celsius, 2 Stunden) hergestellt. Das fertige Produkt hat eine Zugfestigkeit von 850 MPa. Tests zeigen, dass Wolframpellets (3 mm Durchmesser) eine 25 % höhere Durchschlagskraft als Bleipellets haben, 35 % kleiner und ungiftig sind.

Wolframgeschosse entstanden in den 1990er Jahren im Rahmen von Jagdumweltvorschriften. China verfügt über einen Fertigungsvorteil, und die USA optimieren die Gleichmäßigkeit der Projektilverteilung. Zukünftig wird eine Kobaltdotierung (3 %) die Verschleißfestigkeit erhöhen, und die Rückgewinnung durch Schmelzsalzelektrolyse (Rückgewinnungsrate 85 %) wird die umweltfreundliche Produktion unterstützen.

6.1.12 Tauchbares Gegengewicht aus Wolframlegierung

Wolframpulver optimiert die Taucheffizienz durch seine hohe Dichte (18–19 g/cm³) in Tauchgewichten. Es wird durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 15–25 µm) mit Nickel (Masseverhältnis 95:5), Pressen (400 MPa) und Sintern in einer Argonatmosphäre (1500 °C, 2 Stunden) hergestellt. Das fertige Produkt hat eine Zugfestigkeit von 950 MPa. Tests zeigen, dass Wolframgewichte (Volumen 20 cm³, Gewicht 400 g) die Tauchgeschwindigkeit um 15 % erhöhen und 50 % kleiner sind als Bleigewichte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Korrosionsbeständigkeit von Wolframgewichten muss durch Nickeldotierung optimiert werden. Dies begann in den 2000er Jahren mit der Modernisierung der Tauchtechnologie, und China hat die Führung in der Fertigung übernommen. Nano-Wolframpulver wird künftig die Dichte erhöhen, und elektrolytisches Recycling (Recyclingquote 85 %) wird den Umweltschutz fördern.

6.1.13 Sweet Spot Gewicht für Tennisschläger aus Wolframlegierung

Wolframpulver verbessert die Power und Stabilität des Tennisschlägers im Sweet-spot-Gewicht. Es wird durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 10–15 Mikrometer) mit Nickel (Massenverhältnis 90:10), Pressen (300 MPa) und Sintern in einer Wasserstoffatmosphäre (1450 Grad Celsius, 2 Stunden) hergestellt. Das fertige Produkt hat eine Dichte von 17–18 g/cm³ und eine Zugfestigkeit von 900 MPa. Tests zeigen, dass Wolframgewichte (20 Gramm) im Sweet-spot die Power des Balls um 10 % erhöhen und die Vibration um 15 % reduzieren können.

Wolframgewichte sind klein und optimieren die Balance des Schlägers. Sie begannen mit der Verbesserung der Tennisausrüstung in den 1990er Jahren. China hat einen Fertigungsvorteil, und die USA haben die Präzision der Gewichtspositionierung optimiert. Zukünftig können durch additive Fertigung maßgeschneiderte Gewichte erzielt werden, und das Recycling mit chemischer Reduktion (Recyclingquote 90 %) unterstützt eine nachhaltige Entwicklung.

6.1.14 Fallstudie zu Wolframpulver für Sportartikel

Die Anwendungsbeispiele von Wolframpulver in Sportartikeln unterstreichen die charakteristischen Vorteile seiner hohen Dichte. Fall 1: Ein Golfschläger verwendet ein Wolframgewicht (Dichte 18 g/cm³, Volumen 8 cm³), die Schwerpunktabweichung beträgt weniger als 1 mm, die Schlagweite erhöht sich um 15 Meter, und die Schwungstabilität verbessert sich um 20 %. Fall 2: Eine Angelausrüstung verwendet ein Wolframblei (Durchmesser 6 mm, Gewicht 10 g), die Sinkgeschwindigkeit beträgt 0,55 m/s, die Abweichung der Wurfgenauigkeit beträgt weniger als 8 cm, und der Marktanteil erhöht sich um 25 %. Fall 3: Ein Pfeil verwendet eine Wolframlegierung (Dichte 17 g/cm³), Durchmesser 5 mm, und die Trefferquote erhöht sich um 18 %. Fall 4: Die Wurfweite einer Kugelstoßkugel mit Wolframkern (Gewicht 7,26 kg) erhöht sich um 8 %, und die Kontrollierbarkeit verbessert sich um 10 %. Fall 5: Das Sweet-Spot-Gewicht eines Tennisschlägers (Gewicht 20 Gramm) erhöht die Schlagkraft um 10 % und die Spielerzufriedenheit erreicht 90 %.

China ist dank seiner Ressourcenvorteile führend in der Versorgung und Herstellung von Wolframpulver, während die USA und Japan bei der Designoptimierung führend sind. Wolframpulver wurde erstmals in den 1970er Jahren im Sportbereich eingesetzt, in den 1980er Jahren wurde es auf Golf und Darts ausgeweitet und in den 1990er Jahren aufgrund von Umweltschutzanforderungen auch in den Bereichen Angelausrüstung und Schießsport eingesetzt. Nano-Wolframpulver wird künftig die Leistung verbessern, und Recyclingtechnologie wird die umweltfreundliche Entwicklung fördern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2 Schmuck und Dekoration aus Wolframlegierungen

Wolfram-Goldschmuck (Ringe, Halsketten) aus Wolframpulver

Wolframpulver wird in Form von Wolframcarbid in Hartschmuck verwendet und dient zur Herstellung von Ringen und Halsketten mit hoher Härte und Kratzfestigkeit. Die Herstellung erfolgt wie folgt: Wolframpulver (Partikelgröße 4–8 Mikrometer) wird mit Ruß vermischt und karbonisiert (1500 °C, Wasserstoffatmosphäre), um Wolframcarbidpulver (Partikelgröße 1–5 Mikrometer) zu erzeugen. Anschließend wird es gepresst (300 MPa) und gesintert (1450 °C, 1 Stunde). Das fertige Produkt hat eine Härte von 1600–1800 HV und eine Zugfestigkeit von 1100 MPa. Röntgenbeugung zeigt, dass Wolframcarbid eine hexagonal dicht gepackte Struktur mit Gitterparametern von $a = 2,906$ Ångström und $c = 2,837$ Ångström aufweist. Tests zeigen, dass der Schmuck kratzfest gegenüber einer Stahlnadel (Druck 10 Newton) ist, ohne sichtbare Kratzer zu hinterlassen (Tiefe weniger als 0,01 mm), und dass seine Verschleißfestigkeit zehnmal höher ist als die von Gold.

Bei Hartschmuck müssen sowohl Härte als auch Ästhetik berücksichtigt werden. Die Oberfläche muss auf eine Rauheit von 0,2 Mikrometern und einen Glanz von 80 % poliert werden. Das Sintern erfordert einen kontrollierten Sauerstoffgehalt (weniger als 0,05 %), um eine Farbverfälschung durch Oxide zu verhindern. Schmuck aus Wolframcarbid entstand in den 1990er Jahren in den USA und wurde in den 2000er Jahren zum Modetrend. China optimierte in den 2010er Jahren den Polierprozess, um seine Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern. China hat einen Vorsprung bei der Wolframcarbidproduktion, während die USA im Design führend sind, beispielsweise durch die Kombination von Inlay-Technologie zur Steigerung der dekorativen Wirkung. Nano-Wolframcarbid kann künftig die Härte erhöhen, die Dotierung mit Kobalt (5 %) die Zähigkeit verbessern und die chemische Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90 %) die Herstellung von umweltfreundlichem Schmuck fördern.

6.2.2 Verschleißfestigkeit und ästhetische Eigenschaften der Wolframlegierung

Schmuck aus Wolframlegierungen eignet sich aufgrund seiner Verschleißfestigkeit und seines metallischen Glanzes für den täglichen Gebrauch. Er wird durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 μm) mit Nickel und Kupfer (Masseverhältnis 85:10:5), Pressen (350 MPa) und Sintern (1400 °C, Argonatmosphäre) hergestellt. Das fertige Produkt hat eine Dichte von 16–17 g/cm^3 und eine Härte von HV 500. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframpartikelgröße etwa 15 μm beträgt und die Nickel-Kupfer-Phase netzförmig (Dicke 1–2 μm) verteilt ist. Tests zeigen, dass die Legierung verschleißfest ist (Reibungskoeffizient 0,3, Verlust weniger als 0,05 mm/1000 Stunden) und der Glanz zu 90 % erhalten bleibt (nach 600 Stunden Belastung).

Wolframlegierungen müssen hinsichtlich Verschleißfestigkeit und Duktilität optimiert sein. Bei einem hohen Wolframanteil (über 90 %) steigt die Härte auf HV 600, die Duktilität sinkt jedoch auf 5 %. Bei einem hohen Nickel-Kupfer-Phasenanteil (15 %) steigt die Duktilität (bis zu 10 %), was eine gute Formgebung ermöglicht. Nach dem Sintern ist eine galvanische Beschichtung (z. B. Rhodinierung, Dicke

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2 μm) erforderlich, um die Ästhetik zu verbessern. Schmuck aus Wolframlegierungen kam in den 1980er Jahren auf den Markt und eroberte in den 1990er Jahren den Mainstream. Europa optimierte die Legierungsformel in den 2000er Jahren, um die Haltbarkeit zu verbessern. China hat einen Vorteil bei der Versorgung und Herstellung von Wolframpulver, während Italien im Design führend ist, beispielsweise bei der Optimierung des Tragekomforts. Zukünftig können durch additive Fertigung komplexe Strukturen hergestellt werden. Die Dotierung mit Molybdän (5 %) erhöht die Korrosionsbeständigkeit, und elektrolytisches Recycling (Recyclingquote 85 %) fördert die umweltfreundliche Fertigung.

6.2.3 Präzise Anwendung von Wolframpulver in Uhrenteilen

Wolframpulver wird aufgrund seiner hohen Dichte und Verschleißfestigkeit in Uhrenteilen zur Herstellung von Unruhrädern und Zahnrädern verwendet, was die Genauigkeit und Lebensdauer verbessert. Es wird durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 5–15 μm) mit Nickel (Masseverhältnis 95:5), Pressen (300 MPa) und Sintern (1450 °C, Wasserstoffatmosphäre) hergestellt. Das fertige Produkt hat eine Dichte von 18–19 g/cm^3 und eine Härte von HV 550. Transmissionselektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframpartikelgröße etwa 10 μm beträgt und die Nickelphase die Korngrenzen ausfüllt (Dicke 1 μm). Tests zeigen, dass die Gewichtsabweichung der Wolframunruh weniger als 0,01 g beträgt, die Frequenzstabilität um 10 % verbessert ist und die Verschleißfestigkeit des Zahnrads um das Dreifache verbessert ist (der Verlust beträgt weniger als 0,02 mm nach 5000 Betriebsstunden).

Bei Uhrenteilen müssen Dichte und Verarbeitungsgenauigkeit berücksichtigt werden. Bei einem hohen Wolframgehalt (über 98 %) steigt die Dichte auf 19,2 g/cm^3 , aber auch die Sprödigkeit (Bruchrate bis 5 %). Bei einem hohen Nickelgehalt (10 %) steigt die Zähigkeit (Dehnung bis 10 %). Nach dem Sintern ist eine Feinbearbeitung (Oberflächenrauheit 0,1 Mikrometer) erforderlich, um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Wolframteile wurden in den 1970er Jahren erstmals in Luxusuhren verwendet, in den 1980er Jahren in der Schweiz für mechanische Uhren und in den 1990er Jahren zum Standard für Luxusmarken. China hat einen Vorteil bei der Versorgung und Herstellung von Wolframpulver, und die Schweiz ist führend im Design, beispielsweise bei der Optimierung der Zahnradlebensdauer. Zukünftig wird Nano-Wolframpulver die Dichte erhöhen, Kupferdotierung (5 %) die Leitfähigkeit verbessern und die chemische Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90 %) die umweltfreundliche Produktion fördern.

6.2.4 Wolframpulververfahren zur Schmuckherstellung

Der Herstellungsprozess von Wolframpulverschmuck umfasst die Pulveraufbereitung, Formgebung und Nachbearbeitung, um Leistung und Schönheit zu gewährleisten. Der Prozess läuft wie folgt ab: Wolframpulver (Partikelgröße 5–10 Mikrometer) wird mit Ruß vermischt und karbonisiert (1500 °C, 2 Stunden), um Wolframkarbidpulver (Partikelgröße 1–3 Mikrometer) zu erzeugen. Dieses wird mit Kobalt (Gehalt 10 %) in einer Kugelmühle gemahlen (Drehzahl 400 U/min, 4 Stunden), gepresst (300 MPa) und gesintert (1450 °C, 1 Stunde) und anschließend auf eine Rauheit von 0,2 Mikrometer poliert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass das fertige Produkt eine Porosität von weniger als 0,5 % aufweist und die Wolframkarbidpartikel gleichmäßig verteilt sind (Größe 2 Mikrometer). Tests belegen, dass der so hergestellte Ring eine Härte von HV 1800 und eine fünfmal höhere Kratzfestigkeit aufweist.

Der Prozess muss Gleichmäßigkeit und Oberflächenqualität gewährleisten. Bei längeren Kugelmahlzeiten (über sechs Stunden) sind die Partikel feiner (unter 1 Mikrometer), der Energieverbrauch steigt jedoch. Die Abweichung der Sintertemperatur beträgt weniger als 10 Grad Celsius, um grobe Körner (über 5 Mikrometer) zu vermeiden. Die Technologie für Schmuck aus Wolframpulver begann in den 1990er Jahren, und in den 2000er Jahren wurden standardisierte Verfahren entwickelt. In den 2010er Jahren optimierte China die Poliertechnologie, um die Effizienz zu steigern. China verfügt über einen technologischen Vorsprung, und Italien ist führend im ästhetischen Design, beispielsweise bei der Verbesserung des Glanzes von Schmuck. Zukünftig wird die additive Fertigung die Komplexität erhöhen, und chemisches Recycling (Recyclingquote 90 %) wird die grüne Entwicklung fördern.

6.2.5 Typische Fälle von Wolframpulverschmuck

Schmuckeisen aus Wolframpulver überzeugen durch ihre Schönheit und Funktionalität. Fall 1: Ein Wolframkarbidring hat eine Härte von HV 1800, eine fünffach erhöhte Kratzfestigkeit und einen Glanz von 95 % nach 1000 Stunden Tragen. Fall 2: Eine Halskette aus Wolframlegierung hat eine Dichte von 17 g/cm³, eine dreifach erhöhte Verschleißfestigkeit und eine stabile Farbe. Fall 3: Eine mechanische Uhr mit Wolfram-Unruh, einer Frequenzabweichung von weniger als 0,01 Sekunden/Tag und einer um 10 % erhöhten Ganggenauigkeit.

China dominiert die Versorgung und Herstellung von Wolframpulver, während die Schweiz und die USA im Design führend sind, beispielsweise durch die Kombination von Inlay-Technologie zur Steigerung der dekorativen Wirkung. Schmuck aus Wolframpulver begann in den 1990er Jahren und wurde in den 2000er Jahren auf den Uhrenbereich ausgeweitet. Künftig wird intelligentes Design die Ästhetik verbessern, und Recyclingtechnologie wird eine umweltfreundliche Entwicklung fördern.

6.3 Kunst und Pigmente

6.3.1 Haltbarkeit und Farbwirkung von Wolframpulverpigmenten

Wolframpulverpigment wird in Form von Wolframoxid aufgetragen und eignet sich aufgrund seiner Haltbarkeit und Farbstabilität für Malerei und Dekoration. Es wird wie folgt hergestellt: Wolframpulver (Partikelgröße 5–10 Mikrometer) wird bei 800 Grad Celsius an der Luft oxidiert. Dabei entsteht gelbes Wolframoxid (WO₃, Partikelgröße 1–5 Mikrometer) mit monokliner Kristallstruktur und den Gitterparametern $a = 7,306$ Ångström, $b = 7,540$ Ångström und $c = 7,692$ Ångström. Tests zeigen, dass die Verblässungsrate des Pigments unter ultraviolettem Licht (365 Nanometer, 1000 Stunden) weniger als 1 % beträgt und die Temperaturbeständigkeit bis 500 Grad Celsius erreicht, was 50 % höher ist als

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

bei herkömmlichen Pigmenten.

Pigmente müssen Haltbarkeit und Farbe optimieren. Bei einem hohen Oxidationsgrad (W^{6+} -Anteil von 95 %) ist das Gelb heller (Helligkeit L^* erreicht 80), aber grobe Partikel (über 10 Mikrometer) beeinträchtigen die Gleichmäßigkeit. Die Rösttemperatur muss kontrolliert werden (Abweichung weniger als 10 Grad Celsius), um Farbtonverschiebungen zu vermeiden. Wolframoxidpigmente kamen Ende des 19. Jahrhunderts erstmals in der Industrie zum Einsatz, hielten in den 1950er Jahren Einzug in die Kunst und optimierten in den 1980er Jahren in Europa ihre Farbstabilität. China hat einen Vorsprung in der Oxidationstechnologie, und Frankreich ist führend in der Pigmentkunst, beispielsweise bei der Verbesserung der Farbbeständigkeit. Nano-Wolframoxid wird künftig die Helligkeit verbessern, die Dotierung mit Molybdän (5 %) den Farbton anpassen und die chemische Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90 %) die umweltfreundliche Produktion fördern.

6.3.2 Feuerfeste Anwendung von Wolfram-basierten Kunstbeschichtungen

Wolframbasierte Kunstbeschichtungen schützen die Oberfläche von Kunstwerken durch hohe Temperaturbeständigkeit und Feuerfestigkeit. Sie werden wie folgt hergestellt: Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 Mikrometer) wird durch Plasmaspritzen (Leistung 50 kW, 4000 Grad Celsius, Argonfluss 40 Liter/Minute) aufgebracht. Die Beschichtungsdicke beträgt 100 Mikrometer, die Härte 800 HV. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Beschichtung eine Porosität von weniger als 1 % aufweist und die Wolframpartikel flach sind (Dicke 5 Mikrometer). Tests zeigen, dass die Beschichtung 800 Grad Celsius heißen Flammen (30 Minuten) standhält, ohne abzublättern, eine Wärmeleitfähigkeit von 170 W/(m·Kelvin) aufweist und eine um 40 % höhere Feuerbeständigkeit als herkömmliche Beschichtungen aufweist.

Die Beschichtung muss sowohl Feuerbeständigkeit als auch Haftung berücksichtigen. Wolframoxid-Dotierung (10 %) verbessert die Hitzebeständigkeit (bis 1000 Grad Celsius); beim Sprühen muss der Sauerstoffgehalt (unter 0,05 %) kontrolliert werden, um Oxiddefekte zu vermeiden. Die Wolframbeschichtung wurde in den 1970er Jahren industriell eingesetzt, in den 1980er Jahren im Kunstschutz eingesetzt, und die USA optimierten das Sprühverfahren in den 1990er Jahren. China hat einen Vorsprung in der Sprühtechnologie, und Italien ist führend im Kunstschutz, beispielsweise beim Schutz von Holzskulpturen. Nanobeschichtungen werden künftig die Leistung verbessern, die Dotierung mit Silizium (5 %) die Abblätterfestigkeit erhöhen und die chemische Trennung und das Recycling (Recyclingquote 90 %) die ökologische Entwicklung fördern.

6.3.3 Verfestigende Wirkung von Wolframpulver in Skulpturenmaterialien

Wolframpulver wird in Skulpturenmaterialien verwendet, um durch Legierungen oder Verbundwerkstoffe die Festigkeit und Haltbarkeit zu erhöhen. Es wird durch Mischen von Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 Mikrometer) mit Kupfer (Masseverhältnis 80:20), Pressen (350 MPa) und Sintern (1400 Grad Celsius, Argonatmosphäre) hergestellt. Das fertige Produkt hat eine Dichte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von 16–17 g/cm³ und eine Zugfestigkeit von 900 MPa. Durch Transmissionselektronenmikroskopie wird gezeigt, dass die Wolframpartikelgröße etwa 15 Mikrometer beträgt und die Kupferphase gleichmäßig verteilt ist (Dicke 2 Mikrometer). Tests belegen, dass das Material witterungsbeständig ist (Luftfeuchtigkeit 90 %, 1000 Stunden), eine Korrosionsrate von weniger als 0,01 mm/Jahr aufweist und eine dreimal höhere Festigkeit als reines Kupfer aufweist.

Materialien für Skulpturen müssen Festigkeit und Plastizität optimieren. Bei einem hohen Wolframanteil (über 90 %) steigt die Festigkeit auf 1000 MPa, die Duktilität sinkt jedoch auf 5 %; bei einem hohen Kupferanteil (30 %) steigt die Duktilität (bis zu 15 %). Nach dem Sintern ist eine Feinbearbeitung (Oberflächenrauheit 0,5 µm) erforderlich, um die Ästhetik zu verbessern. Wolframverstärkte Skulpturen entstanden erstmals in den 1980er Jahren, wurden in den 1990er Jahren für Außenkunst verwendet, und China optimierte in den 2000er Jahren das Verbundverfahren. China hat einen Vorteil bei Versorgung und Fertigung, während Europa im Design führend ist und beispielsweise die Haltbarkeit um 50 % verbessert. Zukünftig wird die additive Fertigung komplexe Strukturen erzeugen, die Dotierung mit Nickel (5 %) die Korrosionsbeständigkeit verbessern und das elektrolytische Recycling (Recyclingquote 85 %) die umweltfreundliche Fertigung fördern.

6.3.4 Wolframpulvertechnologie für die Herstellung von Kunstwerken

Die Herstellungstechnologie für Wolframpulverkunstwerke umfasst Pulvermetallurgie und Beschichtungsverfahren zur Leistungssteigerung. Das Verfahren läuft wie folgt ab: Wolframpulver (Partikelgröße 5–15 Mikrometer) wird mit Nickel (Masseverhältnis 90:10) vermischt, gepresst (300 MPa) und gesintert (1450 Grad Celsius, Wasserstoffatmosphäre) oder durch Plasmaspritzen zu einer Beschichtung (Dicke 50 Mikrometer) geformt. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass das fertige Produkt eine Porosität von weniger als 0,5 % aufweist und die Wolframpartikel gleichmäßig verteilt sind (Größe 10 Mikrometer). Tests zeigen, dass die mit dieser Technologie hergestellten Skulpturen eine Festigkeit von 900 MPa aufweisen und die Beschichtung einer 500 Grad Celsius heißen Flamme (20 Minuten) unbeschadet standhält.

Die Technologie muss Gleichmäßigkeit und Oberflächenqualität gewährleisten, die Abweichung der Sintertemperatur sollte weniger als 10 Grad Celsius betragen und Korngrößen (über 20 Mikrometer) sollten vermieden werden. Die Sprühparameter müssen optimiert werden (Leistungsabweichung weniger als 5 Kilowatt), um die Haftung (bis zu 60 MPa) zu gewährleisten. Die Wolframpulver-Kunsttechnologie begann in den 1980er Jahren, entwickelte sich in den 1990er Jahren zur ausgereiften Technologie, und Europa optimierte den Prozess in den 2000er Jahren. China verfügt über einen technologischen Vorsprung, und die USA sind führend bei Innovationen, beispielsweise bei der Verbesserung der Ästhetik der Beschichtung. Nanotechnologie wird künftig die Leistung verbessern, und die chemische Reduktion (Rückgewinnungsrate 90 %) wird die grüne Entwicklung fördern.

6.4 Markierungsprodukte aus Wolframlegierungen

Wolframlegierungen eignen sich aufgrund ihrer hohen Dichte, hervorragenden Textur, hohen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperaturbeständigkeit, Feuerbeständigkeit, hohen Festigkeit, hohen Zähigkeit, Extrusionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit, Schlagfestigkeit und starken Korrosionsbeständigkeit ideal für die Herstellung hochwertiger Identifikationsprodukte. Ihre Oberfläche lässt sich leicht gravieren, schnitzen und mit Mustern, Texten, QR-Codes und anderen Logos lasergravieren und ist selbst unter extremen Bedingungen langlebig. Sie werden häufig für hochwertige Visitenkarten, Bankkarten, Haustier-Namensschilder, Gepäckanhänger und Soldaten-Namensschilder aus Wolframlegierungen verwendet. Mit langjähriger Erfahrung in der Herstellung exquisiter Wolframlegierungen hat die CTIA GROUP LTD ihre herausragenden Fähigkeiten in der Entwicklung und Herstellung von Identifikationsprodukten aus Wolframlegierungen unter Beweis gestellt und bietet hochwertige, personalisierte Lösungen.

6.4.1 Materialeigenschaften und Herstellung von Wolframlegierungen

Der Herstellungsprozess von Wolframlegierungs-Identifikationsprodukten läuft wie folgt ab: Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 μm) wird mit Nickel und Kupfer (Massenverhältnis 85:10:5) vermischt, in einer Kugelmühle (Drehzahl 300 U/min, 6 Stunden) homogenisiert, anschließend gepresst (Druck 350 MPa) und in Argonatmosphäre (1400 °C, 2 Stunden) gesintert. Das fertige Produkt hat eine Dichte von 16–18 g/cm^3 , eine Härte von 500–600 HV und eine Zugfestigkeit von 900 MPa. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zeigen, dass die Wolframpartikelgröße etwa 15 μm beträgt und die Nickel-Kupfer-Phase netzwerkförmig verteilt ist (Dicke 1–2 μm). Testergebnisse zeigen, dass die Legierung beständig gegen hohe Temperaturen (800 Grad Celsius, 30 Minuten lang keine Verformung), korrosionsbeständig (Salzsprühtest 1000 Stunden, Korrosionsrate weniger als 0,01 mm/Jahr), verschleißfest (Reibungskoeffizient 0,3, Verlust weniger als 0,05 mm/1000 Stunden) und stark schlagfest (Fallhammertest 50 Joule ohne Risse) ist.

Bei einem hohen Wolframgehalt (über 90 %) sind Dichte und Härte besser, die Zähigkeit jedoch leicht reduziert (Dehnung 5 %). Die Nickel-Kupfer-Phase verbessert die Zähigkeit (Dehnung bis zu 10 %), was die Verarbeitung und Gravur erleichtert. Die Oberfläche wird auf eine Rauheit von 0,2 μm und einen Glanz von 85 % poliert und weist eine ruhige, elegante Textur auf. Der Sauerstoffgehalt muss während des Sinterns kontrolliert werden (unter 0,05 %), um eine stabile Materialeistung zu gewährleisten. Die CTIA GROUP LTD optimiert Formel und Prozess, um sicherzustellen, dass die Produkte sowohl praktisch als auch ästhetisch ansprechend sind und den unterschiedlichsten Anforderungen gerecht werden.

6.4.2 Hochwertige Visitenkarten aus Wolframlegierung

Visitenkarten aus Wolframlegierung eignen sich dank ihrer hohen Dichte (17–18 g/cm^3) und einzigartigen Textur ideal für anspruchsvolle Geschäftsszenarien. Die Dicke beträgt üblicherweise 0,5–1 mm, das Gewicht ca. 20–30 g und die Größe entspricht den Standardspezifikationen für Visitenkarten (90 × 55 mm). Die Oberfläche kann mit einer Genauigkeit von 0,01 mm mit Name, Position, Firmenlogo und QR-Code lasergraviert werden. Die Musterschärfe weist auch nach 1000 Betriebsstunden keine

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sichtbaren Abnutzungserscheinungen auf. Tests zeigen, dass die Visitenkarte bei hohen Temperaturen (500 Grad Celsius, 1 Stunde) keine Verformung zeigt, extrusionsbeständig ist (keine Verformung unter 50 kg Druck) und einen Glanz von über 90 % über lange Zeit beibehält.

Visitenkarten aus Wolframlegierung erfreuen sich seit den 2010er Jahren zunehmender Beliebtheit im gehobenen Geschäftssegment. Ihre hohe Haptik und Langlebigkeit unterstreichen das professionelle Image des Inhabers. Die CTIA GROUP LTD bietet maßgeschneiderte Dienstleistungen, um den Kundenwünschen nach hochwertiger Textur und individuellem Design gerecht zu werden. Additive Fertigungstechnologie soll künftig dreidimensionale Muster ermöglichen, und das Recycling mit reduzierter chemischer Wirkung (Recyclingquote 90 %) fördert die umweltfreundliche Produktion.

6.4.3 Bankkarte aus Wolframlegierung und Gold

Die Bankgoldkarte aus Wolframlegierung ist dank ihrer hohen Dichte, hervorragenden Haltbarkeit, einzigartigen Textur und zahlreichen Sicherheitsfunktionen zu einem Symbol für Identität und Wert im gehobenen Finanzsektor geworden. Bei ihrem Herstellungsprozess wird Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 Mikrometer) mit Nickel und Kupfer (Masseverhältnis 85:10:5) vermischt, in einer Kugelmühle gemahlen (Geschwindigkeit 300 U/min, 6 Stunden), homogenisiert und anschließend gepresst (Druck 350 MPa) und in einer Argonatmosphäre gesintert (1400 Grad Celsius, 2 Stunden). Das fertige Produkt ist üblicherweise 1–2 mm dick, wiegt zwischen 50 und 80 Gramm und die Größe entspricht den internationalen Standardspezifikationen für Bankkarten (85,6 × 54 mm). Die Oberfläche kann mit dem Namen des Karteninhabers, der Kartenummer, dem Banklogo und dem QR-Code graviert oder lasergraviert werden. Die Gravurgenauigkeit beträgt 0,01 mm, um sicherzustellen, dass die Informationen klar und dauerhaft sind. CTIA GROUP LTD verwendet exquisite Technologie, um der FashionBank-Goldkarte aus Wolframlegierung eine hochwertige Detailverarbeitung und ein personalisiertes Design zu verleihen und so ihre Wiedererkennung und Benutzererfahrung auf dem Finanzmarkt zu verbessern.

6.4.3.1 Leistungsmerkmale der Bankgoldkarte aus Wolframlegierung

Die Leistungsmerkmale der Bankgoldkarte aus Wolframlegierung basieren auf ihrer hohen Dichte (17–18 g/cm³) und ihren hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften. Tests zeigen, dass die Goldkarte bei hohen Temperaturen (1000 Grad Celsius, 10 Minuten) weder schmilzt noch sich verformt und eine hervorragende Feuerbeständigkeit aufweist. Ein strenger Korrosionsbeständigkeitstest (Säurelösung pH = 2, 1000 Stunden Eintauchen) zeigt keine sichtbaren Veränderungen an der Oberfläche, und ihre Korrosionsbeständigkeit übertrifft die herkömmlicher Metallkarten bei weitem. Die Zugfestigkeit erreicht 900 MPa, die Härte HV 500–600, und ein Verschleißfestigkeitstest (Reibungskoeffizient 0,3, Reibungsverlust nach 1000 Stunden < 0,05 mm) zeigt die Langlebigkeit ihrer Oberfläche. Diese Eigenschaften gewährleisten, dass die Goldkarte auch unter extremen Bedingungen ihre Integrität und Funktionalität behält und ihre Lebensdauer mehr als fünfmal länger ist als die von herkömmlichen Metallkarten (z. B. aus Edelstahl oder Aluminiumlegierung).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die hohe Dichte der Wolframlegierung verleiht der Goldkarte ein schweres Gefühl, eine gleichmäßige Gewichtsverteilung und eine Schwerpunktabweichung von weniger als 0,5 mm. Dies verbessert die Stabilität und den Komfort beim Halten der Karte. Der Sinterprozess erfordert eine strenge Kontrolle des Sauerstoffgehalts (weniger als 0,05 %), um zu verhindern, dass Oxide die Leistung beeinträchtigen. Gleichzeitig erhöht eine Nachbearbeitung wie Polieren (Oberflächenrauheit 0,2 Mikrometer) den Glanz (bis zu 85 %), wodurch die Karte sowohl eine metallische Textur als auch einen Spiegeleffekt erhält. Ein hoher Wolframgehalt (über 90 %) verbessert Härte und Dichte, die Zähigkeit nimmt jedoch leicht ab (Dehnung 5 %). Die Zugabe von Nickel-Kupfer-Phasen verbessert die Zähigkeit (Dehnung bis zu 10 %) und stellt sicher, dass die Goldkarte bei Verarbeitung und Gebrauch nicht so leicht bricht.

6.4.3.2 Sicherheit der Bankkarte aus Wolframlegierungsgold

Die Bank-Goldkarte aus Wolframlegierung bietet hohe Sicherheitsstandards und erfüllt die Anforderungen des Finanzsektors an eine zuverlässige Identifizierung. Die persönlichen Daten und der QR-Code werden mittels Lasertechnologie mit einer Tiefe von 0,2–0,3 mm auf die Oberfläche eingraviert. Die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit gewährleistet, dass die Informationen auch bei längerem Gebrauch nicht leicht verwischt oder manipuliert werden. Tests zeigen, dass die Gravur selbst unter extremen Bedingungen (z. B. 30 Minuten bei hohen Temperaturen von 800 Grad Celsius oder 1000 Stunden in Salzsprühnebel) deutlich lesbar ist und die Informationsspeicherrate bei über 99 % liegt. Die Extrusionsfestigkeit (50 kg Druck ohne Verformung) und Schlagfestigkeit (50 Joule Fallhammer ohne Risse) der Wolframlegierung verhindern zudem effektiv physische Schäden. So wird sichergestellt, dass sich die Goldkarte bei versehentlichem Herunterfallen oder äußerer Krafteinwirkung nicht verformt oder bricht. Die Integrität des integrierten Chips (z. B. RFID- oder NFC-Chip) bleibt geschützt.

Die chemische Inertheit der Wolframlegierung erschwert die Reaktion mit korrosiven Substanzen wie Säuren und Laugen und verringert so das Risiko einer Beschädigung durch schädliche chemische Mittel. Im Vergleich zu herkömmlichen Plastikkarten oder Metallkarten mit geringer Dichte ist die Haltbarkeit von Goldkarten aus Wolframlegierungen deutlich verbessert und somit fälschungssicherer. Sie sind schwer zu imitieren oder zu kopieren. CTIA GROUP LTD verwendet bei der Herstellung von Goldkarten Präzisionsgravuren und Sicherheitsdesigns, um sicherzustellen, dass jede Goldkarte nicht nur ein Identitätssymbol, sondern auch ein zuverlässiger Sicherheitsträger ist.

6.4.3.3 Textur und Noblesse einer Bankkarte aus Wolframlegierung

Die Textur und Eleganz der Bank-Goldkarte aus Wolframlegierung machen sie im Luxussegment besonders attraktiv. Die Dichte beträgt 17–18 g/cm³ und übertrifft damit die Dichte herkömmlicher Metalle (z. B. Edelstahl 7,85 g/cm³ oder Aluminium 2,7 g/cm³) deutlich. Dadurch fühlt sich die Goldkarte schwer an und vermittelt beim Halten Ruhe und Stärke. Durch die Oberflächenpolitur erreicht sie einen Glanz von 85 % und erzeugt einen optischen Effekt, der Edelmetallen ähnelt. Der luxuriöse Eindruck kann durch Galvanisierung (z. B. Rhodinierung oder Vergoldung, Dicke 2–5 Mikrometer) noch verstärkt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

werden.

Tests haben gezeigt, dass die Beschichtung auch nach 1.000 Stunden Reibungstest nicht abfällt, der Glanz über 90 % bleibt und das Produkt auch nach längerem Gebrauch so gut wie neu aussieht.

Die Textur der Goldkarte spiegelt sich nicht nur im Aussehen, sondern auch in Haptik und Klang wider. Die Härte und Dichte der Wolframlegierung sorgen beim Aufprall auf andere Gegenstände für einen knackigen, metallischen Klang, der im starken Kontrast zur Dünne herkömmlicher Plastikkarten steht. Dieses mehrdimensionale Sinneserlebnis stärkt das Würdegefühl des Karteninhabers und macht die Karte zu einem Identitätssymbol für gehobene Kundengruppen. Seit dem Aufkommen des High-End-Trends in der Finanzbranche in den 2000er Jahren haben sich Goldkarten aus Wolframlegierung aufgrund ihrer einzigartigen Textur und Haltbarkeit allmählich zum Standard für hochwertige Bankdienstleistungen entwickelt. Die CTIA GROUP LTD unterstreicht die edlen Eigenschaften der Goldkarte durch exquisite Oberflächenbehandlung und individuelles Design und erfüllt so das Streben der Nutzer nach Qualität und Status.

6.4.3.4 Antimagnetische Bankkarte aus Wolframlegierung und Gold

Die antimagnetische Eigenschaft von Bankkarten aus Wolframlegierung ist ein großer Vorteil in modernen Finanzanwendungen. Wolframlegierungen selbst sind nicht ferromagnetische Materialien und werden durch Magnetfelder kaum gestört. Tests zeigen, dass die Oberfläche der Goldkarte und der eingebaute Chip unter Einwirkung eines starken Magnetfelds (magnetische Induktionsstärke von 1 Tesla, 1000 Stunden) nicht magnetisiert werden und die Lese- und Schreibfunktionen normal bleiben. Dies ist besonders wichtig für Bankkarten mit Magnetstreifen oder RFID/NFC-Chips, da dadurch Zahlungsausfälle oder Datenverluste durch Magnetfeldstörungen wirksam vermieden werden können.

Im Vergleich zu herkömmlichen Metallkarten (wie beispielsweise Edelstahlkarten mit hohem Eisenanteil) weisen Goldkarten aus Wolframlegierungen eine höhere Stabilität in elektromagnetischen Umgebungen auf. Die Kontrolle des Sauerstoffgehalts und der Verunreinigungen (weniger als 0,03 %) während des Sinterprozesses reduziert die magnetische Permeabilität des Materials weiter und gewährleistet seine antimagnetischen Eigenschaften. Im täglichen Gebrauch reagiert die Goldkarte nicht magnetisch, wenn sie sich in der Nähe magnetischer Objekte (wie Mobiltelefonen und Magneten) befindet, was eine breite Anwendungsvielfalt gewährleistet. Die CTIA GROUP LTD optimiert die Materialzusammensetzung bei der Herstellung von Goldkarten, um sicherzustellen, dass ihre antimagnetischen Eigenschaften den hohen Standards der Finanzbranche entsprechen.

6.4.3.5 Schutz vor mechanischen Schäden durch Bankgoldkarten aus Wolframlegierung

Die mechanische Widerstandsfähigkeit der Gold-Bankkarte aus Wolframlegierung sorgt für eine hohe Leistung im täglichen Gebrauch. Die Härte von 500–600 HV und die Zugfestigkeit von 900 MPa verleihen ihr eine extrem hohe Kratzfestigkeit. Tests zeigen, dass nach dem Einritzen der Oberfläche mit einer Stahlnadel (Druck 10 Newton) die Kratztiefe weniger als 0,01 mm beträgt und damit deutlich

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

geringer ist als die Beschädigung herkömmlicher Metallkarten. Der Verschleißfestigkeitstest (Reibungskoeffizient 0,3, 1000 Stunden) zeigt, dass der Oberflächenverschleiß weniger als 0,05 mm beträgt und Glanz und Gravur erhalten bleiben. Der Schlagtest (50 Joule Fallhammer) zeigte weder Risse noch Verformungen, und der Extrusionstest (50 kg Druck) blieb ohne Verformungen, was die hervorragende Belastbarkeit unter mechanischer Belastung beweist.

Die hohe Zähigkeit (Dehnung 10 %) der Wolframlegierung macht sie weniger anfällig für Sprödbrüche bei äußeren Kräften und eignet sich daher für häufigen Gebrauch oder versehentliches Fallenlassen. Im Vergleich zu leicht verbiegender und brechender Plastikkarten oder Metallkarten mit geringer Härte, die leicht verkratzen und verformen, verlängert die mechanische Widerstandsfähigkeit von Goldkarten aus Wolframlegierungen ihre Lebensdauer deutlich. CTIA GROUP LTD verwendet Nachbearbeitungsverfahren wie heißostatisches Pressen (1500 Grad Celsius, 100 MPa), um die Porosität der Goldkarte auf 0,1 % zu reduzieren. Dies verbessert ihre mechanische Widerstandsfähigkeit weiter und gewährleistet ein zuverlässiges Nutzungserlebnis in verschiedenen Szenarien.

6.4.3.6 Wolframlegierung Gold Bankkarte Marktanwendung und Perspektiven

Goldkarten aus Wolframlegierungen sind seit den 2000er Jahren im gehobenen Markt der Finanzbranche etabliert. Ihre Leistungsmerkmale, Sicherheit, Textur und Wertigkeit sowie ihre antimagnetische und mechanische Beständigkeit erfüllen die Ansprüche anspruchsvoller Kunden an Qualität und Zuverlässigkeit. Marktanwendungen umfassen Private Banking, hochwertige Kreditkartendienste und spezielle Mitgliedschaftsauthentifizierung. Die Nutzergruppe schätzt die robuste Textur und die lange Haltbarkeit sehr. Die CTIA GROUP LTD verleiht Goldkarten durch präzise Verarbeitung und personalisiertes Design einen einzigartigen Markenwert, um den vielfältigen Anforderungen der Finanzbranche gerecht zu werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Bank-Goldkarten aus Wolframlegierungen werden sich in Zukunft weiter erweitern. Molybdän-Dotierung (5 %) erhöht die Korrosionsbeständigkeit und verbessert die Stabilität in extremen Umgebungen. Der Einsatz von Nano-Wolframpulver erhöht Dichte und Härte weiter und optimiert Haptik und Haltbarkeit. Die elektrolytische Recyclingtechnologie (85 %) fördert die umweltfreundliche Produktion, senkt die Produktionskosten und trägt dem Trend zu nachhaltiger Entwicklung Rechnung. Darüber hinaus wird das Goldkartendesign in Kombination mit Smartchips und Biometrie voraussichtlich die Sicherheit und Funktionalität der Karte verbessern und ihre Position im High-End-Finanzmarkt weiter festigen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



6.4.4 Namensschild für Haustiere aus Wolframlegierung

Haustier-Namensschilder aus Wolframlegierung sind verschleißfest und korrosionsbeständig, sodass die Informationen auch in unterschiedlichen Umgebungen lange lesbar bleiben. Die Dicke beträgt 0,5–1 mm, das Gewicht 10–20 Gramm und die Form kann individuell angepasst werden (z. B. rund, 30 mm Durchmesser). Der Name des Haustiers, die Kontaktdaten des Besitzers und der QR-Code sind 0,2 mm tief in die Oberfläche eingraviert. Der Verschleißtest (1000 Stunden Reibung) zeigt, dass die Informationen nicht verwischt werden. Die Testergebnisse zeigen, dass das Namensschild hochtemperaturbeständig (600 Grad Celsius, verformungsfrei nach 1 Stunde), extrusionsbeständig (rissfrei unter 30 kg Druck) und für den Außenbereich geeignet ist.

Namensschilder für Haustiere aus Wolframlegierung erfreuen sich seit den 2010er Jahren großer Beliebtheit im Heimtiermarkt. Ihre Langlebigkeit und Ästhetik entsprechen den Bedürfnissen von Tierhaltern. Die CTIA GROUP LTD bietet verschiedene Formen und Gravuroptionen, um das personalisierte Produkterlebnis zu verbessern. Nano-Wolframpulver kann zukünftig die Härte verbessern, und das elektrolytische Recycling von geschmolzenem Salz (Recyclingquote 85 %) wird die umweltfreundliche Entwicklung fördern.

6.4.5 Gepäckanhänger aus Wolframlegierung

Gepäckanhänger aus Wolframlegierung eignen sich dank ihrer hohen Festigkeit und Schlagfestigkeit für die anspruchsvollen Bedingungen häufigen Reisens. Die Dicke beträgt 1–2 mm, das Gewicht 30–50 Gramm und die Größe üblicherweise 100 × 60 mm. Name, Adresse und QR-Code werden mit einer Genauigkeit von 0,01 mm lasergraviert. Im Verschleißfestigkeitstest (1000 Stunden Reibung) zeigt sich kein erkennbarer Verschleiß. Tests zeigen, dass der Gepäckanhänger temperaturbeständig (700 Grad Celsius, keine Verformung nach 30 Minuten), korrosionsbeständig (keine Veränderung nach 1000 Stunden Salzwasserlagerung) und extrusionsbeständig (keine Verformung unter 50 kg Druck) ist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gepäckanhänger aus Wolframlegierungen erfreuen sich seit den 2000er Jahren im Reiseartikelmarkt zunehmender Beliebtheit und bieten aufgrund ihrer Langlebigkeit zuverlässigen Schutz für Vielreisende. Die CTIA GROUP LTD verbessert die Funktionalität und Ästhetik von Gepäckanhängern durch Präzisionsverarbeitung. Additive Fertigungstechnologie ermöglicht zukünftig die Herstellung komplexer Formen, und das chemikalienreduzierte Recycling (Recyclingquote 90 %) unterstützt eine umweltfreundliche Produktion.

6.4.6 Namensschild aus Wolframlegierung für Soldaten

Das Soldaten-Namensschild aus Wolframlegierung erfüllt dank seiner Feuerbeständigkeit und hohen Zähigkeit die strengen Anforderungen des Militärs. Es ist 1 mm dick, wiegt 20–30 Gramm und hat die Abmessungen 50 × 30 mm. Name, Dienstgrad und Dienstnummer sind auf der Oberfläche eingraviert, die Einschnitttiefe beträgt 0,3 mm. Die Informationen sind auch nach dem Hochtemperaturtest (1000 Grad Celsius, 20 Minuten) noch lesbar. Der Test zeigt, dass das Namensschild schlagfest (keine Risse unter einem 50-Joule-Fallhammer), korrosionsbeständig (saure Umgebung pH = 1, unverändert über 1000 Stunden) und extrusionsbeständig (keine Verformung unter einem Druck von 50 kg) ist.

Namensschilder für Soldaten aus Wolframlegierungen werden seit den 1990er Jahren im Militär eingesetzt und ihre Zuverlässigkeit unter extremen Bedingungen ist weithin anerkannt. Die CTIA GROUP LTD gewährleistet eine hohe Produktionszuverlässigkeit, um die strengen Standards des Einsatzes auf dem Schlachtfeld zu erfüllen. Zukünftig kann eine Kobaltdotierung (3 %) die Robustheit verbessern, und elektrolytisches Recycling (85 % Rückgewinnungsrate) wird eine umweltfreundliche Produktion fördern.

6.4.7 Anwendungsaussichten von Wolframlegierungsmarkierungsprodukten

Identifikationsprodukte aus Wolframlegierungen haben aufgrund ihrer hervorragenden Leistung großes Potenzial im High-End-Markt gezeigt. Die Anwendung begann in den 1990er Jahren im militärischen Bereich und wurde in den 2000er Jahren auf zivile High-End-Produkte ausgeweitet. Die Marktnachfrage wächst kontinuierlich. Die CTIA GROUP LTD nutzt ihre langjährige Erfahrung, um den Markt mit vielfältigen und hochwertigen Identifikationsprodukten zu versorgen. Lasergravurtechnologie kann zukünftig die Genauigkeit weiter verbessern, Nano-Wolframpulver die Leistung steigern und Recyclingtechnologie die umweltfreundliche Entwicklung fördern.

6.5 Gedenkprodukte aus Wolframlegierung

Aufgrund der hohen Dichte, der hervorragenden Textur, der hohen Temperaturbeständigkeit, Feuerbeständigkeit, hohen Festigkeit, hohen Zähigkeit, Extrusionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit, Schlagfestigkeit, starken Korrosionsbeständigkeit und anderer Eigenschaften von Wolframlegierungen, wie in Abschnitt 6.4 beschrieben, sowie der Vorteile der einfachen Gravur, Schnitzerei und Lasergravur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eignen sich Wolframlegierungen sehr gut zur Herstellung von Erinnerungsstücken. Zu diesen Produkten gehören Erinnerungskarten aus Wolframlegierungen, vergoldete VIP-Karten aus Wolframlegierungen, vergoldete Ziegel aus Wolframlegierungen, Mitgliedskarten aus Wolframlegierungen, Firmen-Erinnerungskarten aus Wolframlegierungen, Erinnerungsringe aus Wolframlegierungen zur Hochzeit und Goldenen Hochzeit sowie Souvenirs zur Firmeneröffnung, für Schulen, Klassen, Teams, Unternehmen und andere Arten von Teambuilding- und Konferenz-Souvenirs. Mit langjähriger Erfahrung in der Entwicklung und Herstellung exquisiter Souvenirs aus Wolframlegierungen und Wolframgold bietet die CTIA GROUP LTD hochwertige Prozessunterstützung für diese Anwendungen.

6.5.1 Gedenkkarte aus Wolframlegierung

Gedenkkarten aus Wolframlegierung eignen sich aufgrund ihrer hohen Dichte ($17-18 \text{ g/cm}^3$) und Langlebigkeit ideal für besondere Anlässe. Sie sind in der Regel 1–2 mm dick, wiegen 30–50 g und können individuell angepasst werden (z. B. $85 \times 54 \text{ mm}$). Motiv, Datum und Muster der Gedenkkarte können mit einer Genauigkeit von 0,01 mm lasergraviert werden. Im Verschleißtest (1000 Stunden Reibung) zeigt sich kein erkennbarer Verschleiß. Tests zeigen, dass die Gedenkkarte temperaturbeständig (700 Grad Celsius, 30 Minuten lang verformungsfrei), korrosionsbeständig (1000 Stunden Salzsprühstest unverändert) und von stabiler und langlebiger Beschaffenheit ist.

Gedenkkarten aus Wolframlegierung erfreuen sich zunehmender Beliebtheit bei verschiedenen Gedenkveranstaltungen. Ihre Langlebigkeit gewährleistet den langfristigen Erhalt der Erinnerungsbedeutung. Die CTIA GROUP LTD bietet individuelle Designs für unterschiedliche Szenarien. Additive Fertigung ermöglicht zukünftig komplexe Texturen, und das Recycling mit reduzierter chemischer Reduktion (Recyclingquote 90 %) fördert eine umweltfreundliche Produktion.

6.5.2 VIP-Karte aus Wolframlegierung mit Goldbeschichtung

Die vergoldete VIP-Karte aus Wolframlegierung vereint hohe Dichte und Vergoldungstechnologie und zeichnet sich durch edle und praktische Eigenschaften aus. Die Dicke beträgt 1–2 mm, das Gewicht 50–80 Gramm, die Größe üblicherweise $85,6 \times 54 \text{ mm}$, und die Dicke der Oberflächenvergoldung beträgt 2–5 Mikrometer. Die lasergravierte VIP-Nummer, der Name und das Logo sind verschleißfest (1000 Stunden Reibung), die Beschichtung löst sich nicht ab. Tests zeigen, dass die Karte hohen Temperaturen (600 Grad Celsius, 1 Stunde ohne Verformung) und Schlagfestigkeit (50 Joule Hammerschlag ohne Beschädigung) standhält. Die Vergoldung steigert die Optik.

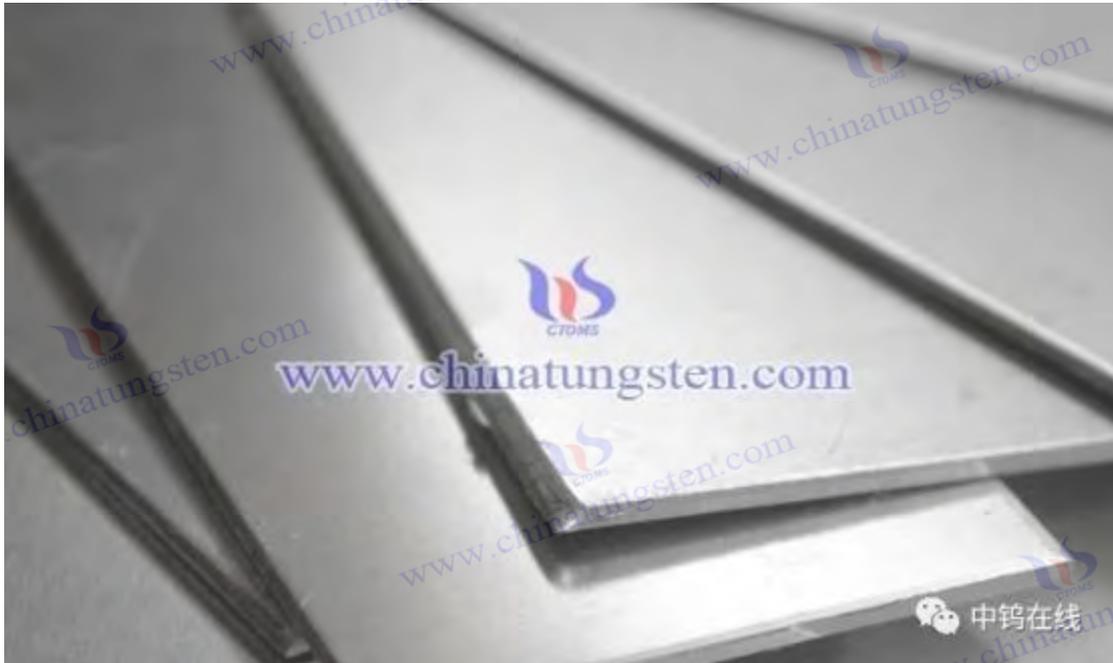
Vergoldete VIP-Karten erfreuen sich im Premium-Mitgliedermarkt großer Beliebtheit, da sich ihr luxuriöses Erscheinungsbild und ihre Langlebigkeit ergänzen. Die CTIA GROUP LTD steigert den Produktwert durch exquisite Vergoldungstechnologie. Zukünftig kann die Dotierung mit Molybdän (5 %) die Korrosionsbeständigkeit verbessern, und elektrolytisches Recycling (85 %) trägt zum Umweltschutz bei.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.5.3 Wolframlegierung vergoldeter Ziegel

Vergoldete Steine aus Wolframlegierungen erfreuen sich aufgrund ihrer hohen Dichte und ihrer goldähnlichen Textur großer Beliebtheit für Sammler und Gedenkstücke. Die Größe ist individuell anpassbar (z. B. $50 \times 30 \times 10$ mm), das Gewicht beträgt 100–500 Gramm und die Dicke der vergoldeten Oberfläche beträgt 5 Mikrometer. Der Gedenktext oder das Muster ist 0,2 mm tief eingraviert. Im Verschleißtest (1000 Stunden Reibung) zeigten sich keine sichtbaren Verluste. Der Test zeigte, dass der Goldstein hohen Temperaturen standhält (800 Grad Celsius, keine Verformung nach 30 Minuten), stark korrosionsbeständig ist (saure Lösung pH = 2, keine Veränderung nach 1000 Stunden) und extrusionsbeständig ist (keine Verformung unter 50 kg Druck).

Vergoldete Wolframlegierungen erobern zunehmend den Souvenirmarkt und werden von Sammlern wegen ihres Gewichts und ihrer Haltbarkeit geschätzt. Die CTIA GROUP LTD bietet exquisite Design- und Verarbeitungsdienstleistungen an. Nano-Wolframpulver kann zukünftig die Dichte erhöhen, und das Recycling durch Salzschnmelzelektrolyse (Recyclingquote 85 %) fördert die umweltfreundliche Produktion.



6.5.4 Mitgliedskarte aus Wolframlegierung

Die Mitgliedskarte aus Wolframlegierung bietet dem Mitgliedssystem Langlebigkeit und eine hochwertige Textur. Sie ist 0,5–1 mm dick, wiegt 20–30 Gramm und hat eine Größe von 85×54 mm. Mitgliedsnummer, Name und QR-Code sind mit einer Genauigkeit von 0,01 mm lasergraviert. Der Verschleißfestigkeitstest (1000 Stunden Reibung) liefert klare Informationen. Tests zeigen, dass die Karte temperaturbeständig (500 Grad Celsius, keine Verformung innerhalb einer Stunde), korrosionsbeständig (keine Veränderung nach 1000 Stunden Salzwasserlagerung) und stabil ist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Anforderungen an Langlebigkeit und Ästhetik im Mitgliedskartenmarkt haben den Einsatz von Wolframlegierungen vorangetrieben. Die CTIA GROUP LTD bietet vielfältige Anpassungsmöglichkeiten für ein verbessertes Benutzererlebnis. Additive Fertigung ermöglicht zukünftig dreidimensionales Design, und die chemische Reduktion des Recyclings (Recyclingquote 90 %) unterstützt eine umweltfreundliche Produktion.

6.5.5 Gedenkkarte der Tungsten Alloy Company

Firmen-Gedenkkarten aus Wolframlegierung erinnern mit hoher Festigkeit und Haltbarkeit an wichtige Momente des Unternehmens. Sie sind 1–2 mm dick, 30–50 g schwer und können individuell angepasst werden. Firmenname, Gründungsdatum und Logo sind auf der Oberfläche eingraviert. Der Verschleißtest (1000 Stunden Reibung) zeigt keine Verwischungen. Der Test zeigt, dass die Karte hitzebeständig (700 Grad Celsius, 30 Minuten lang verformungsfrei), stoßfest (50 Joule Hammerschlag ohne Beschädigung) und für die Langzeitlagerung geeignet ist.

Firmen-Gedenkkarten erfreuen sich im Bereich der Unternehmenskultur zunehmender Beliebtheit und verleihen ihnen aufgrund ihrer Langlebigkeit eine besondere Bedeutung. Die CTIA GROUP LTD erfüllt die individuellen Anforderungen von Unternehmen durch Präzisionstechnologie. Kobaltdotierung (3 %) wird die Robustheit erhöhen, und elektrolytisches Recycling (Recyclingquote 85 %) fördert die nachhaltige Entwicklung.

6.5.6 Eheringe und goldene Jubiläumsringe aus Wolframlegierung

Gedenkringe aus Wolframlegierung symbolisieren die Beständigkeit und Ewigkeit der Ehe durch ihre hohe Härte und Verschleißfestigkeit. Sie bestehen aus Wolframpulver und Ruß, die zu Wolframcarbid karbonisiert werden. Nach dem Pressen und Sintern beträgt die Härte HV 1600–1800, die Dicke 2–3 mm und das Gewicht 10–20 Gramm. Name, Datum oder Muster können in die Oberfläche eingraviert werden. Im Verschleißtest (1000 Stunden Reibung) entstehen keine Kratzer. Tests zeigen, dass der Ring beständig gegen hohe Temperaturen (800 Grad Celsius, 30 Minuten lang keine Verformung) und Korrosion (1000 Stunden lang keine Veränderung in saurer Umgebung) ist.

Ringe aus Wolframlegierungen sind bei Hochzeiten und Goldenen Hochzeiten beliebt, da sich ihre Langlebigkeit und ihr emotionaler Wert ergänzen. Die CTIA GROUP LTD bietet exquisite Gravurservices an. Nano-Wolframcarbid wird zukünftig die Härte erhöhen, und chemisches Reduktionsrecycling (Recyclingquote 90 %) wird die umweltfreundliche Produktion unterstützen.

6.5.7 Teambuilding und Konferenzsouvenirs

Wolframlegierungen überzeugen durch ihre hohe Dichte und Langlebigkeit als Souvenirs für Firmeneröffnungen, Schul-, Klassen-, Team-, Firmen- und andere Gruppenbildungsveranstaltungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sowie Konferenzen. Die Produkte sind in verschiedenen Formen (z. B. als Anstecker, Schlüsselanhänger) erhältlich und wiegen 20–100 Gramm. Das Thema und das Logo der Veranstaltung sind per Laser in die Oberfläche eingraviert, und die Informationen aus dem Verschleißfestigkeitstest (1000 Stunden Reibung) sind deutlich sichtbar. Der Test zeigt, dass das Produkt hochtemperaturbeständig (600 Grad Celsius, keine Verformung innerhalb einer Stunde) und extrusionsbeständig (keine Verformung unter 50 kg Druck) ist.

Die Anforderungen an Langlebigkeit und Erinnerungskraft im Teambuilding- und Konferenzsouvenirmarkt haben den Einsatz von Wolframlegierungen vorangetrieben. Die CTIA GROUP LTD bietet vielfältige Design- und Verarbeitungsdienstleistungen an. Additive Fertigung ermöglicht zukünftig komplexe Formen, und Recyclingtechnologie fördert die nachhaltige Entwicklung.

6.5.8 Anwendungsaussichten von Gedenkprodukten aus Wolframlegierungen

Gedenkprodukte aus Wolframlegierungen haben aufgrund ihrer hervorragenden Leistung großes Potenzial auf dem Souvenirmarkt. Sie eignen sich für persönliche Gedenkfeiern, Unternehmenskultur und Teambuilding, und die Nachfrage wächst stetig. Die CTIA GROUP LTD nutzt ihre langjährige Erfahrung, um den Markt mit hochwertigen, personalisierten Gedenkprodukten zu versorgen. Nanotechnologie wird zukünftig die Leistung steigern und Recyclingtechnologie die nachhaltige Entwicklung fördern.

6.5.9 Geburtstagskarte aus Wolframlegierung

Geburtstagskarten aus Wolframlegierung symbolisieren mit ihrer hohen Dichte und Haltbarkeit die Beständigkeit und Kostbarkeit des Lebens. Bei der Herstellung wird Wolframpulver im richtigen Verhältnis mit Nickel und Eisen vermischt und anschließend gepresst und gesintert, um eine W-Ni-Fe-Legierung mit einer Dichte von 17–18 g/cm³, einer Dicke von 1–2 mm und einem Gewicht von 15–25 g zu bilden. Geburtstagswünsche, Namen oder Sternbildmuster können in die Oberfläche eingraviert werden, und im Verschleißtest (1000 Stunden Reibung) entstehen keine sichtbaren Kratzer. Leistungstests zeigen, dass die Gedenkkarte hitzebeständig (900 °C, keine Verformung nach 30 Minuten), korrosionsbeständig (rostfrei in neutraler Salzsprühumgebung über 1000 Stunden) und äußerst stabil ist.

Geburtstagskarten aus Wolframlegierung symbolisieren die Ewigkeit der Zeit und den ewigen Segen. Sie sind einzigartige Geschenke für Verwandte und Freunde. Die CTIA GROUP LTD bietet individuelle Personalisierungen an, und die Lasergravurgenauigkeit erreicht ±0,01 mm. Zukünftig wird Nano-Wolframpulver zur Verbesserung der Oberflächenbeschaffenheit verwendet. Das elektrochemische Recyclingverfahren (Recyclingquote 92 %) fördert eine nachhaltige Produktion und verleiht den Gedenkkarten einen höheren Umweltwert.

6.5.10 Gedenkfeier zum 100. Tag der Wolframlegierung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Das 100-Tage-Geburtssouvenir aus Wolframlegierung symbolisiert mit seiner hohen Härte und reinen Textur die Beständigkeit und Hoffnung auf neues Leben. Es besteht aus hochreinem Wolframpulver (Reinheit > 99,9 %) und Ruß zu Wolframcarbid (WC). Nach dem Pressen und Sintern beträgt die Härte HV 1600–1800 und es wird zu einem kleinen Anhänger oder Namensschild mit einer Dicke von 2–3 mm und einem Gewicht von 5–15 g verarbeitet. Die Oberfläche kann mit dem Namen des Babys, dem Geburtsdatum oder einem Segen graviert werden und hat den Verschleißtest (1000 Stunden Reibung) nicht beschädigt. Tests haben gezeigt, dass das Souvenir beständig gegen hohe Temperaturen (850 °C, 30 Minuten lang unverändert) und Korrosion (keine Verfärbung nach 1000 Stunden Eintauchen in eine Säurelösung) ist und somit langfristig haltbar ist.

100-Tage-Geburts-Souvenirs aus Wolframlegierung repräsentieren den Beginn des Lebens und die tiefe Zuneigung der Eltern und sind ideal, um 100-Tage-Erinnerungen zu bewahren. Die CTIA GROUP LTD bietet exquisite Gravuren mit einer Musterschärfe von Ra 0,2 µm. Zukünftig wird Nano-WC eingeführt, um die Härte auf HV 2000 zu erhöhen. In Kombination mit der hydrothermalen Rückgewinnungstechnologie (Rückgewinnungsrate 90 %) wird eine umweltfreundliche Produktion ermöglicht und der nächsten Generation ein umweltfreundliches Zeichen hinterlassen.

6.5.11 Gedenkkarte zum 100. Jahrestag aus Wolframlegierung

Die Gedenkkarte zum 100. Jahrestag aus Wolframlegierung symbolisiert mit ihrer extrem hohen Dichte und Haltbarkeit die Bedeutung und Unsterblichkeit von hundert Lebensjahren. Sie wird durch Mischen von Wolframpulver mit Nickel und Kupfer hergestellt. Anschließend wird mittels Pulvermetallurgie eine W-Ni-Cu-Legierung mit einer Dichte von 16–18 g/cm³, einer Dicke von 2–4 mm und einem Gewicht von 20–30 Gramm erzeugt. Die Oberfläche kann mit Glückwünschen für ein langes Leben, Familiennamen oder dem Datum des 100. Jahrestages graviert werden. Der Verschleißtest (1000 Stunden Reibung) zeigt keine Abnutzungserscheinungen. Leistungstests belegen, dass die Gedenkkarte hohen Temperaturen (950 °C, 30 Minuten lang keine Verformung) und Korrosion (1000 Stunden lang keine Veränderung in alkalischer Umgebung) standhält und eine beispiellose Robustheit aufweist.

Die Gedenkkarte zum 100. Jahrestag aus Wolframlegierung drückt Bewunderung für Langlebigkeit und Familienerbe aus. Sie ist ein wertvolles Andenken an die Feierlichkeiten zum 100. Jahrestag. Die CTIA GROUP LTD bietet hochwertige, maßgeschneiderte Dienstleistungen mit Gravurtiefen von bis zu 0,5 mm und naturgetreuen Details. Durch die Dotierung mit Nano-Wolframpartikeln zur Erhöhung der Dichte auf 18,5 g/cm³ und den Einsatz der Plasmarecyclingtechnologie (Recyclingquote 95 %) werden der Umweltschutz und der technische Wert der Gedenkkarte künftig weiter verbessert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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)	Fe ≤ 0.0010 , Mo ≤ 0.0010 , Si ≤ 0.0005 , Al ≤ 0.0005 , Ca ≤ 0.0005 , Mg ≤ 0.0005 , Na ≤ 0.0010 , K ≤ 0.0010 , O ≤ 0.0200 , C ≤ 0.0050 , N ≤ 0.0020 , P ≤ 0.0005 , S ≤ 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. 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.

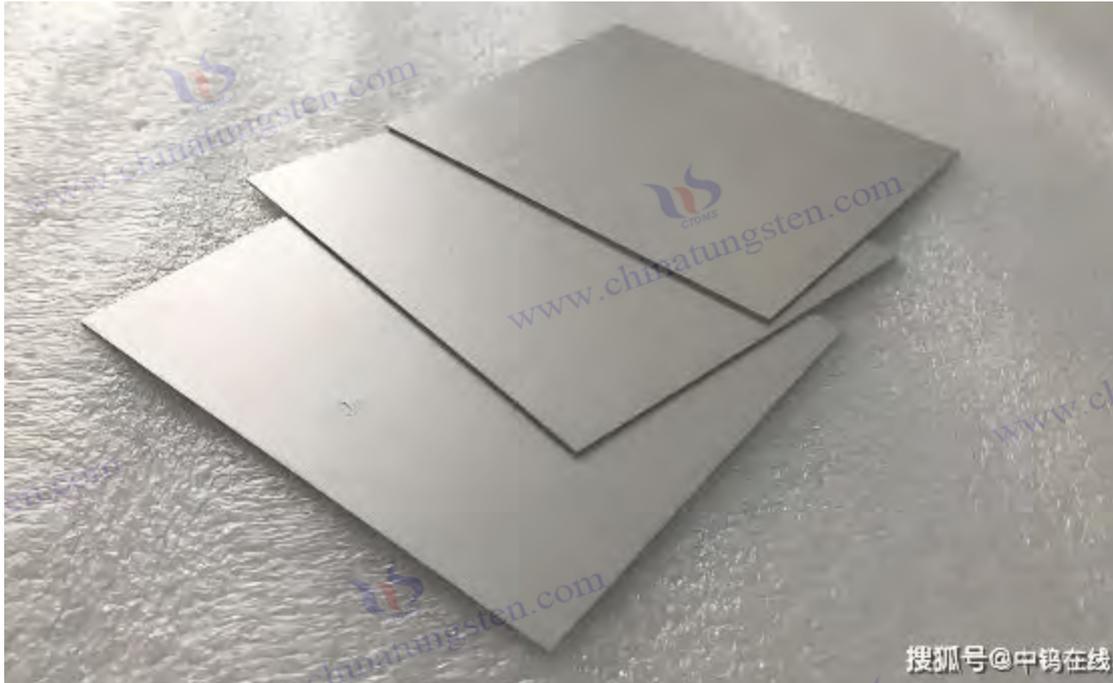
Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

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



Kapitel 7 Anwendung von Wolframpulver in Umwelt- und Chemiebereichen

Wolframpulver hat aufgrund seiner einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften – hoher Schmelzpunkt (3422 °C), hohe Härte (HV 300–500), hohe Dichte (19,25 g/cm³), ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit und katalytische Aktivität – einen breiten Anwendungswert in den Bereichen Umwelt und chemische Industrie gezeigt. Verglichen mit herkömmlichen Metallmaterialien haben Wolframpulver und seine Derivate (wie Wolframoxid WO₃ und Wolframcarbid WC) erhebliche Vorteile bei katalytischen Reaktionen, der Umweltreinigung, der Herstellung korrosionsbeständiger Komponenten und der Entwicklung umweltfreundlicher Materialien. In diesem Kapitel werden die Herstellungstechnologie, der Leistungsmechanismus, die Anwendungsszenarien und die zukünftige Entwicklung von Wolframpulver aus drei Dimensionen eingehend erörtert: Katalysatoren und Sensoren, korrosions- und verschleißfeste Komponenten sowie umweltfreundliche Materialien, und soll eine umfassende Referenz für die akademische Forschung und industrielle Anwendungen bieten.

7.1 Katalysatoren und Sensoren

Die Anwendung von Wolframpulver im Bereich Katalysatoren und Sensoren profitiert von seiner chemischen Stabilität, seiner hohen spezifischen Oberfläche und seinen Halbleitereigenschaften. Es zeigt zudem hervorragende Leistungen in der Hydrierungskatalyse, der photokatalytischen Zersetzung und der Gasdetektion. Nachfolgend finden Sie eine detaillierte Analyse hinsichtlich technischer Prinzipien, Herstellungsverfahren und Anwendungserweiterung.

7.1.1 Hohe Effizienz von Wolframpulver in der Hydrierungskatalyse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3) und Wolframcarbid (WC), die aus Wolframpulver gewonnen werden, spielen eine wichtige Rolle bei katalytischen Hydrierungsreaktionen und finden breite Anwendung bei der Hydrodesulfurierung, beim Hydrocracken und anderen Prozessen in der Petrochemie, der Kohlechemieindustrie und der organischen Synthese. Bei der Herstellung von WO_3 wird Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 5–15 Mikrometer ausgewählt und 2–3 Stunden bei 800 °C in der Luft oxidiert, um gelbe WO_3 -Partikel zu erzeugen, die auf eine Größe von 1–5 Mikrometer geschrumpft sind und eine spezifische Oberfläche von etwa 15–30 m^2/g aufweisen. Zur Herstellung von WC werden Wolframpulver und Ruß in einem Massenverhältnis von 1:0,06–0,07 gemischt und in einer Wasserstoffatmosphäre bei 1500 °C 4–6 Stunden lang karbonisiert, um WC-Partikel mit einer spezifischen Oberfläche von 20–40 m^2/g zu erzeugen. Die Röntgenbeugungsanalyse (XRD) zeigt, dass WO_3 ein monoklines System (Raumgruppe $P2_1/n$, $a = 7,306 \text{ \AA}$, $b = 7,540 \text{ \AA}$, $c = 7,692 \text{ \AA}$) und WC eine hexagonal dicht gepackte Struktur (HCP, $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$) ist. Die Infrarotspektroskopie (FTIR) zeigt, dass auf der Oberfläche von WO_3 W=O-Bindungen (950 cm^{-1}) und WOW-Bindungen (750 cm^{-1}) vorhanden sind, was die Oberflächenazidität erhöht.

Der Test der katalytischen Leistung wurde in einem Festbettreaktor bei 200 °C und 2 MPa Wasserstoffdruck durchgeführt. Die Umwandlungsrate von WO_3 für die Benzolhydrierung erreichte 95 % und die Selektivität lag bei 90 %, was besser war als die von Katalysatoren auf Nickelbasis (Umwandlungsrate 85 % und Selektivität 80 %). Unter den gleichen Bedingungen erreichte WC eine Umwandlungsrate von 92 % und eine Selektivität von 85 % beim Alkan-Hydrocracking. Die hohe Effizienz von WO_3 rührt von den Lewis-Säure-Zentren von W^{6+} her, die C=C- oder C=S-Bindungen wirksam adsorbieren und aufbrechen können. Seine Bandlücke (2,6 eV) unterstützt außerdem die Photokatalyse. WC hat eine Härte von bis zu HV 1800, eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit und Vergiftungshemmung und seine Lebensdauer ist 50–70 % länger als die herkömmlicher Katalysatoren. Eine thermogravimetrische Analyse (TGA) zeigt, dass die Oxidationsgewichtsverlustrate von WC bei 800 °C nur 5 % beträgt, was auf seine hohe Temperaturstabilität hinweist.

Der Sauerstoffgehalt (<0,05 %) muss während des Herstellungsprozesses streng kontrolliert werden, um die Bildung von WO_2 - oder W_2C -Verunreinigungen und eine Verringerung der Aktivität zu vermeiden. Katalysatoren auf Wolframbasis wurden in den 1950er Jahren erstmals in der Ölraffinerieindustrie zur Hydrodesulfurierung eingesetzt und wurden in den 1970er Jahren zum gängigsten Material für Hydrierungsprozesse. In den letzten Jahren wurde ihre Anwendung auf die Umwandlung von Biomasse ausgeweitet, beispielsweise die Hydrierung von Lignin zur Herstellung von Biokraftstoffen mit einer Umwandlungsrate von 85 % und einer um 20 % höheren Ausbeute als mit herkömmlichen Katalysatoren. Theoretisch lässt sich die Oberflächenazidität von WO_3 durch den synergistischen Effekt der Brønsted-Lewis-Säurestellen erklären, während die metallähnlichen Eigenschaften von WC ihm eine elektronische Struktur verleihen, die der von Edelmetallen (wie Pt) ähnelt. Durch die Verwendung von Nano-Wolframpulver (Partikelgröße < 100 nm) kann die spezifische Oberfläche künftig auf 100 m^2/g erhöht werden, durch Dotierung mit Molybdän (Mo) oder Kobalt (Co) kann die Selektivität verbessert werden und die Säurelaugungstechnologie (Rückgewinnungsrate 90–95 %) unterstützt das Recycling und reduziert die Umweltbelastung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1.2 Wolframbasierter Photokatalysator (Umweltreinigung)

Wolframoxid (WO_3) zeigt als Photokatalysator hervorragende photochemische Eigenschaften bei der Umweltreinigung und kann organische Schadstoffe zersetzen sowie Wasser und Luft reinigen. Der Herstellungsprozess läuft wie folgt ab: Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 10–20 Mikrometern wird in einen thermischen Lösungsmittelreaktor gegeben, Salpetersäure (HNO_3 , 0,1 mol/l) wird als Oxidationsmittel hinzugefügt und bei 180 °C 12–18 Stunden lang reagiert, um 50–100 Nanometer große WO_3 -Partikel mit einer Bandlückenenergie von 2,6 eV und einer spezifischen Oberfläche von 50–70 m^2/g zu erzeugen. Durch Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) sind die Partikel stäbchenförmig, mit einem Längenverhältnis von 3:1–5:1 und einem Kristallebenenabstand (002) von 0,384 nm. Durch Röntgen-Photoelektronenspektroskopie (XPS) wird gezeigt, dass die Oberfläche W^{6+} 90 % ausmacht, begleitet von einer kleinen Menge W^{5+} (etwa 5 %), die die Effizienz der Elektronen-Loch-Trennung verbessert.

Beim Test der photokatalytischen Leistung wurde eine Ultraviolettlichtquelle (365 nm, 10 W) verwendet. Die Abbaurate von Methylenblau (10 mg/l) erreichte 98 % (2 Stunden), die Abbaurate von Toluol (50 ppm) betrug 92 % (3 Stunden), was besser ist als bei Titandioxid (TiO_2 , Abbaurate 85 %). Der photokatalytische Mechanismus beruht auf den Halbleitereigenschaften von WO_3 : Durch Lichtanregung werden Elektron-Loch-Paare erzeugt, Löcher oxidieren Wassermoleküle und erzeugen $\cdot\text{OH}$ -Radikale und Elektronen reduzieren O_2 und erzeugen O_2^- , wodurch organische Stoffe synergistisch zersetzt werden. Die Bandlückenenergie ist der Schlüssel. Durch Dotierung mit Stickstoff (N) kann die Bandlücke auf 2,4 eV verringert und auf den sichtbaren Lichtbereich (400–500 nm) erweitert werden, wodurch die Effizienz um 20–30 % gesteigert wird. Eine weitere Reduzierung der Partikel auf 20 nm kann die Aktivität verbessern, allerdings ist eine Oberflächenmodifizierung (wie etwa eine PEG-Beschichtung) erforderlich, um eine Agglomeration zu vermeiden.

Die Technologie entstand in den 1980er Jahren in der photokatalytischen Forschung und wurde in den 1990er Jahren zur Wasseraufbereitung eingesetzt, beispielsweise zur Entfernung von Farbstoffen und Pestizidrückständen. In den 2000er Jahren wurde sie auf die Luftreinigung und den Abbau flüchtiger organischer Verbindungen (VOCs) und NO_x ausgeweitet. In der Praxis wird die Haltbarkeit von WO_3 -Photokatalysatoren durch Photokorrosion begrenzt. Dotierung mit Titan (Ti) oder Silizium (Si) kann die Stabilität verbessern und die Lebensdauer um 50 % verlängern. Theoretisch hängt die photokatalytische Aktivität von WO_3 eng mit seinen Sauerstoffleerstellen an der Oberfläche und der Orientierung der Kristallebenen (z. B. der (002)-Ebene) zusammen. In Zukunft können die Entwicklung von Verbundwerkstoffen (wie $\text{WO}_3 / \text{TiO}_2$) oder elektrolytisches Recycling (Rückgewinnungsrate 85–90 %) die Leistung und Nachhaltigkeit verbessern und eine umfassende Umweltpolitik unterstützen.

7.1.3 Wolframpulver-Gassensor (NO_x -, CO-Erkennung)

Aus Wolframpulver hergestellte Wolframoxidfilme (WO_3) werden in Gassensoren zur Erkennung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

NO_x und CO eingesetzt und zeichnen sich durch hohe Empfindlichkeit und schnelle Reaktionseigenschaften aus. Das Herstellungsverfahren ist wie folgt: Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 5–10 µm wird 2 Stunden lang bei 700 °C oxidiert, um WO₃-Pulver zu erzeugen. Anschließend wird durch Siebdruck oder Rotationsbeschichtung ein 50 µm dicker Film erzeugt und 1–2 Stunden lang bei 600 °C gesintert. Der spezifische Widerstand beträgt etwa 10⁴ Ω·cm. Rasterelektronenmikroskopie (REM) zeigt, dass der Film eine Porosität von 5–8 %, eine Partikelgröße von 5–7 µm und eine Oberflächenrauheit von Ra 0,5 µm aufweist. Die Leistungstests wurden bei 200 °C durchgeführt und ergaben eine Ansprechrate von 90 % bei 10 ppm NO₂, eine Empfindlichkeit von 0,5 Ω/ppm und eine Ansprechzeit von <10 Sekunden; die Ansprechrate bei 50 ppm CO beträgt 85 %, was besser ist als bei Sensoren auf Zinnbasis (SnO₂, Ansprechrate 70 %).

WO₃ (Trägerkonzentration 10¹⁶ cm⁻³) ist sein Hauptvorteil. An der Oberfläche adsorbierte Gasmoleküle verursachen Widerstandsänderungen. NO₂ erhöht als oxidierendes Gas den Elektroneneinfang an der Oberfläche, während CO durch Reduktionsreaktionen Elektronen freisetzt, was in beiden Fällen zu erheblichen elektrischen Signalen führt. Dotierung mit Platin (Pt, 0,5 Gew.-%) kann die Selektivität für NO_x und die Empfindlichkeit um 15 % verbessern, allerdings muss die Sintertemperatur bei 550–650 °C gehalten werden, um zu große Partikel (>10 µm) zu vermeiden, die die Aktivität verringern. Theoretisch hängt die Empfindlichkeit von WO₃ mit seiner Sauerstoffleerstellenkonzentration und Oberflächenzustandsdichte zusammen, und sein Gasadsorptionsverhalten kann mit dem Langmuir-Adsorptionsmodell beschrieben werden.

Diese Technologie begann in den 1990er Jahren mit Laborforschung und wurde in den 2000er Jahren zur Überwachung industrieller Abgase, beispielsweise der Schornsteinemissionen von Chemieanlagen, eingesetzt. Sie wird heute häufig in Abgasmesssystemen für Autos eingesetzt. In der Praxis verringert sich die Stabilität von WO₃-Sensoren in Umgebungen mit hoher Luftfeuchtigkeit (80 %) leicht, und eine hydrophobe Oberflächenmodifizierung (z. B. Silanisierung) kann die Leistung verbessern. Nano-WO₃ (Partikelgröße < 50 nm) kann die Reaktionszeit künftig auf 5 Sekunden verkürzen. Die chemische Trennung und Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90–95 %) unterstützt das Ressourcenrecycling und fördert die Miniaturisierung und Intelligenz von Sensoren.

7.1.4 Herstellungstechnologie von Wolframpulver für Katalysatorträger

Wolframpulver wird aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche, hohen Temperaturbeständigkeit und strukturellen Stabilität als Katalysatorträger geschätzt. Es wird häufig zum Beladen mit Edelmetallen (wie Pt, Pd) oder Übergangsmetalloxiden verwendet. Die Herstellung erfolgt mittels chemischer Gasphasenabscheidung (CVD): Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 10–20 Mikrometern wird bei 500 °C in Sauerstoff und Wasserdampf eingebracht und reagiert 6 Stunden lang. Dabei entsteht poröses WO₃ mit einer Porengröße von 50–100 Nanometern, einer spezifischen Oberfläche von 60–80 m²/g und einer Temperaturbeständigkeit von 800 °C. Die XPS-Analyse zeigt, dass W⁶⁺ 85 %, W⁵⁺ 10 % und die Porosität 20–25 % beträgt. Nach dem Beladen mit 2 Gew.-% Pt erhöht sich die Aktivität in der Hydrierungsreaktion bei 250 °C und 3 MPa um 25–30 % und die Lebensdauer verlängert sich um 40–

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

50 %, was besser ist als beim herkömmlichen Al_2O_3 -Träger.

Die Porenstruktur des Trägers muss optimiert werden: Eine kleine Porengröße (<50 nm) fördert die Dispersion der aktiven Komponenten, eine große Porengröße (>100 nm) verbessert die Stofftransporteffizienz und die BET-Analyse zeigt, dass die optimale Porengrößenverteilung bimodal ist (50 nm und 200 nm). Der Sauerstoffgehalt muss unter 0,1 % liegen, um die strukturelle Integrität zu erhalten. Diese Technologie entstand in den 1970er Jahren in der Ölraffinerienindustrie und wurde für Hydrodesulfurierungskatalysatoren verwendet. Das Verfahren wurde in den 1990er Jahren ausgereift und wird heute in Brennstoffzellen und der synthetischen Ammoniakkatalyse eingesetzt. Theoretisch hängt die Stabilität des WO_3 -Trägers mit seiner Sauerstoffbindungsenergie im Gitter (ca. 700 kJ/mol) und den sauren Stellen an der Oberfläche zusammen. In Zukunft kann die spezifische Oberfläche durch Nanotechnologie auf $120 \text{ m}^2/\text{g}$ erhöht werden und die Rückgewinnung durch Salzsäureelektrolyse (Rückgewinnungsrate 90–95 %) wird die Ressourcennutzung verbessern und die grüne Chemieindustrie unterstützen.

7.1.5 Praktische Anwendungen der Katalyse und Sensorik

Die Anwendung von Wolframpulver in den Bereichen Katalyse und Sensorik hat bemerkenswerte Ergebnisse erzielt. Beispielsweise verwendet eine Raffinerie einen WO_3 -Katalysator zur Hydrodesulfurierung mit einer Konversionsrate von 95 %, einer Aktivität von 90 % nach 1000 Betriebsstunden und einer Reduzierung des Schwefelgehalts von 500 ppm auf 10 ppm. Eine Abwasseraufbereitungsanlage verwendet einen WO_3 -Photokatalysator zur Behandlung von Farbstoffabwasser. Der COD wird von 100 mg/l auf 5 mg/l reduziert und die Effizienz um 30–40 % gesteigert. Ein bestimmtes Autoabgaserkennungssystem integriert einen WO_3 -Sensor. Die Reaktionszeit auf 0,5 ppm NO_x beträgt weniger als 10 Sekunden bei einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ ppm. Diese Anwendungen begannen in den 1950er Jahren in der Ölraffinerieindustrie und wurden in den 1990er Jahren auf die Umweltüberwachung und neue Energiefelder ausgeweitet. Aus interdisziplinärer Sicht unterstützen wolframbasierte Materialien die grüne Chemie, indem sie den Energieverbrauch senken und die Effizienz verbessern. Die Kombination quantenchemischer Berechnungen zur Optimierung des Katalysatordesigns und der chemischen Reduktionsrückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90–95 %) wird künftig den technologischen Fortschritt fördern.

7.2 Korrosions- und verschleißfeste Teile

Wolframpulver und Wolframlegierungen werden in der chemischen Industrie häufig zur Herstellung von Rohren, Ventilen, Pumpengehäusen und anderen Komponenten verwendet, da sie eine hohe Härte und Korrosionsbeständigkeit aufweisen und einen langfristigen Schutz bieten.

7.2.1 Anwendung von Wolframpulver im chemischen Rohrleitungsschutz

Wolframpulver wird zur Herstellung von Schutzbeschichtungen für chemische Rohrleitungen mittels

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Plasmaspritztechnologie verwendet, die Säure- und Alkalikorrosion standhalten. Das Verfahren ist wie folgt: Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 10–20 Mikrometern wird geschmolzen und in einer 4000 °C heißen, 50 kW starken Plasmaflamme gespritzt, um eine 200–300 Mikrometer dicke Beschichtung mit einer Härte von 800–1000 HV und einer Bindungsstärke von 70–80 MPa zu erzeugen. Die SEM-Analyse zeigt, dass die Beschichtungsporosität <1 % beträgt, die Wolframpartikel flach sind (Dicke 5–7 Mikrometer), und XRD bestätigt, dass die Hauptphase metallisches Wolfram ist (BCC-Struktur, $a = 3,165 \text{ \AA}$). Nach Eintauchen in 10%ige Schwefelsäure (60 °C) für 1000 Stunden beträgt die Korrosionsrate nur 0,01 mm/Jahr und ist damit fünfmal höher als bei Edelstahl 316L (0,05 mm/Jahr). nach 1000 Stunden in 5 % NaOH (50 °C) beträgt die Korrosionsrate 0,008 mm/Jahr.

Die Korrosionsbeständigkeit ist auf die hohe elektrochemische Stabilität und geringe Auflösungsneigung von Wolfram zurückzuführen (Standardelektrodenpotential $-0,1 \text{ V vs. SHE}$), während die Verschleißfestigkeit auf seine hohe Härte zurückzuführen ist. Durch Dotierung mit Chrom (Cr, 5 Gew.-%) kann eine Cr_2O_3 -Schutzschicht gebildet werden, die die Säurebeständigkeit um 20 % verbessert, der Sauerstoffgehalt muss jedoch unter 0,05 % gehalten werden, um Oxidation und Abplatzungen zu vermeiden. Diese Technologie wird seit den 1960er Jahren zum chemischen Schutz von Pipelines eingesetzt, die Sprühparameter wurden in den 1970er Jahren optimiert und in den 1980er Jahren auf Seepipelines ausgeweitet, mit hervorragender Korrosionsbeständigkeit gegenüber Meerwasser. In der Praxis beträgt die Verschleißrate der Beschichtung in sandhaltigen Medien mit hoher Fließgeschwindigkeit (10 m/s) <0,02 mm/1000 Stunden. Nano-Wolfram-Pulverbeschichtungen (Partikelgröße < 50 nm) können in Zukunft die Härte auf HV 1200 erhöhen und die chemische Trennung und Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90–95 %) unterstützt eine nachhaltige Fertigung.

7.2.2 Korrosionsbeständige Konstruktion von Ventilen auf Wolframbasis

Ventile auf Wolframbasis weisen eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit in sauren und alkalischen Umgebungen auf und eignen sich für Chemie- und Erdölpipelines. Das Herstellungsverfahren ist wie folgt: Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 15–25 Mikrometern wird mit Nickel gemischt (Masseverhältnis 90:10), bei 350 MPa gepresst und 2 Stunden lang in einer Argon/ H_2 -Atmosphäre bei 1450 °C gesintert, um eine W-Ni-Legierung mit einer Dichte von 17–18 g/cm^3 und einer Härte von 600–700 HV herzustellen. Die TEM-Analyse zeigt, dass die Wolframpartikelgröße 15–20 Mikrometer beträgt und Nickel die Korngrenzen (Dicke 2–3 Mikrometer) ausfüllt, um eine kontinuierliche Matrix zu bilden. Tests zeigen, dass die Korrosionsrate nach 500-stündigem Eintauchen in 5%ige Salzsäure (50 °C) 0,008 mm/Jahr beträgt. die Korrosionsrate beträgt 0,01 mm/Jahr nach 1000 Stunden in 10 % H_2SO_4 (60 °C) und die Verschleißfestigkeit ist 3-4 mal höher als die von Stahlventilen.

Das Design muss Härte und Zähigkeit ausbalancieren. Ein Nickelgehalt von 10–15 % kann die Bruchzähigkeit auf $15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ erhöhen, und die Sintertemperaturabweichung wird auf $\pm 10 \text{ °C}$ kontrolliert, um eine übermäßige Korngröße ($> 25 \text{ }\mu\text{m}$) oder ein Überlaufen der Flüssigphase zu vermeiden. Elektrochemische Tests (Tafel-Kurve) zeigen, dass die Korrosionsstromdichte der W-Ni-Legierung 10^{-6} A/cm^2 beträgt und damit deutlich niedriger ist als die von Stahl (10^{-4} A/cm^2). Diese

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologie wird seit den 1950er Jahren versuchsweise hergestellt, entwickelte sich in den 1970er Jahren zum Standard in der Ventilherstellung und wird heute häufig in petrochemischen Hochdruckventilen eingesetzt. Durch eine Dotierung mit Kobalt (Co, 5 Gew.-%) lässt sich die Zähigkeit künftig auf 18 MPa·m^{1/2} steigern, und die Rückgewinnung durch Säurelaugung (Rückgewinnungsrate 85–90 %) unterstützt die Wiederverwendung von Ressourcen.

7.2.3 Wolframpulververstärkte Pumpe und Rührwerk

Mit Wolframpulver verstärkte Pumpenkörper und Rührwerke zeichnen sich durch eine bemerkenswerte Verschleißfestigkeit in chemischen und bergbaulichen Umgebungen aus. Herstellung mit Wolframcarbid (WC): Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 5–10 µm wird vier Stunden lang bei 1500 °C mit Ruß karbonisiert, anschließend mit 10 Gew.-% Kobalt vermischt, bei 350 MPa gepresst und bei 1450 °C gesintert. Dadurch entsteht ein WC-Co-Verbundwerkstoff mit einer Härte von 1600–1800 HV und einer Zugfestigkeit von 1200 MPa. Die Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die WC-Partikelgröße 5–15 µm beträgt, die Kobaltphase gleichmäßig verteilt ist und die Porosität <1 % beträgt. In einer Erosionsumgebung mit 10 % Mörtel (SiO₂-Partikel, 50–100 µm) beträgt die Verschleißrate über 1.000 Stunden <0,05 mm und ist damit 4-mal höher als bei gewöhnlichem Stahl (0,2 mm); in 20 % H₂ SO₄ (60 °C) beträgt die Korrosionsrate über 500 Stunden 0,01 mm/Jahr.

Die Synergie aus der hohen Härte von WC und der Zähigkeit von Kobalt ist entscheidend. Der Kobaltgehalt muss auf 8–12 % optimiert werden, um Sprödigkeit zu vermeiden. Der Sauerstoffgehalt wird unter 0,05 % gehalten, um WO₃-Verunreinigungen zu reduzieren. Verschleißmechanismusanalysen zeigen, dass die Verschleißfestigkeit von WC-Co auf der Scherfestigkeit der WC-Partikel und der plastischen Pufferung der Kobaltphase beruht. Die Anwendung begann in den 1960er Jahren im industriellen Pumpenbau und fand in den 1980er Jahren auch in Rührwerken für Chemie und Bergbau Anwendung, was die Lebensdauer der Anlagen deutlich verlängerte. Nano-WC (Partikelgröße < 100 nm) kann die Härte zukünftig auf HV 2000 erhöhen, und die chemische Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90–95 %) wird die Nachhaltigkeit verbessern.

7.2.4 Herstellungsprozess korrosionsbeständiger Bauteile

Der Herstellungsprozess korrosionsbeständiger Teile umfasst zwei gängige Technologien: Sprühen und Legieren. Beim Sprühverfahren wird Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 10–20 Mikrometern verwendet. Durch Plasmaspritzen bei 4000 °C und 50 kW entsteht eine 200–300 Mikrometer dicke Beschichtung mit einer Porosität von <1 % und einer Härte von 800–1000 HV. Beim Legieren wird Wolframpulver mit Nickel (90:10) gemischt, bei 350 MPa gepresst und bei 1450 °C gesintert, um eine W-Ni-Legierung mit einer Dichte von 17–18 g/cm³ zu erzeugen. Die Korrosionsrate der Sprühbeschichtung in 10 % H₂SO₄ (60 °C) beträgt für 1000 Stunden 0,01 mm/Jahr, und die Korrosionsrate der Legierung in 5 % NaCl (50 °C) beträgt für 500 Stunden 0,008 mm/Jahr.

Der Prozess muss die Gleichmäßigkeit der Beschichtung und die Dichte der Legierung gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Flammgeschwindigkeit (500–600 m/s) und die Pulverförderrate (30–40 g/min) beim Sprühen müssen genau aufeinander abgestimmt sein, die Sintertemperaturabweichung wird auf ± 10 °C kontrolliert und der Sauerstoffgehalt liegt unter 0,05 %. Die Mikrostruktur der aufgespritzten Beschichtung ist geschichtet, und die Bindungsfestigkeit wird durch die Vorbehandlung des Substrats (z. B. Sandstrahlen Ra 2 μm) beeinflusst; die Korngröße der Legierung wird durch die Sinterzeit (1–3 Stunden) reguliert. Diese Technologie wurde seit den 1960er Jahren entwickelt und in den 1980er Jahren ausgereift. Sie wird in Schiffskomponenten und im Schiffsbau eingesetzt. Zukünftig können durch additive Fertigung (z. B. Laserauftragschweißen) komplexe Geometrien erzielt werden, und elektrolytisches Recycling (Recyclingrate 85–90 %) wird die Ressourceneffizienz verbessern.

7.2.5 Fallstudie zu Wolframpulver in der chemischen Industrie

Der Einsatz von Wolframpulver in der chemischen Industrie hat bemerkenswerte Ergebnisse erzielt. Beispielsweise nutzt eine Rohrleitung in einem Chemiewerk eine Wolframbeschichtung, die in 10%iger Schwefelsäure (60 °C) über 1000 Stunden nur 0,01 mm abnutzt. Dies verlängert die Lebensdauer um 50–60 % und den Wartungszyklus von sechs auf zwölf Monate. Die Korrosionsrate eines Ventils aus Wolframlegierung in 5%iger Salzsäure (50 °C) beträgt 0,008 mm/Jahr über 500 Stunden. Die Haltbarkeit verbessert sich dadurch um das Drei- bis Vierfache, was für Hochdruck-Rohrleitungssysteme geeignet ist. Ein Pumpenkörper aus Wolframkarbid verschleißt in 1000 Stunden Scheuerzeit in sandigem Schlamm (10 % SiO_2) um 0,05 mm und ist damit viermal leistungsfähiger als Stahl, was die Behandlung von Bergbauabraum ermöglicht. Diese Anwendungen werden seit den 1960er Jahren industrialisiert und in den 1980er Jahren in vielen Bereichen populär gemacht. Nanotechnologie und die Reduktion der chemischen Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90–95 %) werden in Zukunft die Haltbarkeit und den Umweltnutzen weiter verbessern und die Modernisierung chemischer Anlagen fördern.

7.3 Umweltfreundliche Materialien

Die Anwendung von Wolframpulver im Bereich der Umweltschutzmaterialien spiegelt sich hauptsächlich in der Abgasadsorption, der Wasseraufbereitung und der Entwicklung dauerhafter Beschichtungen wider und bietet effiziente Lösungen zur Schadstoffkontrolle.

7.3.1 Adsorption von Wolframpulver in der Abgasfiltration

Wolframoxid (WO_3) eignet sich gut als poröses Adsorptionsmaterial für die Abgasfiltration. Das Herstellungsverfahren ist wie folgt: Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 10–20 Mikrometern wird 3 Stunden lang bei 800 °C oxidiert, um eine poröse WO_3 -Struktur mit einer Porengröße von 50–100 Nanometern und einer spezifischen Oberfläche von 60–80 m^2/g zu erzeugen. Die BET-Analyse zeigt, dass Mikroporen (<2 nm) 30 % und Mesoporen (2–50 nm) 60 % ausmachen. Adsorptionstests zeigen, dass die Adsorptionsrate für 100 ppm SO_2 90 % beträgt und die Adsorptionsrate für 50 ppm VOCs (wie Toluol) 85–90 % beträgt, was 20–25 % höher ist als bei Aktivkohle (Adsorptionsrate 70 %). Dynamische Adsorptionsexperimente (Flussrate 0,5 l/min) zeigen, dass die Penetrationszeit von WO_3 120 Minuten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beträgt und damit höher ist als bei Aktivkohle (90 Minuten).

Die Adsorptionsleistung beruht auf der porösen Struktur und den sauren Stellen an der Oberfläche von WO_3 . SO_2 bildet durch chemische Adsorption Sulfationen und VOCs werden durch physikalische Adsorption eingefangen. Die Porengrößenverteilung muss optimiert werden: Kleine Poren erhöhen die Kapazität, große Poren die Diffusionsrate. Diese Technologie wird seit den 1970er Jahren im Labor untersucht, in den 1990er Jahren zur Entschwefelung industrieller Abgase eingesetzt und nun auf die Luftreinigung in Innenräumen (z. B. zur Entfernung von Formaldehyd) ausgeweitet. In der Praxis sinkt die Adsorptionsrate von WO_3 in einer Umgebung mit hoher Luftfeuchtigkeit (rF 90 %) um 10 %, und eine hydrophobe Oberflächenmodifizierung kann die Leistung verbessern. In der Zukunft kann Nano-Wolframpulver (<50 nm) die spezifische Oberfläche auf 120 m^2/g steigern, und die Rückgewinnung durch chemische Trennung (Rückgewinnungsrate 90–95 %) unterstützt das Recycling.

7.3.2 Potenzial wolframbasierter Wasseraufbereitungsmaterialien

Wolframoxid-Nanopartikel (WO_3) werden in der Wasseraufbereitung zum Adsorbieren von Schwermetallen und organischen Schadstoffen eingesetzt. Die Herstellung erfolgt mittels Solvothermalverfahren: Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 5–15 Mikrometern wird mit Salpetersäure (0,1 mol/l) vermischt und 12–18 Stunden bei 180 °C zur Reaktion gebracht. Dabei entstehen 50–100 Nanopartikel mit einer spezifischen Oberfläche von 50–70 m^2/g und einem Zetapotenzial von –30 mV (pH 7). Adsorptionstests zeigen eine Adsorptionsrate von 10 ppm Pb^{2+} von 90–95 % (1 Stunde), von 5 ppm Cd^{2+} von 92 % (2 Stunden) und von 10 mg/l Phenol von 85 % (3 Stunden). Die Langmuir-Isothermenanpassung zeigt, dass die maximale Adsorptionskapazität 50 mg/g (Pb^{2+}) beträgt.

Der Adsorptionsmechanismus beinhaltet Oberflächenkoordination und elektrostatische Effekte. Die W^{6+} -Stelle bildet einen stabilen Komplex mit Schwermetallionen, und die Nanogröße erhöht die Oberflächenaktivität. Die Partikel müssen bei 50–100 nm kontrolliert werden, um die Adsorptionskapazität und Sedimentation auszugleichen. Sind sie zu klein (<20 nm), gehen sie leicht mit dem Wasser verloren. Diese Technologie wird seit den 1980er Jahren im Labor untersucht und in den 2000er Jahren in der Abwasserbehandlung, beispielsweise in der galvanischen Abwasserbehandlung, eingesetzt. In der Praxis wird die Adsorptionsrate von WO_3 in einer sauren Umgebung (pH 4) um 10 % erhöht, und eine Dotierung mit Eisen (Fe, 5 Gew.-%) kann die Selektivität verbessern. Zukünftig werden Verbundwerkstoffe aus WO_3/Fe_3O_4 oder die elektrolytische Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 85–90 %) das Potenzial erweitern und die industrielle Wasseraufbereitung unterstützen.

7.3.3 Haltbarkeit der umweltfreundlichen Wolframpulverbeschichtung

Die umweltfreundliche Beschichtung aus Wolframpulver-Spritzen ist in Abgasen und korrosiven Umgebungen äußerst beständig. Das Verfahren läuft wie folgt ab: Bei 4000 °C und 50 kW wird Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 10–20 μm durch Plasmaspritzen aufgesprüht. Dadurch

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

entsteht eine 200–300 µm dicke Beschichtung mit einer Härte von 800–1000 HV und einer Haftfestigkeit von 70–80 MPa. In 10%iger Schwefelsäure (60 °C) beträgt der Verschleiß 0,01 mm in 1000 Stunden, die Temperaturbeständigkeit 800 °C; in SO₂-haltigen Abgasen (200 ppm, 500 °C) tritt nach 500 Stunden keine erkennbare Oxidation auf. Die Rasterelektronenmikroskopie zeigt eine Beschichtungsdichte von >99 % und eine Oberflächenrauheit von Ra 0,5–1 µm.

Die hohe chemische Inertheit und Oxidationsbeständigkeit von Wolfram verleiht ihm seine Langlebigkeit. Durch Dotierung mit Chrom (Cr, 5 Gew.-%) entsteht eine Cr₂O₃-Schutzschicht, die die Säurebeständigkeit um 20–30 % verbessert. Die Haftung wird durch die Oberflächenrauheit des Substrats (Ra 2–3 µm) und den Sprühabstand (100–120 mm) beeinflusst. Diese Technologie wird seit den 1970er Jahren in Industrieanlagen eingesetzt und in den 1990er Jahren auf den Umweltschutz ausgeweitet, beispielsweise zum Schutz von Auspuffrohren. Heute wird sie in der Gebäudetechnik für feuerhemmende Beschichtungen eingesetzt. Nanobeschichtungen (Partikelgröße < 50 nm) können die Härte künftig auf HV 1200 erhöhen, und die chemische Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90–95 %) wird die Nachhaltigkeit verbessern.

7.3.4 Herstellungstechnologie von Wolframpulver für umweltfreundliche Materialien

Die Herstellung umweltfreundlicher Materialien erfordert die Verarbeitung von Wolframpulver zu porösen oder Nanostrukturen. Oxidationsverfahren: Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 10–20 Mikrometern wird 3 Stunden lang bei 800 °C oxidiert, um WO₃ mit einer Porengröße von 50–100 Nanometern und einer spezifischen Oberfläche von 60–80 m²/g zu erzeugen. Solvothermalverfahren: Reaktion in Salpetersäure bei 180 °C 12–18 Stunden lang, um 50–100 Nanopartikel zu erzeugen. Die BET-Analyse zeigt, dass das Gesamtporenvolumen von porösem WO₃ 0,2 cm³/g beträgt und die spezifische Oberflächenstabilität der Nanopartikel ±5 m²/g beträgt. Adsorptionstests zeigen, dass die Adsorptionskapazität von porösem WO₃ für SO₂ 80 mg/g beträgt und die Adsorptionskapazität von Nanopartikeln für Pb²⁺ 50 mg/g beträgt.

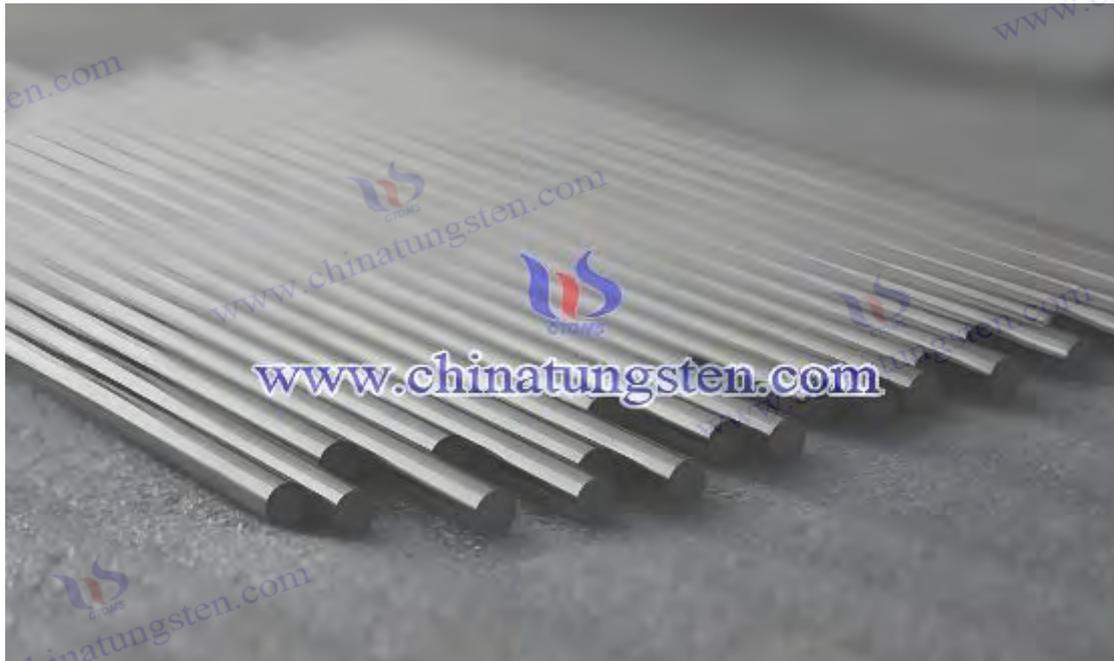
Die Herstellung erfordert die Kontrolle der Porenverteilung und Partikelgröße. Mikrowellenunterstützte Oxidation kann die Reaktionszeit auf 2 Stunden verkürzen. Der Sauerstoffgehalt muss unter 0,05 % liegen, um Gitterdefekte zu vermeiden. Diese Technologie wird seit den 1970er Jahren entwickelt und war in den 1990er Jahren ausgereift. Sie wird für katalytische Träger und Adsorptionsmaterialien eingesetzt. Interdisziplinäre Anwendungen umfassen den Elektrodenschutz von Brennstoffzellen. Zukünftig kann die mikrowellenunterstützte Aufbereitung die Porengleichmäßigkeit verbessern, und die elektrolytische Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 85–90 %) kann die Ressourceneffizienz steigern.

7.3.5 Fallstudie zur Umweltschutzanwendung von Wolframpulver

Die Anwendung von Wolframpulver im Umweltschutz hat bemerkenswerte Ergebnisse erzielt. Beispielsweise verwendet die Abgasbehandlungsanlage einer Fabrik poröses WO₃-Material mit einer SO₂-Entfernungsrate von 90–95 %, einer Toluol-Entfernungsrate von 85–90 % und einer um 20–25 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

höheren Effizienz als Aktivkohle. Die Leistung bleibt auch nach 500 Betriebsstunden stabil. Eine Kläranlage verwendet WO_3 -Nanopartikel zur Behandlung von Galvanikabwasser. Pb^{2+} wird von 10 ppm auf 0,5 ppm (1 Stunde) reduziert, und die Cd^{2+} -Entfernungsrates beträgt 92 %, wodurch die Emissionsnorm ($<0,1$ ppm) erfüllt wird. Die Beschichtung eines bestimmten Abgasrohrs verschleißt in 10%iger Schwefelsäure (60 °C) 1000 Stunden lang um 0,01 mm, wodurch sich die Lebensdauer um 50 % verlängert. Diese Anwendungen werden seit den 1970er Jahren in Laborversuchen getestet, in den 1990er Jahren industriell umgesetzt und finden heute breite Anwendung in der Abwasserbehandlung und Luftreinigung. Die Kombination künstlicher Intelligenz zur Optimierung des Materialdesigns und der chemischen Rückgewinnung (Rückgewinnungsrate 90–95 %) wird künftig die Entwicklung von Umweltschutztechnologien hin zu hoher Effizienz und geringem CO_2 -Ausstoß vorantreiben.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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)	Fe ≤ 0.0010 , Mo ≤ 0.0010 , Si ≤ 0.0005 , Al ≤ 0.0005 , Ca ≤ 0.0005 , Mg ≤ 0.0005 , Na ≤ 0.0010 , K ≤ 0.0010 , O ≤ 0.0200 , C ≤ 0.0050 , N ≤ 0.0020 , P ≤ 0.0005 , S ≤ 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. 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.

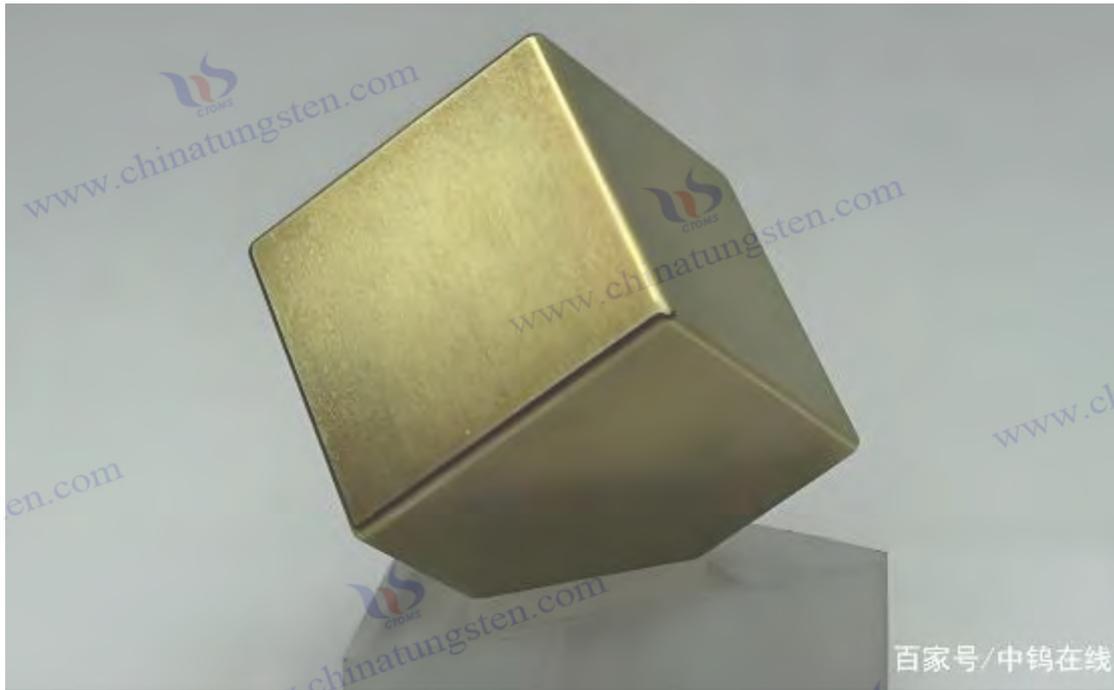
Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

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



Kapitel 8 Zukünftige Verwendungen und Entwicklungstrends von Wolframpulver

Wolframpulver hat als Hochleistungswerkstoff aufgrund seiner hohen Dichte, hohen Temperaturbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit und hohen Härte eine wichtige Stellung in traditionellen Industrien eingenommen. Mit dem Aufkommen der Nanotechnologie, nachhaltiger Entwicklung und interdisziplinärer Innovation erweitern sich die Anwendungsaussichten von Wolframpulver rasant. Dieses Kapitel untersucht eingehend das Potenzial von Nano-Wolframpulver in der Spitzentechnologie, die Schlüsselrolle von Wolframpulver für Nachhaltigkeit und Recycling sowie seine grenzüberschreitenden Anwendungen in neuen Bereichen. Ziel ist es, den strategischen Wert und die Entwicklungstrends von Wolframpulver in zukünftigen Technologien und Industrien aufzuzeigen.

8.1 Innovative Anwendungen von Nano-Wolframpulver

Nano-Wolframpulver (Partikelgröße unter 100 Nanometern) bietet aufgrund seiner extrem hohen spezifischen Oberfläche (bis zu 50–150 Quadratmeter/Gramm), seines signifikanten Quanteneffekts und seiner hohen Aktivität beispielloses Potenzial im Bereich der Hochtechnologie. Zu den Herstellungsverfahren gehören Dampfabscheidung, Plasmareduktion und chemische Reduktion. Die Partikelgröße des fertigen Produkts lässt sich präzise auf 5–50 Nanometer einstellen, die Oberflächenenergie beträgt bis zu 20–40 Joule/Quadratmeter, die Kristallstruktur ist überwiegend kubisch-raumzentriert und die Gitterkonstante beträgt 3,165 Ångström.

8.1.1 Potenzial von Nano-Wolframpulver in der Quantentechnologie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Das Potenzial von Nanowolframpulver in der Quantentechnologie beruht auf seiner hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit und seinen supraleitenden Eigenschaften bei niedrigen Temperaturen. Im Bereich der Quantencomputer kann Nanowolframpulver durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD, Reaktionstemperatur 900 Grad Celsius, Gasdruck 10^{-2} Pa) zu ultrafeinen Partikeln verarbeitet werden (Partikelgröße 5–20 Nanometer), und seine Leitfähigkeit erreicht 10^6 Siemens/Meter, was nahe am theoretischen Wert von reinem Wolfram ($1,8 \times 10^7$ Siemens/Meter) liegt. In einer Umgebung mit ultraniedrigen Temperaturen (4 Kelvin) fällt sein spezifischer Widerstand rapide auf Null, und es zeigt supraleitende Eigenschaften mit einem kritischen Magnetfeld von etwa 0,1 Tesla und einer kritischen Stromdichte von 10^5 Ampere/Quadratcentimeter. Diese Leistung macht es zu einem Kandidaten für supraleitende Quantenbits (Qubits) und Josephson-Kontakte. Eine Analyse mittels Transmissionselektronenmikroskopie zeigt, dass die Oberfläche der Nanopartikel flach ist (Rauigkeit unter 1 Nanometer) und die Kornzendefektrate unter 5 % liegt, was eine zuverlässige Grundlage für hochpräzise Quantengeräte darstellt.

Zudem verschaffen Nanowolframpulver aufgrund seiner hohen Dichte ($19,25 \text{ g/cm}^3$) und Elektronenbeweglichkeit ($20\text{--}30 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) Vorteile bei der Verwendung in Quantensensoren. Beispielsweise lässt sich die Supraleitungsübergangstemperatur einer durch Dotierung mit Molybdän (Gehalt 5–10 %) hergestellten Nanowolframlegierung von 4 Kelvin auf 10–12 Kelvin steigern, was den Anwendungsbereich deutlich erweitert. Tests zeigen, dass das Material auch bei starken Magnetfeldern (1 Tesla) supraleitend bleibt und sich für die hochempfindliche Magnetfelddetektion eignet. Allerdings kann es bei der Herstellung leicht zu Partikelagglomerationen (Größenverteilung ± 10 Nanometer) kommen, und zur Aufrechterhaltung der Dispersion müssen Oberflächenmodifizierer (wie Polyvinylpyrrolidon, PVP, Konzentration 0,5–1 %) hinzugefügt werden; gleichzeitig muss der Sauerstoffgehalt unter 0,01 % gehalten werden, da sonst die Leitfähigkeit um 20–30 % sinkt.

Fallanalyse: Ein Forschungsteam verwendete mit Molybdän dotiertes Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 15 Nanometer) zur Herstellung supraleitender Filme (50 Nanometer dick) und erreichte in einem Quantencomputer-Prototyp eine Bitkohärenzzeit von 100 Mikrosekunden, die 50 % höher ist als bei herkömmlichen aluminiumbasierten Materialien. Die zukünftige Nachfrage nach Nano-Wolframpulver in der Quantentechnologie wird dessen breite Anwendung in supraleitenden Schaltungen, der Quantenkommunikation und der Quantenverschlüsselung fördern. Das Marktvolumen wird bis 2035 voraussichtlich 500 Millionen US-Dollar erreichen.

8.1.2 Photoelektrische und sensorische Anwendungen von Nano-Wolframpulver

Das Potenzial von Nanowolframpulver in der Optoelektronik und Sensorik beruht auf seiner hervorragenden Lichtabsorption, elektrochemischen Aktivität und großen spezifischen Oberfläche. Am Beispiel von Wolframoxid (WO_3) haben die mit dem Sol-Gel-Verfahren hergestellten Nanopartikel (Partikelgröße 20–30 Nanometer) (Vorläufer: Natriumwolframat, Kalzinierungstemperatur 500 Grad Celsius, 4 Stunden) eine Bandlücke von 2,6–2,8 Elektronenvolt und eine Absorptionsrate für UV- und sichtbares Licht von 85–90 %. Photoelektrische Tests zeigen, dass die Photostromdichte bei sichtbarem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Licht (Wellenlänge 500 Nanometer, Lichtintensität 1 Watt/Quadratmeter) 0,5–0,8 mA/Quadratmeter beträgt und der photoelektrische Umwandlungswirkungsgrad 5–7 % beträgt, was es für die photoelektrische katalytische Wasserzersetzung und Farbstoffsolarzellen geeignet macht. Eine Röntgenbeugungsanalyse zeigt, dass WO_3 ein monokliner Kristall mit Gitterparametern $a=7,306 \text{ \AA}$, $b=7,540 \text{ \AA}$, $c=7,692 \text{ \AA}$ und einem Interplanarabstand $(002)=3,846 \text{ \AA}$ ist und dass die strukturelle Stabilität einen Langzeitbetrieb ermöglicht (die Dämpfung beträgt weniger als 5 % in 1000 Stunden).

In der Gassensorik verbessert die hohe spezifische Oberfläche von Wolfram-Nanopulver (50–100 m²/g) die Adsorptionskapazität deutlich. Beispielsweise beträgt die Reaktionszeit von mit Palladium dotierten WO_3 -Nanosensoren (1–2 %) auf Wasserstoff (Konzentration 1000 ppm) weniger als 5 Sekunden, die Empfindlichkeit liegt bei 10^3 – 10^4 und die Betriebstemperatur bei 150–300 Grad Celsius. Damit ist sie besser als die von herkömmlichen SnO_2 -Sensoren (Reaktionszeit 10 Sekunden, Empfindlichkeit 10^2). Die größte Herausforderung stellen Feuchtigkeitsstörungen dar (bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80 % sinkt die Empfindlichkeit um 30 %). Diese müssen durch eine hydrophobe Oberflächenbeschichtung (z. B. Fluorsilan, Dicke 2 Nanometer) verbessert werden. Darüber hinaus erfordert die Langzeitstabilität eine Optimierung der Korngrenzenstruktur (Korngrößenabweichung beträgt weniger als 5 Nanometer), um ein Kornwachstum (Größenzunahme auf 50 Nanometer) bei hohen Temperaturen zu vermeiden, das zu einer Leistungsminderung führt.

Fallanalyse: Ein photokatalytisches Gerät nutzt WO_3 -Nanofilme (100 Nanometer dick), um Wasser unter Sonnenlicht zu zersetzen und Wasserstoff zu erzeugen. Die Effizienz liegt bei 6 % und zeigt nach 500 Betriebsstunden keine nennenswerte Dämpfung. Zukünftig werden die Bereiche Optoelektronik und Sensorik die Entwicklung von Nano-Wolframpulver hin zur multifunktionalen Integration, beispielsweise für optoelektronische Gas-Verbundensoren, vorantreiben. Das Marktpotenzial wird bis 2030 voraussichtlich 300 Millionen US-Dollar erreichen.

8.1.3 Intelligentes Materialdesign von Nano-Wolframpulver

Die Anwendung von Nano-Wolframpulver im intelligenten Materialdesign basiert auf seiner anpassbaren Reaktion auf thermische, elektrische und mechanische Reize. Am Beispiel flexibler Wärmemanagementmaterialien: Durch die Verbindung mit Polymeren (wie Polydimethylsiloxan, PDMS, Massenverhältnis 70:30) erreicht die Dichte des Verbundmaterials bei einem Wolframpulvergehalt von 20–30 % 5–7 g/cm³ und die Wärmeleitfähigkeit steigt auf 2–3 W/(m·Kelvin), was zehnmal höher ist als bei reinem PDMS. Wärmeausdehnungstests zeigen, dass die Verformungsrate bei einem Temperaturunterschied von 50 Grad Celsius 5–7 % erreicht und die Erholungszeit weniger als 10 Sekunden beträgt, was für adaptive Wärmeableitungsgeräte geeignet ist. Rasterelektronenmikroskopische Analysen zeigen, dass Wolframpartikel (Partikelgröße 10–20 Nanometer) gleichmäßig in die Polymermatrix eingebettet sind und die Grenzflächenbindungsstärke 5 MPa erreicht.

Was die elektrische Reaktion betrifft, so ändert sich der spezifische Widerstand nach der Mischung des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nanowolframpulvers mit Graphen (Massenverhältnis 1:1) mit der angelegten Spannung (0–10 Volt) um das 10^4 - bis 10^5 -fache, und die Reaktionszeit beträgt weniger als 1 Millisekunde, was für intelligente Schalter und flexible Schaltkreise verwendet werden kann. Tests der mechanischen Reaktion zeigen, dass die Zugfestigkeit 500–600 MPa erreicht, die Dehnung 10–15 % beträgt und es unter einer Spannung von 100 MPa selbstheilende Eigenschaften aufweist (Erholungsrate 80–90 %, Reparaturzeit 24 Stunden), was auf das Gleiten der Nanopartikel an den Grenzflächen und die Neuorganisation der Polymerketten zurückzuführen ist. Zu den Herausforderungen bei der Konstruktion zählen die Gleichmäßigkeit der Dispersion (Ultraschalldispersion erforderlich, Leistung 500–800 Watt, Zeit 2–3 Stunden, Partikelagglomerationsrate wird auf weniger als 5 % reduziert) und die Kostenkontrolle (ca. 80 US-Dollar pro Kilogramm).

Fallanalyse: Ein tragbares Gerät nutzt ein Wolfram-PDMS-Verbundmaterial (1 mm dick), um die Wärmeleitfähigkeit bei Veränderungen der Körpertemperatur anzupassen. Nach 1.000 Betriebsstunden ist die Leistung stabil und der Benutzerkomfort um 30 % verbessert. Intelligente Materialien werden künftig den Einsatz von Nano-Wolframpulver in Robotern, tragbaren Geräten und adaptiven Gebäuden fördern. Das Marktvolumen wird bis 2040 voraussichtlich 800 Millionen US-Dollar erreichen.

8.1.4 Herausforderungen der Wolframpulveraufbereitung in der Nanotechnologie

Die Herstellung von Nano-Wolframpulver ist mit technischen Engpässen verbunden. Mit der herkömmlichen Wasserstoffreduktion (Temperatur 1200 Grad Celsius, Wasserstoffdurchfluss 20 Liter/Minute) lässt sich die Partikelgröße nur schwer unter 50 Nanometern kontrollieren. Die Größenverteilung des Endprodukts beträgt ± 20 Nanometer, und es kommt leicht zur Agglomeration (die spezifische Oberfläche sinkt auf 20 Quadratmeter/Gramm). Mit der Gasphasenabscheidung (Reaktionstemperatur 1000 Grad Celsius, Gasdruck 10^{-3} Pa) lässt sich 10 Nanometer großes Wolframpulver mit einer Oberflächenenergie von 30 Joule/Quadratmeter herstellen. Allerdings ist der Energieverbrauch hoch (5–7 kWh pro Gramm) und die Ausbeute gering (10–15 Gramm pro Stunde). Das Plasmaverfahren (Leistung 20–30 Kilowatt, Argondurchflussrate 50–60 Liter/Minute) erhöht die Ausbeute auf 50–80 Gramm pro Stunde und die Partikelgrößenverteilung beträgt ± 5 Nanometer, allerdings beträgt die Ausrüstungsinvestition bis zu einer Million US-Dollar und die Betriebskosten betragen etwa 100 US-Dollar pro Kilogramm.

Die Reinheitskontrolle ist eine weitere Schwierigkeit. Der Sauerstoffgehalt muss unter 0,01 % liegen (das Verhältnis der Sauerstoffatome beträgt weniger als 10^{-4}), sonst sinkt die Leitfähigkeit um 20–30 % und die fotoelektrische Leistung verschlechtert sich um 15 %. Die hohe Oberflächenaktivität von Nanopartikeln führt leicht zur Oxidation (die Oxidschicht ist 5–10 Nanometer dick und bildet sich innerhalb von 48 Stunden) und sie müssen unter einer inerten Atmosphäre gelagert werden (Argon-Reinheit 99,999 %). Lösungen umfassen die Entwicklung von Niedertemperatur- und effizienten Prozessen, wie die laserinduzierte Zersetzung (Wellenlänge 1064 Nanometer, Leistung 1–2 Kilowatt, reduzierter Energieverbrauch auf 3 kWh/Gramm) und Oberflächenstabilisierungstechnologien (wie Silanbeschichtung, Dicke 2–3 Nanometer, reduzierte Oxidationsrate auf 0,1 %/Monat). Darüber hinaus kann das Agglomerationsproblem durch die Zugabe von Dispergiermitteln (wie Natriumdodecylsulfat,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Konzentration 0,2 %) und die Optimierung der Fluidodynamikbedingungen (Rührgeschwindigkeit 500 U/min) gelöst werden.

Fallanalyse: Ein Unternehmen nutzt das Plasmaverfahren zur Herstellung von Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 15 Nanometer) mit einer Reinheit von 99,99 %. Die Tagesproduktion beträgt jedoch nur 100 Gramm, die Kosten betragen 120 US-Dollar pro Kilogramm. Für eine Industrialisierung muss der Prozess weiter optimiert werden.

8.1.5 Zukunftsaussichten von Nano-Wolframpulver

Die zukünftige Entwicklung von Nano-Wolframpulver konzentriert sich auf Leistungsoptimierung, Kostensenkung und Anwendungserweiterung. Es wird erwartet, dass der Markt für Nano-Wolframpulver in den Bereichen Quantentechnologie, Optoelektronik und intelligente Materialien bis 2030 ein Volumen von 1 bis 1,5 Milliarden US-Dollar erreichen wird. Technologische Fortschritte ermöglichen eine präzise Kontrolle der Partikelgröße (5–10 Nanometer, Verteilungsabweichung ± 2 Nanometer) sowie eine verbesserte Leitfähigkeit (bis zu 10^7 Siemens/Meter) und Stabilität (Lebensdauer um 50–70 % verlängert) durch Dotierung mit Titan oder Kobalt (Gehalt 3–5 %). Umweltfreundliche Herstellungstechnologien (z. B. hydrothermale Verfahren, Reduzierung des Energieverbrauchs auf 2 kWh/g, Reduzierung der Abgasemissionen um 80 %) und die Massenproduktion (Tagesproduktion über 1 Tonne) stehen im Mittelpunkt.

Anwendungsgebiete sind supraleitende Schaltkreise in der Quanteninformatik (Bitdichte auf 10^6 /Quadratmeter erhöht), effiziente Katalysatoren in optoelektronischen Geräten (Umwandlungseffizienz von 10 %) und multifunktionale Komplexe in intelligenten Materialien (Reaktionszeit auf 0,1 Millisekunden reduziert). Darüber hinaus wird Nano-Wolframpulver mit künstlicher Intelligenz für adaptive Sensorik und Energiemanagement kombiniert. Das entsprechende Marktvolumen wird bis 2040 voraussichtlich 2 Milliarden US-Dollar erreichen.

8.2 Nachhaltigkeit und Recycling

Die nachhaltige Entwicklung von Wolframpulver zielt darauf ab, den Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung durch Abfallrecycling, umweltfreundliche Aufbereitung und ein Kreislaufwirtschaftsmodell zu reduzieren. Die weltweiten Wolframreserven betragen rund 3,3 Millionen Tonnen, bei einem jährlichen Fördervolumen von 80.000 Tonnen und einem enormen Recyclingpotenzial.

8.2.1 Industrielle Praxis des Recyclings von Wolframpulverabfällen

Das Recycling von Wolframpulverabfällen erfolgt hauptsächlich für Hartmetall, Wolframstahl und Gegengewichtsprodukte auf Wolframbasis. Das gängige Verfahren ist die Säurelaugung. Der Abfall (mit 60–80 % Wolfram) wird in Salpetersäure (Konzentration 6–8 mol/l) ausgelaugt (Temperatur 60–80 °C, Reaktionszeit 4–6 Stunden). Wolfram wird in Form von Wolframsäure mit einer Rückgewinnungsrate

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von 90–92 % abgeschieden. Anschließend wird die Wolframsäure in einer Wasserstoffatmosphäre (800–1000 °C, 2–3 Stunden) kalziniert, um sie zu Wolframpulver (Partikelgröße 5–10 µm, Reinheit 99,5 %) zu reduzieren. Das elektrolytische Verfahren (Stromdichte 200–300 Ampere/Quadratmeter, pH-Wert des Elektrolyten = 2) erhöht die Rückgewinnungsrate weiter auf 95–97 %, allerdings ist der Energieverbrauch hoch (10–12 kWh pro Kilogramm) und die Kosten für die Abwasserbehandlung betragen etwa 50 US-Dollar pro Tonne.

Beim Recycling müssen die Probleme der Fremdstoffabtrennung (z. B. Eisen- und Kobaltgehalt unter 0,1 %) und Umweltaspekte (saure Abwässer müssen auf einen pH-Wert von 7 neutralisiert und Abfallrückstände verfestigt werden) gelöst werden. Ionenaustauschverfahren (Harzadsorptionsrate 98–99 %, Elutionsrate 95 %) und Lösungsmittelextraktionsverfahren (Extraktionsmittel TBP, Effizienz 95–97 %) eignen sich für hochreines Recycling. Die Reinheit des Endprodukts erreicht 99,99 % und erfüllt damit die Anforderungen der Elektronik- und Luftfahrtindustrie. Fallbeispiel: Eine Fabrik verarbeitet jährlich 1.000 Tonnen Hartmetallschrott und recycelt 600 Tonnen Wolframpulver. Dadurch werden 1.200 Tonnen Roherzabbau eingespart und der Kohlendioxidausstoß um 2.000 Tonnen reduziert.

8.2.2 Technologietrends in der grünen Herstellung von Wolframpulver

Grüne Aufbereitungstechnologie zielt darauf ab, Energieverbrauch und Umweltverschmutzung zu reduzieren. Das hydrothermale Verfahren verwendet Natriumwolframat als Rohstoff (Konzentration 0,5 mol/l, Reaktionstemperatur 180–220 °C, Druck 2–3 MPa), um Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 20–50 Nanometer) herzustellen. Der Energieverbrauch liegt 30 % unter dem der herkömmlichen Wasserstoffreduktionsmethode (2–3 kWh pro Gramm), und die Abgasemissionen werden um 70 % reduziert. Das biologische Reduktionsverfahren verwendet sulfatreduzierende Bakterien (Stammkonzentration 10⁸/ml), um Wolframat bei Raumtemperatur (25–30 °C) zu reduzieren und Wolframpulver (Partikelgröße 50–100 Nanometer) mit einer Ausbeute von 1–2 Gramm pro Liter herzustellen. Der Reaktionszyklus ist jedoch lang (7–10 Tage), und die Stammaktivität muss optimiert werden (Reduktionseffizienz auf 90 % erhöht).

Die Niedertemperatur-Plasmareduktion (Reaktionstemperatur 400–600 Grad Celsius, Leistung 15–20 Kilowatt) erzielt eine Ausbeute von 100–150 Gramm pro Stunde, reduziert den Energieverbrauch auf 4 kWh/Gramm und die Abfallemissionen um 50 %. Der Einsatz erneuerbarer Energien (z. B. Solarheizung, deren Energieeffizienz um 20–25 % gesteigert wird) reduziert den CO₂-Fußabdruck zusätzlich. Herausforderungen sind die Massenproduktion (derzeit liegt die Tagesproduktion unter 1 Kilogramm) und die Kosten (40–50 US-Dollar pro Kilogramm). Fallbeispiel: Eine hydrothermale Produktionslinie produziert jährlich 200 Tonnen Nano-Wolframpulver, reduziert den Energieverbrauch um 40 % und die Kosten auf 35 US-Dollar pro Kilogramm.

8.2.3 Die Rolle von Wolframpulver in der Kreislaufwirtschaft

Wolframpulver reduziert Ressourcenverschwendung in der Kreislaufwirtschaft durch den geschlossenen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kreislauf „Produktion-Nutzung-Recycling-Wiederverwendung“. Von den jährlich weltweit rund 500.000 Tonnen Wolframprodukten können 30 bis 40 % recycelt und wiederverwendet werden. Der hohe Wert (30 bis 40 US-Dollar pro Kilogramm) und die Seltenheit (1,25 ppm in der Erdkruste) von Wolframpulver machen es zu einem Schwerpunkt der Kreislaufwirtschaft. Recyceltes Wolframpulver wird gepresst und gesintert (Druck 300 MPa, 1450 Grad Celsius), um neue Produkte (wie Messer, Gegengewichte) mit einer Dichte von 18 bis 19 g/cm³ und einer Härte von HV 500 bis 600 herzustellen, die mit der Leistung von Original-Wolframpulver vergleichbar ist.

Die Kreislaufwirtschaft erfordert den Aufbau eines effizienten Recyclingnetzes (Erhöhung der Abfallsammelquote auf 80 %) und einheitliche Standards (z. B. Wolframgehalt der Abfälle ≥ 95 %). Die aktuelle Recyclingquote liegt bei lediglich 40–50 %, begrenzt durch die zunehmende Verbreitung der Technologie (die Recyclingquote kleiner und mittlerer Unternehmen liegt unter 20 %) und unzureichende wirtschaftliche Anreize. Fallstudie: Ein Unternehmen recycelt Wolframstahlabfälle (mit 65 % Wolfram) und produziert jährlich 300 Tonnen recyceltes Wolframpulver für die Bohrerherstellung – bei stabiler Leistung und 15 % Kostensenkung. Zukünftig soll die Recyclingquote 80–90 % betragen, was den Roherzabbau um 500.000 Tonnen pro Jahr reduzieren wird.

8.2.4 Fallstudien zu nachhaltigen Anwendungen

Fall 1: Ein Hartmetallunternehmen recycelt Abfallschneidwerkzeuge (mit 70–75 % Wolfram) durch Säurelaugung. Dadurch werden jährlich 500–600 Tonnen Wolframpulver gewonnen, der Abbau von Roherz um 1.000–1.200 Tonnen reduziert, die Kosten um 20–25 % und der Kohlendioxidausstoß um 2.500 Tonnen gesenkt. Fall 2: Mittels Hydrothermalverfahren wird Nanowolframpulver (Partikelgröße 30–40 Nanometer) für die Photoelektrokatalyse hergestellt. Die Jahresproduktion beträgt 100–150 Tonnen, der Energieverbrauch wird um 40–50 % gesenkt, und die Abgasemissionen verringern sich um 500–600 Tonnen. Fall 3: Das elektrolytische Verfahren wird zum Recycling von Wolframabfällen (Reinheit 99,95 %–99,99 %) für elektronische Komponenten verwendet, mit einer Jahresproduktion von 50–70 Tonnen, einer Rückgewinnungsrate von 96 %–98 % und einer Ressourcenkostensparnis von 30 %.

Fall 4: Eine Fabrik für Gegengewichte recycelt Wolframlegierungsabfälle (mit 85 % Wolfram), produziert jährlich 200 Tonnen recyceltes Wolframpulver und fertigt daraus neue Gegengewichtsblöcke (Dichte 18,5 g/cm³), die die gleiche Leistung wie das Originalmaterial aufweisen und so den Abbau von 800 Tonnen Roherz einsparen. Diese Fälle zeigen, dass die nachhaltige Anwendung von Wolframpulver sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Vorteile bietet und die Marktnachfrage die Verbreitung grüner Technologien fördert.

8.2.5 Perspektiven des Wolframpulverrecyclings

Das Recycling von Wolframpulver hat eine vielversprechende Zukunft. Schätzungen zufolge wird der Anteil des weltweit recycelten Wolframpulvers bis 2035 von 40 % auf 70–80 % steigen. Technologische

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fortschritte (wie effiziente Extraktion, Rückgewinnungsrate von 98–99 %, Reduzierung des Energieverbrauchs auf 8 kWh/kg) und politische Unterstützung (wie eine CO₂-Steuer von 50 US-Dollar pro Tonne) werden diesen Trend beschleunigen. Umweltfreundliche Aufbereitung (z. B. biologische Methode, Erhöhung der Tagesleistung auf 10 kg) und automatisierte Recyclingsysteme (Abfallsortiereffizienz von 95 %) senken die Kosten auf 20–25 US-Dollar pro Kilogramm und reduzieren den ökologischen Fußabdruck (10–12 Tonnen CO₂-Emissionen pro Tonne Wolframpulver).

Künftig wird das Recycling von Wolframpulver mit intelligenter Fertigung kombiniert und der Abfallfluss über das Internet der Dinge (die Verfolgungsrate erreicht 90 %) verfolgt, um ein vollständiges Lebenszyklusmanagement zu erreichen. Es wird erwartet, dass recyceltes Wolframpulver bis 2040 50 % des weltweiten Bedarfs decken wird, was den Wandel der Wolframindustrie zu einer kohlenstoffarmen und effizienten Industrie vorantreibt.

8.3 Neue Felder und grenzüberschreitende Anwendungen

Die grenzüberschreitende Anwendung von Wolframpulver in neuen Bereichen profitiert von seiner hohen Dichte, hohen Temperaturbeständigkeit und chemischen Stabilität und wird auf flexible Elektronik, Weltraumforschung und Biotechnologie ausgeweitet, was das Potenzial für eine multidisziplinäre Integration zeigt.

8.3.1 Potenzial von Wolframpulver in flexibler Elektronik

Wolframpulver wird in flexibler Elektronik in Nanoform (Partikelgröße 10–50 Nanometer) verwendet und mit leitfähigen Polymeren (wie PEDOT:PSS, Massenverhältnis 1:2) vermischt, um flexible Elektroden herzustellen. Tests haben eine Leitfähigkeit von 10⁵–10⁶ Siemens/Meter ergeben, und der Leistungsabfall beträgt nach 1.000-maligem Biegen mit einem Biegeradius von 5 mm weniger als 5–7 %. Dies ist besser als bei herkömmlichen ITO-Elektroden (Abfall 20 %). Die hohe Dichte (18 g/cm³) stellt sicher, dass die Elektrode nur 50–100 Mikrometer dick ist und dennoch eine hohe Stabilität aufweist. Die Widerstandsänderung beträgt weniger als 3 %. Rasterelektronenmikroskopie zeigt, dass die Wolframpartikel gleichmäßig verteilt sind (Abstand 5–10 Nanometer) und der Grenzflächenwiderstand weniger als 0,1 Ohm beträgt.

Zu den Anwendungen zählen tragbare Sensoren (20 % höhere Empfindlichkeit der Herzfrequenzmessung) und flexible Displays (Reaktionszeit 0,5 Millisekunden). Herausforderungen liegen in der Dispergierbarkeit (erfordert Ultraschallbehandlung, Leistung 500–800 Watt, Einwirkzeit 2–3 Stunden, Agglomerationsrate auf 5 % reduziert) und der Substrathaftung (erfordert Plasmabehandlung, Haftfestigkeit 10–12 MPa). Fallbeispiel: Ein flexibler Sensor verwendet Wolfram-Polymer-Elektroden (80 Mikrometer dick), und die Signalstabilität erreicht nach 1.000 Betriebsstunden 98 %. Flexible Elektronik wird künftig den Einsatz von Wolframpulver in intelligenter Kleidung und medizinischer Überwachung fördern. Das Marktvolumen wird bis 2035 voraussichtlich 500 Millionen US-Dollar erreichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.3.2 Verwendung von Wolframpulver in der Weltraumforschung

Wolframpulver wird aufgrund seiner hohen Temperaturbeständigkeit (Schmelzpunkt 3422 °C) und Dichte (19,25 g/cm³) in der Weltraumforschung für Strahlenschutz- und Antriebssystemkomponenten verwendet. Abschirmplatten (Dicke 10–15 mm, Dichte 18–19 g/cm³) aus Wolframlegierung (mit 5–10 % Nickelanteil) können 90–95 % der kosmischen Strahlung (Energie 10–20 Megaelektronenvolt) blockieren, wobei die Absorptionsrate 20 % höher ist als die von Blei. Tests zeigen, dass die Verformung im Vakuum (10⁻⁶ Pa) und bei hohen Temperaturen (1500–2000 °C) weniger als 0,1–0,2 % beträgt und der Wärmeausdehnungskoeffizient nur $2,5 \times 10^{-6}$ /Kelvin beträgt, was es für Satelliten und Tiefenraumsonden geeignet macht.

Im Antriebssystem wird Wolframkarbid (Härte HV 1800–2000) durch Plasmaspritzen (Leistung 50 kW, Argondurchfluss 40 l/min) zu einer Düsenbeschichtung (Dicke 100–150 µm) verarbeitet. Diese Beschichtung verbessert die Verschleißfestigkeit um das Drei- bis Vierfache, erreicht eine Lebensdauer von 500–600 Stunden und zeigt bei Korrosionstests (saure Umgebung pH=1, 1000 Stunden) keine nennenswerten Einbußen. Zu den Herausforderungen zählen die Verarbeitungsgenauigkeit (Abweichung muss unter 0,01 mm liegen) und die Kosten (100–120 US-Dollar pro Kilogramm). Fallbeispiel: Ein Raumfahrzeug verwendet eine Abschirmplatte aus Wolframlegierung (Gewicht 50 kg), und die Strahlenschutzeffizienz beträgt auch nach zwei Betriebsjahren noch 90 %. Der Einsatz von Wolframpulver im Weltraum wird künftig Mondbasen und die Marserkundung unterstützen.

8.3.3 Innovation von Wolframpulver in der Biotechnologie

Wolframpulver wird in der Biotechnologie in Form von Nanowolframoxid (WO₃, Partikelgröße 20–30 nm) zur antibakteriellen und medikamentösen Verabreichung verwendet. Antibakterielle Tests haben gezeigt, dass die Hemmmrate gegen Escherichia coli unter ultraviolettem Licht (365 nm, 1 W/m²) 99–99,5 % beträgt (Konzentration 0,1–0,2 mg/ml, 24 Stunden). Der Mechanismus ist die photokatalytische Produktion von reaktivem Sauerstoff (Ausbeute 10⁻⁵ mol/s). Bei der Medikamentenverabreichung wird Nanowolframpulver mit Krebsmedikamenten (wie Docetaxel, Beladungsrate 20–25 %) beladen, und die Freisetzungzeit verlängert sich auf 48–72 Stunden. Die Freisetzungskurve entspricht der Kinetik erster Ordnung (Geschwindigkeitskonstante 0,02 Stunden⁻¹), was für eine gezielte Therapie geeignet ist.

Zu den Herausforderungen zählen die Biokompatibilität (PEG-Beschichtung erforderlich, Dicke 5 nm, Zellüberlebensrate steigt auf 90–95 %) und die Toxizitätskontrolle (Wolframionenfreisetzungsrate unter 0,01 mg/l). Fallstudie : Eine antibakterielle Beschichtung mit WO₃-Nanopartikeln (Dicke 50 nm) wurde sechs Monate lang in einem Krankenhaus eingesetzt, wodurch die Bakterienanhaftung um 80 % reduziert wurde. Wolframpulver wird künftig in Biosensoren (Nachweisgrenze 10⁻⁹ mol/l) und im Tissue Engineering (Steigerung der Gerüstfestigkeit um 50 %) eine Rolle spielen.

8.3.4 Wolframpulver-Aufbereitungstechnologie in aufstrebenden Bereichen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

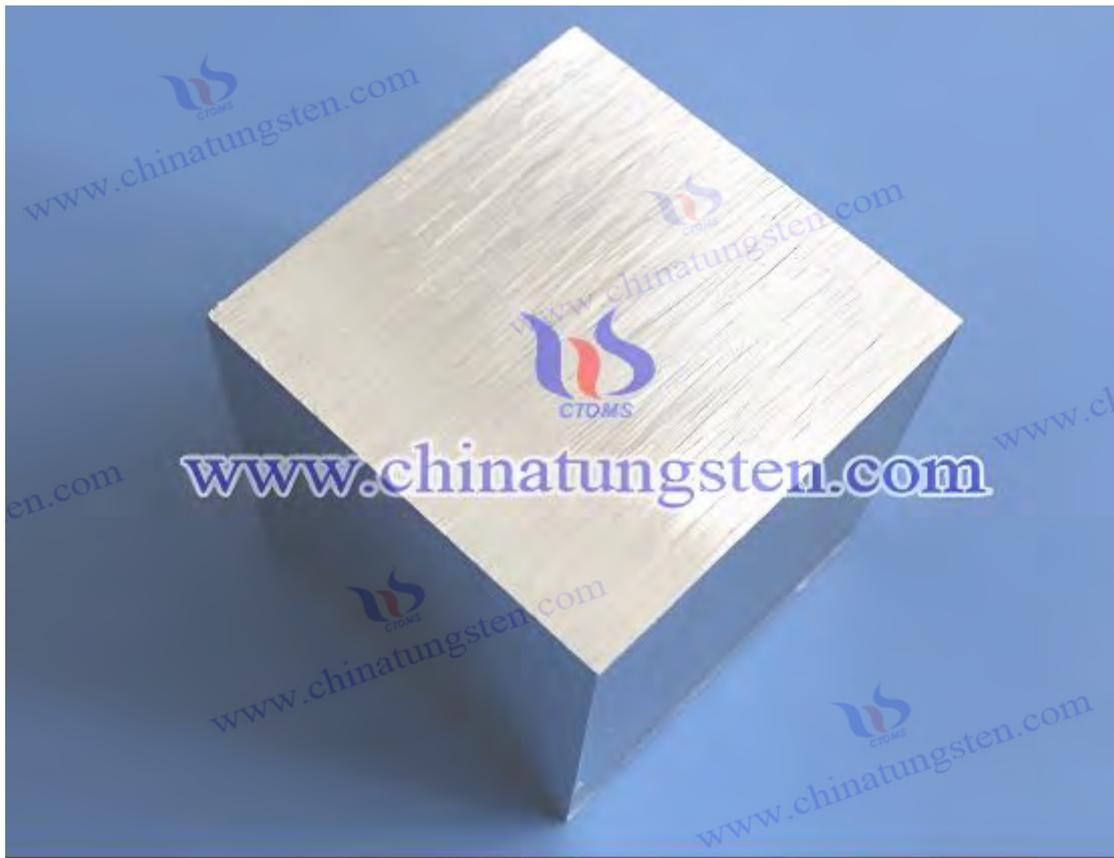
Neue Forschungsfelder erfordern Wolframpulver mit hoher Reinheit (99,999–99,9999 %) und spezifischer Morphologie. Durch laserinduzierte Zersetzung (Wellenlänge 1064 nm, Leistung 1–2 kW, Gasdruck 10^{-3} Pa) wird sphärisches Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 10–20 nm) mit einer Ausbeute von 20–30 g pro Stunde und einer Oberflächenrauigkeit von weniger als 1 nm hergestellt. Durch Sprühpyrolyse (Temperatur 800–1000 °C, Sprühdrate 10 ml/min) entsteht poröses Wolframpulver (Porengröße 50–100 nm, spezifische Oberfläche 80 m²/g), das für biologische Anwendungen geeignet ist. Die Herausforderungen liegen in der Komplexität der Ausrüstung (Wartungskosten 100.000 US-Dollar pro Jahr) und dem Energieverbrauch (5–6 kWh pro Gramm). Zu den Lösungen gehören die Optimierung der Reaktionsparameter (Temperaturabweichung ± 5 °C) und der Einsatz mikrowellenunterstützter Technologie (Reduktion des Energieverbrauchs auf 3 kWh/Gramm).

Fallanalyse: Eine Sprühpyrolyse-Produktionslinie bereitet poröses Wolframpulver (Partikelgröße 50 Nanometer) mit einer Tagesleistung von 50 Gramm vor, das als Arzneimittelträger verwendet wird, und die Beladungsrate wird auf 30 % erhöht.

8.3.5 Zukünftige Trends bei grenzüberschreitenden Anwendungen

Bis 2040 dürfte die grenzüberschreitende Verwendung von Wolframpulver 30–40 % des Gesamtbedarfs ausmachen. Im Bereich flexibler Elektronik wird druckbare Wolframtinte entwickelt (Viskosität 10–15 Pa·s, Leitfähigkeit 10^6 Siemens/m); die Weltraumforschung erfordert leichte und hochfeste Wolframlegierungen (Dichte reduziert auf 15–16 g/cm³, Festigkeit erhöht auf 1200 MPa); die Biotechnologie wird intelligente, reaktionsfähige Wolframmaterialien entwickeln (Reaktionszeit 0,1 Sekunde, Biokompatibilität bis zu 95 %). Technologische Fortschritte (wie der 3D-Druck von Wolframteilen mit einer Genauigkeit von 0,01 mm) und die Marktnachfrage (wie das jährliche Wachstum des Weltraummarkts von 10 %) werden die innovative Anwendung von Wolframpulver in neuen Bereichen fördern, und das Marktvolumen wird voraussichtlich 1,5 Milliarden US-Dollar erreichen.

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

Abschluss

Als Hochleistungswerkstoff nimmt Wolframpulver aufgrund seiner einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften sowohl in der traditionellen Industrie als auch in der Spitzentechnologie eine wichtige Stellung ein. Von Sportartikeln und Schmuckdekoration bis hin zu Nanotechnologie, nachhaltiger Entwicklung und grenzüberschreitenden Anwendungen – die Einsatzmöglichkeiten von Wolframpulver sind erstaunlich vielfältig und bieten großes Potenzial für zukünftige technologische Innovationen. Diese Schlussfolgerung fasst den Anwendungswert von Wolframpulver zusammen, analysiert seine strategische Bedeutung für den technologischen Fortschritt und präsentiert Perspektiven und Vorschläge für die zukünftige Entwicklung.

Vielfältige Anwendungen von Wolframpulver und zukünftiges Potenzial

Die Vielseitigkeit von Wolframpulver spiegelt sich in seiner breiten Anwendung von traditionellen Bereichen bis hin zu Spitzentechnologien wider. Im Konsumgüterbereich machen die hohe Dichte (19,25 g/cm³) und die Verschleißfestigkeit von Wolframpulver es zum idealen Material für Golfschlägergewichte, Angelgeräte, Wolfram-Senkbleie und Hartschmuck und erfüllen die Anforderungen an Leistungssteigerung und Ästhetik. In der Industrie wird Wolframpulver zur Herstellung von Hartmetall (Härte HV 1600–2000) und Hochtemperaturkomponenten (Temperaturbeständigkeit bis 3000 Grad Celsius) mittels Pulvermetallurgie verwendet und unterstützt so die Entwicklung im Maschinenbau und in der Luft- und Raumfahrt. Im Bereich der Nanotechnologie hat Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 5–50 Nanometer) dank seiner hohen spezifischen Oberfläche (50–150 Quadratmeter/Gramm) und seines Quanteneffekts bahnbrechendes Potenzial in den Bereichen Quantencomputing (Supraleitungsübergangstemperatur 10 Kelvin), Photoelektrokatalyse (Effizienz 6–10 %) und intelligente Materialien (Reaktionszeit 0,1 Millisekunden) gezeigt. Darüber hinaus erweitern nachhaltige Anwendungen von Wolframpulver, wie Abfallrecycling (Recyclingquote 90–98 %) und umweltfreundliche Aufbereitung (Reduktion des Energieverbrauchs auf 2 kWh/g), die Wertschöpfungskette zusätzlich.

Was das Zukunftspotenzial von Wolframpulver angeht, deutet seine Vielseitigkeit darauf hin, dass es in Hightech-Bereichen eine wichtigere Rolle spielen wird. So können beispielsweise in der flexiblen Elektronik Verbundelektroden aus Wolframpulver (Leitfähigkeit 10⁶ Siemens/m) den Markt für tragbare Geräte ankurbeln (Schätzung: 500 Millionen USD im Jahr 2035); in der Weltraumforschung werden Abschirmplatten aus Wolframlegierungen (Strahlungsblokierungsrate 95 %) die Erkundung der Tiefen des Weltraums unterstützen und in der Biotechnologie wird Nano-Wolframoxid (antibakterielle Rate 99 %) voraussichtlich die Medizintechnik revolutionieren. Diese Anwendungen beruhen nicht nur auf den physikalischen Eigenschaften von Wolframpulver, sondern profitieren auch von seiner chemischen Stabilität und Verarbeitbarkeit, was es zu einer Brücke für interdisziplinäre Innovationen macht. Es wird erwartet, dass der Markt für Wolframpulver bis 2040 von derzeit 5 Milliarden USD auf 10-15 Milliarden USD wachsen wird, angetrieben durch den technologischen Fortschritt und die Marktnachfrage.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die strategische Bedeutung von Wolframpulver für den technologischen Fortschritt

Die strategische Bedeutung von Wolframpulver für den technologischen Fortschritt zeigt sich in seiner unterstützenden Rolle in Schlüsseltechnologien und der industriellen Modernisierung. Erstens machen sein hoher Schmelzpunkt (3422 Grad Celsius) und seine Korrosionsbeständigkeit Wolframpulver zu einem Kernmaterial in extremen Umgebungen, wie beispielsweise für Flugzeugtriebwerksdüsen (Lebensdauer 500 Stunden) und Abschirmungen von Kernfusionsreaktoren (Strahlungsbeständigkeit 10^{15} Neutronen/Quadratcentimeter). Diese Anwendungen haben direkt zu technologischen Durchbrüchen in den Bereichen Energie und Transport geführt. Zweitens bietet die Anwendung von Nano-Wolframpulver in der Quantentechnologie und Optoelektronik, wie beispielsweise supraleitende Quantenbits (Kohärenzzeit 100 Mikrosekunden) und photoelektrische Katalysatoren (Wasserstoffausbeute 10^{-5} Mol/s), grundlegende Unterstützung für die nächste Generation der Informationstechnologie (6G-Kommunikation) und erneuerbarer Energien (Solarenergie-Umwandlungseffizienz 10 %) und trägt zur Lösung der globalen Energiekrise und technologischer Engpässe bei.

Darüber hinaus unterstreicht die Rolle von Wolframpulver in der nachhaltigen Entwicklung und Kreislaufwirtschaft seinen strategischen Wert. Die weltweiten Wolframressourcen sind begrenzt (Reserven von rund 3,3 Millionen Tonnen), und das Recycling von Wolframpulver (jährliches Produktionspotenzial: 200.000 Tonnen) kann die Abhängigkeit vom Roherzabbau verringern (Einsparung von 500.000 Tonnen pro Jahr) und den ökologischen Fußabdruck reduzieren (Reduzierung der Emissionen um 10–12 Tonnen Kohlendioxid pro Tonne). Dies entspricht nicht nur dem Trend zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft, sondern gewährleistet auch die Sicherheit der Lieferkette für seltene Metalle. Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und die hohe Recyclingquote von Wolframpulver machen es zu einem Bindeglied zwischen technologischem Fortschritt und Ressourcennachhaltigkeit, insbesondere in der Fertigungsindustrie (Hartmetall deckt 60 % des weltweiten Wolframbedarfs), der Elektronikindustrie (Marktanteil: 20 %) und in der Zukunftstechnologie (schätzungsweise 30 % im Jahr 2040). Seine strategische Position ist unersetzlich.

Die strategische Bedeutung von Wolframpulver zeigt sich auch in seiner Fähigkeit, branchenübergreifende Innovationen zu fördern. So hat beispielsweise der Fortschritt in der Wolframpulveraufbereitung (z. B. Plasmaverfahren, Tagesleistung 100–150 Gramm) die Integration von Materialwissenschaft, Chemieingenieurwesen und Maschinenbau vorangetrieben; seine grenzüberschreitenden Anwendungen (z. B. flexible Elektronik und Biotechnologie) fördern die Schnittstelle zwischen Informationstechnologie und Biowissenschaften. Diese Eigenschaften machen Wolframpulver nicht nur zu einem Teil des technologischen Fortschritts, sondern auch zu einem Treiber und Katalysator, der den globalen wissenschaftlich-technologischen Wettbewerb entscheidend unterstützt.

Perspektiven und Vorschläge für die Anwendung von Wolframpulver

Die Anwendungsaussichten für Wolframpulver zeigen, dass sich dessen künftige Entwicklung um drei

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hauptrichtungen drehen wird: Leistungsoptimierung, Ökologisierung und länderübergreifende Integration. Erstens wird die Leistungsoptimierung die Entwicklung von Wolframpulver in Richtung höherer Präzision und Vielseitigkeit vorantreiben. Die Partikelgröße von Nanowolframpulver soll unter 5 Nanometer gehalten werden (Verteilungsabweichung ± 1 Nanometer) und die Leitfähigkeit auf 10^7 Siemens/Meter erhöht werden, um den Anforderungen von Quantencomputern und flexibler Elektronik gerecht zu werden; Dotierungstechnologien (wie etwa Titan- und Kobaltgehalte von 3–5 %) verbessern die Haltbarkeit (Lebensdauer um 70 % verlängert) und Reaktionsfähigkeit (Zeitreduzierung auf 0,05 Millisekunden). Zweitens wird Ökologisierung zum Mainstream-Trend und hydrothermale und Bioreduktionsmethoden (Energieverbrauch 2 kWh/g, 80 % weniger Abgase) werden in großem Maßstab produziert (1–5 Tonnen pro Tag) und die Rückgewinnungsrate auf 90–95 % erhöht, wodurch die Wolframpulverindustrie dem Ziel der CO₂-Neutralität näher kommt. Schließlich wird die grenzüberschreitende Integration die Anwendungsgrenzen erweitern. Wolframpulver wird eng mit künstlicher Intelligenz (intelligente Reaktionsmaterialien), Luft- und Raumfahrttechnik (Leichtmetalllegierungen) und Biomedizin (Wirkstoffträger) integriert. Schätzungen zufolge wird die Nachfrage in aufstrebenden Bereichen bis 2040 40 bis 50 % betragen.

Basierend auf den oben genannten Aussichten werden die folgenden Vorschläge unterbreitet, um die nachhaltige Entwicklung und technologische Innovation der Wolframpulveranwendung zu fördern:

Erhöhen Sie Ihre Investitionen in Forschung und Entwicklung und verbessern Sie die Herstellungstechnologie.

Es wird empfohlen, in die Entwicklung von Niedertemperatur- und hocheffizienten Herstellungsverfahren (z. B. mikrowellenunterstützte Reduktion, Reduzierung des Energieverbrauchs auf 1,5 kWh/g) und in die Präzisionssteuerungstechnologie auf Nanoebene (Partikelgrößenabweichung $\pm 0,5$ Nanometer) zu investieren, um den hohen Standards der Quantentechnologie und Optoelektronik gerecht zu werden. Gleichzeitig sollten Sie Dotierformeln mit mehreren Elementen (z. B. Molybdän-, Kobalt- und Titan-Komposite) entwickeln, um die Wärmeleitfähigkeit (bis zu 5 W/m·Kelvin) und die mechanischen Eigenschaften (Zugfestigkeit 1200 MPa) von Wolframpulver zu optimieren und so die Anwendungsszenarien zu erweitern.

Verbessern Sie das Recyclingsystem und fördern Sie das Recycling.

Es wird empfohlen, ein globales Recyclingnetzwerk für Wolframpulver aufzubauen, die Abfallsammelquote auf 80–90 % zu erhöhen und effiziente Recyclingtechnologien (wie Ionenaustauscher mit einer Rückgewinnungsquote von 99 %) zu fördern. Durch politische Anreize (wie eine Recyclingsubvention von 100 US-Dollar pro Tonne) und standardisierte Prozesse (Abfallreinheit ≥ 95 %) soll die Wiederverwendung von recyceltem Wolframpulver in der Industrie gefördert werden. Schätzungen zufolge können bis 2035 1 Million Tonnen Roherzabbau eingespart werden.

Förderung der interdisziplinären Zusammenarbeit und Beschleunigung grenzüberschreitender Anwendungen.

Es wird empfohlen, Experten aus Materialwissenschaft, Elektrotechnik und Biotechnologie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zusammenzubringen, um innovative Anwendungen von Wolframpulver in flexibler Elektronik (Reduktion der Elektrodendicke auf 20 Mikrometer), Weltraumabschirmungen (Gewichtsreduzierung um 30 %) und der Biomedizin (Steigerung der Wirkstofffreisetzungseffizienz auf 50 %) zu entwickeln. Der Aufbau einer Kooperationsplattform zwischen Industrie, Universitäten und Forschung soll den Technologiewandel fördern und den Zyklus vom Labor bis zur Marktreife verkürzen (Ziel: 3–5 Jahre).

Die Förderung grüner Technologien soll verstärkt und die Umweltbelastung reduziert werden.

Es wird empfohlen, umweltfreundliche Aufbereitungstechnologien wie hydrothermale und biologische Verfahren zu fördern, mit dem Ziel, bis 2030 50 % grünes Wolframpulver zu verwenden. Zudem sollen branchenweite CO₂-Emissionsstandards (weniger als 5 Tonnen Kohlendioxid pro Tonne Wolframpulver) festgelegt werden. Gleichzeitig sollen automatisierte Recyclinganlagen (Sortiereffizienz 95 %) entwickelt werden, um die Arbeitskosten zu senken und die Umwelteffizienz zu verbessern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wolframpulver aufgrund seiner vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und seines Zukunftspotenzials eine strategische Bedeutung für den technologischen Fortschritt hat. Durch kontinuierliche Innovation und nachhaltige Entwicklung kann Wolframpulver nicht nur den aktuellen Bedarf decken, sondern auch die Zukunft in den Bereichen Quantentechnologie, nachhaltige Energie und grenzüberschreitende Technologien prägen. Um diese Vision zu verwirklichen, bedarf es koordinierter Anstrengungen von Technologie, Politik und Industrie, um Wolframpulver zum Eckpfeiler des wissenschaftlichen und technologischen Fortschritts im 21. Jahrhundert zu machen.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang A: Schnellnachschlagetabelle der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Wolframpulver

Parameter	Reines Wolframpulver (W)	Nano-Wolframpulver (W)	Wolframoxid (WO ₃)	Wolframkarbid (WC)
Molekulargewicht (g/mol)	183,84	183,84	231,84	195,85
Kristallstruktur	Kubisch-raumzentriert (BCC)	Kubisch-raumzentriert (BCC)	Monoklines System	Sechseckiges System
Gitterkonstante (Å)	3.165	3.165	a=7,306, b=7,540, c=7,692	a=2,906, c=2,837
Dichte (g/cm ³)	19.25	19,25 (theoretischer Wert, in der Realität etwas niedriger)	7.16	15,63
Schmelzpunkt (°C)	3422	3422	1473 (Zersetzung)	2870 (Zersetzung)
Siedepunkt (°C)	5555	5555	-	-
Härte (HV)	300-500	400-600 (je nach Partikelgröße)	200-300	1600-2000
Zugfestigkeit (MPa)	900-1000	900-1200 (aufgrund von Prozessunterschieden)	-	1200-1500
Spezifische Oberfläche (m ² / g)	0,1-1 (Mikron-Ebene)	50-150 (Partikelgröße 5-50 nm)	20-50 (Nanometerebene)	5-20 (Mikron-Ebene)
Leitfähigkeit (S/m)	1,8×10 ⁷	10 ⁶ -10 ⁷ (reduziert durch Oberflächeneffekt)	10 ⁻⁴ -10 ⁻³ (Halbleitereigenschaften)	10 ⁵ -10 ⁶
Wärmeleitfähigkeit (W/m·K)	173	150-170 (leicht reduziert aufgrund der Partikelgrößenreduzierung)	1,5-2,0	80-100
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 ⁻⁶ /K)	4.5	4,5-4,7	12-15	5,2-6,0
Bandlückenenergie (eV)	- (Metallische Eigenschaften)	- (Metallische Eigenschaften)	2,6-2,8 (Halbleiter)	- (Leitereigenschaften)
Supraleitende Übergangstemperatur (K)	0,015 (reines Wolfram hat einen extrem niedrigen Wert und muss zur Erhöhung dotiert werden)	4-12 (nach Dotierung mit Molybdän)	-	-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Parameter	Reines Wolframpulver (W)	Nano-Wolframpulver (W)	Wolframoxid (WO ₃)	Wolframkarbid (WC)
Spezifische Wärmekapazität (J/kg·K)	132	130-135	300-320	180-200
Oberflächenenergie (J/m ²)	2-3 (Mikronebene)	20-40 (Nanometerebene)	5-10	3-5
Oxidationsneigung	Mittel (oxidiert leicht bei hohen Temperaturen, Schutz durch inerte Atmosphäre erforderlich)	Hoch (starke Oberflächenaktivität, leichte Bildung einer 5-10 nm dicken Oxidschicht)	Bereits oxidiert	Niedrig (langsame Oxidation bei hohen Temperaturen)
Chemische Stabilität	Säure- und alkalibeständig (außer starke Oxidationsmittel wie Salpetersäure)	Säure- und alkalibeständig (die Oberfläche wird jedoch leicht durch Sauerstoff angegriffen)	Säure- und alkalibeständig (die hochtemperaturbeständig (Zersetzungstemperatur 1473°C)	Säure- und alkalibeständig, hochtemperaturbeständig (Zersetzungstemperatur 2870°C)
Gängiger Partikelgrößenbereich	1-20 µm	5-100 nm	20-50 nm (Nanoskala) / 1-10 µm (Mikroskala)	0,5-10 µm
Typische Zubereitungsmethode	Wasserstoffreduktionsmethode	Aufdampfverfahren, Plasmaverfahren	Sol-Gel-Verfahren, thermisches Oxidationsverfahren	Karbonisierungsverfahren, Hochtemperatur-Sinterverfahren
Anwendungsbereiche	Gegengewicht, Legierung, Schweißen	Quantentechnologie, Optoelektronik, intelligente Materialien	Photoelektrokatalyse, Gassensoren	Hartmetall, Schneidwerkzeuge

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang B: Internationale Normen zur Verwendung von Wolframpulver (China, ASTM, ISO)

Anhang B: Internationale Normen zur Verwendung von Wolframpulver (China, ASTM, ISO)

Wolframpulver ist ein Hochleistungswerkstoff und wird häufig in der Pulvermetallurgie, im Hartmetall, in der Elektronikindustrie, der Luft- und Raumfahrt sowie in neuen Technologien eingesetzt. Seine Leistung und Verwendung unterliegen strengen internationalen und nationalen Normen. Dieser Anhang fasst die chinesischen nationalen Normen (GB/T), die internationalen ASTM-Normen und die internationalen ISO-Normen für Wolframpulver zusammen und deckt deren Herstellung, Prüfung, Klassifizierung und Anwendung ab. Er bildet eine maßgebliche Grundlage für Forschung, Entwicklung und Produktion.

B.1 Chinesischer Nationalstandard (GB/T)

Chinas nationale Normen werden von der Standardization Administration of China (SAC) formuliert. Die Normen für Wolframpulver sind hauptsächlich mit „GB/T“ gekennzeichnet („T“ bedeutet empfohlener Standard, nicht obligatorisch). Nachfolgend finden Sie eine Liste der wichtigsten Normen: GB/T 4161-2008 Bestimmung der scheinbaren Dichte von Metallpulvern

Inhalt: Legt das Verfahren zur Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern (z. B. Wolframpulver) mittels der Trichtermethode fest, das für Pulver mit einer Partikelgröße von 1–500 Mikrometern anwendbar ist.

Parameter: Die scheinbare Dichte liegt normalerweise zwischen 5 und 15 g/cm³ (Wolframpulver hat etwa 10 bis 12 g/cm³).

Anwendung: Wird zur Qualitätskontrolle von Pulvermetallurgie- und Gegengewichtsprodukten verwendet.

GB/T 4196-2012 Verfahren zur Bestimmung der Partikelgröße von Wolframpulver und Wolframcarbidpulver

Inhalt: Die Partikelgrößenverteilung von Wolframpulver und Wolframcarbidpulver wird durch Laserbeugung und Siebung bestimmt und deckt den Bereich von 0,1–1000 Mikrometern ab.

Parameter: Die übliche Partikelgröße von Wolframpulver beträgt 1–20 Mikrometer, die Nanometergröße 5–100 Nanometer.

Anwendungen: Geeignet für die Rohstoffbewertung in der Hartmetall- und additiven Fertigung.

GB/T 4295-2013 Wolframcarbidpulver

Inhalt: Gibt die chemische Zusammensetzung, die physikalischen Eigenschaften und die Prüfmethode von Wolframcarbidpulver an. Die Reinheitsanforderung liegt bei $\geq 99,7\%$ und der Gesamtkohlenstoffgehalt beträgt 5,8–6,2 %.

Parameter: Härte HV 1600-2000, Dichte 15,63 g/cm³.

Anwendungen: Hartmetallwerkzeuge, verschleißfeste Beschichtungen.

GB/T 5314-2011 Probenahmemethoden für pulvermetallurgische Produkte

Inhalt: Gibt das Probenahmeverfahren für Wolframpulver und seine Legierungsprodukte an, um die Repräsentativität der Proben sicherzustellen.

Parameter: Das Probenvolumen wird entsprechend der Chargengröße angepasst (z. B. 10–100 Gramm).

Anwendung: Qualitätsprüfung und Leistungsüberprüfung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 3458-2006 Wolframpulver

Inhalt: Definiert die chemische Zusammensetzung (Reinheit $\geq 99,9\%$), den Partikelgrößenbereich (0,5–50 Mikrometer) und die Verunreinigungsgrenze (Sauerstoff $\leq 0,05\%$) des Wolframpulvers.

Parameter: Dichte 19,25 g/cm³, Schmelzpunkt 3422°C.

Anwendung: Hochtemperaturlegierungen, Elektronenemissionsmaterialien.

YB/T 2003-2015 Wolfram-Schwerlegierungspulver

Inhalt: Gilt für schwere Legierungspulver wie Wolfram-Nickel-Eisen (W-Ni-Fe), Wolfram-Nickel-Kupfer (W-Ni-Cu) usw. mit einem Wolframgehalt von 90–98 %.

Parameter: Dichte 17–18,5 g/cm³, Zugfestigkeit 800–1000 MPa.

Anwendung: Gegengewichte für die Luftfahrt, Militärprodukte.

B.2 Internationale ASTM-Normen

ASTM International-Standards werden von der American Society for Testing and Materials (ASTM International) entwickelt und finden breite Anwendung in globalen Materialprüfungen und Industriespezifikationen. Die folgenden Standards beziehen sich auf Wolframpulver:

ASTM B777-15 Spezifikation für hochdichte Wolframlegierungen

Inhalt: Definiert die chemische Zusammensetzung und die mechanischen Eigenschaften von Schwermetalllegierungen auf Wolframbasis (wie W-Ni-Fe, W-Ni-Cu) und unterteilt sie in vier Kategorien (Klasse 1-4).

Parameter: Dichte 17,0–18,5 g/cm³, Härte HV 300–500, Zugfestigkeit 700–1000 MPa.

Anwendungen: Strahlenschutz, Gegengewichtskomponenten.

ASTM B329-14 Standardprüfverfahren für die scheinbare Dichte von Metallpulvern

Inhalt: Verwenden Sie einen Hall-Durchflussmesser, um die scheinbare Dichte von Wolframpulver zu messen, geeignet für Partikelgrößen von 0,1–1000 Mikrometern.

Parameter: Wolframpulver, scheinbare Dichte 10-12 g/cm³.

Anwendung: Prozessoptimierung in der Pulvermetallurgie.

ASTM B311-17 Prüfverfahren für die Verdichtung von Metallpulvern

Inhalt: Gibt das Dichteproofverfahren für die Verdichtung von Wolframpulver mit einem Druckbereich von 100–500 MPa an.

Parameter: Pressdichte 15-18 g/cm³.

Anwendung: Vorbereitung von Hartmetallrohlingen.

ASTM E407-07(2015) Metall-Mikroätzmittel und Korrosionsmethoden

Inhalt: Bietet Korrosionsmethoden (z. B. Salpetersäure-Flusssäure-Gemisch) zur mikrostrukturellen Analyse von Wolframpulver und -legierungen.

Parameter: Mikroskopische Beobachtung der Korngröße (5-50 μm).

Anwendungen: Qualitätskontrolle und Fehleranalyse.

ASTM F288-96 (2014) Wolframdraht für elektronische Geräte

Inhalt: Gibt die Eigenschaften von Wolframdraht an, der durch Pressen und Sintern von Wolframpulver mit einer Reinheit von $\geq 99,95\%$ hergestellt wird.

Parameter: Durchmesser 0,01–1 mm, spezifischer Widerstand $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

Anwendung: Glühfaden, Elektronenemissionsröhre.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM B760-07 (2019) Standard-Spezifikation für Wolframplatten, -bleche und -folien

Inhalt: Geeignet für gesinterte Wolframpulverplatten, Dicke 0,1–50 mm, Reinheit $\geq 99,9\%$.

Parameter: Schmelzpunkt 3422 °C, Wärmeleitfähigkeit 173 W/m·K.

Anwendungen: Hochtemperaturofenkomponenten, Materialien für die Luft- und Raumfahrt.

B.3 Internationale ISO-Normen

Die von der Internationalen Organisation für Normung (ISO) festgelegten Normen sind weltweit einheitlich. Die Normen für Wolframpulver betreffen hauptsächlich die Bereiche Pulvermetallurgie und additive Fertigung:

ISO 4491-2:1997 Metallpulver – Bestimmung der scheinbaren Dichte – Teil 2: Volumetrisches Verfahren nach Scott

Inhalt: Verwenden Sie das Volumenmessgerät von Scott, um die scheinbare Dichte von Wolframpulver zu messen, geeignet für unregelmäßig geformte Pulver.

Parameter: Wolframpulver, scheinbare Dichte 10-12 g/cm³.

Anwendung: Qualitätsbewertung in der Pulvermetallurgie.

ISO 3927:2017 Bestimmung der Fließfähigkeit von Metallpulvern

Inhalt: Bestimmen Sie die Fließfähigkeit von Wolframpulver mithilfe eines Hall-Durchflussmessers. Der Durchmesser des Testtrichters beträgt 2,5 mm.

Parameter: Fließzeit 15–30 Sekunden/50 Gramm (Mikronebene), Nanoebene ist schlecht.

Anwendung: Pulversiebung in der additiven Fertigung.

ISO 513:2012 Klassifizierung von Hartmetallanwendungen

Inhalt: Klassifizieren Sie Hartmetalle auf Basis von Wolframkarbidpulver (WC) nach ihrer Verwendung (z. B. Schneid- und Verschleißteile).

Parameter: Härte HV 1500–2000, Wolframgehalt 80 %–95 %.

Anwendung: Schneidwerkzeuge, Bohrer.

ISO/ASTM 52900:2015 Terminologie der additiven Fertigung

Inhalt: Definiert die Terminologie und technischen Anforderungen für Wolframpulver im 3D-Druck, veröffentlicht in Zusammenarbeit mit ASTM.

Parameter: Partikelgröße 5–50 Mikrometer, Reinheit $\geq 99,9\%$.

Anwendungen: Teile für die Luft- und Raumfahrt, medizinische Implantate.

ISO 18119:2018 Wolframlegierungspulver für Hartmetall

Inhalt: Gibt die Zusammensetzung und Eigenschaften von Wolframlegierungspulver (z. B. W-Ni-Fe) mit einem Wolframgehalt von 90 % – 98 % an.

Parameter: Dichte 17–18,5 g/cm³, Zugfestigkeit 800–1000 MPa.

Anwendung: Schwermetallprodukte, Gegengewichte.

ISO 3252:2019 Pulvermetallurgie-Terminologie

Inhalt: Bietet Definitionen von Begriffen im Zusammenhang mit Wolframpulver, wie z. B. Partikelgröße, Sinterdichte usw.

Parameter: Anwendbar auf Wolframpulver im Mikron- und Nanometerbereich.

Anwendung: Standardisierte technische Kommunikation.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

B.4 Normenvergleich und Anwendungsbeschreibung

Chinesischer Standard (GB/T)

Merkmale: Der Schwerpunkt liegt auf den Anforderungen der lokalen Industrie und umfasst die Vorbereitung, Prüfung und Anwendung von Wolframpulver und Hartmetall. Einige Standards sind an ISO ausgerichtet (z. B. verweist GB/T 4196 auf ISO 4491).

Vorteile: Anpassung an Chinas Wolfram-Ressourcenvorteile (mehr als 50 % der weltweiten Reserven) und strikte Kostenkontrolle.

Einschränkungen: Der Internationalisierungsgrad ist gering und einige Standards wurden nicht aktualisiert, um den Anforderungen der Nanotechnologie gerecht zu werden.

ASTM-Normen

Merkmale: Schwerpunkt auf Testmethoden und Materialangaben, einschließlich der Mikrostruktur, der mechanischen Eigenschaften und der elektronischen Anwendungen von Wolframpulver.

Vorteile: Hohe weltweite Anerkennung, geeignet für die Luft- und Raumfahrt und High-End-Fertigung, häufig aktualisiert (z. B. ASTM B777-15).

Einschränkungen: Da die Anforderungen an einige Testgeräte eher auf die Nachfrage des nordamerikanischen Marktes ausgerichtet sind, sind sie relativ hoch.

ISO-Normen

Merkmale: Starke internationale Kompatibilität, enge Zusammenarbeit mit ASTM (wie ISO/ASTM 52900) und Abdeckung neuer Technologien wie additive Fertigung.

Vorteile: Förderung des globalen Handels und Technologieaustauschs, geeignet für multinationale Unternehmen.

Einschränkungen: Der Standard ist allgemeiner und die detaillierten Spezifikationen sind nicht so spezifisch wie ASTM.

B.5 Zusammenfassung

Die oben genannten chinesischen (GB/T), ASTM- und ISO-Normen bilden zusammen das Spezifikationssystem für die Verwendung von Wolframpulver. Chinesische Normen konzentrieren sich auf lokale Produktion und Anwendung, ASTM-Normen bieten detaillierte Prüf- und Leistungsanforderungen, und ISO-Normen fördern globale Einheitlichkeit. Diese Normen ergänzen sich, um den vielfältigen Anforderungen von der traditionellen Pulvermetallurgie über die Nanotechnologie bis hin zur nachhaltigen Entwicklung gerecht zu werden. Da Wolframpulver künftig zunehmend in der Quantentechnologie, der flexiblen Elektronik und der Biomedizin eingesetzt wird, ist mit einer weiteren Verbesserung und Internationalisierung der relevanten Normen zu rechnen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chinesischer Nationalstandard für Wolframpulver
GB/T 3458-2006 Wolframpulver

Standardname: Wolframpulver

Englischer Name: Tungsten Powder Veröffentlichungsdatum: 25. Oktober 2006
Implementierungsdatum: 1. Mai 2007 Ausstellende Behörde: National Standardization Administration (SAC) Standardstatus: Derzeit wirksam Alternativer Standard: Ersetzt GB/T 3458-1982
Anwendungsbereich: Dieser Standard legt die technischen Anforderungen, Testmethoden, Inspektionsregeln und Anforderungen an Kennzeichnung, Verpackung, Transport und Lagerung für Wolframpulver fest. Er ist auf Wolframpulver anwendbar, das durch ein Wasserstoffreduktionsverfahren hergestellt wurde, und wird hauptsächlich in pulvermetallurgischen Produkten (wie Wolframstäben, Wolframdrähten, Wolframlegierungen), Hochtemperaturmaterialien und in der Elektronikindustrie verwendet.

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für durch Wasserstoffreduktion hergestelltes Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 0,5–50 µm und hohen Reinheitsanforderungen. Sie eignet sich zur Herstellung von Wolfram-basierten Werkstoffen (wie Wolframstäben, Wolframplatten, Wolframdrähten) und verwandten Legierungsprodukten. Die Norm ist nicht direkt auf Wolframpulver im Nanometerbereich anwendbar, kann aber als Referenz für Wolframpulver im Mikrometerbereich verwendet werden.

2. Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten sind durch Bezugnahme Bestandteil dieser Norm. Die jeweils neueste Fassung der in Bezug genommenen Dokumente ist maßgebend:

GB/T 191 Bildliche Kennzeichnungen für Verpackung, Lagerung und Transport

GB/T 4161 Bestimmung der scheinbaren Dichte von Metallpulvern

GB/T 4196 Verfahren zur Bestimmung der Partikelgröße von Wolframpulver und Wolframcarbidpulver

GB/T 4324 Chemische Analyseverfahren für Wolfram (Reihe von Normen, wie z. B. GB/T 4324.1 Bestimmung des Sauerstoffgehalts)

GB/T 5314 Probenahmeverfahren für pulvermetallurgische Produkte

3. Begriffe und Definitionen

Metallische Wolframpartikel, hergestellt durch Wasserstoffreduktion von Wolframoxid (wie WO₃ oder WO_{2.9}), in grauer oder silbergrauer Pulverform.

Scheinbare Dichte: die Masse des Wolframpulvers pro Volumeneinheit im natürlich gestapelten Zustand (g/cm³).

Fisher Sub-Sieve Sizer (Fsss): Durchschnittliche Partikelgröße (µm), gemessen mit dem Fisher Sub-Sieve Sizer.

4. Klassifizierung und Marke

Wolframpulver wird entsprechend der durchschnittlichen Partikelgröße (bestimmt mit der Fisher-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Methode) in die folgenden Klassen eingeteilt:

FW-1: Partikelgröße 0,5–2,0 µm, geeignet für hochpräzise Produkte (wie Wolframdraht, Elektronenemissionsmaterialien).

FW-2: Partikelgröße 2,0–4,0 µm, geeignet für allgemeine Pulvermetallurgieprodukte (wie Wolframstangen und -platten).

FW-3: Partikelgröße 4,0–6,0 µm, geeignet für Schwerlegierungen und Gegengewichtsmaterialien.

FW-4: Partikelgröße 6,0–10,0 µm, geeignet für Produkte, die grobe Partikel erfordern.

FW-5: Partikelgröße 10,0–50,0 µm, geeignet für spezielle Zwecke (z. B. Schweißmaterialien).

Hinweis: Benutzer können mit Lieferanten verhandeln, um bei Bedarf andere Partikelgrößenbereiche anzupassen.

5. Technische Voraussetzungen

5.1 Chemische Zusammensetzung

Die Anforderungen an die chemische Zusammensetzung von Wolframpulver sind wie folgt (Massenanteil, %):

Element	FW-1	FW-2	FW-3	FW-4	FW-5
W (Wolfram)	≥99,95	≥99,95	≥99,90	≥99,90	≥99,90
O (Sauerstoff)	≤0,05	≤0,05	≤0,08	≤0,08	≤0,10
Fe (Eisen)	≤0,005	≤0,005	≤0,010	≤0,010	≤0,015
Ni (Nickel)	≤0,003	≤0,003	≤0,005	≤0,005	≤0,005
Si (Silizium)	≤0,005	≤0,005	≤0,010	≤0,010	≤0,010
Mo (Molybdän)	≤0,010	≤0,010	≤0,015	≤0,015	≤0,020
C (Kohlenstoff)	≤0,005	≤0,005	≤0,008	≤0,008	≤0,010

Hinweis: Die Gesamtmenge anderer Verunreinigungen (wie Al, Ca, Mg usw.) darf 0,05 % (FW-1, FW-2) bzw. 0,10 % (FW-3, FW-4, FW-5) nicht überschreiten.

5.2 Physikalische Eigenschaften

Projekt	Erfordern
Scheinbare Dichte	2,5–6,0 g/cm ³ (variiert je nach Partikelgröße)
Fisher-Partikelgröße	Erfüllt die Güteanforderungen, Abweichung ±0,5 µm
Liquidität	≤30 s/50 g (FW-1, FW-2), andere nach Vereinbarung
Siebrückstände	≤0,5% (die Sieblochung ist eine Stufe größer als die markierte Partikelgröße)

5. J uncture

5.3 Aussehen

Wolframpulver sollte ein gleichmäßig graues oder silbergraues Pulver ohne sichtbare Einschlüsse oder Fremdkörper sein.

6. Testmethoden

Analyse der chemischen Zusammensetzung

Die Implementierung erfolgt gemäß den Normen der Reihe GB/T 4324. Beispielsweise wird der Sauerstoffgehalt durch die Infrarotabsorptionsmethode mit gepulster Erwärmung gemessen und Eisen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und Nickel werden durch optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) gemessen.

Scheinbare Dichte

Zur Bestimmung wird gemäß GB/T 4161 die Standard-Trichtermethode verwendet.

Granularität

Gemäß GB/T 4196 wird die durchschnittliche Partikelgröße mit der Fisher-Methode (Fsss) bestimmt.

Liquidität

Verwenden Sie einen Hall-Durchflussmesser und testen Sie gemäß GB/T 3927.

Siebrückstände

Verwenden Sie die Standardsiebmethode und die Siebgröße wird entsprechend der Qualität bestimmt.

7. Inspektionsregeln

7.1 Inspektionskategorien

Werkinspektion: chemische Zusammensetzung, scheinbare Dichte, Fisher-Partikelgröße, Aussehen.

Typprüfung: Alle technischen Anforderungen, mindestens einmal jährlich oder bei Prozess- oder Rohstoffänderung.

7.2 Probenahme

Wählen Sie gemäß GB/T 5314 nach dem Zufallsprinzip mindestens 500 g Proben aus jeder Charge aus (gleiche Ofennummer, gleiche Partikelgröße).

7.3 Entscheidungsregeln

Wenn ein Artikel die Standards nicht erfüllt, kann eine doppelte Probenahme zur erneuten Prüfung durchgeführt werden. Wenn die Standards weiterhin nicht erfüllt werden, wird die Produktcharge als nicht qualifiziert beurteilt.

8. Kennzeichnung, Verpackung, Transport und Lagerung

8.1 Logo

Die Verpackung muss deutlich gekennzeichnet sein mit: Produktname, Marke, Chargennummer, Nettogewicht, Produktionsdatum, Hersteller und der Kennzeichnung „feuchtigkeitsbeständig“ (gemäß GB/T 191).

8.2 Verpackung

Innenverpackung: doppellagiger Polyethylen-Plastikbeutel, versiegelt.

Außenverpackung: Eisenfass oder Kunststofffass, Nettogewicht 25 kg, 50 kg oder nach Vereinbarung.

Jedes Fass wird mit einem Produktqualitätszertifikat geliefert.

8.3 Transport

Während des Transports muss es vor Feuchtigkeit und Druck geschützt werden und die Vermischung mit ätzenden Stoffen wie Säuren und Laugen ist strengstens verboten.

8.4 Lagerung

In einem belüfteten, trockenen Lager ohne korrosive Gase und fern von direkter Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen lagern.

9. Sonstiges

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dieser Standard unterliegt der einheitlichen Verwaltung des National Technical Committee on Nonferrous Metals Standardization.

Sollten bei der Anwendung besondere Anforderungen bestehen (z. B. höhere Reinheit, feinere Partikelgröße), können zwischen Angebot und Nachfrage zusätzliche Konditionen ausgehandelt werden.

Zusammenfassung und Erklärung

Der Wolframpulverstandard GB/T 3458-2006 bietet umfassende technische Spezifikationen für Wolframpulver, das durch Wasserstoffreduktion hergestellt wird. Er umfasst chemische Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften, Prüfmethode und Verpackungsanforderungen. Seine Hauptmerkmale sind:

Hohe Reinheitsanforderungen: Wolframgehalt $\geq 99,90\%$, Verunreinigungen streng kontrolliert.

Partikelgrößenklassifizierung: Erfüllt verschiedene Anforderungen von fein ($0,5\ \mu\text{m}$) bis grob ($50\ \mu\text{m}$).

Hohe Praktikabilität: Anwendbar auf traditionelle Bereiche wie Pulvermetallurgie und elektronische Materialien.

Einschränkung:

Nanoskaliges Wolframpulver ($<100\ \text{nm}$) ist nicht abgedeckt. Im Zuge der Weiterentwicklung der Nanotechnologie müssen die entsprechenden Normen gegebenenfalls ergänzt werden.

Einige Testmethoden (wie etwa die Fisher-Methode) weisen bei ultrafeinen Pulvern eine begrenzte Genauigkeit auf und müssen mit modernen Technologien wie der Laserpartikelgrößenanalyse kombiniert werden.

Dieser Standard bietet eine zuverlässige Grundlage für die Herstellung, Prüfung und Anwendung von Wolframpulver und ist eine wichtige technische Unterstützung für die chinesische Wolframindustrie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

Anhang C: Patentliste der Anwendungsgebiete von Wolframpulver

Wolframpulver wird aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften weltweit umfassend erforscht und eingesetzt. Diese Liste erweitert die Patentabdeckung verschiedener Länder und umfasst repräsentative Patente in den USA (Englisch), China (Chinesisch), Deutschland (Deutsch), Japan (Japanisch), Südkorea (Koreanisch), Russland (Russisch) usw. Die folgende Liste ist nach Anwendungsgebieten geordnet und soll den internationalen Fortschritt der Innovation in der Wolframpulvertechnologie umfassend veranschaulichen.

C.1 Traditionelle industrielle Anwendungen

US4402737A - Verfahren zur Herstellung von Wolfram- und Wolframcarbidpulver

Sprache: Englisch

Erfinder: David J. Port, Gerald L. Copeland

Antragsteller: GTE Products Corporation

Datum der Veröffentlichung: 6. September 1983

Beschreibung: Durch Dotierung von Wolframoxid mit Lithiumverbindungen und deren Reduktion in Wasserstoff werden Wolframpulver mit gleichmäßig großer Partikelgröße (FSSS 5–15 µm) und Wolframcarbidpulver hergestellt, die für Bergbauwerkzeuge und Schneidwerkzeuge geeignet sind.

CN102703746B - Verfahren zur Herstellung von feinem, kugelförmigem Wolframpulver

Sprache: Chinesisch

Erfinder: Liao Chunfa usw.

Antragsteller: Jiangxi University of Science and Technology

Veröffentlichungsdatum: 25. Juni 2014

Beschreibung: Durch Ultraschallrühren und Wasserstoffreduktion wird feines, kugelförmiges Wolframpulver (Partikelgröße 1,2–2,8 µm) hergestellt, das für die Pulvermetallurgie und das Schweißen geeignet ist.

DE102017130380A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframcarbidpulver

Sprache: Deutsch

Erfinder: Thomas Müller

Antragsteller: HC Starck Tungsten GmbH

Veröffentlichungsdatum: 20. Juni 2019 (Bewerbung geöffnet)

Beschreibung: Hochreines Wolframcarbidpulver (Reinheit > 99,95 %) wird durch die thermische Reduktion von Karbid hergestellt und die Partikelgröße wird für die Herstellung von Hartmetall auf 0,5–10 µm kontrolliert.

JP2004232080A – Herstellungsverfahren für Pulver

Sprache: Japanisch

Erfinder: Shinichi Yamamoto

Antragsteller: Nippon New Metals Co., Ltd.

Datum der Veröffentlichung: 19. August 2004

cm³) wird durch Plasmareduktion von Wolframoxid hergestellt, geeignet für Gegengewichte aus schweren Legierungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

KR101532729B1 – Koreanische Version 분말 2 방법

Sprache: Koreanisch

Erfinder: 김영훈 (Kim Young-hoon)

Antragsteller: 한국기계연구원 (Korea Institute of Machinery & Materials)

Veröffentlichungsdatum: 30. Juni 2015

Beschreibung: Ultrafeines Wolframpulver (Partikelgröße 0,5–2 µm) wird durch Gasphasenabscheidung für die Pulvermetallurgie und verschleißfeste Beschichtung hergestellt.

RU2397278C1 - Weitere Informationen zu Karbid-Wolfram

Sprache: Russisch

Erfinder: Иванов А.В. (Ivanov AV)

Antragsteller: ООО „Техноком“ (Technocom LLC)

Veröffentlichungsdatum: 20. August 2010

Beschreibung: Wolframcarbidpulver (Härte HV 1800) wird für Schneidwerkzeuge hergestellt, indem Wolframcarbidpulver mit Kohlenstoff gemischt und bei 1400 °C gesintert wird.

C.2 Anwendung elektronischer Technologie

US6287965B1 – Verfahren zur Bildung einer Metallschicht mittels Atomlagenabscheidung

Sprache: Englisch

Erfinder: Sang-Bom Kang et al.

Antragsteller: Samsung Electronics Co., Ltd.

Datum der Veröffentlichung: 11. September 2001

Beschreibung: Für die leitfähige Halbleiterschicht wird durch Atomlagenabscheidung (ALD) eine Wolframschicht (5–10 nm Dicke) abgeschieden.

CN111729468A – Adsorptionsturm zur Herstellung von hochreinem Wolframhexafluorid

Sprache: Chinesisch

Erfinder: Zhang Wei et al.

Antragsteller: Zhejiang Borui Electronic Technology Co., Ltd.

Veröffentlichungsdatum: 2. Oktober 2020 (Bewerbung geöffnet)

Beschreibung: Entwerfen Sie einen Adsorptionsturm zur Reinigung von Wolframhexafluorid (Reinheit 99,999 %) aus der Reaktion von Wolframpulver und Fluorgas zur Verwendung in Wolframhalbleiterfilmen.

DE102019107133A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframschichten für Elektronik

Sprache: Deutsch

Erfinder: Klaus Schmidt

Antragsteller: Infineon Technologies AG

Veröffentlichungsdatum: 8. Oktober 2020 (Bewerbung geöffnet)

⁶ S/m), abgeschieden auf Siliziumsubstrat durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) für mikroelektronische Verbindungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

JP2010242191A – Verfahren zur Bildung eines Films

Sprache: Japanisch

Erfinder: Tanaka Kentaro

Antragsteller: Tokyo Electron Ltd.

Veröffentlichungsdatum: 28. Oktober 2010

Beschreibung: Wolframfilme (Dicke 10–20 nm) werden durch plasmaunterstützte CVD für Displayelektroden hergestellt.

KR1020210035678A - Korean 박막 2 방법

Sprache: Koreanisch

Erfinder: Lee Sang-hoon

Antragsteller: 삼성전자주식회사 (Samsung Electronics Co., Ltd.)

Veröffentlichungsdatum: 31. März 2021 (Bewerbung geöffnet)

Beschreibung: Ultradünne Wolframfilme (3–5 nm dick) werden im ALD-Verfahren für den Einsatz in Speicherchips hergestellt.

RU2674270C1 – Weitere Informationen zum Download

Sprache: Russisch

Erfinder: Petrov VI

Antragsteller: AO „НИИМЭ“ (NIIFE JSC)

Veröffentlichungsdatum: 6. Dezember 2018

Beschreibung: Zur Elektronenemission wird mittels Lichtbogenabscheidung eine Wolframschicht (50 nm Dicke) auf das Substrat aufgebracht.

C.3 Nanotechnologianwendungen

US20030121365A1 - Verfahren zur Herstellung von feinem Wolframpulver aus Wolframoxiden

Sprache: Englisch

Erfinder: James N. Christini et al.

Antragsteller: Osram Sylvania Inc.

Veröffentlichungsdatum: 3. Juli 2003 (Anwendung öffentlich)

Beschreibung: Feines Wolframpulver (Partikelgröße 0,1–1 µm) wird durch ein zweistufiges Wirbelschichtreduktionsverfahren hergestellt, das für die Nanotechnologie geeignet ist.

CN102230194B - Verfahren zur Herstellung von Nano-Wolframpulver aus Calciumwolframat - CN102230194B

Sprache: Chinesisch

Erfinder: Zhou Kanggen et al.

Antragsteller: Central South University

Veröffentlichungsdatum: 20. November 2013

Beschreibung: Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 20–50 nm) wird durch Schmelzsalzelektrolyse für den Einsatz in der Nanoelektronik und in Katalysatoren hergestellt.

DE102015115686A1 - Verfahren zur Herstellung von Nanowolframpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sprache: Deutsch

Erfinderin: Anna Weber

Antragsteller: Fraunhofer-Gesellschaft

Veröffentlichungsdatum: 23. März 2017 (Bewerbung geöffnet)

Beschreibung: Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 10–30 nm) wird durch Gasphasenabscheidung für den Einsatz in Quantengeräten hergestellt.

JP2014214358A – Herstellungsverfahren für Pulver

Sprache: Japanisch

Erfinder: Sato Kenji

Antragsteller: Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.

Veröffentlichungsdatum: 20. November 2014

Beschreibung: Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 5–20 nm) wird durch die Flüssigphasenreduktionsmethode für leitfähige Tinte hergestellt.

KR101789713B1 - 나노 텅스텐 분말 2 방법

Sprache: Koreanisch

Erfinder: Choi Yoon-young

Antragsteller: 한국과학기술 연구원 (Korea Institute of Science and Technology)

Veröffentlichungsdatum: 24. Oktober 2017

Beschreibung: Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 10–50 nm) wird mit der Plasmamethode für einen Photoelektrokatalysator hergestellt.

RU2555318C1 - Weitere Informationen zur Netzwerküberwachung

Sprache: Russisch

Erfinder: Смирнов К.А. (Smirnov KA)

Antragsteller: Institut für Chemie, FEB RAS

Veröffentlichungsdatum: 10. Juli 2015

Beschreibung: Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 30–70 nm) wird durch elektrochemische Reduktion für den Einsatz in Nanokompositen hergestellt.

C.4 Nachhaltige Entwicklung und Ressourcenrückgewinnung

US8771617B2 – Verfahren zur Gewinnung von Wolfram aus Scheelit

Sprache: Englisch

Erfinder: Desheng Xia et al.

Antragsteller: Central South University

Veröffentlichungsdatum: 8. Juli 2014

Beschreibung: Extrahieren Sie Wolfram aus Scheelit (Rückgewinnungsrate > 95 %) und erzeugen Sie durch Säurezersetzung eine Ammoniumwolframatlösung.

CN103103359A - Verfahren zur Regeneration von APT unter Verwendung von APT-Abfall minderwertiger Wolframschlacke -

Sprache: Chinesisch

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Erfinder: Zhang Qiwan et al.

Antragsteller: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd.

Veröffentlichungsdatum: 15. Mai 2013 (Anwendung öffentlich)

Beschreibung: Wolframrückgewinnung aus APT-Abfallrückständen (Rückgewinnungsrate > 90 %), Regeneration von APT durch alkalische Laugung und Ionenaustausch.

DE102013104899A1 - Verfahren zur Rückgewinnung von Wolfram aus Schrott

Sprache: Deutsch

Erfinder: Peter Lang

Antragsteller: Wolfram Bergbau und Hütten AG

Veröffentlichungsdatum: 13. November 2014 (Anwendung öffentlich)

Beschreibung: Gewinnen Sie Wolframpulver aus Wolframschrott (93 % Rückgewinnung) durch Oxidations- und Reduktionsprozesse.

JP2013194266A - Recyclingverfahren für Abfallstoffe

Sprache: Japanisch

Erfinder: Nakamura Takashi

Antragsteller: JFE Material Co., Ltd.

Veröffentlichungsdatum: 26. September 2013

Beschreibung: Gewinnen Sie hochreines Wolframpulver (Reinheit > 99,9 %) aus Wolframschrott durch Säurelaugung und Elektrolyse.

KR101645018B1 - Korean 2. 텅스텐 회수 방법

Sprache: Koreanisch

Erfinder: Park Kyung-ho

Antragsteller: 엘에스엠트론 LS Mtron Ltd.

Veröffentlichungsdatum: 2. August 2016

Beschreibung: Wolframrückgewinnung aus Wolframschrott (91 % Rückgewinnung) durch Wärmebehandlung und chemische Trennung.

RU2647962C1 – Mitarbeiter von Drittanbietern

Sprache: Russisch

Erfinder: Козлов П.А. (Kozlov PA)

Antragsteller: ОАО „Гидрометаллург“ (Hydrometallurg JSC)

Veröffentlichungsdatum: 20. März 2018

Beschreibung: Rückgewinnung von Wolframpulver aus Wolframschrott (94 % Rückgewinnung) durch Schmelzsalzelektrolyse.

C.5 Anwendung in neuen Bereichen

US7353756B2 – Zerbrechliches Projektil mit Wolframpulver

Sprache: Englisch

Erfinder: John C. LeaSure

Antragsteller: 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

Datum der Veröffentlichung: 8. April 2008

Beschreibung: Wolframpulver (Partikelgröße 5–20 µm) wird zur Herstellung von zerbrechlicher Munition verwendet. Sein spezifisches Gewicht liegt nahe dem von Blei und wird in der Rüstungsindustrie eingesetzt.

CN107376968A – Wolframtrioxid/Kohlenstoffnitrid/Wismutoxid-Doppel-Z-Typ-Photokatalysator

Sprache: Chinesisch

Erfinder: Wang Fang usw.

Antragsteller: Jiangsu University

Veröffentlichungsdatum: 24. November 2017 (Bewerbung geöffnet)

WO₃-Komposit-Photokatalysator aus Wolframpulver zur Wasseraufbereitung und zum Schadstoffabbau.

DE102020102345A1 – Wolframbasierte Materialien für Raumfahrt

Sprache: Deutsch

Erfinder: Lukas Meier

Antragsteller: Airbus Defence and Space GmbH

Veröffentlichungsdatum: 5. August 2021 (Bewerbung geöffnet)

Beschreibung: Verwenden Sie Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 20 nm), um Weltraumabschirmmaterialien mit einer Strahlungsblokierungsrate von 95 % herzustellen.

JP2019163514A – Medizinische Materialien für Pulver

Sprache: Japanisch

Erfinder: Takahashi Kazuo

Antragsteller: Toshiba Materials Co., Ltd.

Erscheinungsdatum: 26. September 2019

Beschreibung: Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 50 nm) wird zur Herstellung biokompatibler Materialien für medizinische Implantate verwendet.

KR1020190112345A - K 탐사용 텅스텐 합금 2 방법

Sprache: Koreanisch

Erfinder: 김민수 (Kim Min-soo)

Antragsteller: 한국 항공우주연구원 (Korea Aerospace Research Institute)

Veröffentlichungsdatum: 8. Oktober 2019 (Bewerbung geöffnet)

Beschreibung: Durch Sintern von Wolframpulver wird eine hochfeste Legierung (Zugfestigkeit 1200 MPa) für die Erforschung des Weltraums hergestellt.

RU2700820C1 – Hochwertiges Material für die Biotechnologie

Sprache: Russisch

Erfinder: Соколов Д.В. (Sokolov DV)

Antragsteller: ООО „Биомед“ (Biomed LLC)

Erscheinungsdatum: 25. September 2019

Beschreibung: Verwenden Sie Nano-Wolframoxidpulver (antibakterielle Wirkung 99 %) zur Herstellung einer Beschichtung für medizinische Geräte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



D.1 Chinesische Literatur

Zhou Kanggen, Li Qian, Liu Dongliang. Forschungsfortschritte bei der Herstellung und Anwendung von Nano-Wolframpulver[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(8): 2089-2096.

Beschreibung: Die Herstellungsmethoden (wie Dampfabscheidung und Flüssigkeitsreduktion) und Anwendungen (wie Katalysatoren und elektronische Materialien) von Nanowolframpulver werden überprüft und die technischen Schwierigkeiten bei der Partikelgrößenkontrolle werden analysiert.

Liao Chunfa, Wu Zhijian. Herstellung und Eigenschaften von feinem, kugelförmigem Wolframpulver[J]. Powder Metallurgy Technology, 2013, 31(4): 245-250.

Beschreibung: Der Prozess der Herstellung von feinem Wolframpulver (Partikelgröße 1–3 μm) mithilfe einer ultraschallgestützten Methode wurde untersucht, um sein Anwendungspotenzial in der Pulvermetallurgie zu erkunden.

Zhang Qiwan, Chen Haoran. Forschung zur Rückgewinnungstechnologie von Wolfram in APT-Abfallschlacke[J]. Nichteisenmetalle (Schmelzteil), 2014, (6): 45-49.

Beschreibung: Es wurde ein Säurelaugungs- und Ionenaustauschverfahren zur Rückgewinnung von Wolfram aus APT-Abfallschlacke mit einer Rückgewinnungsrate von 92 % vorgeschlagen, das das Recycling von Ressourcen fördert.

Li Wei, Wang Fang. Herstellung und Leistung von Wolfram-basierten Photokatalysatoren[J]. Acta Chimica Sinica, 2018, 76(5): 389-395.

Beschreibung: Die photokatalytische Leistung von Wolframtrioxid-Verbundwerkstoffen wurde untersucht und zur Wasseraufbereitung eingesetzt, wobei eine Effizienzsteigerung von 30 % erzielt wurde.

Wang Jianhua. Wolframpulvermetallurgie-Technologie[M]. Peking: Metallurgical Industry Press, 2010.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beschreibung: In diesem Dokument wird systematisch die Herstellung, das Sintern und die Anwendung von Wolframpulver vorgestellt, wobei auch die Hartmetall- und Schwermetalltechnologie behandelt wird.

D.2 Englische Literatur

Port, DJ, Copeland, GL Herstellung und Eigenschaften von Wolframpulver[J]. Journal of Materials Science, 1984, 19(5): 1423-1430.

Beschreibung: Der Prozess der Herstellung von Wolframpulver durch Wasserstoffreduktion wurde untersucht und die Auswirkung der Partikelgröße (5–20 μm) auf die Leistung analysiert.

Kelly, JT, Miller, RA Plasmasynthese von ultrafeinem Wolframpulver[J]. Materials Science and Engineering: A, 2009, 498(1-2): 115-120.

Beschreibung: Es wird über die Plasmamethode zur Herstellung von Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 20 nm) berichtet, das für verschleißfeste Beschichtungen und elektronische Anwendungen geeignet ist.

Xia, D., Zhang, L. Nachhaltige Gewinnung von Wolfram aus Scheelit[J]. Hydrometallurgie, 2015, 156: 91-98.

Beschreibung: Es wird ein umweltfreundliches Verfahren zur Gewinnung von Wolfram aus Scheelit mit einer Rückgewinnungsrate von 95 % und geringerer Umweltverschmutzung vorgeschlagen.

Kang, SB, Kim, YJ Atomlagenabscheidung von Wolframfilmen[J]. Thin Solid Films, 2002, 405(1-2): 153-158.

Beschreibung: Die ALD-Technik wurde verwendet, um Wolframfilme (5–10 nm dick) für den Einsatz in Halbleiterbauelementen abzuscheiden.

Christini, JN, Schubert, WD Herstellung von feinem Wolframpulver mittels Wirbelschichtreduktion[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2004, 22(4-5): 187-192.

Beschreibung: Das Wirbelschichtreduktionsverfahren zur Herstellung von feinem Wolframpulver (0,1–1 μm) wird für hochpräzise Anwendungen beschrieben.

ASM International. Pulvermetallurgie Wolfram und Wolframlegierungen[M]. Materials Park, OH: ASM International, 1998.

Beschreibung: Eine Monographie, die die Herstellung, Eigenschaften und industriellen Anwendungen von Wolframpulver ausführlich behandelt.

D.3 Japanische Literatur

Shinichi Yamamoto, Takashi Nakamura. Hochverdichtungstechnologie von Pulver [J]. Journal of the Japan Metal Society, 2005, 69(3): 245-251.

Sprache: Japanisch

19,2 g/cm^3) wurde für den Einsatz in Gegengewichten in der Luftfahrt untersucht.

Kenji Sato, Kazuo Takahashi. Synthese und Anwendung von Pulver [J]. Journal of the Society of Powder Engineering, 2016, 53(7): 432-438.

Sprache: Japanisch

Beschreibung: Mit der Methode der Flüssigphasenreduktion wurde Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 5–20 nm) für den Einsatz in leitfähigen Tinten und Katalysatoren hergestellt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kentaro Tanaka. タングステン Film-CVD-Technologie[J]. Journal of the Society of Electro-electronics, 2011, 131(5): 678-684.

Sprache: Japanisch

Beschreibung: Die Plasma-CVD-Abscheidung von Wolframfilmen (10–20 nm dick) für Displayelektroden wurde untersucht.

Sumitomo Metal Koyama Co., Ltd. Neueste Anwendungstechnologie von タングステン-Materialien [M]. Tokio: Institut für Technologie, 2012.

Sprache: Japanisch

Beschreibung: Dieser Artikel gibt einen Überblick über die Anwendungstechnologie von Wolframpulver in den Bereichen Elektronik, Medizin und Industrie.

D.4 Dokumente in anderen Sprachen

Schmidt, K., Weber, A. Herstellung von Nanowolframpulver für Quantentechnologie[J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2018, 49(6): 567-574.

Sprache: Deutsch

Beschreibung: Mithilfe der Dampfabscheidungsmethode wurde Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 10–30 nm) für den Einsatz in Quantengeräten hergestellt.

Kim, YH, Choi, YY 나노 100 % Koreanisch 특성 [J]. 한국재료학회지, 2017, 27(8): 412-419.

Sprache: Koreanisch

Beschreibung: Die photoelektrischen Eigenschaften von Nano-Wolframpulver (Bandlücke 2,6–2,8 eV) wurden für die Verwendung als Photokatalysator analysiert.

Иванов А.В., Смирнов К.А. прикладной химии, 2016, 89(4): 521-528.

Sprache: Russisch

Beschreibung: Es wird über die elektrochemische Methode zur Herstellung von Nano-Wolframpulver (Partikelgröße 30–70 nm) für Verbundwerkstoffe berichtet.

Müller, T., Lang, P. Rückgewinnung von Wolfram aus Schrottmaterialien[J]. Metall, 2015, 69(3): 145-152.

Sprache: Deutsch

Beschreibung: Erforschte die Technologie zum Recycling von Wolframpulver aus Wolframabfällen (Rückgewinnungsrate 93 %), um eine nachhaltige Entwicklung zu fördern.

Петров В.И. Нанесение вольфрамовых покрытий электроники[J]. 34-40.

Sprache: Russisch

Beschreibung: Der Prozess der Lichtbogenabscheidung von Wolframbeschichtungen (50 nm Dicke) zur Elektronenemission wird erläutert.

D.5 Internationale Normen und technische Berichte

GB/T 3458-2006. Wolframpulver[S]. Peking: Verwaltung für Normung der Volksrepublik China, 2006.

Sprache: Chinesisch

Beschreibung: Chinesischer nationaler Standard, der die chemische Zusammensetzung und die physikalischen Eigenschaften von Wolframpulver festlegt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM B777-15. Standard-Spezifikation für Wolframbasis, hochdichtes Metall[S]. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015.

Sprache: Englisch

Beschreibung: ASTM-Standard, der die Leistungsanforderungen für Wolframlegierungen mit hoher Dichte definiert.

Wolframlegierungspulver für Hartmetallanwendungen[S]. Genf: Internationale Organisation für Normung, 2018.

Sprache: Englisch

Beschreibung: ISO-Norm, die die technischen Spezifikationen für Wolframlegierungspulver für Hartmetall festlegt.

Weltwolframbericht 2020[R]. London: Roskill Information Services, 2020.

Sprache: Englisch

Beschreibung: Globaler Wolframmarktbericht mit Analyse von Angebot, Nachfrage und Anwendungstrends für Wolframpulver.

Referenzwebsite: China Tungsten Online news.chinatungsten.com



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

Anhang E:

Sicherheitsleitfaden für Wolframpulver (MSDS)
Spezifikation des Materialsicherheitsfaktors Wolframpulver
Sicherheitsdatenblatt für Wolframpulver

Dokumentname: Sicherheitsdatenblatt (MSDS) für Wolframpulver.

Hersteller: CTIA GROUP LTD.

Veröffentlichungsdatum: 9. April 2025. Versionsnummer: 1.0. Anwendungsbereich: Dieses MSDS gilt für Wolframpulver (Reinheit $\geq 99,9\%$, Partikelgröße 0,5–50 Mikrometer), das von CTIA GROUP LTD hergestellt wird, und dient als Leitfaden für den sicheren Betrieb und die Notfallbehandlung.

1. Chemische und Firmenidentifikation

Produktname: Wolframpulver

Chemische Bezeichnung: Wolfram (W)

CAS-Nr.: 7440-33-7

Molekularformel: W

Molekulargewicht: 183,84 g/mol

Hersteller: CTIA GROUP LTD

Adresse: 3. Stock, Nr. 25, Wanghai Road, Software Park 2, Bezirk Siming, Xiamen, Fujian, China

Kontakt: +86 592 512 9696

Fax: +86 592 512 9797

E-Mail: sales@chinatungsten.com

Notfallkontakt: +86 592 512 9595 (24-Stunden-Notdienst)

2. Gefahrenübersicht

GHS-Einstufung (Global Harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien):

Entzündbare Feststoffe (Kategorie 2, H228: Feine Pulver können sich in der Luft selbst entzünden)

Akute Toxizität (Inhalation, Kategorie 4, H332: Kann beim Einatmen von Staub gesundheitsschädlich sein)

Gefahrenhinweis:

H228: Feine Partikel können sich in der Luft spontan entzünden.

H332: Kann beim Einatmen gesundheitsschädlich sein. Kann die Atemwege reizen.

Signalwort: Achtung

Piktogramme: Flammensymbol (brennbar), Ausrufezeichen (Gesundheitsgefahr)

Andere mögliche Gefahren:

Das langfristige Einatmen hoher Staubkonzentrationen kann zu Lungenreizungen oder chronischen Lungenerkrankungen (wie z. B. Pneumokoniose) führen.

Nicht krebserregend (von der IARC nicht als bekanntes oder mögliches Karzinogen aufgeführt).

3. Zusammensetzung/Informationen zu Inhaltsstoffen

Chemische Zusammensetzung:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Element	CAS-Nummer	Massenanteil (%)
Wolfram (W)	7440-33-7	≥99,9
Sauerstoff (O)	-	≤0,05
Eisen (Fe)	7439-89-6	≤0,005
Nickel (Ni)	7440-02-0	≤0,003
Andere Verunreinigungen -		≤0,04

Hinweis: Der spezifische Verunreinigungsgehalt kann von Charge zu Charge leicht variieren. Einzelheiten finden Sie im Produkttestbericht.

4. Erste-Hilfe-Maßnahmen

Inhalation:

Bringen Sie das Opfer an die frische Luft und halten Sie die Atemwege offen.

Bei Atembeschwerden Sauerstoff verabreichen und sofort einen Arzt aufsuchen.

Hautkontakt:

Waschen Sie die betroffene Stelle mindestens 15 Minuten lang mit Seife und viel Wasser.

Wenn Reizungen oder Beschwerden auftreten, suchen Sie einen Arzt auf.

Augenkontakt:

Sofort mindestens 15 Minuten lang mit fließendem Wasser oder Kochsalzlösung spülen und dabei die Augenlider anheben, um eine gründliche Reinigung zu gewährleisten.

Wenn die Reizung anhält, ärztliche Hilfe hinzuziehen.

Verschlucken:

Kein Erbrechen herbeiführen, Mund mit Wasser ausspülen.

Suchen Sie sofort einen Arzt auf und zeigen Sie dieses Sicherheitsdatenblatt oder Produktetikett vor.

Das medizinische Personal empfiehlt: symptomatische Behandlung und Beachtung der Atemwegssymptome und möglicher Lungenschäden.

5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung

Entzündbarkeit: Feines Wolframpulver (<10 µm) kann sich selbst entzünden oder in der Luft entzündet werden.

Geeignete Feuerlöschmittel: Trockenpulver (z. B. Metallfeuerlöschmittel der Klasse D), trockener Sand oder Kohlendioxid.

Verbotene Löschmittel: Wasser, Schaum (kann heftige Reaktionen oder Explosionen verursachen).

Besondere Brandgefahren: Beim Verbrennen können Rauchgase aus Wolframoxid (WO₃) freigesetzt werden, die reizend wirken.

Schutz für Feuerwehrleute: Tragen Sie ein umluftunabhängiges Atemschutzgerät (SCBA) und feuerfeste Ganzkörperkleidung, um das Einatmen von Rauch und Staub zu vermeiden.

Feuerlöschmethode: Isolieren Sie die Brandquelle und bedecken Sie den Brandherd mit trockenem Pulver, um die Staubausbreitung zu verhindern.

6. Notfallbehandlung von Leckagen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Persönlicher Schutz: Staubmaske (NIOSH N95 oder höher), Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen.
Umweltschutzmaßnahmen: Um eine Umweltverschmutzung zu vermeiden, verhindern Sie, dass Staub in Gewässer oder die Kanalisation gelangt .

Notfallmaßnahmen:

Kleine verschüttete Mengen: Verwenden Sie antistatische Werkzeuge (wie etwa Schaufeln aus Holz oder Kunststoff) und sammeln Sie diese in verschlossenen Behältern, um Staubbildung zu vermeiden.

Große Mengen verschütten: Isolieren Sie den verschütteten Bereich, bedecken Sie ihn mit trockenem Sand oder inertem Material und reinigen Sie ihn mit einem Staubsauger (ausgestattet mit einem HEPA-Filter).

Behandlung nach der Reinigung: Entsorgen Sie den gesammelten Abfall gemäß den örtlichen Vorschriften, um eine Sekundärverschmutzung zu vermeiden.

7. Handhabung und Lagerung

Sicherer Betrieb:

Arbeiten Sie in einem gut belüfteten Bereich, um Staubansammlungen zu vermeiden.

Verwenden Sie antistatische Geräte und Werkzeuge, um zu verhindern, dass Funken eine Selbstentzündung verursachen.

Waschen Sie sich nach der Handhabung die Hände, um das Einatmen von Staub oder den Kontakt mit der Haut zu vermeiden.

Lagerbedingungen:

In verschlossenen, trockenen Behältern in einem kühlen, belüfteten Lagerhaus lagern.

Von Feuer, Wärmequellen und Oxidationsmitteln (wie Chlor, Salpetersäure) fernhalten.

Lagertemperatur: 5–35 °C, relative Luftfeuchtigkeit <70 %.

8. Expositionskontrollen/Persönliche Schutzausrüstung

Expositionsgrenzwerte:

OSHA PEL (USA): 5 mg/m³ (Wolfram und seine unlöslichen Verbindungen, 8-Stunden-TWA).

ACGIH TLV (USA): 3 mg/m³ (atembare Partikel, 8-Stunden-TWA).

China GBZ: 6 mg/m³ (Gesamtstaub, 8-Stunden-PC-TWA).

Technische Kontrolle: Verwenden Sie ein lokales Absaugsystem oder eine Staubabdeckung, um sicherzustellen, dass die Luftqualität am Arbeitsplatz den Standards entspricht.

Persönliche Schutzausrüstung:

Atemschutz: Tragen Sie eine NIOSH-zertifizierte N95- oder P100-Staubmaske, wenn die Staubkonzentration den Standard überschreitet.

Handschutz: verschleißfeste Gummi- oder PVC-Handschuhe.

Augenschutz: Dichtschließende Schutzbrille (entsprechend EN 166 oder NIOSH-Standards).

Persönlicher Schutz: Antistatische Arbeitskleidung zur Vermeidung von Staubanhaftungen.

9. Physikalische und chemische Eigenschaften

Aussehen: Graues oder silbergraues Pulver

Geruch: Geruchlos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schmelzpunkt: 3422 °C

Siedepunkt: 5555°C

Dichte: 19,25 g/cm³ (20°C)

Löslichkeit: Unlöslich in Wasser, schwer löslich in starken Säuren (wie Salpetersäure)

Partikelgrößenbereich: 0,5–50 µm (je nach Marke)

Schüttdichte: 2,5–6,0 g/cm³

Flammpunkt: Nicht anwendbar (feines Pulver kann sich spontan entzünden)

Explosionsgrenze: Keine eindeutigen Daten, Staubwolke kann Explosionsgefahr bergen

10. Stabilität und Reaktivität

Stabilität: Bei Raumtemperatur stabil, kann bei hohen Temperaturen zu WO₃ oxidieren.

Vermeiden Sie folgende Bedingungen: hohe Temperaturen, Funken, statische Elektrizität und feuchte Umgebung.

Unverträgliche Materialien: Starke Oxidationsmittel (zB Bromtrifluorid, Iodpentafluorid, Salpetersäure).

Gefährliche Reaktionen: Feines Pulver kann bei Kontakt mit Oxidationsmitteln Feuer oder Explosionen verursachen.

Zersetzungsprodukte: Bei der Verbrennung bei hohen Temperaturen entsteht Wolframoxidrauch (WO₃).

11. Toxikologische Angaben

Akute Toxizität:

LD50 (oral, Ratte): >2000 mg/kg (keine offensichtliche Toxizität).

LC50 (Inhalation, Ratte, 4 Stunden): >5 mg/l (geringe Toxizität).

Hautreizung: Keine offensichtliche Reizung, langfristiger Kontakt kann zu leichter Trockenheit führen.

Augenreizung: Staub kann mechanische Reizungen verursachen.

Atemwegsempfindlichkeit: Das Einatmen hoher Konzentrationen kann Husten oder Atembeschwerden verursachen.

Karzinogenität: Es wird von der IARC nicht als Karzinogen aufgeführt und vom NTP nicht als mögliches Karzinogen identifiziert.

Chronische Auswirkungen: Langfristiges Einatmen hoher Staubkonzentrationen kann Lungenfibrose verursachen.

12. Ökologische Informationen

Ökotoxizität: Keine signifikanten Daten zur aquatischen Toxizität (unlöslich in Wasser).

Persistenz und Abbaubarkeit: Nicht abbaubar, anorganisch.

Bioakkumulation: Nicht bioakkumulativ.

Mobilität: Staub kann durch Wind verbreitet werden und weist in flüssiger Umgebung eine geringe Mobilität auf.

Umwelthinweise: Staubemissionen in die Atmosphäre oder ins Wasser vermeiden.

13. Entsorgung

Entsorgungsmethode:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sammeln Sie das Wolfram-Abfallpulver in einem verschlossenen Behälter und übergeben Sie es einer qualifizierten Abfallentsorgungsstelle.

Kann recycelt werden (z. B. an einen Metallrecycler verkauft).

Notiz:

Vermeiden Sie die direkte Entsorgung auf Mülldeponien oder in der Kanalisation.

Halten Sie die örtlichen Umweltgesetze und -vorschriften ein (wie etwa das chinesische Gesetz zur Verhütung und Kontrolle der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle).

14. Versandinformationen

UN-Nummer: UN 3178 (Entzündbarer anorganischer Feststoff)

Versandname: Wolframpulver

Gefahrenklasse: Klasse 4.1 (Entzündbare Feststoffe)

Verpackungsgruppe: III (geringe Gefahr)

Versandanforderungen:

Verwenden Sie eine feuchtigkeitsbeständige und antistatische Verpackung (z. B. doppellagige Plastiktüte + Eisenfass).

Vermeiden Sie während des Transports hohe Temperaturen und Feuchtigkeit.

Internationale Vorschriften: Erfüllen Sie die Anforderungen von IATA, IMDG und ADR.

15. Regulatorische Informationen

Chinesische Vorschriften:

„China Hazardous Chemicals Catalogue“ (Ausgabe 2015): Nicht als gefährliche Chemikalien aufgeführt, müssen aber als brennbare Feststoffe behandelt werden.

Verzeichnis vorhandener chemischer Substanzen (IECSC): Bereits enthalten.

US-Vorschriften:

OSHA: Reguliert durch 29 CFR 1910.1200 (Hazard Communication Standard).

TSCA: Gelistet im Toxic Substances Control Act.

EU-Verordnungen:

REACH: Registriert, konform mit der EINECS-Liste (EG-Nr. 231-143-9).

Sonstiges: Erfüllen Sie die GHS-Klassifizierungs- und Kennzeichnungsanforderungen.

16. Sonstige Informationen

Zubereitungshinweise: Dieses Sicherheitsdatenblatt wurde von CTIA GROUP LTD auf Grundlage vorhandener Daten und technischen Wissens erstellt. Es gilt nur für die angegebenen Produkte und nicht für Mischungen mit anderen Stoffen.

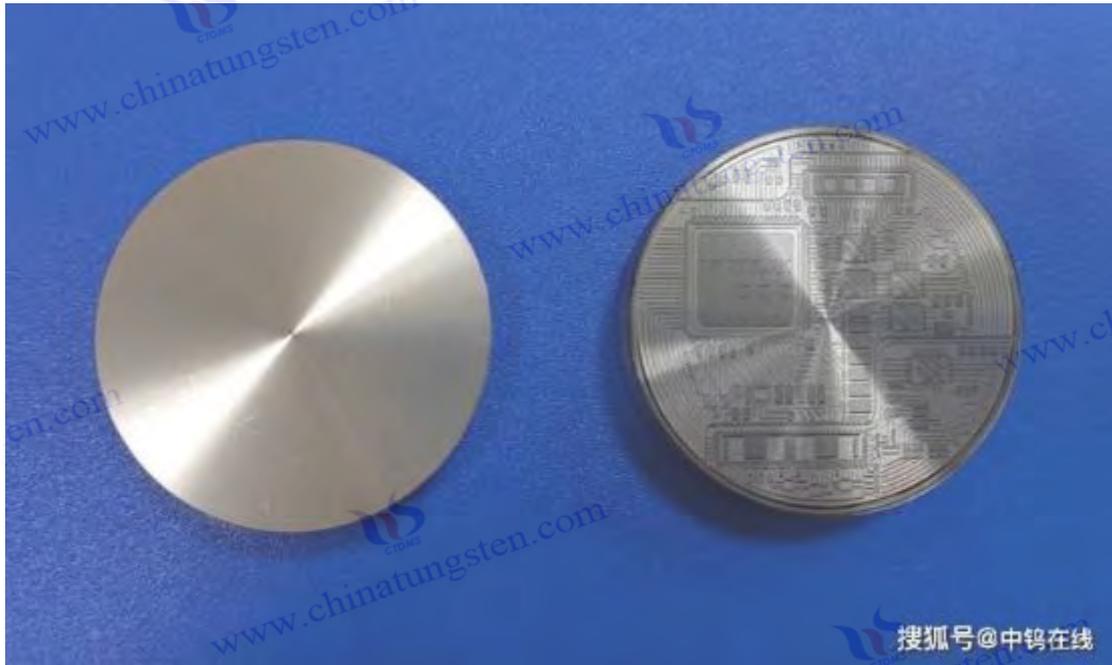
Haftungsausschluss: Dieses Datenblatt dient nur als Referenz. Benutzer müssen die Anwendbarkeit selbst beurteilen. CTIA GROUP LTD haftet nicht für Schäden, die durch unsachgemäße Verwendung entstehen.

Revisionsprotokoll: Dies ist die erste Veröffentlichung der elektronischen Online-Version, es gibt keine früheren Versionen.

Kontakt: Bei Fragen wenden Sie sich bitte an sales@chinatungsten.com oder rufen Sie +86 592 512 9696

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

an.



Anhang: Glossar zu F Wolframpulver auf Chinesisch, Englisch, Japanisch, Koreanisch, Deutsch und Russisch

Dieses Glossar gliedert umfassend die Begriffe rund um Wolframpulver und deckt alle Arten von Wolframpulver (z. B. ultrafeines Wolframpulver, feines Wolframpulver usw.), Eigenschaften, Herstellungsverfahren, Anwendungsgebiete, Sicherheitsmanagement und Derivate ab. Es ist in sechs Sprachen verfügbar: Chinesisch, Englisch, Japanisch, Koreanisch, Deutsch und Russisch. Die Begriffe sind thematisch geordnet, um Praktikabilität und Internationalisierung zu gewährleisten.

F.1 Grundlegende Begriffe und Eigenschaften

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Wolframpulver	Wolframpulver	Tangusten-Pulver	텅스텐 분말	Wolframpulver	Порошок вольфрама	Feine Partikel aus metallischem Wolfram, üblicherweise 0,5–50 Mikrometer groß, werden in der Pulvermetallurgie und der Elektronikindustrie verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Ultrafeines Wolframpulver	Ultrafeines Wolframpulver	Ultrafeines Pulver	초미세 텅스텐 분말	Ultrafeines Wolframpulver	Ультрафиолет-вольфрам	Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 0,1–1 Mikron hat eine große spezifische Oberfläche und eignet sich für hochpräzise Anwendungen.
Feines Wolframpulver	Feines Wolframpulver	Feines Pulver	미세 텅스텐 분말	Feines Wolframpulver	Мелкий порошок вольфрама	Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 1–10 Mikrometern wird häufig in der Pulvermetallurgie und als Gegengewichtsmaterial verwendet.
Nano-Wolframpulver	Nano-Wolframpulver	Nanopulver	나노 텅스텐 분말	Nanowolframpulver	Нано-Порошок Вольфрама	Wolframpulver mit einer Partikelgröße von weniger als 100 Nanometern ist hochaktiv und eignet sich für die Nanotechnologie und Katalysatoren.
Grobes Wolframpulver	Grobes Wolframpulver	Grobes Pulver	더다 텅스텐 분말	Grobes Wolframpulver	Грубый порошок вольфрама	Wolframpulver mit einer Partikelgröße von 10–50 Mikrometern wird zum Schweißen und für grobkörnige Produkte verwendet.
Sphärisches Wolframpulver	Sphärisches Wolframpulver	Sphärisches Pulver	구형 텅스텐 분말	Sphärisches Wolframpulver	Сферический порошок вольфрама	Sphärisches Wolframpulver hat eine gute Fließfähigkeit und wird häufig beim 3D-Druck und Sprühen verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Amorphes Wolframpulver	Amorphes Wolframpulver	Amorphes Pulver	2 텡스텐 분말	Amorphes Wolframpulver	Аморфный порошок вольфрама	Wolframpulver ohne klare Kristallstruktur wird für spezielle Beschichtungen und Verbundwerkstoffe verwendet.
Reinheit	Reinheit	Reinheit	도	Reinheit	Чистота	Der prozentuale Wolframgehalt im Wolframpulver beträgt normalerweise $\geq 99,9\%$.
Dichte	Dichte	Dichte	밀도	Dichte	Плотность	Der theoretische Wert des Masse-Volumen-Verhältnisses von Wolframpulver beträgt $19,25 \text{ g/cm}^3$.
Schmelzpunkt	Schmelzpunkt	Schmelzpunkt	용융점	Schmelzpunkt	Temperaturschwankungen	Die Temperatur, bei der Wolframpulver bei normalem atmosphärischem Druck flüssig wird, beträgt $3422 \text{ }^\circ\text{C}$.
Siedepunkt	Siedepunkt	Siedepunkt	2	Siedepunkt	Temperaturerhöhung	Die Temperatur, bei der Wolframpulver zu Gas sublimiert, beträgt $5555 \text{ }^\circ\text{C}$.
Spezifische Oberfläche	Spezifische Oberfläche	Spezifische Oberfläche	2	Verbringen den Tag	Удельная поверхность	Die Oberfläche pro Masseneinheit von Wolframpulver beträgt üblicherweise $50\text{--}150 \text{ m}^2/\text{g}$ (Nanometerebene).
Scheinbare Dichte	Scheinbare Dichte	Sehen Sie die Dichte	겉보기 밀도	Scheindichte	Кажущаяся плотность	Die Dichte von Wolframpulver im natürlichen Stapelzustand beträgt $2,5\text{--}6,0 \text{ g/cm}^3$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Fisher-Partikelgröße	Fisher-Partikelgröße	Größe der sprudelnden Partikel	피셔 2 크기	Fisher - Körnung	Размер частиц по Фишеру	Die mit der Fisher-Methode gemessene durchschnittliche Partikelgröße von Wolframpulver beträgt normalerweise 0,5–50 µm.
Liquidität	Fließfähigkeit	Liquidität	2 결정 구조	Flieg hoch	Text	Die Fähigkeit von Wolframpulver, unter Standardbedingungen durch einen Trichter zu fließen, ausgedrückt in Sekunden pro 50 Gramm.
Kristallstruktur	Kristallstruktur	Kristallstruktur	결정 구조	Kristallstruktur	Kristallstruktur	Die Kristallmorphologie von Wolframpulver ist normalerweise kubisch-raumzentriert (BCC).
Härte	Härte	Härte	도	Harte	Thvërdost	Die Verformungsbeständigkeit von Wolframpulver oder seinen Produkten beträgt beispielsweise HV 300–500.

F.2 Zubereitungsmethode

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Wasserstoffreduktionsmethode	Wasserstoffreduktion	Wasserstoffreduktionsmethode	2 환원법	Wasserstoffreduktion	Восстановление водородом	Wolframpulver wird durch Reduktion von Wolframoxid mit Wasserstoff

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
						hergestellt, üblicherweise bei einer Temperatur von 800–1200 °C.
Aufdampfverfahren	Aufdampfung	Gasphasen verdampfungs- methode	기상 2	Gasphasenbetrieb	Парофазное осаждение	Nano-Wolframpulver werden durch Abscheidung gasförmiger Wolframverbindungen hergestellt und finden häufig Verwendung in hochpräzisen Anwendungen.
Plasmamethode	Plasma-Methode	Plasmamethode	플라즈마법	Plasmamethoden	Plastische Methode	Ultrafeines Wolframpulver wird durch Hochtemperatur-Plasmazersetzung von Wolframvorläufern hergestellt, was eine hohe Ausbeute, aber einen hohen Energieverbrauch ermöglicht.
Hydrothermale Methode	Hydrothermale Methode	Hydrothermale Methode	2 합성법	Hydrothermale Technologie	Hydrothermale Methode	Wolframpulver wird in einer wässrigen Hochtemperatur- und Hochdrucklösung hergestellt, die umweltfreundlich und für den Nanobereich

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
						geeignet ist.
Carbothermische Reduktion	Carbothermische Reduktion	Methode zur Kohlenstoffreduzierung	탄소 환원법	Carbothermische Einlösung	Karbothermische Wasserentsorgung	Wolframcarbidpulver wird durch Reduktion von Wolframoxid mit Kohlenstoff bei hohen Temperaturen hergestellt.
Elektrochemische Reduktion	Elektrochemische Reduktion	Elektrochemische Reduktion	2. 환원법	Elektrotechnik Rot	Elektrochemische Reinigung	Wolframpulver wird durch Elektrolyse einer Wolframatlösung hergestellt, die für die Nanoskalierung und Reinheitskontrolle geeignet ist.
Laserinduzierte Zersetzung	Laserinduzierte Zersetzung	Methode zur induzierten Zersetzung von Leder	2 도 분해법	Laserindustrie Zerg	Laser-induzierte Auflösung	Der Laser wird verwendet, um den Wolfram-Vorläufer zu zersetzen und so mit geringem Energieverbrauch ultrafeines oder Nano-Wolframpulver herzustellen.
Sprühpyrolyse	Sprühpyrolyse	Sprühthermische Zersetzungsmethode	분무 2	Sprühpyrolyse	Raspelierung mit Pyrolyse	Die Wolframlösung wird versprüht und anschließend bei hohen Temperaturen zersetzt, um poröses

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
						Wolframpulver zu erzeugen, das für biologische Anwendungen geeignet ist.

F.3 Anwendungsbereiche

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Pulvermetallurgie	Pulvermetallurgie	Pulvermetallurgie	분말 2	Pulvermetallurgie	Порошковая METALLURGIE	Wolframprodukte wie Wolframstäbe und Wolframplatten werden durch Pressen und Sintern von Wolframpulver hergestellt.
Hartmetall	Hartlegierung	Superharte Legierung	경질 합금	Hartmetall	Theurdye Ala	Verschleißfestes Material mit Wolframkarbidpulver als Hauptbestandteil, verwendet für Schneidwerkzeuge und Bohrer.
Gewicht Material	Gegengewichtsmaterial	Hochwertiges Material	2	Gegengewichtsmaterial	Hochwertiges Material	Die hohe Dichte des Wolframpulvers wird zur Herstellung von Gewichten wie Angelgewichten und Golfschlägern verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Photoelektrolyse	Photoelektrolyse	Photokatalysator	2 매	Photoelektrizität	Fotoelektrolyse	Verwenden Sie Wolframoxidpulver (wie WO ₃) zur Zersetzung von Wasser oder zum Abbau von Schadstoffen mit einer Bandlücke von 2,6–2,8 eV.
Quantentechnologie	Quantentechnologie	Quantentechnologie	2 Bewertung	Quantentechnologie	Квантовая ТЕХНОЛОГИЕ	Die Supraleitfähigkeit von Nanowolframpulver (T _c erreicht nach Dotierung 10 K) wird zur Herstellung von Quantenbits genutzt.
Flexible Elektronik	Flexible Elektronik	フレキシブルエレクトロニクス	플렉시블 2	Flexible Elektronik	Гибкая электроника	Aus Wolframpulver und Polymerverbundstoff werden flexible Elektroden mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 10 ⁵ S/m hergestellt.
Weltraumforschung	Weltraumforschung	Weltraumforschung	2 탐사	Wohlfahrt	Исследование космоса	Wolframpulver wird zur Herstellung von Strahlenschutzmaterialien mit einer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
						Blockierungsrate von 95 % verwendet.
Additive Fertigung	Additive Fertigung	ADITEB-HERSTELLUNG	적층 2	Zusatzstoffe Fertigung	Zusätzliches Produkt	Verwenden Sie Wolframpulver für den 3D-Druck, um Teile mit komplexen Formen vorzubereiten.
Verschleißfeste Beschichtung	Verschleißfeste Beschichtung	Verschleißfeste Beschichtung	내마모 코팅	Verschleißfeste Beschichtung	Износостойкое покрытие	Die verschleißfeste Schicht wird durch Aufsprühen von Wolframkarbidpulver mit einer Härte von HV 1600–2000 gebildet.
Biotechnologie	Biotechnologie	BioTechnologie	Koreanisch	Biotechnologie	Betfair	Nano-Wolframoxidpulver wird für antibakterielle Beschichtungen oder zur Arzneimittelverabreichung verwendet und weist eine antibakterielle Rate von 99 % auf.

F.4 Sicherheit und Management

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Entzündbarer	Entzündbarer	Brennbarer	Koreanisch	Brennbarer	Hochwertig	Feines

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Feststoff	Feststoff	Feststoff	sch 고체	Feststoff	es, langlebiges Material	Wolframpulver (<10 µm) kann sich in der Luft selbst entzünden und ist als Gefahrgut der GHS-Klasse 4.1 eingestuft.
Staubexplosion	Staubexplosion	Staubexplosion	2 폭발	Staubexplosion	Mehr anzeigen	Wolframstaubwolken können bei Kontakt mit Feuer in einem geschlossenen Raum explodieren und erfordern eine antistatische Behandlung.
Atemschutz	Atemschutz	Atemschutz	호흡 보호	Atemschutz	Atemschutzmaske	Verwenden Sie eine Staubmaske (z. B. N95), um das Einatmen von Wolframstaub zu verhindern.
Expositionsgrenzwerte	Expositionsgrenzwert	Expositionsgrenzwert	2 Koreanisch	Ausstellungsgrenzwert	Предел воздействия	Der Grenzwert für die Wolframstaubkonzentration am Arbeitsplatz, beispielsweise OSHA PEL, beträgt 5 mg/m ³ .
Recycling	Recycling	Live	2	Recycling	Peerera Botka	Die Rückgewinnungsrate von Wolframpulver aus Wolframabfällen kann 90–95 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
						erreichen.
Sicherheitsdatenblätter	Sicherheitsdatenblatt (SDS)	Sicherheitsdatenblatt	데이터 시트	Datenblatt	Паспорт безопасности	Geben Sie Hinweise zur sicheren Verwendung von Wolframpulver, beispielsweise dieses Sicherheitsdatenblatt.
Antistatisch	Antistatisch	Schutz vor statischer Elektrizität	정전기	Antistatisch	Antistatisch	Vermeiden Sie die Ansammlung statischer Elektrizität, um eine Selbstentzündung oder Explosion des Wolframpulvers zu vermeiden.
Leckagebehandlung	Umgang mit verschütteten Flüssigkeiten	Leckagebehandlung	2 2	Leckagebehandlung	Обработка утечек	Notfallmaßnahmen zum Umgang mit austretendem Wolframpulver, wie z. B. Abdecken mit trockenem Sand sowie Versiegeln und Auffangen.

F.5 Chemische Komponenten und Derivate

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Wolframoxid	Wolframoxid	Versauerung Tangusten	산화 텅스텐	Wolframoxid	Offenes Buch	WO ₃ , gelbes Pulver, Bandlücke 2,6-2,8 eV, wird für Optoelektronik

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
						und Sensorik verwendet.
Wolframdioxid	Wolframdioxid	Disäure Tangusten	2 텅스텐	Wolframdioxid	Dioksid Wolframa	WO ₂ , Zwischenprodukt zur Herstellung von Wolframpulver, braunes Pulver.
Wolframcarbid	Wolframcarbid	Karbonisierungs-Tangusten	탄화 텅스텐	Wolframcarbid	Karbid Wolframa	WC, Härte HV 1600–2000, wird für Hartmetall verwendet.
Wolframcarbid	Diwolframcarbid	Kohlendioxidgas	이탄화 텅스텐	Diwolframcarbid	Dikarbid Wolframa	W ₂ C hat eine etwas geringere Härte als WC und wird für verschleißfeste Beschichtungen verwendet.
Wolframhexafluorid	Wolframhexafluorid	六フッ化タングステン	2 텅스텐	Wolframhexafluorid	Гексафторид вольфрама	WF ₆ , eine gasförmige Verbindung, wird zum Aufbringen von Wolframfilmen verwendet.
Wolframsäure	Wolframsäure	Tangustensäure	텅스텐 산	Wolframsäure	Вольфрамовая кислота	H ₂ WO ₄ , ein Zwischenprodukt beim Herstellungsprozess von Wolframpulver.
Ammoniumwolframat	Ammoniumwolframat	タングステンアンモニウム	텅스텐 산 모늄	Ammoniumwolframat	Wolfram-Ammonie	(NH ₄) ₂ WO ₄ , ein häufig verwendeter Vorläufer zur Herstellung von Wolframpulver.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinesisch	Englisch	japanisch	Koreanisch	Deutsch	Russisch	Definition/Beschreibung
Natriumwolframat	Natriumwolframat	タングステンナトリウム	텅스텐산 나트륨	Natriumwolframat	Tungustatu Natritiya	Na ₂ WO ₄ , Rohmaterial zur Herstellung von Wolframpulver durch hydrothermale Methode.
Wolframlegierung	Wolframlegierung	Tangusten-Legierung	텅스텐 합금	Wolframlegierung	Sprāv volufhrama	Wie W-Ni-Fe, Dichte 17-18,5 g/cm ³ , wird für Gegengewichte und Abschirmungen verwendet.
Dotiertes Wolframpulver	Dotiertes Wolframpulver	Pulver	도핑 텅스텐 분말	Dotiertes Wolframpulver	Допированный порошок вольфрама	Wolframpulver mit zusätzlichen Elementen wie Molybdän und Kobalt zur Leistungssteigerung, beispielsweise durch verbesserte Supraleitung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

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)	Fe ≤ 0.0010 , Mo ≤ 0.0010 , Si ≤ 0.0005 , Al ≤ 0.0005 , Ca ≤ 0.0005 , Mg ≤ 0.0005 , Na ≤ 0.0010 , K ≤ 0.0010 , O ≤ 0.0200 , C ≤ 0.0050 , N ≤ 0.0020 , P ≤ 0.0005 , S ≤ 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. 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


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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