

Enzyklopädie des sphärischen Wolframpulvers

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

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 Markttrendanalysen 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

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Schreibhintergrund und Bedeutung
Strategischer Wert von sphärischem Wolframpulver
Wie dieses Buch aufgebaut ist
Zielgruppe und Nutzung

Kapitel 1 Übersicht über sphärisches Wolframpulver

- 1.1 Definition und Klassifizierung von sphärischem Wolframpulver
- 1.2 Entwicklungsgeschichte von sphärischem Wolframpulver
- 1.3 Der Status von sphärischem Wolframpulver in der Pulvermetallurgie
- 1.4 Vergleich zwischen sphärischem Wolframpulver und anderen Wolframpulverarten

Kapitel 2 Rohstoffe und Vorläufer von sphärischem Wolframpulver

- 2.1 Übersicht über Wolframkonzentrat und APT-Rohstoffe für sphärisches Wolframpulver
- 2.2 Wolframoxid, Wolframsäure und Reduktionsvorstufen von kugelförmigem Wolframpulver
- 2.3 Wolframpulverqualität und Standard für sphärisches Wolframpulver
- 2.4 Kontrolle der Partikelgröße und -verteilung des sphärischen Wolframpulvervorläufers
- 2.5 Analyse der Reinheit und Verunreinigungen der Rohstoffe für sphärisches Wolframpulver

Kapitel 3 Herstellungstechnologie für kugelförmiges Wolframpulver

- 3.1 Sphäroidisierungsprinzip und physikalische Grundlagen von sphärischem Wolframpulver
- 3.2 Sphärische Wolframpulver-Plasma-Sphäroidisierungstechnologie
- 3.3 Technologie zur Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver durch Gaszerstäubung
- 3.4 Vakuumtröpfchen-Sphäroidisierungsverfahren für sphärisches Wolframpulver
- 3.5 Laserschmelz- und Sphäroidisierungsprozess von sphärischem Wolframpulver
- 3.6 Andere Herstellungstechnologien und vergleichende Analyse von sphärischem Wolframpulver
- 3.7 Steuerung der Schlüsselparameter des Sphäroidisierungsprozesses von sphärischem Wolframpulver

Kapitel 4 Physikalische und chemische Eigenschaften von kugelförmigem Wolframpulver

- 4.1 Mikrostruktur und Kristallmorphologie von sphärischem Wolframpulver
- 4.2 Partikelgrößenverteilung und Sphärizitätsbewertung von sphärischem Wolframpulver
- 4.3 Schüttdichte und Stampfdichte von kugelförmigem Wolframpulver
- 4.4 Sauerstoffgehalt und Verunreinigungskontrolle von sphärischem Wolframpulver
- 4.5 Thermische Stabilität und Schmelzpunktverhalten von sphärischem Wolframpulver
- 4.6 Chemische Stabilität und Oberflächenreaktivität von sphärischem Wolframpulver
- 4.7 Spezifische Oberfläche und Porenstruktur von kugelförmigem Wolframpulver

Kapitel 5 Leistungsprüfung und Qualitätsbewertung von sphärischem Wolframpulver

- 5.1 Methode zur Partikelgrößenanalyse von kugelförmigem Wolframpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- 5.2 Sphäritätsprüfung und Bewertungstechnologie von sphärischem Wolframpulver
- 5.3 Beobachtung der Oberflächenmorphologie von kugelförmigem Wolframpulver (SEM, AFM)
- 5.4 Zusammensetzung und Verunreinigungsanalyse von sphärischem Wolframpulver (XRF, ICP-MS)
- 5.5 Prüfung der thermischen Eigenschaften von kugelförmigem Wolframpulver (DSC, TGA)
- 5.6 Prüfnormen für Fluidität und Dichte von sphärischem Wolframpulver
- 5.7 Produktkonsistenz und Qualitätskontrollstandards für sphärisches Wolframpulver

Kapitel 6 Anwendungsgebiete von sphärischem Wolframpulver

- 6.1 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in der Luft- und Raumfahrt
- 6.2 Anwendung von sphärischem Wolframpulver im 3D-Druck (Metal Additive Manufacturing)
- 6.3 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in militärischen Hochleistungsmaterialien
- 6.4 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in der Nuklearindustrie und in Schutzmaterialien
- 6.5 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in der Mikroelektronik und Halbleiterverpackung
- 6.6 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in Hochtemperatur-Strukturwerkstoffen
- 6.7 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in Vakuumgeräten und Elektrodenmaterialien
- 6.8 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in funktionellen Verbundwerkstoffen und Targetmaterialien

Kapitel 7 Forschungsfortschritt von sphärischem Wolframpulver in der additiven Fertigung

- 7.1 Sphärisches Wolframpulver eignet sich für die additive Fertigungstechnologie: SLM, EBM, DED usw.
- 7.2 Physikalisches Verhalten von sphärischem Wolframpulver beim Laserdruck
- 7.3 Fließfähigkeit und Stapel Eigenschaften von sphärischen Wolframpulverbetten
- 7.4 Analyse der Struktur und Leistung von sphärischen Wolframpulverdruckproben
- 7.5 Einfluss der Sphärität von sphärischem Wolframpulver auf die Druckqualität
- 7.6 Vergleichende Studie zur Leistung von sphärischem Wolframpulver und anderen Metallpulvern

Kapitel 8 Sicherheit und Umweltschutz von sphärischem Wolframpulver

- 8.1 Lagerungs- und Transportvorschriften für sphärisches Wolframpulver
- 8.2 Umweltvorschriften und REACH-Zertifizierung im Zusammenhang mit sphärischem Wolframpulver
- 8.3 Abgas- und Staubrückgewinnung im Produktionsprozess von sphärischem Wolframpulver
- 8.4 Aktueller Stand der Recyclingtechnologie für sphärisches Wolframpulver
- 8.5 CTIA GROUP Sphärisches Wolframpulver Sicherheitsdatenblatt

Kapitel 9 Markt- und Wirtschaftsanalyse von sphärischem Wolframpulver

- 9.1 Globale Lieferkettenanalyse von Sphärisches Wolframpulver
- 9.2 Sphärisches Wolframpulver Marktgröße und Entwicklungstrend
- 9.3 Wettbewerbslandschaft von sphärischem Wolframpulver
- 9.4 Kostenstruktur und Preisschwankungen von sphärischem Wolframpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kapitel 10 Forschungsschwerpunkte und zukünftige Entwicklungsrichtungen von sphärischem Wolframpulver

10.1 Schwierigkeiten bei der Herstellung von ultrahochsphärischem und ultrafeinem sphärischen Wolframpulver

10.2 Forschungsrichtungen für sphärische Wolframpulver-Verbundwerkstoffe

10.3 Entwicklung intelligenter und automatisierter Anlagen zur Herstellung von sphärischem Wolframpulver

10.4 Untersuchung der funktionellen Oberflächenmodifizierung von sphärischem Wolframpulver

10.5 Die Rolle von sphärischem Wolframpulver in zukünftigen fortschrittlichen Materialien

Anhang

Anhang 1: Glossar der Begriffe im Zusammenhang mit sphärischem Wolframpulver

Anhang 2: Vergleich nationaler und internationaler Standards (GB/ASTM/ISO) für sphärisches Wolframpulver

Anhang 3: Darstellung der Prüfmethode für sphärisches Wolframpulver

Anhang 4: Sphäroidisierungsgerätetypen und repräsentative Hersteller

Anhang 5: Technische Parameter typischer sphärischer Wolframpulverprodukte

Verweise

Vorwort

Schreibhintergrund und Bedeutung

Als fortschrittlicher Metallwerkstoff mit hohem Schmelzpunkt, hoher Dichte, hoher Wärmeleitfähigkeit und guter Fließfähigkeit hat sphärisches Wolframpulver in den letzten Jahren ein immer breiteres Anwendungspotenzial in Spitzentechnologiebereichen wie der additiven Fertigung (3D-Druck), der Pulvermetallurgie, der Luft- und Raumfahrt, der Mikroelektronik und der Energieversorgung gezeigt. Im Vergleich zu herkömmlichem unregelmäßigem Wolframpulver weist sphärisches Wolframpulver eine höhere Formgleichmäßigkeit, eine bessere Stapeldichte und eine bessere Prozessanpassung auf und ist zu einem der wichtigsten Rohstoffe für die Herstellung komplexer Hochleistungskomponenten und die Realisierung intelligenter Fertigung geworden.

Mit der Entwicklung hochwertiger Fertigungstechnologien und den strengen Anforderungen an die Pulverqualität in nachgelagerten Anwendungsbereichen gewinnen die Grundlagenforschung, die industrielle Aufbereitungstechnologie, standardisierte Prüfverfahren, die Anwendungserweiterung und die nachhaltige Entwicklung von sphärischem Wolframpulver im In- und Ausland zunehmend an Bedeutung. Systematische Daten zu sphärischem Wolframpulver sind jedoch noch relativ verstreut, und es fehlt ein umfassendes, detailliertes und maßgebliches Fachbuch. Die „Enzyklopädie des sphärischen Wolframpulvers“ soll diese Lücke schließen, ein Wissenssystem und eine technische Plattform für sphärisches Wolframpulver aufbauen und der wissenschaftlichen Forschung, dem Ingenieurwesen und der industriellen Praxis dienen.

Strategischer Wert von sphärischem Wolframpulver

Wolfram ist eine der wichtigsten strategischen Ressourcen meines Landes und wird häufig zur Herstellung von Hochtemperatur-Strukturteilen, panzerbrechenden Sprengköpfen, nuklearen Abschirmmaterialien, elektronischen Elektroden und anderen wichtigen Bereichen verwendet. Im Kontext des zunehmend härteren globalen Wettbewerbs um Hochleistungspulvermaterialien ist sphärisches Wolframpulver als hochwertiges, hochtechnologisches Grenzmaterial zu einem wichtigen Indikator für die fortschrittlichen Fertigungskapazitäten eines Landes geworden.

Sphärisches Wolframpulver kann nicht nur die Materialausnutzung und die Formqualität der additiven Fertigung deutlich verbessern, sondern auch den dringenden Bedarf der neuen Generation von mikroelektronischen Gehäusen, Energieumwandlungsgeräten und komplexen Strukturteilen für hochpräzise und hochdichte Materialien decken. Sphärisches Wolframpulver wird künftig in wichtigen Technologiefeldern wie der Rüstungsindustrie, der Luftfahrt, der Energiewirtschaft, der Medizin und der Nuklearindustrie eine immer wichtigere Rolle spielen. Daher ist die Förderung der Entwicklung systematischer Technologien wie der Herstellung, Prüfung und Anwendung von sphärischem Wolframpulver von großer strategischer Bedeutung für die Verbesserung der Materialsicherheit des Landes und der Wettbewerbsfähigkeit der verarbeitenden Industrie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wie dieses Buch aufgebaut ist

Dieses Buch ist in zehn Kapitel und einen Anhang unterteilt und der Inhalt ist wie folgt gegliedert:

- Kapitel 1 bis Kapitel 2: Einführung in die Definition, Entwicklungsgeschichte und Rohstoffbasis von sphärischem Wolframpulver;
- Kapitel 3 bis Kapitel 4: Detaillierte Diskussion des Herstellungsprozesses, des Prozessprinzips und der mikroskopischen Kontrolle von sphärischem Wolframpulver;
- Kapitel 5 bis Kapitel 6: Schwerpunkt auf den physikalischen und chemischen Eigenschaften, Nachweismethoden und Anwendungserweiterung;
- Kapitel 7 bis Kapitel 8: Analyse des Forschungsfortschritts sowie der Sicherheits- und Umweltschutzaspekte von sphärischem Wolframpulver in der additiven Fertigung;
- Kapitel 9 bis Kapitel 10: Erkunden Sie den aktuellen Status , zukünftige Trends und Forschungsgrenzen der Branche;
- Anhang: Organisiert Referenzmaterialien wie allgemeine Begriffe, Standards, Gerätekataloge und typische Parameter.

Das Buch ist klar strukturiert und bietet detaillierte Informationen. Es deckt nicht nur die theoretischen Grundlagen ab, sondern legt auch den Schwerpunkt auf Prozessabläufe und die Ingenieurpraxis und ist sowohl wissenschaftlich als auch praktisch.

Zielgruppe und Nutzung

Dieses Buch richtet sich an folgende Leser:

- Forscher in den Bereichen Materialwissenschaft, Metallurgie, Pulvertechnologie und anderen verwandten Bereichen;
- Ingenieure und technische Entwickler in Branchen wie additive Fertigung, Militärausrüstung und Energieelektronik;
- Lehrer und Doktoranden relevanter Hauptfächer an Colleges und Universitäten;
- Unternehmensmanager und politische Entscheidungsträger forschen an der Tiefenverarbeitung von Wolframressourcen und neuen Materialanwendungen .

Leser können nach Bedarf lesen, systematisch durchlesen, um ein umfassendes Verständnis zu erlangen, oder spezielle Studien oder technische Überprüfungen zu einem bestimmten Kapitel durchführen. Jedes Kapitel verfügt über eine Abschnittsüberschrift zum schnellen Auffinden und horizontalen Vergleichen. Der Anhang kann auch als Referenz für Produktentwicklung, Geräteauswahl, Leistungsbewertung usw. verwendet werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

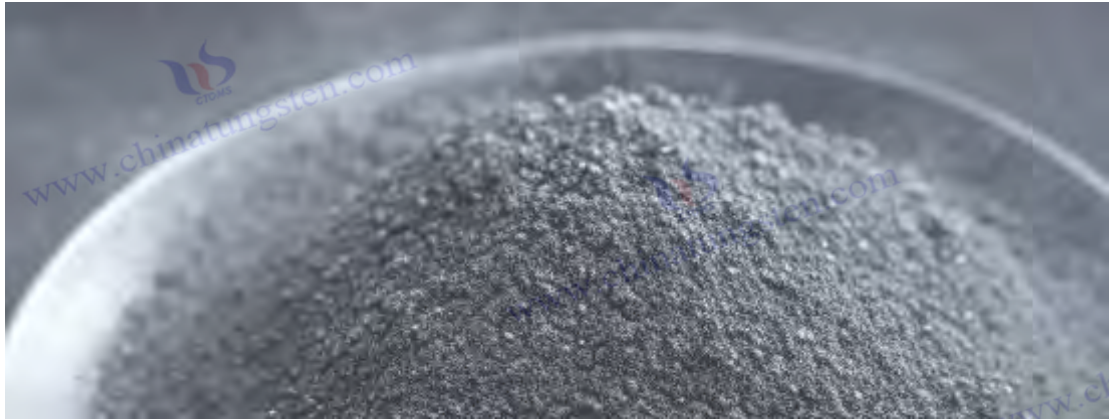
Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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 1 Übersicht über sphärisches Wolframpulver

1.1 Definition und Klassifizierung von sphärischem Wolframpulver

Sphärisches Wolframpulver ist ein Mikron- oder Submikron-Wolframpulver, das durch ein spezielles physikalisches oder chemisches Verfahren hergestellt wird. Es zeichnet sich durch eine hochsphärische Partikeloberfläche, gleichmäßige Partikelgröße, gute Fließfähigkeit und Dichte aus. Es unterscheidet sich von herkömmlichen flockigen, nadelförmigen oder unregelmäßig geformten Wolframpulvern und zeichnet sich durch eine hohe Sphärizität ($\geq 0,90$), eine moderate spezifische Oberfläche und eine kontrollierbare Partikelgröße aus.

Je nach Partikelgrößenbereich, Anwendungsrichtung und Herstellungsverfahren kann sphärisches Wolframpulver wie folgt klassifiziert werden:

- **Klassifizierung nach Partikelgröße:**
 - o Nanosphärisches Wolframpulver ($< 100 \text{ nm}$)
 - o Ultrafeines, sphärisches Wolframpulver ($100 \text{ nm} \sim 1 \mu\text{m}$)
 - o Mikrongroßes, sphärisches Wolframpulver ($1 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$)
- **Einteilung nach Zubereitungsart:**
 - o Plasma-sphäroidisiertes Wolframpulver
 - o Gaszerstäubtes sphärisches Wolframpulver
 - o Laserfusion-sphäroidisiertes Wolframpulver
- **nach Anwendungsgebiet:**
 - o Sphärisches Wolframpulver für die additive Fertigung
 - o Sphärisches Wolframpulver für militärischen Schutz
 - o Sphärisches Wolframpulver für Halbleiter-Verpackungsmaterialien
 - o Wolframpulver für medizinischen Strahlenschutz usw.

Sphärisches Wolframpulver ist aufgrund seiner hervorragenden Fließfähigkeit, gleichmäßigen Stapeldichte und Formkonsistenz bei Prozessen wie Sintern, Spritzgießen und Laserschmelzen zu einem unersetzlichen Schlüsselrohstoff in einer Vielzahl von High-End-Fertigungsszenarien geworden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.2 Entwicklungsgeschichte von sphärischem Wolframpulver

Die Entwicklung von sphärischem Wolframpulver begann Ende des 20. Jahrhunderts, als europäische und amerikanische Unternehmen erstmals Forschungen zu sphärischem Wolframpulver in Flugzeugtriebwerken und Militärmunition durchführten, um die Pulverfülleffizienz und die Explosionsgenauigkeit zu verbessern. Im 21. Jahrhundert, mit dem Aufkommen des Metall-3D-Drucks (insbesondere der Laser-Selektivschmelz-Technologie SLM), stieg die Nachfrage nach sphärischem Pulver rasant an und entwickelte sich zu einem der Kernmaterialien additiver Fertigungssysteme.

Um das Jahr 2005 herum haben Deutschland, Japan und die USA nacheinander die Technologie zur industriellen Plasma-Sphäroidisierung eingeführt und die Kontrolle der Schlüsselparmeter für die Sphäroidisierung von hochreinem Wolframpulver perfektioniert. Seit dem 12. Fünfjahresplan hat China seine Investitionen in die unabhängige und kontrollierbare Herstellung von Hochleistungs-Wolframmaterialien erhöht und schrittweise die Kernausrüstung für die Sphäroidisierung und den kontinuierlichen Pulverherstellungsprozess perfektioniert.

Sphärisches Wolframpulver befindet sich derzeit in einer Phase rasanter Entwicklung. Viele in- und ausländische Unternehmen setzen Plasma-, Laser- und Aerosol-Sphäroidisierungsgeräte ein, und die industrielle Kette entwickelt sich schrittweise in Richtung Größe, Intelligenz und Umweltfreundlichkeit.

1.3 Der Status von sphärischem Wolframpulver in der Pulvermetallurgie

Pulvermetallurgie (PM) ist eine fortschrittliche Fertigungstechnologie, bei der Pulver als Rohmaterial verwendet wird, um durch Pressen und Sintern Metall- oder Keramikprodukte herzustellen. Dabei werden extrem hohe Anforderungen an Pulvermorphologie, Partikelgröße, Fließfähigkeit, Sinteraktivität usw. gestellt.

Der Kernwert von kugelförmigem Wolframpulver in der Pulvermetallurgie ist:

- **Hervorragende Fließfähigkeit** : förderlich für das Füllen von Formen und die hochpräzise Formgebung komplexer Strukturen;
- **Dichte Stapelstruktur** : Verbesserung der Sinterdichte und der Konsistenz der Materialleistung;
- **Niedriger Sauerstoffgehalt** : reduziert den Verlust durch Verflüchtigung während des Sinterns und verbessert die mechanischen und leitfähigen Eigenschaften;
- **Hohe Reinheit und Stabilität** : Passt sich an komplexe Betriebsumgebungen mit hohen Temperaturen und hohem Druck an und verlängert die Produktlebensdauer.

In wichtigen Bereichen der Pulvermetallurgie, wie etwa Hochtemperaturkomponenten für die Luft- und Raumfahrt, W-Cu-Verbundwerkstoffen, Spritzgussteilen aus Wolframlegierungen und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframkarbidsubstraten, ersetzt sphärisches Wolframpulver nach und nach das herkömmliche unregelmäßige Wolframpulver und wird zu einem wichtigen technischen Material zur Verbesserung der Produktleistung und -ausbeute.

Vergleich zwischen sphärischem Wolframpulver und anderen Wolframpulverarten

Vergleichsmaße	Sphärisches Wolframpulver	Unregelmäßiges Wolframpulver	Nadelförmiges Wolframpulver
Morphologie	Ungefähre Kugel	Unregelmäßige Stücke	Dünne und lange Fasern
Liquidität	Exzellent	Arm	Sehr schlecht
Spezifische Oberfläche	Mäßig	Höher	maximal
Schüttdichte	hoch	Mitte	Niedrig
Formbarkeit	Exzellent	allgemein	Unterschied
Anwendbare Szenarien	3D-Druck, Hochdruckspritzguss, CVD usw.	Gepresste, gesinterte, elektrische Vakuumgeräte	Katalysatorträger, Verbundverstärkungsmaterial
Stückpreis	Höher	Mäßig	Hängt vom Prozess ab

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

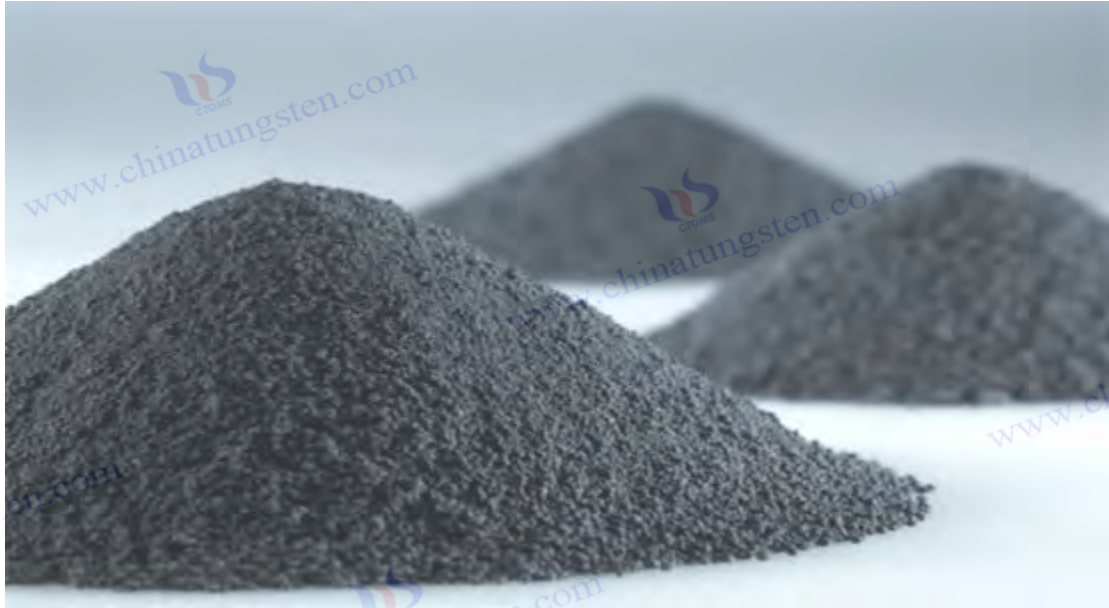
Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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 2 Rohstoffe und Vorläufer von sphärischem Wolframpulver

2.1 Übersicht über Wolframkonzentrat und APT-Rohstoffe für sphärisches Wolframpulver

Die Qualität von kugelförmigem Wolframpulver hängt von den vorgelagerten Rohstoffen ab, hauptsächlich von Wolframkonzentrat (W-Konzentrate) und seinem Weiterverarbeitungsprodukt Ammoniumparawolframat (APT). Wolframkonzentrat ist ein angereichertes Mineral, das aus Wolframerz (hauptsächlich Wolframit und Scheelit) durch Flotation, Schwerkrafttrennung, Rösten und andere Verfahren gewonnen wird. Seine Qualität wird üblicherweise am WO_3 -Gehalt gemessen.

APT ist ein wichtiges Zwischenprodukt für die Herstellung hochreiner Wolframverbindungen und metallischen Wolframs in der Industrie. Es weist eine gute Wasserlöslichkeit und ein kontrollierbares Pyrolyseverhalten auf. Bei der Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver ist APT ein wichtiger Vorläufer für die Herstellung von Wolframoxid und reduziertem Wolframpulver. Seine Reinheit und sein Verunreinigungsgehalt haben direkten Einfluss auf die spätere Pulvermorphologie und die Qualität der Sphäroidisierung.

APT für sphärisches Wolframpulver erfordert üblicherweise einen WO_3 -Gehalt $\geq 88\%$, Gesamtverunreinigungen (wie Fe, Na, Si, Ca) von weniger als 300 ppm und eine gute Partikelgrößenverteilung. Hochwertiges APT entsteht durch industrielle Reinigungsverfahren wie Ionenaustausch, Rekristallisation und Lösungsmittelextraktion. Dies ist die Voraussetzung für die Gewährleistung der Qualitätskonsistenz von sphärischem Wolframpulver.

2.2 Wolframoxid, Wolframsäure und Reduktionsvorstufen von kugelförmigem Wolframpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

APT kann verschiedene Formen von Wolframoxid erzeugen (wie etwa gelbes Wolfram WO_3 , blaues Wolfram WO_2), usw.) oder Wolframsäure (H_2WO_4) durch thermische Zersetzung. Diese Oxide sind wichtige Zwischenprodukte bei der Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver. Ihre spezifische Morphologie, Partikelgröße und Kristallinität spielen eine entscheidende Rolle für das nachfolgende Wasserstoffreduktionsverhalten und die Partikelstruktur des primären Wolframpulvers.

In der industriellen Praxis wird Wolframoxid in einem ein- oder zweistufigen Reduktionsprozess in einer Wasserstoffatmosphäre mit hohen Temperaturen (600–900 °C) in Wolframpulver umgewandelt. Partikelgröße, Schüttdichte und Oberflächenaktivität dieses reduzierten Pulvers bestimmen das spätere Sphäroidisierungsverhalten, wie z. B. Sphärizität, Partikelgrößenstabilität, Oberflächenglätte usw.

Der Reduktionsvorläufer muss eine gleichmäßige Partikelgröße aufweisen, der Sauerstoffgehalt muss in einem angemessenen Bereich ($\leq 0,3\%$) gehalten werden, und es darf keine Agglomeration kristalliner Partikel geben, um Pulverspritzer, morphologische Verzerrungen oder Sauerstoffeinschlüsse während des Sphäroidisierungsprozesses zu vermeiden.

2.3 Wolframpulverqualität und Standard für sphärisches Wolframpulver

Verschiedene Anwendungsbereiche stellen unterschiedliche Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von sphärischem Wolframpulver. Daher gelten strenge Klassifizierungen und technische Standards für das Basis-Wolframpulver. Gängige Wolframpulversorten sind:

Grad	Durchschnittliche Partikelgröße	Sauerstoffgehalt	Verunreinigungs-kontrolle (ppm)	Anwendungsbereich
Ultrahohe Reinheit	1–5 μm	$\leq 0,15\%$	Fe, Si, Ca ≤ 10	Materialien für die Luft- und Raumfahrt, Kernenergie
Qualität für die additive Fertigung	15–45 μm	$\leq 0,2\%$	Fe, O, Na ≤ 50	3D-Druck, Laserschmelzen
Pulvermetallurgiequalität	5–20 μm	$\leq 0,3\%$	Fe, Si, Al ≤ 100	Pressformen, Spritzgießen
Allgemeine Industriequalität	> 20 μm	$\leq 0,4\%$	Teiloxidation zulässig	Elektrode, Legierungszwischenprodukt

2.4 Kontrolle der Partikelgröße und -verteilung des sphärischen Wolframpulvervorläufers

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Partikelgröße und Partikelgrößenverteilung (PSD) des Vorläuferpulvers haben einen wichtigen Einfluss auf den Sphäroidisierungseffekt. Hervorragendes sphärisches Pulver entsteht in der Regel aus einem Vorläufer mit folgenden Partikelgrößenmerkmalen:

- Enge Partikelgrößenverteilung ($D_{90}/D_{10} < 3,0$)
- Die mittlere Partikelgröße (D_{50}) ist für die Zielanwendung geeignet (z. B. werden 15–45 μm für SLM empfohlen).
- Keine großen Partikelagglomerate (um Düsenverstopfungen oder unvollständige Sphäroidisierung zu vermeiden)

Zu diesem Zweck muss das Vorläuferpulversystem üblicherweise die Partikelgröße durch Prozesse wie Luftstromklassifizierung, Siebung und Ultraschalldispersion steuern und sortieren. Einige High-End-Produkte verwenden auch isostatisches Zerkleinern, Nassmahlen, Deagglomeration und andere Mittel, um die Gleichmäßigkeit der Partikelgröße zu verbessern.

Eine gute Kontrolle der Partikelgröße trägt dazu bei, während des Sphäroidisierungsprozesses eine Schmelzkonsistenz zu erreichen, die Hohlraum- und Deformierungsrate von sphärischem Pulver zu reduzieren und die Formbarkeit und Sinterdichte des Endprodukts zu verbessern.

2.5 Analyse der Reinheit und Verunreinigungen der Rohstoffe für sphärisches Wolframpulver

Hochreine Rohstoffe sind eine wichtige Grundlage für die hohe Leistungsfähigkeit von kugelförmigem Wolframpulver. Häufige Verunreinigungen sind Metalle (Fe, Ni, Cr), Nichtmetalle (O, C, Si, Cl) und Gase (H_2 , N_2 usw.). Diese Verunreinigungen beeinträchtigen nicht nur die elektrische Leitfähigkeit, die Wärmeleitfähigkeit und das Sinterverhalten des Pulvers, sondern können auch Grenzflächenreaktionen, lockere Anordnung oder Defekte verursachen.

Bei der Analyse von Verunreinigungen kommen üblicherweise folgende Methoden zum Einsatz:

- ICP-MS/ICP-OES: Bestimmung metallischer Verunreinigungen (ppb–ppm-Bereich)
- LECO-Analysator: Bestimmung des Sauerstoff-, Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalts
- XRF oder EDX: Schnelles Screening der Chargenreinheit und ungewöhnlicher Komponenten
- Glühverlusttest (LOI): Ermittlung der gesamten flüchtigen Bestandteile und der thermischen Stabilität des Pulvers

Bei der Herstellung und Anwendung von sphärischem Wolframpulver muss besonders auf Restionen wie Cl^- und Na^+ in den Rohstoffen geachtet werden, um zu verhindern, dass diese in Hochtemperaturprozessen wie CVD/SLM verflüchtigen oder sich zersetzen, was die Geräteleistung beeinträchtigen oder Korrosion verursachen könnte.

Eine strenge Kontrolle der Reinheit der Rohstoffe und standardisierte Testverfahren sind eine der Kerntechnologien, um die Stabilität von Chargen kugelförmigen Pulvers und die Zuverlässigkeit von Terminalanwendungen sicherzustellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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 Herstellungstechnologie für kugelförmiges Wolframpulver

3.1 Sphäroidisierungsprinzip und physikalische Grundlagen von sphärischem Wolframpulver

Der Schlüssel zur Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver liegt in der oberflächenspannungsbedingten Rekonstruktion der Pulverpartikel bei hohen Temperaturen, sodass diese im suspendierten Zustand spontan zur sphärischen Struktur mit der niedrigsten Energie tendieren. Dieser Prozess umfasst üblicherweise fünf Schritte: Erhitzen-Schmelzen-Sphäroidisieren-Abkühlen-Erstarren.

Zu den physikalischen Grundlagen der Sphäroidisierung zählen im Wesentlichen:

- **Prinzip der Oberflächenspannungsminimierung** : Bei hohen Temperaturen schmelzen Wolframpulverpartikel und bilden Tröpfchen. Aufgrund der Oberflächenspannung neigen die Tröpfchen dazu, eine Kugelform anzunehmen, um die Oberfläche zu minimieren.
- **Schwerkraft und Trägheit** : In einer Plasma- oder Aerosolumgebung fliegen geschmolzene Tröpfchen frei in der Luft und nutzen die Trägheit, um den Formungsprozess abzuschließen.
- **Mechanismus der schnellen Verfestigung** : In einem gasförmigen Kühlmedium oder einer Vakuumumgebung verfestigen sich die Tröpfchen schnell und behalten ihr kugelförmiges Aussehen.
- **Kontrolle der Viskosität und Wärmeleitfähigkeit** : Das rheologische Verhalten im geschmolzenen Zustand bestimmt die endgültige Form der Partikelmorphologie.

Für einen erfolgreichen Sphäroidisierungsprozess ist daher eine Heiztemperatur über dem Schmelzpunkt von Wolfram (3410 °C) erforderlich. Die Umgebung sollte eine hohe Energiedichte, hohe Stabilität und schnelle Abkühlungseigenschaften aufweisen. Zu den üblichen Geräten gehören Plasmabrenner, Gaszerstäubungsdüsen, Hochleistungslaser usw.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2 Sphärische Wolframpulver-Plasma-Sphäroidisierungstechnologie

Die Plasma-Sphäroidisierung ist derzeit das am weitesten verbreitete und ausgereifteste Verfahren zur Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver. Es wird häufig zur Sphäroidisierung von hochschmelzenden Metallpulvern wie Wolfram, Molybdän und Niob eingesetzt.

Prinzip und Ablauf:

1. **Vorbehandlung des Rohmaterials** : Trocknen, Sieben und Entfernen von Verunreinigungen;
2. **Plasmaerhitzung** : Verwenden Sie Hochtemperatur-Argon oder Argon-Wasserstoff-Mischgasplasma (Temperatur kann 10.000 K erreichen), um Wolframpulver zu erhitzen .
3. **Schmelzsphäroidisierung** : Das Pulver schmilzt sofort in der Plasmaflamme und sphäroidisiert auf natürliche Weise im Hochgeschwindigkeitsluftstrom.
4. **Abkühlung und Verfestigung** : Die Kühlzone verfestigt die Tröpfchen schnell zu kugelförmigem Pulver.
5. **Klassifizierung und Sammlung** : Sammeln Sie Pulverprodukte nach Partikelgröße.

Vorteil:

- Kann Metalle mit hohem Schmelzpunkt verarbeiten;
- Hohe Sphärizität (>0,95) und glatte Oberfläche;
- Es ist gut steuerbar und für die Massenproduktion geeignet.

Limit:

- Die Ausrüstungsinvestitionen sind hoch und der Energieverbrauch ist hoch;
- Der Sauerstoffgehalt des Pulvers muss streng kontrolliert werden;
- Das Pulver neigt zur Aushöhlung (die Pulversprühgeschwindigkeit und -leistung müssen optimiert werden).

Diese Technologie eignet sich für Bereiche wie die Luftfahrt und die Nuklearindustrie, in denen extrem hohe Anforderungen an die Kugelform und Reinheit des Pulvers gestellt werden.

3.3 Technologie zur Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver durch Gaszerstäubung

Bei der Gaszerstäubung handelt es sich um eine Methode, bei der mit Hochgeschwindigkeitsgasen (wie Stickstoff oder Argon) geschmolzenes Metall in feine Tröpfchen zerstäubt wird, die dann während des Flugs abgekühlt und zu kugelförmigen Partikeln erstarren.

Kernpunkte des Prozesses:

- **Schmelzquelle** : Induktionsofen oder Lichtbogenofen zum Schmelzen der Wolfram-Vorlegierung ;
- **Zerstäubungssystem** : Hochdruckgas strömt durch die Düse und erzeugt eine Scherströmung, die die Metallflüssigkeit in Tröpfchen zerschneidet .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Sphäroidisierungsmechanismus** : Flüssigkeitströpfchen verformen sich aufgrund der Oberflächenspannung auf natürliche Weise zu Kugeln .
- **Kühlungssteuerung** : Das Kühlgasströmungsfeld passt die Erstarrungsrate an, um ein Anhaften oder Brechen zu verhindern .
- **Rückgewinnungssystem** : Nach der Gas-Feststoff - Trennung wird kugelförmiges Pulver zurückgewonnen.

Merkmale:

- Gute Sphärizität, geeignet für die Massenproduktion;
- Hohe Prozesskontinuität und einstellbare Partikelgrößenverteilung;
- Nicht geeignet für reines Wolfram, geeignet für Wolframlegierungen oder vorgemischte Wolframmaterialien.

Da der Schmelzpunkt von Wolfram zu hoch ist (3410 °C), ist eine einfache Gasverdüsung für reines Wolframpulver nicht geeignet. Mit dotiertem, legiertem oder mit niedrigschmelzenden Komponenten beschichtetem Wolframpulver lässt sich jedoch eine effektive Sphäroidisierung erreichen.

3.4 Vakuumtröpfchen-Sphäroidisierungsverfahren für sphärisches Wolframpulver

Die Vakuum-Schmelztropfen-Sphäroidisierung ist ein physikalisches Sphäroidisierungsverfahren, bei dem kleine Wolframpartikel in einem Vakuum oder einer Schutzatmosphäre erhitzt und geschmolzen werden und anschließend auf natürliche Weise zu Kugeln tropfen. Es eignet sich zur Herstellung hochreiner sphärischer Pulver in kleinen Chargen.

Prozessablauf:

- Die pulverförmigen Rohstoffe werden in einen Hochtemperaturtiegel gegeben und geschmolzen;
- Die Schmelze tropft auf eine Kühlunterlage oder eine rotierende Kühlscheibe;
- Während des Tropfens und Fliegens bilden sich auf natürliche Weise Kugeln.
- Nach dem Abkühlen wurde kugelförmiges Pulver gesammelt.

Vorteil:

- Saubere Umgebung, weniger Verunreinigungen;
- Geeignet zur Herstellung von hochreinem Kugelpulver in kleiner Größe;
- Der Geräteaufbau ist relativ einfach.

Einschränkungen:

- Hohe Kosten und geringe Produktionskapazität;
- Nicht für die kontinuierliche Produktion im großen Maßstab geeignet;
- Die Kugelform wird stark von der Fallgeschwindigkeit beeinflusst.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Diese Methode wird häufig in wissenschaftlichen Forschungsinstituten verwendet, um nanoskaliges kugelförmiges Wolframpulver, Verbundbeschichtungen oder medizinische Wolframkugelmateriale zu entwickeln.

3.5 Laserschmelz- und Sphäroidisierungsprozess von sphärischem Wolframpulver

Bei der Laserfusions-Sphäroidisierung handelt es sich um eine neue Technologie, bei der Wolframpulverpartikel mithilfe eines energiereichen Laserstrahls schnell erhitzt werden, sodass sie lokal oder als Ganzes schmelzen. Anschließend wird durch Tropfenkühlung eine Sphäroidisierung erreicht.

Prozessmerkmale:

- Laserscanning ist schnell und energiekonzentriert;
- Es kann eine Mikrobereichs-Sphäroidisierung oder eine selektive Sphäroidisierung erreicht werden.
- Wird normalerweise in Kombination mit Luftfederung und Lichterfassungsplattformen verwendet;
- Die hohe Sphärizität ermöglicht eine präzise Kontrolle der Schmelztiefe.

Dieses Verfahren eignet sich besonders für die Feinrekonstruktion sphärischer Partikel (10–50 μm) und ist für die Pulverreparatur, die erneute Sphäroidisierung und die Herstellung hochwertiger Funktionspulver geeignet.

Mangel:

- Die Ausrüstung ist aufwendig und teuer;
- Begrenzte Pulverhandhabungskapazität;
- Hohe Anforderungen an die Pulveraufnahmefähigkeit.

Derzeit befindet sich die Lasersphäroidisierung noch in der experimentellen und halbindustriellen Anwendungsphase und verfügt über großes Potenzial im Bereich der intelligenten Pulverreparatur und der Mehrschichtsphäroidisierung in der Zukunft.

Andere Herstellungstechnologien und vergleichende Analyse von sphärischem Wolframpulver

Zusätzlich zu den oben genannten Mainstream-Prozessen gibt es auch einige Hilfs- oder Verbundherstellungstechnologien:

Technische Route	Vorteil	Mangel	Anwendung
Flammenstrahl-Sphäroidisierung	Einfacher Prozess und geringe Kosten	Schlechte Sphärizität und hoher Sauerstoffgehalt	Füllmaterial mit geringer Dichte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bogensphäroidisierung	Energiekonzentration, gute Sphärizität	Geringe Pulverausbeute und hohe Hohlrate	Legierungspulver in kleinen Mengen
Verbundspähröidisierung (Laser + Luftstrom)	Starke Steuerbarkeit, geeignet für High-End-Präzisionsprodukte	Komplexe Prozesse und schwieriges Debugging der Geräte	Medizinische Implantate, nuklearreaktionsbeschichtete Partikel

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

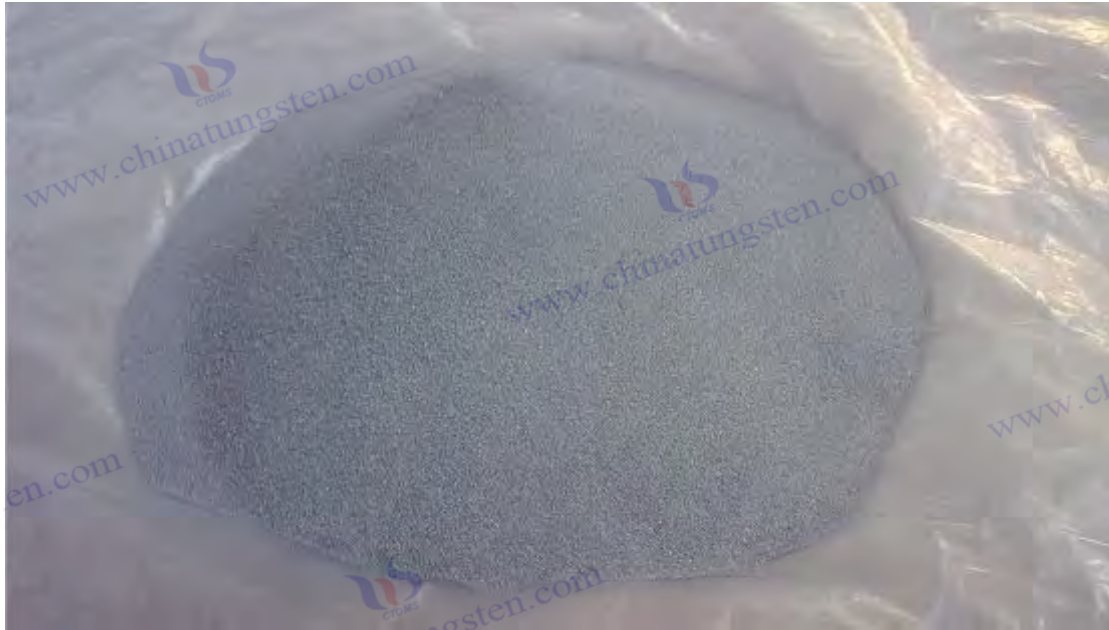
Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.com/>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 4 Physikalische und chemische Eigenschaften von kugelförmigem Wolframpulver

Die Leistung von sphärischem Wolframpulver wird nicht nur durch den Herstellungsprozess beeinflusst, sondern spiegelt sich auch direkt in seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften wie Mikrostruktur, Partikelgrößeneigenschaften, Verunreinigungsgehalt, thermochemischer Stabilität usw. wider. In diesem Kapitel werden die wichtigsten physikalischen und chemischen Eigenschaften von sphärischem Wolframpulver und seine Bedeutung für praktische Anwendungen systematisch erläutert.

4.1 Mikrostruktur und Kristallmorphologie von sphärischem Wolframpulver

Sphärisches Wolframpulver ist normalerweise ein hochsphärisches Einkristall- oder polykristallines Partikel und weist in der Mikrostruktur die folgenden Eigenschaften auf:

- **Kristallstruktur** : Wolfram hat eine kubisch-raumzentrierte (BCC) Struktur, Raumgruppe Im-3m und eine Gitterkonstante von ungefähr 0,3165 nm ;
- **Partikelmorphologie** : Kugelförmiges Pulver , hergestellt durch Plasma- oder Zerstäubungsverfahren, rundes Aussehen, glatte Oberfläche, keine sichtbaren Kanten oder Grate;
- **Korngröße** : üblicherweise im Bereich von 0,5–5 μm , die durch Wärmebehandlung eingestellt werden kann ;
- **Innere Struktur** : Bei der Hochenergie-Sphäroidisierung können Hohlkerne oder Hohldefekte auftreten, die durch SEM-Beobachtung und Verteilungskontrolle optimiert werden müssen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mithilfe von Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) können die morphologische Konsistenz und Kristalldefekte von kugelförmigem Wolframpulver intuitiv bewertet werden, was zur Bestimmung seines Formungsverhaltens und seiner Sinterreaktionsfähigkeit beiträgt.

4.2 Partikelgrößenverteilung und Sphärizitätsbewertung von sphärischem Wolframpulver

Partikelgrößenverteilung (PSD):

Die Partikelgrößenverteilung beeinflusst direkt die Fließfähigkeit, die Verdichtungsdichte und die Anwendungseignung von sphärischem Pulver. Zu den gängigen Indikatoren gehören:

- **D10/D50/D 90** : stellen die 10 %-, 50 %- und 90 %-Partikelgrößen in der kumulativen Verteilung dar;
- **Spanne** = $(D90 - D10) / D50$, wird zur Messung der Gleichmäßigkeit der Verteilung verwendet;
- Empfohlener Bereich: **D50** für 3D-Druckpulver beträgt normalerweise 15–45 μm , und **D50** für Spritzgusspulver beträgt 5–20 μm .

PSD-Tests werden normalerweise mit einem Laser-Partikelgrößenanalysator, einem Siebverfahren oder einem bildgebenden Verfahren durchgeführt.

Sphärizität:

Die Sphärizität bestimmt die Steuerbarkeit und Kompaktheit des Pulvers während des Formgebungsprozesses und wird üblicherweise charakterisiert durch:

- **Geometrische Sphärizität** : Das äquivalente Kreisflächenverhältnis wurde mittels Bildanalyse ermittelt;
- **Kugelförmige Strömung** : indirekt reflektiert durch Hall-Geschwindigkeit und Schüttwinkel;
- **Quantitativer Standard** : Ein Sphärizitätswert $\geq 0,90$ gilt als qualifiziert, und $\geq 0,95$ ist hochwertiges Kugelpulver.

Zu den Methoden zur Sphärizitätserkennung gehören hochauflösende SEM-Bildanalyse, automatische Bilderkennungssysteme und ein 3D-Laserprofilometer.

4.3 Schüttdichte und Stampfdichte von kugelförmigem Wolframpulver

Scheinbare Dichte:

Bezieht sich auf die Masse des kugelförmigen Wolframpulvers pro Volumeneinheit im natürlich fallenden Zustand. Sie spiegelt die Kompaktheit der Pulveransammlung wider und beeinflusst die Formfüllung und die Dichtsinterleistung.

- Gängige Prüfverfahren: ISO 3923/1 (Metallpulver-Standardtrichterverfahren);
- Typischer Bereich: 5,5–8,5 g/cm^3 , variiert je nach Partikelgröße und Morphologie.

Klopfedichte:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bezeichnet die maximale Füllichte, die das Pulver nach der Verdichtung durch mechanische Vibration oder Klopfen erreicht.

- Spiegelt die Pulverkompressibilität und die Koordinationseffizienz zwischen Partikeln wider;
- Das Verhältnis der Schüttdichte zur Pulverdichte wird als Hausner-Zahl bezeichnet. Eine Hausner-Zahl von $<1,25$ weist auf ein Pulver mit ausgezeichneter Fließfähigkeit hin.

Durch den Vergleich der beiden Dichteangaben lässt sich die Obergrenze der Dichte des Pulvers nach dem Sintern vorhersagen, was eine wichtige Grundlage für die Auslegung des Umformungsprozesses darstellt.

4.4 Sauerstoffgehalt und Verunreinigungskontrolle von sphärischem Wolframpulver

Sphärisches Wolframpulver neigt während der Sphäroidisierung, Hochtemperaturbehandlung, Sortierung, Lagerung und des Transports zur Einführung von Verunreinigungen, insbesondere von Elementen wie Sauerstoff, Kohlenstoff, Eisen und Natrium, die streng kontrolliert werden müssen.

- **Sauerstoffgehalt** : kontrolliert auf 0,15–0,3 % (Massenanteil). Eine Überschreitung dieses Grenzwertes führt nach dem Sintern zu Poren, Sprödrissen usw. ;
- **Kohlenstoff- und Stickstoffverunreinigungen** : haben einen großen Einfluss auf die elektrische und thermische Leitfähigkeit und müssen auf ≤ 100 ppm kontrolliert werden;
- **Metallverunreinigungen (Fe, Si, Ca)** : Die Gesamtmenge muss im Allgemeinen ≤ 200 ppm betragen, und hochreine Produkte können unter 50 ppm kontrolliert werden.

Gängige Nachweismethoden:

- Sauerstoffgehalt: LECO-Infrarotmethode;
- Metallverunreinigungen: ICP-MS, ICP-OES;
- Anorganische Anionen und Kationen: Ionenchromatographie-Analyse.

Der Grad der Verunreinigungskontrolle bestimmt, ob sphärisches Wolframpulver für Hochleistungsanwendungen wie Halbleiterverpackungen, nukleare Abschirmgeräte usw. geeignet ist.

4.5 Thermische Stabilität und Schmelzpunktverhalten von sphärischem Wolframpulver

Wolfram hat einen extrem hohen Schmelzpunkt (3410°C) und eine ausgezeichnete thermische Stabilität. Sphärisches Wolframpulver weist diese thermodynamischen Vorteile auf und weist folgende Merkmale auf:

- **Hochtemperatur-Nichtoxidation** : kann stabil bis 2600°C in einer inerten Atmosphäre verwendet werden;
- **Kleiner Wärmeausdehnungskoeffizient** : nur $4,5 \times 10^{-6}/\text{K}$, was der Dimensionsstabilität von Hochtemperaturteilen förderlich ist;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Keine signifikante Kristallumwandlung** : BCC-Gitterstruktur und stabile Leistung bleiben erhalten;
- **Hohe Wärmeleitfähigkeit: Die Wärmeleitfähigkeit ist** von Raumtemperatur bis 1000 °C stabil bei 150–170 W/ m·K .

Das Schmelzpunktverhalten kann durch Differenzial-Scanning-Kalorimetrie (DSC), thermogravimetrische Analyse (TGA) und Hochtemperatur- Mikrosinterexperimente charakterisiert werden , um die Sinteraktivität und den thermischen Reaktionstrend des Pulvers aufzudecken.

4.6 Chemische Stabilität und Oberflächenreaktivität von sphärischem Wolframpulver

Wolframpulver ist bei Raumtemperatur gegenüber den meisten Gasen und Lösungen stabil, seine Oberflächenaktivität wird jedoch durch die Partikelgröße und die Herstellungsumgebung beeinflusst:

- **Chemische Stabilität :**
 - o Beständig gegen Säure- und Alkalikorrosion bei normaler Temperatur und normalem Druck;
 - o Es reagiert leicht mit starken Oxidationsmitteln (wie HNO₃ und Chlor);
 - o WO₃ bei hoher Temperatur.
- **Oberflächenreaktivität :**
 - o Kugelpulver mit kleiner Partikelgröße (<10 μm) weist eine hohe Oberflächenaktivität auf ;
 - o Die Dicke der Oberflächenoxidschicht beeinflusst die nachfolgenden Sinter- und Legierungsprozesse.
 - o kann durch H₂-Gasreduktion oder Vakuumglühen reduziert werden.

Oberflächenfunktionelle Gruppen und Oxidstrukturen können mittels XPS (Röntgen-Photoelektronenspektroskopie), FTIR (Infrarotspektroskopie) usw. analysiert werden, um die Oberflächenregulierung oder Beschichtungsmodifizierung zu unterstützen.

4.7 Spezifische Oberfläche und Porenstruktur von kugelförmigem Wolframpulver

Die spezifische Oberfläche ist ein wichtiger Indikator zur Messung der Mikrostrukturaktivität von kugelförmigem Wolframpulver:

- **Herkömmlicher Oberflächenbereich** : 0,1–1,5 m²/g;
- **Testmethode** : BET - Stickstoffadsorptionsmethode;
- Je kleiner die Partikelgröße, desto größer die spezifische Oberfläche und desto höher die Reaktionsaktivität.

Die Porenstruktur ist normalerweise nicht signifikant, aber wenn der Sphäroidisierungsprozess nicht richtig kontrolliert wird, kann es zu Folgendem kommen:

- Hohlkügelchen (Hohlstruktur);
- Mikrorisse in der Schmelzkruste (Austritt von Oberflächengas);

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Unvollständiger Sinterhals (mikroporöse Struktur).

durch Elektronenmikroskopie und Quecksilberporosimetrie quantitativ charakterisiert werden .

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

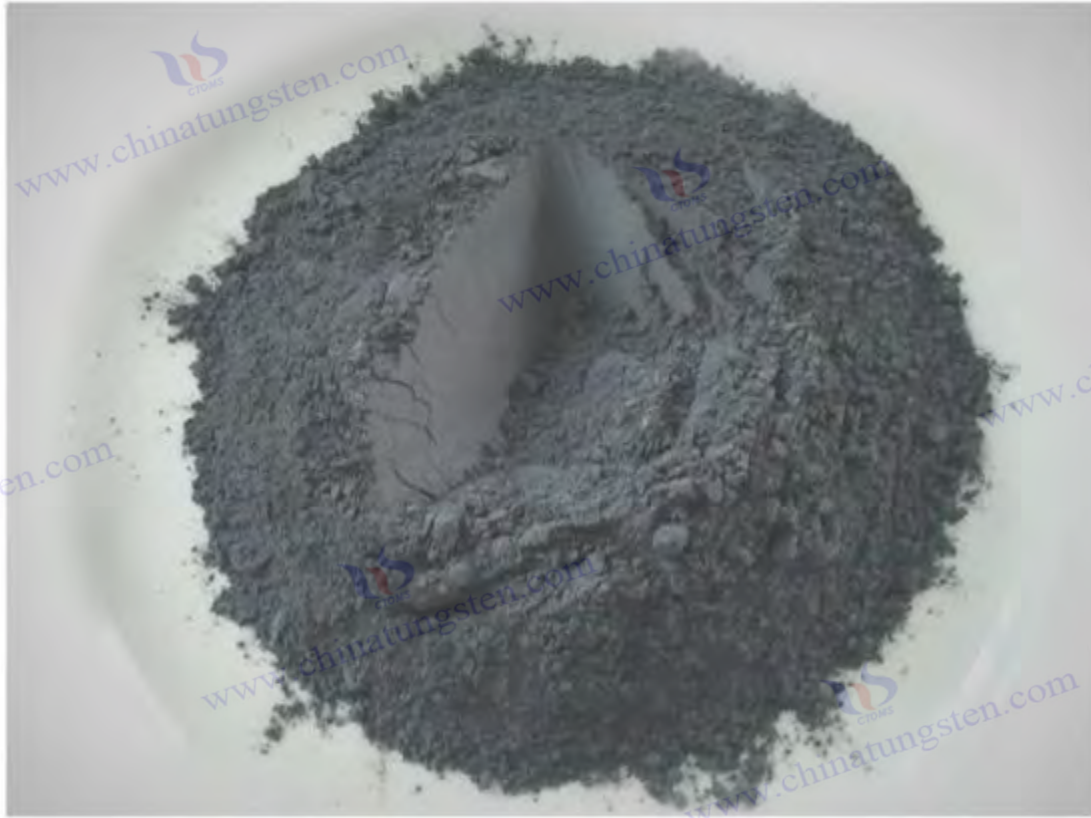
Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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 5 Leistungsprüfung und Qualitätsbewertung von sphärischem Wolframpulver

Um die Zuverlässigkeit und Konsistenz von sphärischem Wolframpulver in Anwendungen wie der additiven Fertigung, der Pulvermetallurgie und der High-End-Elektronik sicherzustellen, muss seine Leistung systematisch geprüft und umfassend bewertet werden. Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Prüftechnologie und Bewertungsstandards für sphärisches Wolframpulver hinsichtlich Partikelgröße, Morphologie, Zusammensetzung, thermischer Stabilität, Fließfähigkeit und Qualitätskontrolle.

5.1 Methode zur Partikelgrößenanalyse von kugelförmigem Wolframpulver

Die Partikelgrößenverteilung ist ein Schlüsselparameter, der die Anwendungsleistung von kugelförmigem Wolframpulver bestimmt und sich direkt auf dessen Fülleigenschaften, Stapeldichte und Genauigkeit der Druckschichtdicke auswirkt.

Gängige Methoden zur Partikelgrößenanalyse:

- **Laserbeugung :**
 - o Schnell, automatisiert und für den Bereich von 1–100 μm geeignet;
 - o Geben Sie statistische Partikelgrößen wie D10, D50, D90 usw. aus, um die Gleichmäßigkeit der Verteilung zu bewerten.
- **Siebmethode :**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o Mechanische Klassifizierung von Pulvern mit Standard-Metallsieben;
- o Wird häufig für grobes Pulver ($> 45 \mu\text{m}$) und Tests zur Standardpartikelgrößenverteilung verwendet.
- o Kann zur Verbesserung der Wiederholbarkeit mit einem Siebschüttler kombiniert werden.

- **Bildanalyse :**

- o Zählen Sie Partikelgrößen mithilfe hochauflösender Bildverarbeitungstechniken;
- o Es kann morphologische Informationen kombinieren, um mehrdimensionale Daten wie Partikelgrößenverteilung und Sphärizität zu erhalten.

In der industriellen Produktion wird die Partikelgrößenanalyse häufig als Kernelement der werkseitigen Qualitätsprüfung verwendet und es wird eine entsprechende Beziehung zu spezifischen Anwendungen hergestellt (z. B. zur Schichtdicke beim SLM-Druck).

5.2 Sphärizitätsprüfung und Bewertungstechnologie von sphärischem Wolframpulver

Die Sphärizität ist ein zentraler Indikator zur Messung der Pulverformungsfließfähigkeit und der Pulververteilungsleistung. Eine hohe Sphärizität kann die Füllkonsistenz beim Laserdruck und Spritzgießen deutlich verbessern.

Nachweismethode:

- **Bildgebungsverfahren (Optische/REM-basierte Bildanalyse) :**
 - o Analysieren Sie Pulverquerschnitte oder Oberflächenbilder;
 - o Die Sphärizität ist definiert als das Verhältnis der äquivalenten Kreisdurchmesser ($S = 4\pi A/P^2$) bzw. das Achsenverhältnis.
- **Automatisches Identifikationssystem :**
 - o von Partikeln mithilfe von KI -Algorithmen;
 - o Statistische Sphärizitätsverteilungskurve.
- **3D- Profilometer :**
 - o Geeignet für die hochpräzise Überprüfung der Sphärizität;
 - o Die Rundheit und Konkavität der Partikel kann erkannt werden.

Bewertungskriterien:

- **Sphärizität $\geq 0,95$:** hochwertiges Druckpulver;
- **Sphärizität $\geq 0,90$:** Qualifikationsstandard für industrielle Anwendungen;
- **Sphärizität $< 0,85$:** Siebung oder erneute Sphäroidisierung erforderlich.

5.3 Beobachtung der Oberflächenmorphologie von kugelförmigem Wolframpulver (SEM, AFM)

Die Mikrostruktur bestimmt das Sinterhalswachstum, die Laserabsorption und das Legierungsreaktionsverhalten von sphärischem Pulver.

Mainstream-Beobachtungstechnologie:

- **Rasterelektronenmikroskopie (REM) :**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o Beobachten Sie das Aussehen, die Verbindung der Partikel, die Hohlstruktur usw. der Partikel.
 - o Es kann mit EDS-Analyse verwendet werden, um lokale Komponenten zu erkennen.
 - **Rasterkraftmikroskopie (AFM) :**
 - o Wird zur Messung von Partikeln im Nanomaßstab oder zur Messung der Oberflächenrauheit verwendet;
 - o Dreidimensionale Morphologierekonstruktion mit einer Genauigkeit von 0,1 nm.
 - **Röntgentomographie (XCT) :**
 - o Es können zerstörungsfreie Prüfungen der inneren Struktur durchgeführt werden.
 - o Es eignet sich besser zum Erkennen von Hohlkugeln und eingeschlossenen Poren.
- Glatte Oberfläche, dichte Struktur und keine offensichtlichen Defekte sind die wichtigen morphologischen Eigenschaften von hochwertigem kugelförmigem Wolframpulver.

5.4 Zusammensetzung und Verunreinigungsanalyse von sphärischem Wolframpulver (XRF, ICP-MS)

Die Elementzusammensetzung beeinflusst die Reinheit, Leitfähigkeit, Korrosionsbeständigkeit und andere Eigenschaften von Wolframpulver. Ein zu hoher Verunreinigungsgehalt führt zu instabiler Druckqualität oder Formfehlern.

Nachweismethode:

- **Röntgenfluoreszenzspektroskopie (XRF) :**
 - o Zerstörungsfreie Prüfung wichtiger Metallelemente;
 - o Schnell und für die großvolumige Siebung geeignet.
- **Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) :**
 - o Nachweis metallischer und nichtmetallischer Spurenverunreinigungen (ppb–ppm-Bereich);
 - o Für die vollständige Elementprüfung hochreiner Pulver.
- **Ionenchromatographie (IC) :**
 - o Nachweis von gelösten Restionen wie Na^+ und Cl^- ;
 - o Wird häufig verwendet, um die Sauberkeit nach der Oberflächenvorbereitung zu beurteilen.
- **LECO-Analysator :**
 - o Der quantitativen Analyse von vier leichten Elementen gewidmet: Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff und Schwefel.

Alle Testdaten sollten den Produktstandards (wie GB/T 26044, ASTM B214) entsprechen, um sicherzustellen, dass die Zuverlässigkeitsanforderungen der Terminal-Nutzungsszenarien erfüllt werden.

5.5 Prüfung der thermischen Eigenschaften von kugelförmigem Wolframpulver (DSC, TGA)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die thermischen Eigenschaften von Wolframpulver unter Hochtemperatur-Betriebsbedingungen hängen mit dem Temperaturkontrollschema des Komponentenformungsprozesses und der Vorhersage des Sinterverhaltens zusammen.

Testmethode für die thermische Leistung:

- **Differenz-Scanning-Kalorimetrie (DSC) :**
 - o Messen Sie die Wärmekapazität und Schmelzpunktänderungen.
 - o Wird zur Bewertung der Schmelztemperatur und der Phasenänderungseigenschaften verwendet.
- **Thermogravimetrische Analyse (TGA) :**
 - o Überwachen Sie Massenänderungen während des Erhitzens.
 - o Erkennen Sie Oxidations-, Desorptions- und Verflüchtigungsverhalten.
- **Simultane Thermoanalyse (STA) :**
 - o Erfassen Sie gleichzeitig DSC- und TGA-Daten.
 - o Besonders effektiv bei Mehrkomponenten- oder Verbundpulvern.

Die Ergebnisse der Thermoanalyse sind von entscheidender Bedeutung für die Einstellung von Prozessparametern wie Glüh Temperatur, Sinterschutzatmosphäre und Abkühlrate.

5.6 Prüfnormen für Fluidität und Dichte von sphärischem Wolframpulver

Die Fließfähigkeit und Dichte des Pulvers bestimmen, ob es sich bei Verfahren wie 3D-Druck und Spritzguss gut verteilen, verdichten und dicht formen lässt.

Liquiditätstest:

- **Hall-Durchflussrate (ISO 4490):**
 - o Die Zeit, die 50 g Pulver benötigen, um durch eine Standardöffnung zu fließen (Einheit: s/50 g);
 - o Es wird allgemein angenommen, dass Pulver mit einem Gehalt von weniger als 20 s/50 g von hoher Qualität ist.
- **Schüttwinkel :**
 - o Der maximale Winkel, der durch die natürliche Ansammlung von Pulver entsteht;
 - o Je kleiner der Wert, desto leichter fließt es, optimal sind <35°.

Dichteprüfung:

- **Scheinbare Dichte :**
 - o Die Masse pro Volumeneinheit des Pulvers im Zustand des natürlichen Fallens;
- **Klopfdichte :**
 - o Pulver nach der Verdichtung;
- **Hausner-Zahl = Stampfdichte / Schüttdichte :**
 - o Spiegelt die Verdichtung wider und sollte normalerweise zwischen 1,0 und 1,25 liegen.

Diese Indikatoren helfen dabei, die Zufuhrstabilität und die Gleichmäßigkeit der Formgebung von kugelförmigem Wolframpulver in der Anlage zu bestimmen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.7 Produktkonsistenz und Qualitätskontrollstandards für sphärisches Wolframpulver

Eine stabile Konsistenz ist der Schlüssel zur Sicherstellung der Qualität und Wiederholbarkeit der Leistung von kugelförmigem Wolframpulver Charge für Charge.

Elemente der Qualitätskontrolle:

- **Konstanz der Partikelgröße der Charge** : D50-Abweichung $< \pm 2 \mu m$;
- **Standardabweichung der Sphärizität** : $< 0,03$;
- **Schwankungsbereich des Sauerstoffgehalts** : $\pm 0,02 \%$;
- **Durchflussdifferenzregelung** : $< 5 s / 50 g$;
- **Kontrolldiagramm für Verunreinigungen wichtiger Elemente** : Trendanalyse auf ppm-Niveau wie Na, Fe, Cl usw.

Umsetzungsstandards:

- Nationale Normen: GB/T 26044 „Metallisches Wolframpulver“, GB/T 21839 usw.
- Internationale Normen: ASTM B243, ISO 4499-2, ISO 3923 usw.
- Interne Kontrollstandards des Unternehmens (wie z. B. exklusive Spezifikationen für 99,95 % hochreines sphärisches Wolframpulver) .

Der Einsatz digitaler Tools wie SPC (statistische Prozesskontrolle), MQC (Manufacturing Quality Control) und MES-Systeme zur Erzielung von Qualitätsrückverfolgbarkeit und Echtzeit-Feedback ist für High-End-Pulverunternehmen zu einer wichtigen Managementmethode geworden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

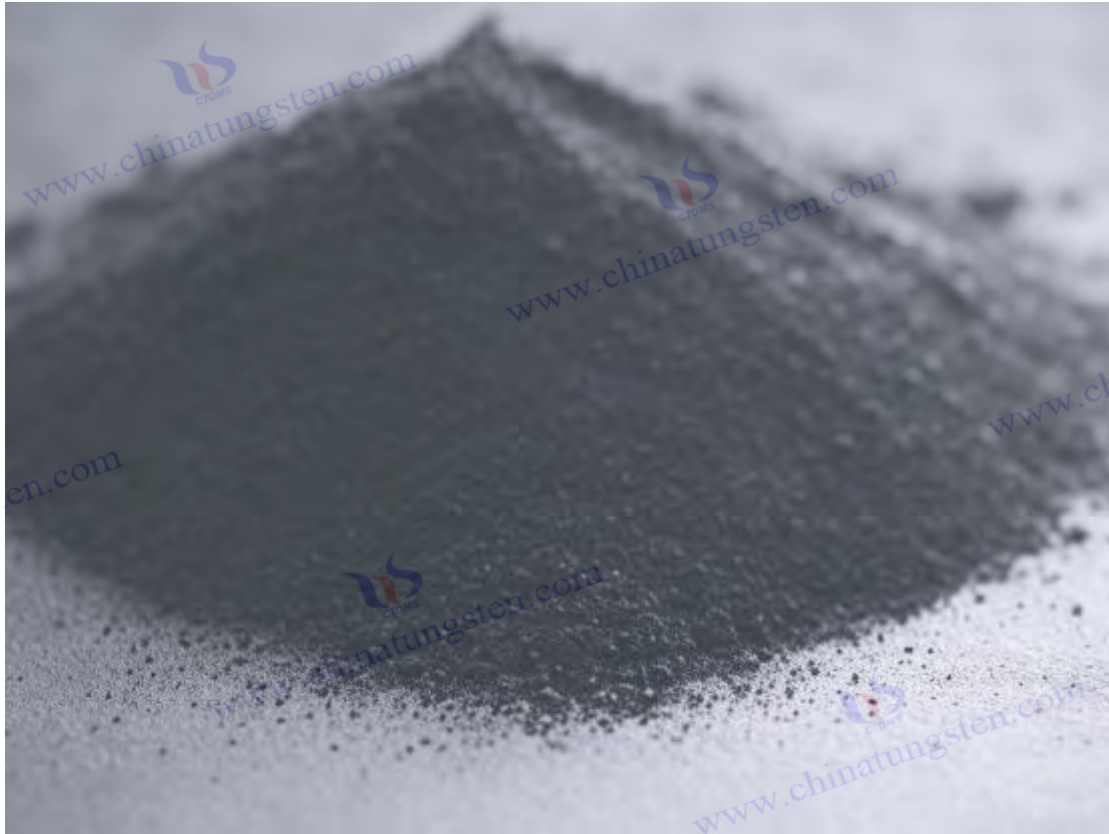
Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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 6 Anwendungsgebiete von sphärischem Wolframpulver

Sphärisches Wolframpulver hat sich aufgrund seiner hervorragenden physikalischen Eigenschaften (hoher Schmelzpunkt, hohe Dichte, gute Wärmeleitfähigkeit) und geometrischen Merkmale (hohe Sphärizität, ausgezeichnete Fließfähigkeit und kontrollierbare Partikelgröße) in vielen anspruchsvollen Bereichen zu einem unverzichtbaren Metallpulvermaterial entwickelt. In diesem Kapitel werden die spezifischen Anwendungen, technischen Anforderungen und Entwicklungstrends von sphärischem Wolframpulver in der Luft- und Raumfahrt, im 3D-Druck, in der Rüstungsindustrie, in der Kernenergie, in der Mikroelektronik, in Hochtemperaturstrukturen, in elektrischen Vakuumgeräten und als Targetmaterialien eingehend analysiert.

6.1 Anwendung von kugelförmigem Wolframpulver in der Luft- und Raumfahrt

In der Luft- und Raumfahrttechnik müssen Materialien eine hohe Temperaturbeständigkeit, Strahlungsbeständigkeit und strukturelle Festigkeit aufweisen. Der hohe Schmelzpunkt (3410 °C) und die hohe Dichte (19,3 g/cm³) machen Wolfram zu einem bevorzugten Material für Hot-End-Komponenten von Düsentriebwerken, Abschirmplatten für Raumfahrzeuge und Schlüsselkomponenten von Antriebssystemen.

Aus sphärischem Wolframpulver können folgende Teile hergestellt werden:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Schutzbeschichtung für Turbinenschaufeln und heißes Ende (durch Plasmaspritzen oder CVD gebildet);
- Auskleidung der Kühlkomponenten zur Verbesserung der Wärmeaustauscheffizienz;
- Hochtemperaturlegierung auf Wolframbasis als Verbundverstärkung;
- Gegengewichte und Strukturteile des Weltraumleitsystems und Trägheitssystems.

Seine gute Fließfähigkeit und hohe Dichte tragen dazu bei, die Genauigkeit der Teileformung und die Lebensdauer bei thermischer Ermüdung zu verbessern und sich an thermische Zyklen und mechanische Stoßbelastungen während Langzeitflügen anzupassen.

Anwendung von sphärischem Wolframpulver im 3D-Druck (Metall- Additive -Fertigung)

Metalle wie selektives Laserschmelzen (SLM) und Elektronenstrahlschmelzen (EBM). Sie eignen sich besonders für den Druck komplexer Strukturen, lokaler Verstärkungen und hochdichter Teile.

Typische Anwendungen sind:

- Hochtemperatur-Strömungsführungsteile im inneren Hohlraum von Flugzeugtriebwerken;
- Medizinische Abschirmgeräte (wie z. B. Gamma Knife-Zubehör);
- Kernenergie-Implantatstrukturen und kleine Kühleinheiten;
- Hochleistungs-Wärmetauschermodul.

Technische Voraussetzungen:

- Sphärizität $\geq 0,95$;
- Die D50-Partikelgröße wird auf 15–45 μm kontrolliert ;
- Fließfähigkeit $<20\text{ s}/50\text{g}$, Schüttwinkel $<35^\circ$;
- Sauerstoffgehalt $\leq 0,2\%$.

Nach dem Drucken kann die Dichte der Teile über 98 % erreichen und die Wärmeleitfähigkeit liegt über $150\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$, was die dominierende Stellung von kugelförmigem Wolframpulver bei hochwertigen Druckmaterialien zeigt.

6.3 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in militärischen Hochleistungsmaterialien

In der Rüstungsindustrie wird Wolfram aufgrund seiner hohen kinetischen Energiedichte und starken Durchschlagskraft häufig zur Herstellung panzerbrechender Sprengköpfe, panzerbrechender Kerne, kinetischer Munition und kugelsicherer Ausrüstung verwendet.

Sphärisches Wolframpulver hat folgende militärische Vorteile:

- Leicht zu formen und Hochgeschwindigkeits-Spritzguss;
- Aufrechterhaltung der Integrität der Morphologie unter Aufprallbelastungen und Verbesserung der Effizienz der terminalen kinetischen Energieübertragung;
- gezielte Zerstörungskraft durch Sphäroidisierung;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Es kann mit Verbundwerkstoffen auf Polymerbasis zu hochfesten Schutzplatten kombiniert werden.

Darüber hinaus ist sphärisches Wolframpulver aufgrund seiner hohen Dichte und einfachen Verarbeitbarkeit für den Einsatz in Präzisionsstützstrukturen wie Gegengewichten von Feuerleitsystemen und Komponenten zur Trägheitseinstellung von Waffensystemen geeignet.

6.4 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in der Nuklearindustrie und in Schutzmaterialien

Wolfram weist eine hervorragende Beständigkeit gegen Neutronenstrahlung und Hochtemperaturkorrosion auf und wird häufig in Kernreaktoren, experimentellen Geräten für die Hochenergiephysik und Strahlenschutzsystemen verwendet.

Zu den wichtigsten Anwendungen gehören:

- **Beschichtung von Kernreaktoren** : Sphärisches Wolframpulver kann für CVD-Beschichtungen auf Wolframbasis verwendet werden.
- **Material der Kopfwand des Fusionsreaktors** : Bau einer Kühlstruktur mit hohem Wärmefluss in Form einer W/Cu-Verbundplatte;
- **Gammastrahlen-/Neutronenabschirmblock** : hergestellt durch Spritzgießen von kugelförmigem Wolframpulver und Polymerverbundstoff;
- **Abschirmbehälter für Atommüll** : Hohe Anforderungen an die Formdichte, Sphärizität $\geq 0,96$.

Bei diesen Anwendungen kann sphärisches Wolframpulver durch seine hohe Dichte und geringe Porosität die Abschirmeffizienz und thermische Struktursicherheit gewährleisten und ist das bevorzugte Metallpulver für Schutzmaterialien in Nuklearqualität.

6.5 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in der Mikroelektronik und Halbleiterverpackung

Mit der Miniaturisierung und Hochfrequenz elektronischer Komponenten spielen Materialien auf Wolframbasis eine immer wichtigere Rolle bei der Verpackung mikroelektronischer Komponenten. Sphärisches Wolframpulver wird hauptsächlich in folgenden Bereichen eingesetzt:

- **Kühlkörpermaterial (W/Cu-Verbundpulver)** : leitet die Chip-Wärme effektiv ab;
- **Lötpaste/Wärmeleitpad-Pulverfüller** : Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit und der mechanischen Festigkeit;
- **Leitfähiger Füllstoff** : wird in duroplastischen Vergussmassen und Verbundelektroden verwendet;
- **High-End-Gehäuse- Leitersubstrat** : hergestellt durch CVD oder Pulverspritzguss.

Die hohe Dichte und gute Fließfähigkeit von kugelförmigem Wolframpulver ermöglichen eine hervorragende Prozesskonsistenz und Schnittstellenstabilität beim automatisierten Dosieren und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sintern beim Reflow-Prozess. Darüber hinaus ist es die Kernkomponente von Verpackungsmaterialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit in der Mikroelektronik.

6.6 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in Hochtemperatur-Strukturwerkstoffen

In extremen Umgebungen wie der Metallurgie, der Glasherstellung und dem Sintern von Siliziumkarbid wird Wolfram aufgrund seines hohen Schmelzpunkts und seiner thermischen Festigkeit häufig zur Herstellung von Hochtemperatur-Strukturteilen verwendet.

Sphärisches Wolframpulver kann verwendet werden für:

- Thermisches Feldgerät (Wolframschraube, Thermohülse);
- Vakuumsintervorrichtung;
- Große Bauteile durch isostatisches Pressen;
- Hochtemperaturbelastete Teile aus W-Ni-Fe-Legierung.

Durch das isostatische Pressen von Kugelpulver und das heißisostatische Presssintervorverfahren (HIP) können große Strukturteile mit einer Dichte von $> 99,5\%$, gleichmäßiger Körnung und starker Rissunterdrückungsfähigkeit hergestellt werden, die für den Einsatz unter langfristigen Hochlastbedingungen geeignet sind.

6.7 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in Vakuumgeräten und Elektrodenmaterialien

Wolfram ist das Kernmaterial für die Herstellung elektrischer Vakuumgeräte (wie Elektronenkanonen, Ionenquellen) und Elektrodenmaterialien (wie Zündnadeln, Schweißstäbe). Sphärisches Wolframpulver bietet folgende Vorteile:

- Leicht zu pressen und zu formen, geeignet für Mikrokathodenteile;
- Eine glatte Oberfläche verbessert die Gleichmäßigkeit der Entladung und die Energiestabilität.
- Die kugelförmige Struktur kann den Porenanteil verringern und die Ausgasungsrate sowie die thermionische Emissionsleistung verbessern.
- Es kann als Legierungsmatrixpulver für W-Re-, W-La- und andere Legierungselektroden verwendet werden.

Bei Verwendung in einer Vakuumumgebung weist der Sinterkörper aus kugelförmigem Wolframpulver eine geringere Elektronenaustrittsarbeit, eine höhere Ablationsbeständigkeit und eine längere Lebensdauer elektronischer Komponenten auf.

6.8 Anwendung von sphärischem Wolframpulver in funktionellen Verbundwerkstoffen und Targetmaterialien

Wolframpulver wird als Schwermetall-Funktionsfüllstoff häufig in hochdichten, strahlungs- und hitzebeständigen Verbundwerkstoffen eingesetzt. Es ist zudem ein wichtiger Vorläufer für eine Vielzahl hochwertiger Dünnschichtmaterialien.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungen funktioneller Verbundwerkstoffe:

- W-Polymer-Verbundwerkstoff, kugelsicheres Material;
- Hochfrequenzabsorbierende Materialien;
- Hochdichte dämpfende Strukturteile;
- Medizinische Strahlenschutz-Verbundplatten.

Zielrichtung:

- Elektronenstrahlverdampfungstarget;
- W-Target für Magnetronspattern;
- W-Si-, WN-, WC-Mehrkomponenten-Co- Sputtertargets.

Sphärisches Wolframpulver bietet aufgrund seiner hohen Reinheit, sphärischen Struktur und kontrollierbaren Partikelgröße erhebliche Vorteile bei der Targetverdichtung, Oberflächengleichmäßigkeit und Abscheidungsratenkontrolle. Es ist ein unersetzlicher Schlüsselpulverrohstoff im Bereich der multifunktionalen Verbundwerkstoffe.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.com/>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Kapitel 7 Forschungsfortschritt von sphärischem Wolframpulver in der additiven Fertigung

Mit der rasanten Entwicklung der additiven Fertigungstechnologie (AM) wird sphärisches Wolframpulver, ein Metallpulvermaterial mit ultrahohem Schmelzpunkt und hoher Dichte, zunehmend im Bereich des 3D-Metalldrucks eingesetzt. Die Forschung zur Prozessanpassung, zum Druckprozessverhalten und zur Formstruktur von sphärischem Wolframpulver ist zu einem wichtigen Thema in der Materialwissenschaft und Fertigungstechnik geworden. In diesem Kapitel werden der Anwendungsstatus und die neuesten Fortschritte bei SLM, EBM, DED und anderen Verfahren systematisch analysiert.

7.1 Sphärisches Wolframpulver eignet sich für die additive Fertigungstechnologie: SLM, EBM, DED usw.

Verschiedene additive Fertigungsverfahren für Metalle stellen unterschiedliche Anforderungen an die Pulvereigenschaften. Sphärisches Wolframpulver eignet sich hauptsächlich für folgende Verfahren:

SLM (Selektives Laserschmelzen)

- Selektives Schmelzen von Pulver mittels eines Hochleistungslaserstrahls;
- Die Pulverpartikelgröße muss 15–45 μm betragen und die Sphärizität muss $> 0,95$ betragen;
- Die Dichte gedruckter Proben kann über 98 % erreichen, was für feine und komplexe Teile geeignet ist.

EBM (Elektronenstrahlschmelzen)

- Verwendung von Elektronenstrahlen zum Schmelzen von Metallpulver im Vakuum;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Geeignet für Hochtemperatur- und hochschmelzende Metalle wie Wolfram;
- Das Pulver muss eine starke Anti-Agglomerationsfähigkeit und eine hohe Absorptionsrate aufweisen.

DED (gerichtete Energieabscheidung)

- Führen Sie der Laser- oder Plasmaenergiequelle kontinuierlich Pulver zur Schmelzabscheidung zu.
- Geeignet für die Reparatur von Wolframteilen oder die gerichtete additive Fertigung großer Komponenten;
- Die Pulverpartikelgröße beträgt üblicherweise 45–150 μm und es werden höhere Anforderungen an die Fließfähigkeit gestellt.

Sphärisches Wolframpulver wurde in SLM- und DED-Prozessen industriell verarbeitet, während sich EBM noch in der experimentellen Forschungsphase befindet.

7.2 Physikalisches Verhalten von sphärischem Wolframpulver beim Laserdruck

Während des Laserdruckprozesses weist sphärisches Wolframpulver eine Reihe einzigartiger physikalischer Verhaltensweisen auf:

- **Laserabsorption** : Wolfram hat eine niedrige Absorptionsrate für die Laserwellenlänge (1064 nm) und erfordert eine Hochleistungslaserunterstützung.
- **Schmelzverhalten des Pulvers** : Aufgrund des hohen Schmelzpunkts und der hohen Wärmeleitfähigkeit kann es leicht zur Bildung von „ungeschmolzenem Pulver“ oder „Randüberlaufpulver“ kommen.
- **Umschmelzphänomen** : Die untere Schicht neigt beim Mehrschichtscannen zum Umschmelzen, was die Klarheit der sich bildenden Grenze beeinträchtigt .
- **Kapillarfluktuation und Verdampfung** : Das lokale Schmelzbad neigt zu Fluktuationen und Mikrostrahlen, was zu Oberflächendefekten führt.
- **Mechanismus der Porenbildung** : Sauerstoff- oder wasserstoffhaltige Pulver geben bei hohen Temperaturen Gase ab, die leicht zur Bildung von Mikroporen führen können.

Studien haben gezeigt, dass die oben genannten Probleme durch die Optimierung von Scanstrategien (wie bidirektionales Scannen und schräges Füllen) und der Pulverpartikelgrößenverteilung wirksam gelindert werden können.

7.3 Fließfähigkeit und Stapel Eigenschaften von sphärischen Wolframpulverbetten

Ein gutes Pulverstreuverhalten ist entscheidend für die Druckqualität. Sphärisches Wolframpulver bietet beim Pulverstreuen folgende Vorteile :

- **Gute Fließfähigkeit** : Die Hall-Flussrate beträgt normalerweise <15 s/50 g;
- **Hohe Stapelgleichmäßigkeit** : Der beste Effekt wird erzielt , wenn die D50-Partikelgröße bei etwa 30 μm gehalten wird .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Hohe Konsistenz der Schichtdicke** : kleiner Schüttwinkel, förderlich für eine gleichmäßige Pulververteilung;
- **Hohe Pulverrecyclingrate** : Bei sphärischem Pulver kommt es beim Recycling zu weniger Leistungseinbußen.

Gängige Nachweismethoden:

- Hall-Durchflussmesser;
- Klopfdichtetest;
- Betteninspektion ;
- DEM (Diskrete-Elemente-Methode) simuliert den Pulverstreuprozess.

Durch die Anpassung der Pulverpartikelgrößenverteilung und des Vibrations-Pulververteilungshilfssystems können die Druckstabilität und die Pulverschichtdichte weiter verbessert werden.

7.4 Analyse der Struktur und Leistung von sphärischen Wolframpulverdruckproben

Sphärische Wolframpulverproben, die mit SLM oder DED gedruckt werden, weisen normalerweise die folgenden organisatorischen Merkmale auf:

- **Mikrostruktur** : hauptsächlich feine Körner + säulenförmige Körner, Abkühlungsrate über 10^6 K/s;
- **Dichte** : 98–99 % unter angemessenen Parametern, Mikroporengehalt <2 %;
- **Kornorientierung** : weist einen offensichtlichen bevorzugten Wachstumstrend in Richtung der Z-Achse auf ;
- **Eigenspannung** : Bei hohen Temperaturgradienten treten Eigenspannungen auf , die durch eine Nachbearbeitung abgebaut werden müssen.

Mechanische Eigenschaften:

Leistungsindikatoren	SLM-geformte Wolframprobe	Isostatisch gepresster Sinterkörper (Vergleich)
Druckfestigkeit	1800–2200 MPa	1000–1300 MPa
Vickershärte	HV 450–600	HV 300–400
Wärmeleitfähigkeit	130–150 W/ m ² K	160–180 W/ m ² K

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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 8 Sicherheit und Umweltschutz von kugelförmigem Wolframpulver

8.1 Lagerungs- und Transportvorschriften für sphärisches Wolframpulver

Als hochdichtes und hochreines Metallpulvermaterial wird sphärisches Wolframpulver häufig in Hightech-Bereichen wie der additiven Fertigung, der Luft- und Raumfahrt und der Militärelektronik eingesetzt. Obwohl es sich nicht um eine gefährliche Chemikalie wie etwa entzündlich, explosiv oder hochgiftig handelt, müssen aufgrund der Besonderheiten seines Pulverzustands, seiner Empfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit und Oxidation sowie seiner hohen Wertschöpfungseigenschaften bei Lagerung und Transport strenge Vorschriften eingehalten werden, um die Produktqualität und -sicherheit zu gewährleisten.

1. Speichieranforderungen

Sphärisches Wolframpulver sollte über einen längeren Zeitraum an einem Ort mit den folgenden Bedingungen gelagert werden:

1. Umgebungsbedingungen

- **Trocken und belüftet** : Die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung sollte bei 40–60 % liegen, um zu verhindern, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt und verklumpt.
- **Bei konstanter Temperatur und lichtgeschützt aufbewahren** : Es wird empfohlen, die Lagertemperatur auf 15–25 °C zu begrenzen und direkte Sonneneinstrahlung sowie hohe Temperaturen zu vermeiden.
- **Antistatisch und antioxidativ** : Es wird empfohlen, ein Lager mit konstanter Temperatur, antistatischem Boden und Luftfiltersystem zu verwenden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Verpackungsspezifikationen

Sphärisches Wolframpulver sollte beim Verlassen des Werks in mehreren Schutzschichten verpackt sein:

- **Innere Schicht** : hoch luftdichter PE- oder PTFE-Plastikbeutel, gefüllt mit Inertgas (z. B. Argon) zur Verpackung;
- **Mittlere Schicht** : Vakuum-Verbundbeutelverpackung aus Aluminiumfolie mit hervorragenden Feuchtigkeits- und Sauerstoffbarriereigenschaften ;
- **Äußere Schicht** : verdickte Kunststofffässer oder runde Metalldosen, ausgestattet mit Schaumstoffpolstermaterialien, um Stoß- und Druckfestigkeit während des Transports zu gewährleisten;
- **Kennzeichnung** : Die Außenverpackung sollte klare Etiketten mit Angaben zum Produktmodell, zur Charge, zum Nettogewicht, zum Produktionsdatum, zu den Lagerbedingungen, zu Vorsichtsmaßnahmen usw. aufweisen.

Für die Massenslagerung wird empfohlen, das kugelförmige Wolframpulver zu klassifizieren und in Zonen einzuteilen sowie es nach Partikelgröße, Zweck und Reinheitsgrad zu nummerieren und aufzuzeichnen, um die Rückverfolgbarkeit zu erleichtern.

2. Transportanforderungen

Obwohl sphärisches Wolframpulver beim nationalen und internationalen Transport nicht als Gefahrgut eingestuft wird, sollte es dennoch gemäß den besonderen Frachtmanagementanforderungen für Präzisionsmetallmaterialien transportiert werden, um eine sichere und vollständige Lieferung zu gewährleisten.

1. Inländische Transportvorschriften

- **Transportmethode** : Es wird empfohlen, spezielle Logistik, Vertragsfracht oder ein Logistikunternehmen eines Drittanbieters mit Erfahrung im Pulvertransport zu nutzen.
- **Anforderungen an das Fahrzeug** : Das Transportmittel muss gut abgedichtet, wasser- und staubdicht sein und Stöße, Kollisionen und Sonneneinstrahlung vermeiden.
- **Schutzmaßnahmen** : Pulverfässer sollten in erdbebensicheren Holzkisten oder Wellpappkartons gelagert werden. Stapeln und heftiges Schütteln sind verboten .
- **Unterstützende Informationen** : Das Produktzertifikat, der Werksinspektionsbericht, das Sicherheitsdatenblatt (MSDS), die Versandliste usw. sollten der Ware beigelegt werden.

2. Internationale Transportvorschriften

- **Zollklassifizierung** : Sphärisches Wolframpulver wird normalerweise als ungefährliches Metallpulver klassifiziert (HS-Code: 81019990) ;
- **Transportkanal** :
 - Lufttransport: Gilt für kleine Chargen von Produkten mit hoher Wertschöpfung und erfordert Deklarationsmaterialien für den Lufttransport.
 - Seefracht: Geeignet für den Massenexport und erfordert eine feuchtigkeitsbeständige, druckfeste und salzsprühgeschützte Verpackung.
- **Erklärung und Zertifizierung** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o Beim Export sollte ein Ursprungszeugnis, eine Rechnung, eine Packliste, eine REACH-Registrierung oder eine RoHS-Erklärung (je nach Anforderungen des Exportziels) beigelegt werden;
- o Handelt es sich im Bestimmungsland um militärische oder nukleare Zwecke, sind eine Zweckbeschreibung und eine Genehmigungsprüfung erforderlich.

3. Vorsichtsmaßnahmen beim Transport

- **Von Feuerquellen und brennbaren Materialien fernhalten** : Vermeiden Sie das Mischen von kugelförmigem Wolframpulver mit Oxidationsmitteln, Säuren und anderen Substanzen.
- **Diebstahl- und Beschädigungsschutz** : Warnhinweise wie „Präzisionsmetallpulver“, „Bitte vorsichtig behandeln“, „Feuchtigkeits- und kollisionsgeschützt“ sollten auf die Oberfläche der Verpackungsschachtel geklebt werden.
- **Notfallmaßnahmen** : Wenn die Verpackung beschädigt ist oder Pulver austritt, tragen Sie eine Staubmaske und Handschuhe, reinigen Sie sie mit einem sauberen, ölfreien, trockenen Tuch und legen Sie sie wieder in die Originalverpackung, um ein Einatmen zu vermeiden .

3. Qualitätssicherungsmechanismus für Transport und Lagerung

China Tungsten Intelligence setzt üblicherweise die folgenden Qualitätssicherungsmechanismen ein:

- **-Rückverfolgbarkeitssystem für Pulververpackungen** : ermöglicht die digitale Verwaltung des gesamten Prozesses von der Verpackung, Lieferung und dem Transport bis zum Kundenbeleg;
- **Fälschungssichere Etiketten und Aufkleber zur Temperatur- und Feuchtigkeitsüberwachung** : Stellen Sie sicher, dass das Pulver während des Transports keiner Feuchtigkeit ausgesetzt oder vertauscht wird.
- **Mechanismus zur regelmäßigen Nachprüfung** : regelmäßige Prüfung des Sauerstoffgehalts, der Fließfähigkeit und anderer Indikatoren von über einen langen Zeitraum gelagertem kugelförmigem Wolframpulver;
- **System zur Aufzeichnung von Kundenfeedback** : Durch die Analyse von Daten wie der Unversehrtheitsrate der Verpackung während des Transports und der Gründe für Kundenrücksendungen entsteht ein geschlossener Verbesserungskreislauf.

Sphärisches Wolframpulver wird häufig in der High-End-Fertigung und in internationalen Lieferketten verwendet und muss daher während seines weltweiten Umlaufs verschiedene Umwelt- und Chemikalienvorschriften einhalten. Insbesondere beim Export in den europäischen und amerikanischen Markt beeinflusst die Einhaltung der einschlägigen Vorschriften nicht nur die Kaufentscheidungen der Kunden, sondern steht auch in direktem Zusammenhang mit dem Marktzugang des Produkts, der Effizienz der Zolabfertigung und dem Ruf des Unternehmens.

8.2 Umweltvorschriften und REACH-Zertifizierung im Zusammenhang mit sphärischem Wolframpulver

Sphärisches Wolframpulver wird häufig in der High-End-Fertigung und in internationalen Lieferketten verwendet und muss daher während seines weltweiten Umlaufs verschiedene Umwelt-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und Chemikalienvorschriften einhalten. Insbesondere beim Export in den europäischen und amerikanischen Markt beeinflusst die Einhaltung der einschlägigen Vorschriften nicht nur die Kaufentscheidungen der Kunden, sondern steht auch in direktem Zusammenhang mit dem Marktzugang des Produkts, der Effizienz der Zollabfertigung und dem Ruf des Unternehmens.

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten umweltrechtlichen Rahmenbedingungen für sphärisches Wolframpulver, die REACH-Registrierungsanforderungen, die RoHS-Beschränkungsrichtlinien usw. systematisch erläutert.

1. Überblick über die für sphärisches Wolframpulver geltenden Umweltschutzbestimmungen Ungefährliches Metallpulvermaterial mit potenziellen industriellen Expositionsrisiken. Kugelförmiges Wolframpulver unterliegt im internationalen Handel hauptsächlich den folgenden Umwelt- und Chemikalienkontrollvorschriften :

Bereich	Geltende Vorschriften	Geltungsbereich und Hinweise
europäische Union	REACH (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)	Wolframmetall und seine Verbindungen müssen registriert oder von der Anmeldepflicht befreit werden, wenn das jährliche Exportvolumen > 1 Tonne beträgt.
europäische Union	RoHS (Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe)	Wenn sphärisches Wolframpulver für elektronische Verpackungs- oder Komponentenmaterialien verwendet wird, muss bestätigt werden, dass es keine verbotenen Substanzen wie Blei, Quecksilber und Cadmium enthält.
USA	TSCA (Gesetz zur Kontrolle giftiger Substanzen)	Wolfram ist eine bestehende Substanz und muss in das TSCA-Inventar aufgenommen werden; neue Derivate müssen bei PMN registriert werden.
China	Maßnahmen zum Umweltmanagement neuer chemischer Stoffe (2021)	Bei der Verwendung von Wolframpulver für einen neuen Zweck (Additiv, Funktionsadditiv) kann die Einreichung eines Registrierungsantrags erforderlich sein.
Japan	Gesetz zur Überprüfung chemischer Substanzen (CSCL) und Gesetz zur Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz (ISHA)	Es handelt sich um eine Substanz im bestehenden Chemikalienkatalog und für den Verkauf sind ein Sicherheitsdatenblatt und eine Gebrauchsanweisung beizufügen.

2. REACH-Registrierungsanforderungen für sphärisches Wolframpulver

REACH ist derzeit das strengste und am weitesten verbreitete Chemikalienregistrierungssystem der Welt. Wolfram (W, CAS-Nr. 7440-33-7) ist einer der Stoffe, die bereits in REACH enthalten sind. Aufgrund seiner spezifischen Verwendung und Pulverform sind jedoch folgende Punkte zu beachten:

1. Registrierung und Befreiung Beschreibung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wenn sphärisches Wolframpulver als „Substanz“ importiert/hergestellt wird und die Menge 1 Tonne pro Jahr übersteigt, sollte es vom Alleinvertreter in Europa registriert werden.
- Wird der Stoff lediglich als „Pulver in einem Produkt“ (z. B. Druckmaterial) exportiert und besteht keine Absicht, ihn freizugeben, ist er von der Steuer befreit.
- Handelt es sich bei Wolframpulver um ein unlösliches Metall und wird es nicht der normalen Umgebung ausgesetzt, kann eine Ausnahme gemäß REACH-Anhang V beantragt werden.

2. Der Registrierungsinhalt umfasst:

- Chemische und physikalische Eigenschaften, Sicherheitsdatenblatt (SDS);
- Daten zur Toxikologie und Ökotoxizität;
- Expositionsszenarien und Risikobewertung;
- Beschreibung des Anwendungsszenarios und Beschriftungsinhalt.

Bislang gibt es in der ECHA-Datenbank der EU viele Registrierungsfälle im Zusammenhang mit Wolframpulver, darunter metallisches Wolfram, Wolframoxid, Wolframat usw.

3. CTIA GROUP und REACH-Umsetzungspraxis:

- Es wurde ein Registrierungsdossier erstellt, das der Ebene von Anhang VII der REACH-Verordnung entspricht.
- Beauftragen Sie einen Dritten mit der Durchführung der toxikologischen Bewertung.
- Stellen Sie ein REACH-Konformitätszertifikat und den vollständigen Text des englischen Sicherheitsdatenblatts bereit.
- Wir können europäische Kunden bei der Meldung von Sicherheitsdatenblättern unterstützen und sie bei der sicheren Verwendung im weiteren Verlauf anleiten.

3. RoHS, SVHC und andere Umweltvorschriften

Obwohl sphärisches Wolframpulver selbst keine der zehn eingeschränkten Substanzen der RoHS-Richtlinie enthält (wie etwa Blei Pb, Cadmium Cd, Quecksilber Hg, sechswertiges Chrom Cr6+ usw.), muss seine Konformität dennoch gekennzeichnet und erläutert werden, wenn es in Szenarien wie elektronischen Schaltkreisen, Verpackungsmedien und Kühlkörpermaterialien verwendet wird.

- **Anweisungen zur RoHS-Konformität** : sollten beim Verlassen des Werks mitgeliefert werden und darauf hinweisen, dass das Pulver keine eingeschränkten Substanzen enthält;
- **Bewertung (besonders besorgniserregende Stoffe)** : Sphärisches Wolframpulver enthält normalerweise keine SVHC, aber wenn es für Funktionsbeschichtungen (wie W-Si-, W-Ni-Verbundpulver) verwendet wird, sollte bewertet werden, ob der neue Zusatzstoff eine Deklaration auslöst;
- **Erklärung zu Konfliktmineralien** : Wenn dies für amerikanische Kunden zutrifft, muss für sphärisches Wolframpulver eine Erklärung zur Rückverfolgbarkeit der Wolframquelle bereitgestellt werden, um nachzuweisen, dass es nicht aus dem Konfliktbergbaubereich im Kongo stammt.

4. Compliance-Management für Exportdokumente und Etiketten für sphärisches Wolframpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Konformitätsdokumente müssen bereitgestellt werden, wenn sphärisches Wolframpulver das Werk verlässt:

Dateiname	veranschaulichen
Englisches Sicherheitsdatenblatt	Umfassende Abdeckung von 16 Artikeln, konform mit den CLP/GHS-Vorschriften, einschließlich Empfehlungen zur Notfallbehandlung und Transportinformationen.
REACH-Registrierungsnummer oder Ausnahmeerklärung	Sofern für europäische Kunden zutreffend, muss eine gültige Registrierungsnummer oder eine technische Ausnahmeregelung angegeben werden.
RoHS- und SVHC-Erklärung	Bietet die Garantie, dass keine gefährlichen Stoffe enthalten sind; besonders wichtig für Pulver in Elektronikqualität.
Etikettenidentifikation	Die Außenverpackung sollte sowohl auf Chinesisch als auch auf Englisch beschriftet sein und Produktnummer, Hersteller, Chargennummer, Lagerungsmethode, Kontaktwarnungen usw. enthalten.

Einige Kunden verlangen möglicherweise auch eine Erklärung zum Product Carbon Footprint (PCF), die nach der Bewertung des Energieverbrauchs bei der Herstellung des sphärischen Wolframpulvers, der Transportmethoden und anderer Daten bereitgestellt werden muss.

8.3 Abgas- und Staubrückgewinnung im Produktionsprozess von sphärischem Wolframpulver

Die Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver umfasst üblicherweise Hochtemperaturschmelzen, Gasschutz, Pulverzerstäubung und Hochgeschwindigkeits-Luftstromförderung. Bei unsachgemäßer Handhabung können leicht Schadstoffe wie Metallstaub, Gasrückstände und Spuren flüchtiger Stoffe entstehen. Um die Produktionssicherheit zu gewährleisten, die Gesundheit der Bediener zu schützen und die Umweltbelastung zu reduzieren, muss ein umfassendes Staubkontroll- und Abgasrückgewinnungssystem eingerichtet werden.

In diesem Abschnitt werden die aktuellen gängigen Prozessabläufe kombiniert, um die Schadstoffquellen, Recyclingtechniken und Managementanforderungen im Herstellungsprozess von kugelförmigem Wolframpulver systematisch zu analysieren.

1. Schadstoffquellen und Gefahrenanalyse

Abschnitt „Quellenprozess“	Hauptschadstoffe	Möglicher Schaden
Plasma-Sphäroidisierung	Argon, Wasserstoff, Spuren von Wolframoxidstaub	Gefahr durch Einatmen von Abgasen mit hoher Temperatur und feinem Pulver
Zerstäuberdüse	Hochgeschwindigkeitspartikelstaub, Restzerstäubungsgas	Staubexplosionsgefahr
Screening und Einstufung	Sphärisches Wolframpulver, feine Pulverdispersion	Verursacht Atemwegsreizungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Trocknen/Kühlen	Spurenwasserstoffhaltiges Abgas, heißer Dampf	Kann zu Gerätekorrosion und thermischer Verschmutzung führen
Fördereinrichtung	Pulverflug, Staubansammlung	Erhöhte Kreuzkontamination in Reinräumen

Unter diesen schwebt ultrafeines Wolframpulver ($<10\text{ }\mu\text{m}$) sehr leicht in der Luft. Bei längerer Einwirkung kann es bei den Anwendern zu Lungenreizungen oder sogar chronischen Ablagerungsschäden führen.

2. Staubkontrolltechnologie

1. Zentralisiertes Staubentfernungssystemdesign

- **Beutelfilter** : Durch die Verwendung eines PTFE-beschichteten Filterbeutels beträgt die Effizienz der Metallstaubabscheidung $> 99,5\%$;
- **Zyklonabscheider** : geeignet zum Sieben von grobem Pulver im Anfangsstadium der Zerstäubung ;
- **Nassstaubsammler** : geeignet für Bereiche mit brennbarem Feinstaub, um eine Ansammlung statischer Elektrizität zu verhindern ;
- **Selbstreinigendes Design der Rohrleitung** : Impulsrückspülung, zeitgesteuerte Schlackenentfernung und andere Methoden werden verwendet, um Pulverablagerungen und Verstopfungen zu verhindern.

2. Lokale Belüftung in Schlüsselbereichen

- Am Auslass der Plasmapistole, am Siebvibrationstisch und an der Verpackungsstation sind Unterdruckabzugshauben installiert.
- Die Windgeschwindigkeit wird auf $\geq 0,5\text{ m/s}$ geregelt, um sicherzustellen, dass Staub erfasst wird und nicht zurückfließt;
- Die austretende Luft wird mittels Filterkartusche + Hochleistungsfilter (HEPA) gereinigt, bevor sie normgerecht abgeleitet oder wiederverwendet wird.

3. Abgasrückgewinnungs- und -behandlungstechnologie

Bei der Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver werden häufig verwendete Schutzgase (wie Argon und Wasserstoff) und die damit verbundenen flüchtigen Stoffe mit dem Hochtemperaturabgas ausgestoßen. Wird dies nicht zurückgewonnen, führt dies zu Ressourcenverschwendung und Umweltrisiken.

1. Gasrückgewinnungssystem

- **Argon -Gasrecyclingsystem** :
 - o Die Wiederherstellungsrate kann über 90% erreichen;
 - o Nehmen Sie Kondensationsentfeuchtung, Kompressionsreinigung, Molekularsiebentwässerung und anschließende Wiederverwendung an.
- **Wasserstoffabscheidung und -reinigung** :
 - o Richten Sie einen H_2 -Sensor ein, um die Konzentration in Echtzeit zu überwachen und so eine explosionsgeschützte Sicherheitskontrolle zu gewährleisten.
 - o Der verbleibende Wasserstoff kann in anderen Reduktionsprozessen oder Neutralisationsbehandlungen verwendet werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Reinigung gasförmiger Schadstoffe

- **Hochtemperatur-Oxidationsturm + Wäscher- Kombination:**
 - o Wird zum Entfernen von WO₃-Dampf oder Metalloxidrauch verwendet;
 - o Nach der pH-Wert-Einstellung entsteht eine kontrollierbare Wolframsäurelösung zum Recycling;
- **-Absorptionsturm für Abgase :**
 - o Anwendbar auf komplexe Prozessabgase, wie etwa den Sphäroidisierungsprozess von Si-, N- und Cl-basierten Pulvern;
 - o Zur Erfassung und anschließenden Sedimentation wird eine alkalische Lösung durchgeleitet.

4. Strategie zur Rückgewinnung und Wiederverwendung von Feinpulver

μ m) entsteht beim Siebprozess von kugelförmigem Wolframpulver . Wird es direkt entsorgt, führt dies zu einer Ressourcenverschwendung. Es wird empfohlen, den folgenden Verarbeitungsmechanismus einzurichten:

Verarbeitung	Anwendung
Resphäroidisierung	Geben Sie die nächste Charge des Sphäroidisierungszyklus ein, um die Pulverausbeute zu verbessern
Vorbereitung des Nanobeschichtungsmaterials	Wird für Verbundfüllstoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit oder funktionale Dünnschichttargets verwendet
Legierungspulvermischung	mit Ni, Cu und anderen Basispulvern für den Spritzguss
Oberflächenmodifizierter Träger	Zu einem aktiven Träger zermahlen, zur Anwendung in der Entwicklung katalytischer Materialien

Gleichzeitig sollten feines und grobes Pulver durch ein vollständig geschlossenes automatisches Siebsystem streng sortiert werden, um Kreuzkontaminationen und Qualitätsschwankungen zu vermeiden.

V. Sicherheits- und Umweltmanagementstandards

Um einen langfristig effektiven Betrieb der Abgas- und Staubkontrolle zu gewährleisten, müssen Unternehmen das folgende Managementsystem einrichten:

- **Positionsverantwortungssystem** : Schlüsselpositionen sind mit dediziertem Personal für Betrieb und Inspektion ausgestattet ;
- **Überwachung der Staubkonzentration** : Konfigurieren Sie Online-Staubdetektoren (z. B. PM2,5, PM10).
- **Jährliche Abgasemissionsbilanzierung** : Die Gesamtmengenüberprüfung erfolgt gemäß den „Schadstoffemissionsnormen für die Metallschmelzindustrie“;
- **Schutz der Mitarbeiter** : Der Operationsbereich ist mit Masken der Stufe FFP3 und Überdruck-Luftzufuhrhauben ausgestattet und es wird ein Rotationsoperationssystem eingerichtet.
- **Zertifizierung durch Dritte** : Beauftragen Sie regelmäßig qualifizierte Institutionen mit der Durchführung arbeitsmedizinischer und umweltbezogener Prüfungen an Abgasöffnungen und Arbeitsstätten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.4 Aktueller Stand der Recyclingtechnologie für sphärisches Wolframpulver

Da Ressourcenschonung und nachhaltige Entwicklung weltweit einen hohen Stellenwert haben, ist Wolfram als seltenes und strategisches Metall zu einem unverzichtbaren und wichtigen Bindeglied in der Wolframindustrie geworden. Insbesondere sphärisches Wolframpulver ist mit hohen Herstellungskosten verbunden und bietet einen hohen Mehrwert in der Anwendung. Das Recycling von Schrott, Restpulver und Unterkornpulver bietet nicht nur erhebliche wirtschaftliche Vorteile, sondern entspricht auch der industriepolitischen Ausrichtung auf „grüne Fertigung“ und „vollständiges Lebenszyklusmanagement“.

In diesem Abschnitt werden der technische Weg und der industrielle Status des Recyclings von kugelförmigem Wolframpulver unter den Gesichtspunkten Recyclingquellen, Regenerationsprozesse, technische Schwierigkeiten, Industriefälle und Entwicklungstrends systematisch untersucht.

1. Hauptquellen für das Recycling von kugelförmigem Wolframpulver

Die recycelten Materialien aus kugelförmigem Wolframpulver umfassen hauptsächlich die folgenden Kategorien:

Quelle	Nachwuchstyp	Merkmale
Produktion	Gesiebtes Pulver, Feinpulver, agglomeriertes Pulver	Die Partikelgröße entspricht nicht den Spezifikationen und muss erneut kugelförmig gemacht oder zerkleinert und gesiebt werden
Bewerbungsprozess	Drucken von Restpulver, Probechargenpulver	Leistungsabfall oder Chargeninstabilität, einige Pulver sind noch verwendbar
Produktverarbeitung	Sinterabfälle, zerbrochene Konstruktionsteile	Kann zerkleinert, wiederhergestellt und erneut gemahlen werden
Kundenrecycling	Abgelaufener oder zurückgegebener Lagerbestand	Die Inhaltsstoffe sind grundsätzlich stabil und müssen vor der Klassifizierung gereinigt und getestet werden

Die Rückgewinnungsrate von kugelförmigem Wolframpulver kann im Allgemeinen 85–95 % erreichen, was höher ist als bei anderen Legierungsmetallpulvern und einen hohen Rückgewinnungswert aufweist.

2. Regenerationsprozess von kugelförmigem Wolframpulver

Der Schlüssel zur Regeneration von sphärischem Wolframpulver liegt in der **Wiederherstellung der Partikelgrößenstruktur und der Oberflächeneigenschaften**. Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass Reinheit und Sauerstoffgehalt den Verwendungsstandards entsprechen. Gängige Verarbeitungsverfahren sind:

1. Physikalische Neusiebung und erneute Sphäroidisierung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gilt für grobes Pulver und agglomeriertes Pulver, das beim Sieben entsteht:

- **Schritt :**
 - o Trocknen und Entfeuchten;
 - o Siebpulver mit geeigneter Partikelgröße;
 - o Lieferung an ein Plasma- oder Laser-Sphäroidisierungssystem;
 - o Entfernen Sie hohle Nudeln und Partikel mit uneingeschränkter Kugelform.
- **Merkmale :**
 - o Der Vorgang ist einfach;
 - o Niedriger Energieverbrauch;
 - o Behält die ursprüngliche Metallkomponentenstruktur bei.

2. Nasschemische Reinigung und sekundäre Sinterreduktion

Anwendbar auf Pulver mit Verunreinigungen (wie hohem Sauerstoffgehalt und starker Hygroskopizität):

- **Verfahren :**
 - o Beizen oder alkalisches Waschen zum Entfernen von Oberflächenverunreinigungen;
 - o Reduktionsbehandlung im Vakuum oder in einer Wasserstoffatmosphäre (600–800 °C);
 - o Anschließend wird die Partikeloberfläche durch kaltes Plasma rekonstruiert;
- **Vorteile :**
 - o Kann den Verunreinigungsgehalt erheblich reduzieren;
 - o Verbessern Sie die Sauberkeit und Aktivität der Pulveroberfläche;
- **Herausforderung :**
 - o Bei der Behandlung von Säuren und Laugen muss die Ableitung von Abfallflüssigkeiten streng kontrolliert werden.
 - o Es besteht die Notwendigkeit, ein Gleichgewicht zwischen reduzierender Atmosphäre und Partikelgrößenkontrolle herzustellen.

3. Metallurgisches Zirkulationspulverherstellungsverfahren

Geeignet für das Massenrecycling von Druckpulver und Abfallkomponenten:

- **Kernlinks :**
 - o Kugelförmiges Wolframpulver → Wolframoxid (WO_3) → Wasserstoffreduktion → primäres Wolframpulver → Resphäroidisierung ;
- **Die Prozesskette ist lückenlos und nachvollziehbar ;**
- **Es ermöglicht eine 100-prozentige Wiederverwendung der Rohstoffe und eignet sich für Großindustriekunden zum Aufbau eines geschlossenen Recyclingkreislaufs .**

3. Wichtige Kontrollpunkte bei der Rückgewinnung von kugelförmigem Wolframpulver

Im tatsächlichen Betrieb erfordert die Rückgewinnung von kugelförmigem Wolframpulver besondere Aufmerksamkeit auf die folgenden technischen Faktoren:

Schlüsselfaktoren	Kontrollziel	Nachweismethoden
Sauerstoffgehalt	$\leq 0,3 \%$	LECO-Analyse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verunreinigungsgrad	Gesamtmenge an Fe, Ni, Si, Cl usw. ≤ 200 ppm	ICP-MS
Sphärizität	$\geq 0,90$ (druckbare Note)	Bildanalyse
Partikelgrößenbereich	D50 wird auf 15–45 μm geregelt	Laser-Partikelgrößenanalysator
Liquidität	Hall-Flussrate ≤ 20 s/50 g	Durchflussprüfgerät

Recyceltes Pulver, das die Druckqualitätsstandards nicht erfüllt, kann für industrielle Press-, Spritzguss- oder Sinteranwendungen von Wolframprodukten verwendet werden.

4. Typische Fälle von Recyclingsystemen in Unternehmen

Die CTIA GROUP hat ein relativ vollständiges Closed-Loop-Managementsystem für die Rückgewinnung von kugelförmigem Wolframpulver etabliert:

- Etablierung eines dualen Verfahrens zur „Rückgewinnung und erneuten Sphäroidisierung des Restpulvers + stufenweiser Nutzung“;
- Die Genesungsrate des Klienten liegt bei $> 90\%$ und es wird ein Testbericht zur Wiederaufbereitung bereitgestellt;
- Das Pulver unter dem Sieb wird durch ein Plasma-Luftstrom-gekoppeltes Sphäroidisierungssystem weiterverarbeitet.
- Feines Pulver wird durch Sprühmaterialien, Zielverbundpulver und andere Kanäle wiederverwendet;
- Die jährlichen Kosten für den Kauf neuen Pulvers werden um etwa 15–20 % gespart.

Dieses Modell bietet Herstellern von kugelförmigem Wolframpulver eine replizierbare Vorlage zum Aufbau eines umweltfreundlichen geschlossenen Fertigungssystems.

8.5 CTIA GROUP Sphärisches Wolframpulver MSDS

Das Sicherheitsdatenblatt (MSDS) ist ein Standarddokument, das Informationen über die physikalischen und chemischen Eigenschaften, Gesundheitsgefahren, Umweltauswirkungen, den sicheren Umgang und Notfallmaßnahmen von Chemikalien vermittelt. Im Rahmen globaler Geschäftstätigkeiten und des grenzüberschreitenden Handels muss für sphärisches Wolframpulver als industrielles Metallpulverprodukt ein Sicherheitsdatenblatt gemäß dem einheitlichen Standard GHS (Globally Harmonized System) bereitgestellt werden, um den Anforderungen von Kunden-Compliance -Audits, Mitarbeiterschulungen und der Einreichung von Unterlagen bei Behörden gerecht zu werden .

In diesem Abschnitt werden die Inhaltsstruktur und die wichtigsten Sicherheitsinformationen des Sicherheitsdatenblatts anhand des von der CTIA GROUP hergestellten sphärischen Wolframpulvers als Beispiel erläutert.

1. Überblick über grundlegende Informationen

Projekt	Inhalt
Produktname	Sphärisches Wolframpulver
Chemischer Name	Wolfram
Summenformel	W
CAS-Nummer	7440-33-7

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

EG-Nummer	231-143-9
Empfohlene Verwendung	Geeignet für die additive Metallfertigung, Pulvermetallurgie, Kühlkörpermaterialien, Abschirmkomponenten usw.
Herstellerinfo	CTIA-GRUPPE
Notrufnummer	+86 592 5129595

2. Informationen zu Inhaltsstoffen/Zusammensetzung (Abschnitt 3)

- **Hauptbestandteil : Wolframmetall** ($\geq 99,95\%$)
- **Tramp-Elemente** (typisch):
 - o $O \leq 0,25\%$
 - o $Fe \leq 50\text{ ppm}$
 - o $Si \leq 40\text{ ppm}$
 - o $Ca \leq 30\text{ ppm}$
- **Aussehen** : Grauschwarzes bis silbergraues hochsphärisches Mikropulver

III. Gefahrenübersicht (Abschnitt 2)

Sphärisches Wolframpulver selbst ist ein inertes Metallpulver, das weder chemisch brennbar noch giftig ist. Seine ultrafeinen Partikel können jedoch unter bestimmten Bedingungen die folgenden Risiken bergen:

- **Gefahr durch Einatmen** : Langfristiges Einatmen feiner Partikel kann zu Lungenreizungen oder Staubablagerungsschäden führen.
- **Staubexplosionsgefahr** : Hohe Konzentrationen von suspendiertem Wolframpulver können unter bestimmten Bedingungen eine Metallstaubexplosion verursachen (insbesondere feines Pulver mit $D_{10} < 10\text{ }\mu\text{m}$);
- **Umweltauswirkungen** : Wolframpulver ist wasserunlöslich, hat eine geringe Toxizität für Wasserorganismen und ist eine kontrollierbare Verschmutzungsquelle .

GHS-Klassifizierung (Referenz EU CLP):

- Nicht als gefährliche Chemikalie eingestuft (nicht explosiv, nicht oxidierend, nicht korrosiv)
- Es wird empfohlen, Partikelschutzausrüstung zu tragen, um eine Inhalation zu vermeiden

IV. Erste-Hilfe-Maßnahmen (Abschnitt 4)

Art des Unfalls	Notfallmaßnahmen
Inhalation	Bringen Sie den Patienten in einen belüfteten Bereich und verabreichen Sie ihm Sauerstoff oder suchen Sie bei Bedarf einen Arzt auf.
Hautkontakt	Gründlich mit Wasser und Seife waschen; bei anhaltender Reizung einen Arzt aufsuchen
Augenkontakt	Mindestens 15 Minuten mit klarem Wasser spülen, dabei Reiben vermeiden
Verschlucken	Nach dem Ausspülen des Mundes Wasser trinken. Bei Unwohlsein einen Arzt aufsuchen.

5. Sicherer Betrieb und Lagerung (Abschnitt 7)

- Vermeiden Sie direkten Kontakt mit starken Oxidationsmitteln und starken Säuren.
- In einem trockenen, kühlen und luftdichten Behälter aufbewahren, vorzugsweise mit Inertgas gefüllt;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Vermeiden Sie Feuchtigkeitsaufnahme, Hitze oder längere Einwirkung feuchter Umgebungen.
- Verwenden Sie während der Verarbeitung staubdichte Absaug- und antistatische Erdungseinrichtungen.

VI. Notfallbehandlung bei Leckagen (Abschnitt 6)

- Verwenden Sie spezielle Staubmasken, Latexhandschuhe und Schutzkleidung;
- Vermeiden Sie das Staubwischen mit einem Besen. Es wird empfohlen, zum Reinigen einen HEPA-Staubsauger oder einen feuchten Lappen zu verwenden.
- Nachdem Sie das Pulver gesammelt haben, verschließen Sie es in einem verschlossenen Behälter und kennzeichnen Sie es zur Entsorgung als „recyclbares, resphäroidisiertes Pulver“.
- Das Einleiten in die Kanalisation oder Wasserquelle ist streng verboten.

VII. Physikalische und chemische Eigenschaften (Abschnitt 9)

Projekt	Parameter
Schmelzpunkt	3410 °C
Siedepunkt	5660 °C
Dichte	19,3 g/cm ³
Zustand	Feststoffe, Pulver
Geruch	keiner
Löslichkeit	Unlöslich in Wasser, säure- und alkalibeständig

8. Stabilität und Reaktivität (Abschnitt 10)

- Stabile Eigenschaften bei normaler Temperatur und normalem Druck;
- Vermeiden Sie folgende Bedingungen: starke Oxidationsmittel, hohe Luftfeuchtigkeit, Sauerstoffatmosphäre mit hohen Temperaturen;
- Gefährliche Reaktionen: Starke Oxidationsmittel (wie HNO₃) können zu erhöhter Reaktivität oder exothermen Reaktionen führen.
- Gefährliche Zersetzungsprodukte: Durch Oxidation bei hohen Temperaturen können Wolframoxide wie WO₃ entstehen.

IX. Transport- und Regulierungsinformationen (Abschnitte 14 und 15)

- **UN- Nummer** : Keine (ungefährliche Güter);
- **Transportklassifizierung** : Herkömmliches festes Metallpulver wird als ungefährliches Gut transportiert ;
- **Grundlage der MSDS-Konformität** : REACH Anhang II, GHS, OSHA 29 CFR 1910.1200;
- **RoHS/ SVHC** : enthält keine eingeschränkten Substanzen;
- **REACH -Status** : registriert/ausgenommen (je nach Chargengröße und Kundenverwendung);

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10. Version und Hinweise

- Diese MSDS-Versionsnummer: Ver.2025.1-CZ;
- Datum des Inkrafttretens: 1. März 2025;
- Prüfstelle: Abteilung für Qualität und Sicherheit der CTIA GROUP;
- Sprachversion des Dokuments: Chinesisch und Englisch, mit elektronischer PDF-Datei und kundenspezifischer Datenschnittstelle (z. B. SDS-XML-Format);

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

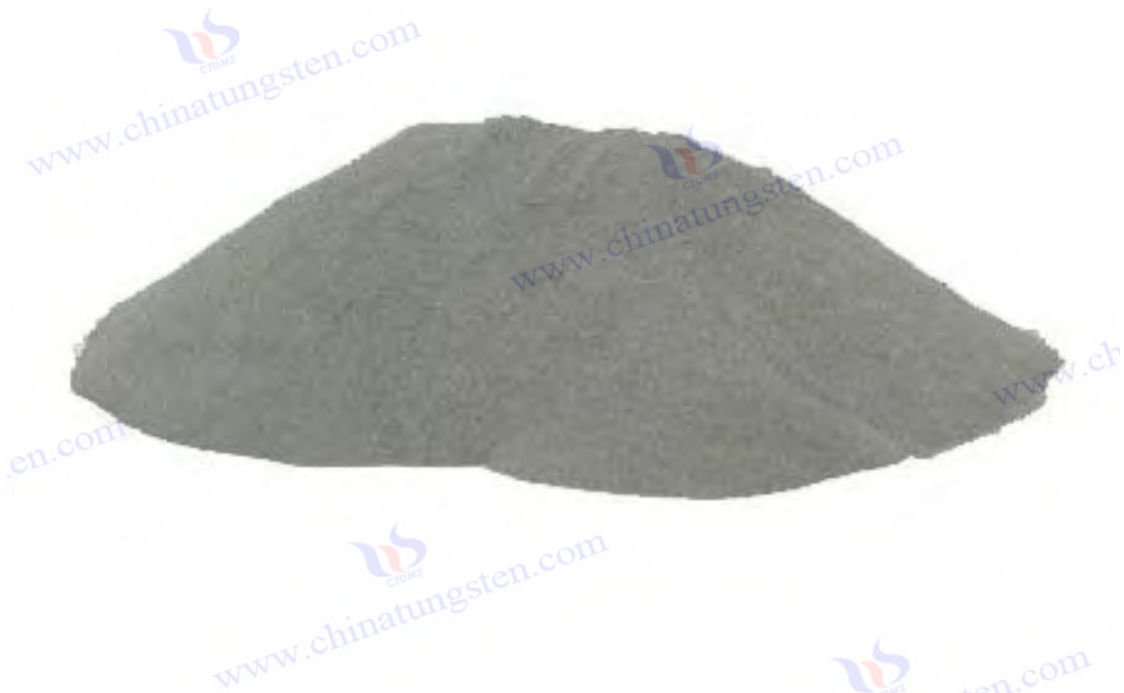
Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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 9: Markt- und Wirtschaftsanalyse von sphärischem Wolframpulver

Als strategisch wichtiges Metall umfasst die globale Lieferkette für sphärisches Wolframpulver eine komplette Industriekette vom Abbau der Wolframressourcen über die chemische Reinigung, Zwischensynthese, Sphäroidisierungstechnologie und Geräteherstellung bis hin zur Sortierung und Verpackung der fertigen Produkte und Endanwendungen. Die globale Lieferkette für sphärisches Wolframpulver ist durch die regionale Konzentration der Wolframressourcen, die Schwelle zur Herstellung hochpräziser Geräte und das schnelle Wachstum des nachgelagerten Marktes für additive Fertigung begrenzt. Sie weist daher eine hohe regionale Konzentration, starke technische Barrieren und eine erhebliche Exportabhängigkeit auf.

9.1 Globale Lieferkettenanalyse von Sphärisches Wolframpulver

Sortieren Sie systematisch das globale Lieferkettenmuster von sphärischem Wolframpulver anhand der Dimensionen der vor- und nachgelagerten Struktur der Industriekette, der Verteilung der wichtigsten Länder, der Merkmale der Lieferkettenglieder und der mittel- und langfristigen Risiken.

1. Lieferkettenstruktur für sphärisches Wolframpulver

Sphärisches Wolframpulver kann in vier Kernglieder unterteilt werden:

1. **Rohstoffgewinnung und Primärverarbeitung**
 - o Erzabbau und -aufbereitung (Wolframit, Scheelit)
 - o Herstellung von Ammoniumparawolframat (APT) und Wolframtrioxid (WO_3)
2. **Herstellung von hochreinem Wolframpulver und Vorbehandlung zur Sphäroidisierung**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o APT-Pyrolyse/Reduktion zu Wolframpulver
- o Pulverklassifizierung, Desoxidation und Beschichtungsbehandlung
- 3. **Herstellung von Sphäroidisierungsgeräten und Herstellung von sphärischem Wolframpulver**
 - o Plasma-Sphäroidisierungsgeräte
 - o Integration von Laser- und Zerstäubungssystemen
 - o Sphäroidisierungsprozess und Parameteroptimierung
- 4. **Produkttests, Verpackung und Terminalverteilung**
 - o Sphärizitätstest, Partikelgrößenklassifizierung, Fluiditätstest
 - o Hochreine Verpackung, Exportzertifizierung (REACH, RoHS)
 - o Maßgeschneiderter Verpackungsservice

2. Globale Hauptproduktionsländer und regionale Verteilung

Land	Rollenpositionierung	Lieferkette	Merkmale
China	Wichtige Produktionsgebiete weltweit	Vollständiger Prozess (Erz-Pulver-Kugel)	Die Sphäroidisierungstechnologie, die mehr als 50 % der weltweiten Wolframreserven ausmacht, verbessert sich rasant
Deutschland	Ein starkes Land in Technologie und Ausrüstung	Sphäroidisierungsausrüstung, automatische Pulverlinie	Repräsentative Unternehmen: GTV, Oerlikon Metco
USA	Hauptkraft der High-End-Anwendung	Downstream-Druck für die Luft- und Raumfahrt sowie die Verteidigung	Markt mit hoher Wertschöpfung, starke Abhängigkeit von importiertem Kugelpulver
Japan	Anwendung in der Präzisionselektronik	Mikroelektronik/Pulverbeschichtung	Es stellt extrem hohe Anforderungen an Partikelgröße und Reinheit und wird oft in Zusammenarbeit mit China entwickelt.
Südkorea	Hohe Nachfrage nach Halbleitermaterialien	Verpackung, Wärmeleitpulver	Wir legen Wert auf die Stabilität unserer Lieferketten und streben langfristige Vereinbarungen an
Österreich, Russland	Traditionelles Kraftwerk der Pulvermetallurgie	Pulver zum Schweißen, Elektroden usw.	Begrenzte Produktionskapazität, aber solide Technologie

China ist nicht nur der weltweit größte Produzent von Wolframkonzentrat (die jährliche Produktion beträgt über 70 % der weltweiten Gesamtproduktion), sondern auch die Region mit der weltweit am schnellsten wachsenden Produktionskapazität für sphäroidisches Wolframpulver. China verfügt über eine vollständige Produktionskette von APT bis hin zu sphäroidisiertem Wolframpulver, und sein Exportanteil steigt von Jahr zu Jahr.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Verteilung der Kernunternehmen der Lieferkette

Name der Firma	Land	Vorteile	Bemerkung
CTIA-GRUPPE	China	APT-Wolframpulver – sphärisches Pulver, volle Kette	Besitzt mehrere Plasma-Sphäroidisierungs-Produktionslinien und exportiert in mehr als 30 Länder
HC Starck Tungsten	Deutschland	Hochreines Wolframpulver + sphärisches Wolframpulver	Die Technologie ist ausgereift und wird in Geräten der Hochenergiephysik eingesetzt
Global Tungsten & Powders (GTP)	USA	Herstellung von Kugelpulver für Medizin/Luftfahrt	Eigene Minen, hohe Kundenkonzentration
Plansee SE	Österreich	Herstellung funktionaler Pulver und Targets	Fokus auf Targetmaterialien und Kugelpulverentwicklung im Elektronikbereich
Toho Kinzoku	Japan	Feines Pulver mit hoher Sphärizität	Fokus auf Pulver in Mikroelektronikqualität
ALMT Corp	Japan	Pulver für Verpackungen und Verbundwerkstoffe	Toyota Group mit einem breiten globalen Kundenstamm

4. Analyse der Merkmale der globalen Lieferkette

1. Konzentrierte Ressourcen – dezentrale Technologie

Mehr als 80 % der weltweiten Wolframressourcen konzentrieren sich auf wenige Länder wie China, Russland und Bolivien, während sich High-End-Sphäroidisierungsgeräte und Kontrollprozesse hauptsächlich in den Händen europäischer, amerikanischer und japanischer Unternehmen befinden, was zu einer hohen Abhängigkeit von Technologieimporten führt.

2. Hohe Hürden – hoher Mehrwert

Der Sphäroidisierungsprozess von sphärischem Wolframpulver ist ein komplexer Prozess mit hohen Temperaturen und hohem Energieverbrauch. Er erfordert eine maßgeschneiderte Plasmaquelle, ein Argon-Wasserstoff-Mischkontrollsystem, einen Hochgeschwindigkeits-Partikelanalysator usw. Die hohen Investitionen und Anforderungen an die Leistungsstabilität stellen eine Markteintrittsbarriere dar.

3. Dezentralisierung nachgelagerter Anwendungen

Endkunden kommen aus verschiedenen Branchen wie der Luftfahrt, der Kernenergie, der Halbleiterindustrie, dem 3D-Druck, der Rüstungsindustrie und der Medizin. Sie haben deutlich differenzierte Anforderungen an die Pulverleistung, Verpackungsmethoden und Zertifizierungsdokumente, was zu einer flexibleren Lieferkette geführt hat.

4. Compliance-Anforderungen werden komplexer

Für den Markteintritt in der EU, Japan, Südkorea und Nordamerika sind mehrere Zertifizierungen erforderlich, beispielsweise eine REACH-Registrierung, eine RoHS-Erklärung, eine MSDS-Einreichung und SVHC-Tests. Zudem müssen die Lieferanten über ein starkes Qualitätsmanagement- und Compliance- System verfügen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Potentielle Risiken und Herausforderungen

Risikokategorie	Manifestation	Vorschläge
Geopolitische Risiken	Die Exportkontrolle für Wolframrohstoffe wird verschärft und es werden Zollschränke eingeführt	Diversifizierte Rohstoffbeschaffung, Lagerbestände im Ausland
Risiko eines technischen Engpasses	Die Kernkomponenten der Sphäroidisierungsgeräte sind begrenzt	Stärkung des Austauschs inländischer Geräte und der gemeinsamen Entwicklung
Handelsbarriererisiko	EU-REACH-/US-TSCA-Einschränkungen	Dokumentieren Sie die Einhaltung der Vorschriften im Voraus und erstellen Sie eine Vorlage für die Kundenantwort
Marktzyklusschwankungen	Die Preise für Wolframpulver korrelieren stark mit der nachgelagerten Nachfrage	Unterzeichnen Sie eine langfristige Vereinbarung und sichern Sie den Preismechanismus
Transport- und Kostendruck	Instabile Schifffahrt und steigende Energiepreise	Verbessern Sie regionale Lieferkapazitäten und flexible Lagerbestände

9.2 Sphärisches Wolframpulver Marktgröße und Entwicklungstrend

Als Schlüsselmaterial für die Hochleistungspulvermetallurgie und die additive Metallfertigung hat sphärisches Wolframpulver in den letzten Jahren eine immer wichtigere Rolle bei der rasanten Entwicklung der globalen High-End-Fertigung gespielt. Seine hervorragende physikalische Morphologie, Prozessanpassungsfähigkeit und vielfältigen Anwendungsszenarien haben zu einer kontinuierlichen Ausweitung seines Marktes geführt und einen Trend zu nachhaltigem Wachstum, struktureller Modernisierung und regionaler Expansion gezeigt.

In diesem Abschnitt werden die Marktentwicklungslogik und die Trendbeurteilung von sphärischem Wolframpulver aus der Perspektive der aktuellen globalen und chinesischen Marktgröße, der nachgelagerten Nachfragestruktur, der Branchenentwicklungstreiber und der Wachstumsprognosen für die nächsten fünf Jahre systematisch analysiert.

1. Analyse der globalen Marktgröße für sphärisches Wolframpulver

Laut Statistiken und Branchenforschungsdaten mehrerer maßgeblicher Institutionen wird der globale Markt für sphärisches Wolframpulver bis Ende 2024 ein Volumen von ca. **310 Millionen US-Dollar (ca. 2,2 Milliarden RMB) erreichen** , bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von **11,4 % über fünf Jahre** . Es wird erwartet, dass das Marktvolumen bis 2029 **560 Millionen US-Dollar (ca. 4,1 Milliarden RMB) übersteigen wird** .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Jahre	Marktgröße (Milliarden US-Dollar)	Wachstumsrate
2020	2.1	-
2021	2.4	+14 %
2022	2.7	+12,5 %
2023	2.9	+7,4 %
2024E	3.1	+6,9 %
2029F	5.6	CAGR: +11,4 %

Zu den Haupttreibern zählen:

- additive Fertigung hat insbesondere in der Luft- und Raumfahrt- sowie der Nuklearindustrie zu einem starken Nachfrageschub geführt.
- Die Nachfrage nach Pulvern mit hoher Wärmeleitfähigkeit und hoher Dichte in der Mikroelektronik und Halbleiterverpackung steigt;
- Die strukturelle Verbesserung militärischer und nuklearer Schutzmaterialien hat die Verwendung von kugelförmigem Wolframpulver als Ersatz für herkömmliches unregelmäßiges Pulver gefördert.

2. Überblick über die Entwicklung des chinesischen Marktes für sphärisches Wolframpulver

China ist das weltweit größte Wolfram-Vorkommenland und Wolframpulver-Exporteur. Die Entwicklung der sphärischen Wolframpulverindustrie begann dort erst spät, ist jedoch schnell gewachsen.

Schätzung der Marktgröße (2024):

- Jährliche Produktion von kugelförmigem Wolframpulver in China: etwa **600-800 Tonnen**
- Marktgröße: ca. **600-700 Millionen RMB**
- Exportquote: **über 60 %**
- Wichtigste Exportziele: Deutschland, Japan, USA, Südkorea, Niederlande

Wichtige inländische Downstream-Nachfragebereiche:

Feld	Anteil (geschätzt)
Additive Fertigung (3D-Druck)	38 %
Hochwertige pulvermetallurgische Materialien	einundzwanzig %
Vakuumgeräte und Militärindustrie	18 %
Kernenergie und medizinische Schutzmaterialien	12%
Elektronik- und Halbleiterverpackungen	8 %
Andere Verbundfunktionsmaterialien	3%

3. Hauptwachstumstreiber des Marktes für sphärisches Wolframpulver

1. Die großflächige Implementierung

der additiven Fertigung hat die Abhängigkeit von sphärischen Pulvern bei

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hochleistungskomponenten für den Metalldruck (wie Düsen, Hotends und Hochtemperaturturbinen) erhöht, was die anhaltende Nachfrage am Markt vorantreibt.

2. **Die Verbesserung der Standards für hochreine Pulver**

hat höhere Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit und elektromagnetische Stabilität von Materialien in den Bereichen Halbleiter, 5G-Kommunikation usw. mit sich gebracht. Sphärisches Wolframpulver wird aufgrund seiner gleichmäßigen Partikelgröße, geringen Verunreinigungen und hohen Sphärizität sehr bevorzugt.

3. **Die Erholung der Militär- und Atomenergieindustrie**

: Mit der Entwicklung der globalen geopolitischen Sicherheitslage haben die Länder ihre Investitionen in die technologische Modernisierung von Munition und Schutzausrüstung aus Wolframlegierungen erhöht, was zu einer steigenden Nachfrage nach hochdichtem, kugelförmigem Wolframpulver geführt hat.

4. **in Haushaltsgeräten und Automatisierungsprozessen.**

Die Lokalisierung von Sphäroidisierungsgeräten und Lasersteuerungssystemen hat die Vorbereitungsschwelle gesenkt und die Möglichkeiten und Kosteneffizienz der Großproduktion verbessert.

5. **Sowohl die „Dual Carbon“-Politik als auch das „Strengthening Basics Project“, das „High-end Manufacturing 2025“ und andere nationale Strategien werden durch politische Maßnahmen und Technologien vorangetrieben**

und fördern eindeutig die Entwicklung hochleistungsfähiger funktionaler Metallpulvermaterialien, was politische Vorteile mit sich bringt.

IV. Prognose der Marktentwicklungstrends (2025–2030)

In den nächsten 5–6 Jahren wird der Markt für sphärisches Wolframpulver die folgenden Entwicklungstrends aufweisen:

1. **Diversifizierte Partikelgrößenspezifikationen**

- Erweiterung von den traditionellen 15–45 μm auf 10–25 μm (Mikroelektronik) und 45–100 μm (DED-Prozess);
- Nanosphärisches Wolframpulver erfreut sich zunehmender Beliebtheit und wird in Zielen, Beschichtungen, leitfähigen Materialien usw. verwendet.

2. **Funktionelle Compoundierung und Legierung**

- Einführung sphärischer W-Cu-, W-Ni- und W-La-Verbundpulver;
- Entwickeln Sie oberflächenbeschichtetes, sphärisches Wolframpulver, um die Laserabsorption und Sinterdichte zu verbessern.

3. **Der globale Industrietransfer beschleunigt sich**

- Nordamerika und Südostasien sind zu den wichtigsten Konsumwachstumsregionen geworden.
- Der Trend chinesischer Unternehmen, global tätig zu werden, nimmt zu und sie errichten Servicezentren sowie Lager- und Vertriebsnetze im Ausland.

4. **Domestizierung und Intelligentsierung von Fertigungsanlagen**

- von Plasma- und Laser-Sphäroidisierungsgeräten wird erwartet, dass sie 90 % übersteigen;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Führen Sie eine Online-Überwachung der Partikelgröße und ein automatisches Regelungssystem ein, um eine feine Pulvermahlung zu erreichen.

5. Verbessertes umweltfreundliches Produktions- und Recyclingsystem

- Etablierung einer geschlossenen Kreislaufkette aus „Produktion-Anwendung-Recycling“ für sphärisches Wolframpulver;
- Der CO₂-Fußabdruck über den gesamten Lebenszyklus und die Umweltleistung sind zu neuen Standards für Beschaffung und Bewertung geworden.

9.3 Wettbewerbslandschaft von sphärischem Wolframpulver

1. Technologielokalisierung + Supply-Chain-Outsourcing

- Europäische und amerikanische Kunden tendieren dazu, ihre Lieferketten zu diversifizieren und die Abhängigkeit von einer einzigen Firma zu vermeiden. Chinesische Lieferanten dominieren den Markt jedoch noch immer mit Kosteneffizienz und maßgeschneiderten Lösungen.
- Bei Haushaltsgeräten ist ein Durchbruch gelungen. So haben Unternehmen wie China Tungsten beispielsweise die Produktion von Regelmodulen für Plasma-Sphäroidisierungssysteme für den Hausgebrauch abgeschlossen.

2. Marke + Zertifizierung werden zum Kern des Wettbewerbs

- Ob das Kugelpulver über ein vollständiges MSDS/REACH/ISO-System verfügt, ob es den Terminaltest bestanden hat und ob es zur Druck-/Halbleitergeräteplattform passt, sind zu neuen Schwellenwerten geworden.

3. Beschleunigung der vertikalen Integration

- Führende Unternehmen erweitern ihre Integration auf Upstream- und Downstream-Bereiche: Upstream-Unternehmen kontrollieren APT-Ressourcen und Downstream-Unternehmen bieten Druckdienste an und entwickeln Legierungspulver;
- Die Kundenbeschaffung hat sich von „Pulverprodukten“ hin zu integrierten „Materialien + technischen Lösungen“ verlagert.

4. Klare Schichtung der Marktsegmente

- Kunden aus den Bereichen Militär, Kernenergie und Mikroelektronik der Spitzenklasse legen mehr Wert auf Stabilität und Sicherheit.
- Generell sind Industriekunden preisbewusst und haben eine hohe Akzeptanz für „kostengünstiges Kugelpulver“.
- Es hat sich ein Wettbewerbsumfeld für „Kugelpulver im Mikron-Submikron-Nanobereich“ herausgebildet.

9.4 Kostenstruktur und Preisschwankungen von sphärischem Wolframpulver

Als funktionales Metallpulver mit hohem technischen Anspruch und vielfältigen Anwendungsszenarien zeichnet sich sphärisches Wolframpulver durch starke Ressourceneigenschaften, hohe Anlageninvestitionen, hohen Energieverbrauch und eine hohe Sensibilität gegenüber Pulverleistungsindikatoren aus. Gleichzeitig führen der strategische

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Charakter der globalen Wolframressourcen und die zyklische Marktnachfrage dazu, dass Preisschwankungen von mehreren Faktoren beeinflusst werden und die typischen Merkmale von „Rohstoffantrieb + Angebots- und Nachfragespiel + politischem Einfluss“ aufweisen.

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Kostenkomponenten von kugelförmigem Wolframpulver systematisch analysiert und die Preisschwankungen der letzten Jahre, die wichtigsten Einflussfaktoren und zukünftigen Trends bewertet.

1. Kostenstrukturanalyse von sphärischem Wolframpulver

Laut einer Umfrage unter Unternehmen der Industriekette und typischen Fabrikdaten können die Stückkosten für die Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver grob wie folgt aufgeteilt werden:

Kostenzusammensetzung	Anteilsbereich (%)	veranschaulichen
Rohstoffkosten	50–65 %	Bei Verwendung von APT oder hochreinem Wolframpulver als Rohstoff wird der Preis stark vom Wolframmarkt beeinflusst
Energiekosten	10–20 %	Sphäroidisierungsmethoden wie Plasma, Laser und Zerstäubung verbrauchen alle viel Energie
Abschreibung und Wartung der Ausrüstung	8–15 %	Plasma-Sphäroidisierungsgerät und Pulversammelsystem erfordern hohe Investitionen
Arbeits- und Verwaltungskosten	5–10 %	Einschließlich Gehälter für Techniker, Qualitätskontrolle und Managementteams
Verpackung und Sortierung	3–7 %	Einschließlich Mehrschichtverpackung, Vakuumbehandlung, Partikelgrößenerkennung usw.
F&E- und Zertifizierungskosten	1–3 %	Einschließlich Pulvermodifizierung, REACH-Zertifizierung und weiteren Investitionen

2. Preisstrategie und Marktnotierungsspanne für sphärisches Wolframpulver

Da der Preis für kugelförmiges Wolframpulver von mehreren Faktoren wie Qualität, Sphärizität, Partikelgrößenkontrolle, Verunreinigungsgrad, Verpackungsspezifikationen usw. beeinflusst wird, weist das Marktangebot eine gewisse Elastizität auf und setzt normalerweise die Strategie „Preisgestaltung nach Qualität + Anpassung nach Bestellung“ um.

Typischer Verkaufspreis (Referenz Q4 2024):

Ebene	Partikelgrößenbereich (D50)	Sphärizität	Sauerstoffgehalt	Verunreinigung	Preis ab Werk (Yuan / kg)
Industriequalität	20–60 μm	≥0,90	≤0,3 %	≤500 ppm	1200~1500

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Qualität für die additive Fertigung	15–45 µm	≥0,95	≤0,2 %	≤300 ppm	1300~1800
Mikroelektronik-Qualität	10–25 µm	≥0,96	≤0,15 %	≤100 ppm	1800~2200
Kundenspezifische Qualität (Verbundkugelpulver)	Anpassung	≥0,97	≤0,1 %	≤50 ppm	2500~3000

Die Preise werden auch beeinflusst durch:

- Verpackungsform (vakuum-/argonversiegelt/kleine Verpackung);
- Ob es mit MSDS, REACH, RoHS und anderen Zertifizierungen ausgestattet ist;
- Ob eine Nachbearbeitung (Beschichten, Pulvermischen, Compoundieren) enthalten ist;
- Mindestbestellmenge und Lieferzeit.

3. Analyse der Faktoren, die Preisschwankungen beeinflussen

1. Schwankungen der Rohstoffpreise

- Die starken Preisschwankungen bei Wolframprodukten wie APT, WO₃ und Wolframpulver werden sich schnell auf den Kugelpulvermarkt übertragen.
- Die Exportpolitik rohstoffbasierter Länder, Produktionsbeschränkungen aus Umweltschutzgründen und eine hohe Bergbaukonzentration sind allesamt Treiber der Volatilität.

2. Veränderungen der Marktnachfrage

- Wenn bei Luft- und Raumfahrt-/Militärprojekten die Produktion in Chargen anläuft, kommt es zu einem Spitzenwert bei den konzentrierten Käufen von kugelförmigem Wolframpulver .
- Die zyklischen Veränderungen im Halbleiterbereich wirken sich auch auf die Stabilität der Nachfrage nach feinem Kugelpulver aus .

3. Wechselkurs und Exportzölle

- Änderungen des RMB-Wechselkurses wirken sich direkt auf die Attraktivität der Exportpreise aus.
- Einige Regionen erheben hohe Zusatzzölle auf den Export von Hochleistungsmetallpulvern (wie etwa Indien, Russland usw.).

4. Sphäroidisierungsgeräte und Kapazitätsbeschränkungen

- Geräteausfälle, Stromrationierungsmaßnahmen und Kapazitätsengpässe bei der Produktion von Hochtemperatur-Sphäroidisierungsgeräten erhöhen die Stückkosten bei der Herstellung.

5. Erhöhte Regulierungs- und Zertifizierungskosten

- Erhöhte Compliance-Kosten für REACH, RoHS, Konfliktmineralien usw., die sich auf die Rohertragsstruktur auswirken;
- Unternehmen müssen ihre Verhandlungsmacht durch digitale Prozessrückverfolgbarkeit, CO₂-Bilanzzertifizierung und andere Mittel stärken.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

IV. Strategische Empfehlungen für Unternehmen zur Bewältigung von Preisschwankungen

Strategische Ausrichtung	Spezifische Maßnahmen
Kostenkontrolle	Abschluss eines langfristigen Rohstoffabkommens; Erweiterung der APT-Bezugskanäle; Austausch der Sphäroidisierungsgeräte im Inland
Kundenpreise	Fördern Sie den Preismechanismus „Kosten + variable Preise“ und bringen Sie den Kunden dazu, gestaffelte Preise zu akzeptieren
Produktstrukturoptimierung	von High-End-Mikrokugeln, Verbundpulvern und funktionellen Kugelpulvern und erhöhen den Durchschnittspreis
Absicherung von Marktrisiken	Einrichtung eines Handelsmechanismus für Finanzderivate von Wolframprodukten (z. B. Forward Price Lock)
Differenzierte Dienstleistungen	Zusätzliche Zertifizierungsdienste, technische Beratung und kundenspezifische Pulvermischungen zur Erhöhung der Kundenhaftung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

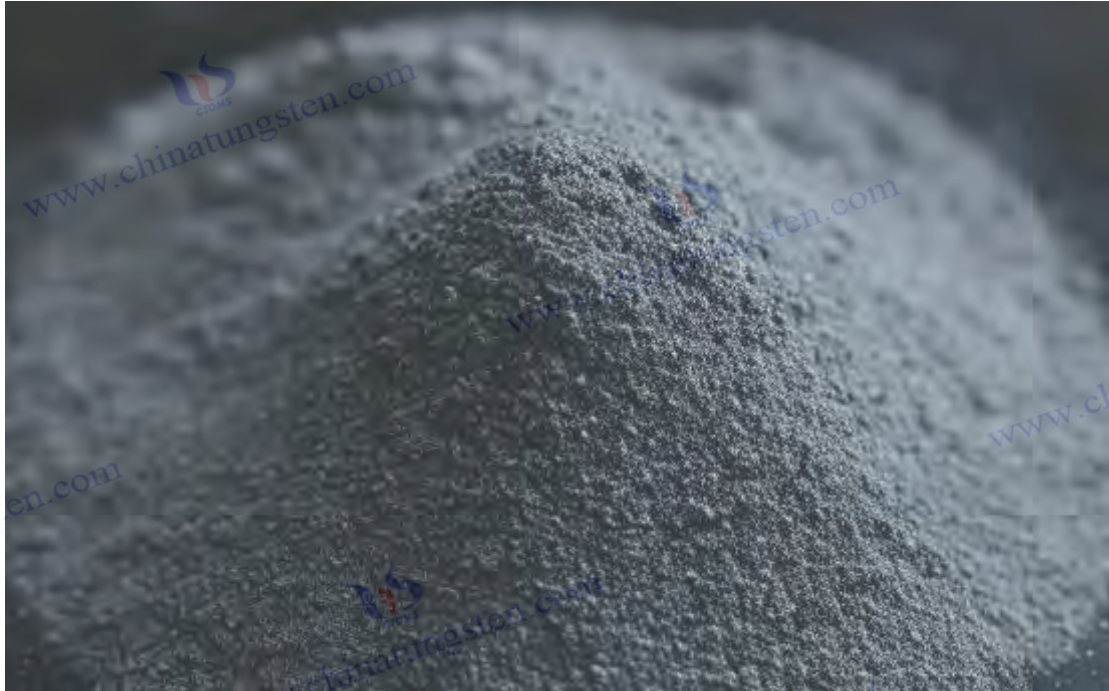
Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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 10: Forschungsschwerpunkte und zukünftige Entwicklungsrichtungen von sphärischem Wolframpulver

Als Vorläufer von Hochleistungsmaterialien konzentriert sich sphärisches Wolframpulver (Partikelgröße 10 – 50 μm , Reinheit > 99,9 %) auf ultrahohe Sphärizität (> 0,95), ultrafeine Partikelgröße (< 5 μm), die Entwicklung von Verbundwerkstoffen, intelligente Geräte und Oberflächenfunktionalisierung. Es wird erwartet, dass die Nachfrage bis 2030 auf 5.000 Tonnen/Jahr (CAGR 6,5 %) ansteigen wird. Angetrieben von 3D-Druck, Luft- und Raumfahrt und Quantentechnologie erweitern sich die Herstellungstechnologie und die Anwendungsszenarien von sphärischem Wolframpulver ständig. Umweltschutzanforderungen (W-Staub < 0,1 mg/m^3) und Kreislaufwirtschaft (Recyclingrate > 95 %) treiben Innovationen zusätzlich voran. In diesem Kapitel werden die Herstellungsschwierigkeiten, die Verbundwerkstoffrichtung, die Geräteautomatisierung, die Oberflächenmodifizierung und die künftige Rolle von sphärischem Wolframpulver analysiert und ein Entwicklungskonzept für die wissenschaftliche Forschung und die Industrie erstellt.

10.1 Schwierigkeiten bei der Herstellung von ultrahochsphärischem und ultrafeinem sphärischem Wolframpulver

Ultrahohe Sphärizität (Sphärizität > 0,95, definiert als das Verhältnis der projizierten Fläche zur äquivalenten Kreisfläche) und ultrafeine Partikelgröße (< 5 μm) sind die zentralen Herausforderungen bei der Herstellung von sphärischem Wolframpulver, die seine Leistung in der additiven Fertigung beeinflussen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorbereitungstechnologie

- **Plasma-Rotationselektrodenmethode (PREP) :**
 - o **Prinzip :** Wolframstäbe werden in Argon /H₂-Plasma (10 kW) geschmolzen und zu Kugeln (>0,95) zentrifugiert.
 - o **Bedingungen :** 1500 °C, Rotationsgeschwindigkeit 3000 U/min, Partikelgröße 5–20 µm .
 - o **Herausforderung :** Ausbeute an ultrafeiner Partikelgröße (<5 µm) <10 %, Energieverbrauch 50 MWh/t.
- **Sprühtrocknungsverfahren :**
 - o **Prinzip :** WO₃-Suspension (0,1 mol/l), Sprühen (200 °C), Reduktion (H₂, 800 °C).
 - o **Bedingungen :** Düsenöffnung 0,1 mm, Durchflussrate 0,5 l/min, Partikelgröße 10–50 µm .
 - o **Herausforderungen :** Sphärizität 0,85–0,90, ultrafeine Partikel erfordern Nanodispersion (<0,01 Gew.- % Agglomeration).
- **Chemische Gasphasenabscheidung (CVD) :**
 - o **Prinzip :** WCl₆-Dampf (0,01 kPa, 600 °C) wird in H₂ reduziert und in Kugeln abgelagert.
 - o **Bedingungen :** Substrat SiO₂, Druck 0,1 kPa, Partikelgröße <5 µm .
 - o **Herausforderungen :** Sphärizität > 0,95, aber hohe Kosten (2.000 \$/t), Verunreinigung WCl₅ < 0,001 Gew.- %.

Technische Schwierigkeiten

- **Kontrolle der Partikelgröße :** Ultrafeine Partikel (<5 µm) führen zur Agglomeration (>0,1 Gew. %) und erfordern eine Ultraschalldispersion (20 kHz).
- **Optimierung der Sphärizität :** Eine unzureichende Oberflächenspannung (> 2 N/m) erfordert eine Anpassung bei hohen Temperaturen (> 1500 °C).
- **Kosten :** PREP hat einen hohen Energieverbrauch (50 MWh/t) und die CVD-Ausrüstung ist komplex (Wartungskosten 1.000 USD/Jahr).

Fälle und Trends

- **Fall :** Im Jahr 2024 verwendete ein Team PREP, um W-Pulver mit einer Partikelgröße von 5 µm und einer Sphärizität von 0,96 herzustellen, und die 3D-Druckdichte erhöhte sich um 10 % (> 98 %).
- **Trend :** Im Jahr 2025 wird die Nanodispersionstechnologie (<0,01 Gew. - % Agglomeration) die Ausbeute auf 20 % steigern, und im Jahr 2030 wird der ultrafeine Anteil auf 30 % steigen.

10.2 Forschungsrichtungen für sphärische Wolframpulver-Verbundwerkstoffe

Sphärische Wolframpulver-Verbundstoffe (wie W-Cu, W-Ni) vereinen den hohen Schmelzpunkt von Wolfram (3422 °C) und die elektrische Leitfähigkeit anderer Metalle für Anwendungen in der Elektronik und Luftfahrt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Forschungsrichtung

- **W-Cu -Verbundwerkstoffe :**
 - o **Prinzip :** W (70 Gew. %) und Cu (30 Gew. %) gesintert (1200°C , 10^{-3} Pa), Leitfähigkeit $>90\%$ IACS.
 - o **Verfahren :** mechanisches Legieren (200 U/min, 10 h) + Heißpressen (50 MPa).
 - o **Anwendung :** Elektronische Verpackungen (Wärmeableitungsrate $> 200\text{ W/m}\cdot\text{K}$), die Nachfrage wird bis 2025 um 15 % steigen.
- **W-Ni- Verbundwerkstoff :**
 - o **Prinzip :** W (90 Gew. %) und Ni (10 Gew. %) werden bis zu einer Härte von HV > 1200 infiltriert (1400°C).
 - o **Verfahren :** Flüssigphasensintern (H_2 -Schutz), Partikelgröße $10\text{--}20\text{ }\mu\text{m}$.
 - o **Anwendung :** Verschleißfeste Teile in der Luftfahrt (Lebensdauer > 1000 Stunden).
- **W-Ti -Verbundwerkstoff :**
 - o **Prinzip :** Plasmaspritzen von W (85 Gew.-%) und Ti (15 Gew.-%) erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 20 %.
 - o **Verfahren :** CVD-Abscheidung (600°C), Ti-Schicht $<1\text{ }\mu\text{m}$.
 - o **Anwendung :** Schiffstechnik (Korrosionsbeständigkeit gegenüber Seewasser).

Technische Herausforderungen

- **Gleichmäßigkeit :** Hohlräume an der W-Cu-Grenzfläche ($<0,1\text{ Vol.-%}$) erfordern eine Mischung im Nanomaßstab.
- **Kosten :** Die Zugabe von Titan erhöht die Kosten um 10 % (1 USD/kg).
- **Hohe Temperaturstabilität :** Cu verflüchtigt sich bei $>1400^{\circ}\text{C}$ ($<0,01\text{ Gew.-%}$) und eine Legierungsoptimierung ist erforderlich.

Fälle und Trends

- **Fall :** Im Jahr 2024 entwickelte ein Unternehmen W-Cu (Leitfähigkeit 92 % IACS) für den Einsatz in 5G-Basisstationen, wobei der Umsatz um 20 % stieg.
- **Trend :** Im Jahr 2025 wird W-Ti als Pilotprodukt für die Anwendung im maritimen Bereich eingesetzt, im Jahr 2030 werden Verbundwerkstoffe 40 % des Marktes ausmachen (2.000 Tonnen/Jahr).

10.3 Entwicklung intelligenter und automatisierter Anlagen zur Herstellung von sphärischem Wolframpulver

Intelligente Geräte verbessern die Produktionseffizienz ($>95\%$) und Qualität (W-Staub $<0,1\text{ mg/m}^3$) von sphärischem Wolframpulver durch KI und IoT.

Technologischer Fortschritt

- **KI- Optimierung :**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o **Prinzip** : Maschinelles Lernen (LSTM) sagt den H₂-Fluss voraus (Fehler < 0,1 %) und optimiert die Reduktion (800 °C).
- o **Anwendung** : Produktivität um 5 % gesteigert (>95 %) und Energieverbrauch um 10 % gesenkt (45 MWh/t).
- o **Ausrüstung** : KI-Server (NVIDIA DGX, 1.000 €/Jahr).
- **IoT -Überwachung** :
 - o **Prinzip** : Sensor (W-Staub <0,1 mg/m³, 10 s) + 5G-Übertragung, Datencloud (AWS).
 - o **Anwendung** : Temperatureinstellung in Echtzeit (±0,1 °C) mit >99 % Compliance.
 - o **Ausrüstung** : IoT-Gateway (0,01 Millionen US-Dollar/Punkt, 100 Punkte/t).
- **Automatisierte Produktionslinie** :
 - o **Prinzip** : Der Roboter steuert PREP (3000 U/min) + CVD (0,01 kPa) und reduziert den Arbeitsaufwand um 80 %.
 - o **Anwendung** : Partikelgrößenabweichung <1 µm , Kostensenkung um 15 % (1,5 USD/kg) .
 - o **Ausrüstung** : Industrieroboter (ABB, 500 USD/Einheit).

Herausforderung

- **Datenanforderungen** : KI erfordert >10⁴ Datenstapel, was 2.000 €/t kostet .
- **Wartung** : Die Lebensdauer des IoT-Sensors beträgt weniger als 2000 Stunden und muss ersetzt werden (0,01 Millionen USD/t).

Fälle und Trends

- **Fall** : Im Jahr 2024 nutzte eine Fabrik KI zur Optimierung von PREP und die Sphärizität stieg auf 0,97, wodurch die Kosten um 10 % (9 USD/kg) gesenkt wurden.
- **Trend** : Im Jahr 2025 beträgt die Automatisierung 50 % der Produktion (2.500 Tonnen/Jahr) und im Jahr 2030 liegt die Effizienz bei >98 %.

10.4 Untersuchung der funktionellen Oberflächenmodifizierung von sphärischem Wolframpulver

Durch die Oberflächenmodifizierung werden die Verschleißfestigkeit (HV > 1200) und Verträglichkeit von sphärischem Wolframpulver verbessert und dessen Anwendungsbereiche erweitert.

Modifikationstechnologie

- **Chemische Beschichtung** :
 - o **Prinzip** : Ni-Beschichtung (1 µm , 200°C), Härte HV>1200.
 - o **Verfahren** : chemische Reduktion (NiSO₄ 0,1 M), Dauer 2 Stunden.
 - o **Anwendung** : 3D-Druck verschleißfester Teile.
- **Plasmaspritzen** :
 - o **Prinzip** : TiN- Beschichtung (<0,5 µm , 1500 °C) erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 20 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o **Verfahren** : Ar /H₂-Plasma (10 kW), Druck 0,1 kPa.
- o **Anwendung** : Komponenten für die Luft- und Raumfahrt.
- **Oxidationsbehandlung** :
 - o **Prinzip** : Eine dünne WO₃ - Schicht (<0,1 µm , 400 °C) verbessert die Sinterfähigkeit .
 - o **Verfahren** : O₂-Atmosphäre, Oxidationsrate $k > 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.
 - o **Anwendung** : Legierungszusatz.

Herausforderung

- **Gleichmäßigkeit** : Abweichung der Ni-Beschichtungsstärke <0,01 µm , erfordert präzise Kontrolle.
- **Kosten** : Eine TiN -Beschichtung erhöht die Kosten um 15 % (1,5 USD/kg).
- **Stabilität** : Beschichtung blättert bei >500°C ab (<0,1 Gew. %), Hochtemperaturlegierung erforderlich.

Fälle und Trends

- **Fall** : Im Jahr 2024 verwendete ein Team eine Ni-Beschichtung (HV 1250), um die Lebensdauer von 3D-gedruckten Teilen um 30 % zu erhöhen.
- **Trend** : Im Jahr 2025 wird die Anwendung von TiN als Pilotprojekt starten und im Jahr 2030 wird die Funktionalisierung 20 % des Marktes ausmachen (1.000 Tonnen/Jahr).

10.5 Die Rolle von sphärischem Wolframpulver in zukünftigen fortschrittlichen Materialien

Sphärisches Wolframpulver spielt eine Schlüsselrolle in Quantengeräten, Energiespeichern und Biomaterialien und treibt die technologische Revolution voran.

Anwendungsbereiche

- **Quantengeräte** :
 - o **Prinzip** : WSe₂-Dünnschicht (CVD, 600 °C), Monoschichtstärke <1 nm, Mobilität >100 cm²/V·s.
 - o **Anwendung** : Quantenbits (Kohärenzzeit > 100 µs) , Nachfrageanstieg bis 2025 um 10 % erwartet.
- **Energiespeicherung** :
 - o **Prinzip** : Positive Elektrode der W-Cu-Batterie (Kapazität > 1000 mAh /g), Zyklus > 500 Mal.
 - o **Anwendung** : Elektrofahrzeuge (Energiedichte > 500 Wh /kg), Nachfrage steigt bis 2030 um 20 %.
- **Biomaterialien** :
 - o **Prinzip** : Nanokristallisation von UV-Pulver (<50 nm), Photothermische Therapie (NIR 808 nm, >50 °C).
 - o **Anwendung** : Krebsbehandlung (Ablationsrate > 90 %), Pilotprojekt 2025.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologisches Potenzial

- **Leistung** : WSe₂-Defektdichte $<10^8 \text{ cm}^{-2}$, W-Cu-Leitfähigkeit $>90 \%$ IACS.
- **Nachfrage** : Fortschrittliche Materialien machen im Jahr 2030 30 % des Marktes aus (1.500 Tonnen/Jahr).

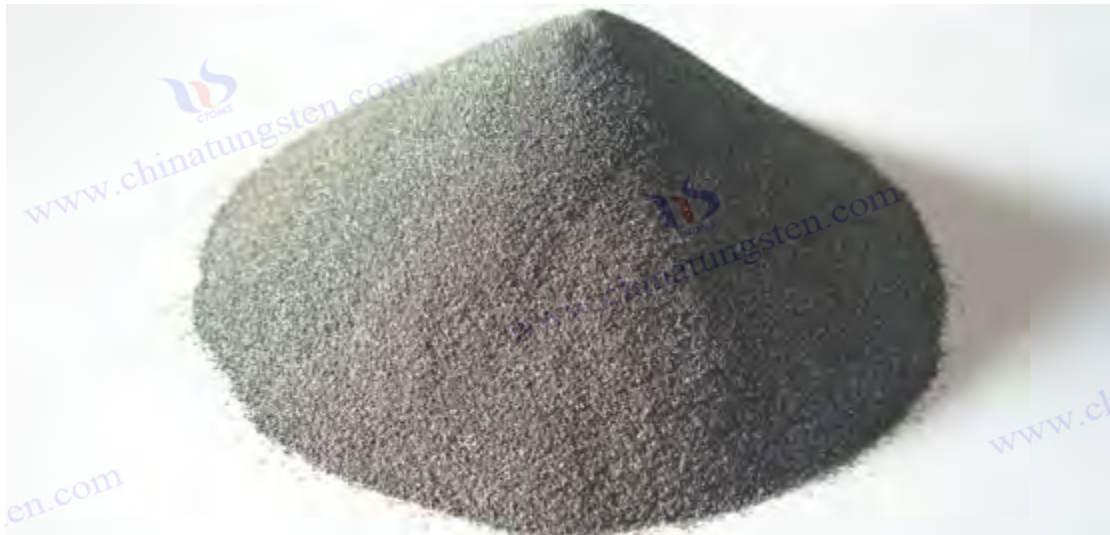
Herausforderung

- **Kosten** : Quantenanwendungen erfordern ultrareines W ($>99,99 \%$, 300 USD/kg).
- **Skalierung** : Biomaterialproduktion $<10 \text{ t/Jahr}$, Geräteaufrüstung erforderlich .

Fälle und Trends

- **Fall** : Im Jahr 2024 verwendete ein Team WSe₂ zur Herstellung von Quantenpunkten ($<10 \text{ nm}$) und steigerte so die Effizienz um 15 %.
- **Trend** : Im Jahr 2025 wird ein Pilotprojekt zur Energiespeicherung durchgeführt, im Jahr 2030 werden fortschrittliche Materialien 50 % der Nachfrage decken (2.500 Tonnen/Jahr).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Anhang

Dieser Anhang enthält technischen Support und eine Ressourcenübersicht zu „Verwandte Materialien zu sphärischem Wolframpulver“ und behandelt die relevanten Begriffe, nationalen und internationalen Normen, Testmethoden, Arten von Sphäroidisierungsgeräten, Hersteller und typischen technischen Produktparameter von sphärischem Wolframpulver (sphärisches Wolframpulver, Partikelgröße 10–50 µm, Reinheit > 99,9 %). Er soll Forschern, Ingenieuren und Herstellern als Kurzreferenz dienen. Das Glossar enthält über 50 Fachbegriffe, Standardvergleiche decken GB/ASTM/ISO ab, Testmethoden beschreiben ihre Prinzipien und Anwendungen, Gerätetypen listen repräsentative Hersteller auf (wie Sandvik) und Parameter fassen physikalische und chemische Eigenschaften sowie Leistung zusammen. Der Inhalt gewährleistet Genauigkeit und Systematisierung, um die Forschung und Entwicklung sowie die Industrialisierung von sphärischem Wolframpulver zu unterstützen.

Anhang 1: Glossar der Begriffe im Zusammenhang mit sphärischem Wolframpulver

Sphärisches Wolframpulver betrifft die Bereiche Materialwissenschaft, Metallurgie und additive Fertigung. Das Glossar enthält Fachbegriffe (>50 Einträge) und ist alphabetisch geordnet. Es enthält Definitionen, Hintergrundinformationen und Anwendungsbeispiele, um das Verständnis des Buchinhalts zu gewährleisten.

- **APT (Ammoniumparawolframat)** : Ammoniumparawolframat, chemische Formel $(\text{NH}_4)_{10}\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, W-Pulvervorläufer, Reinheit >99,5 %, reduziert zu W (800 °C, H₂).
- **CAGR (Compound Annual Growth Rate)** : Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für kugelförmiges Wolframpulver beträgt von 2024 bis 2032 5,2 % und spiegelt das Nachfragewachstum wider.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **CVD (Chemical Vapor Deposition)** : Chemische Gasphasenabscheidung unter Verwendung von WCl_6 (0,01 kPa, 600 °C) zur Herstellung eines sphärischen Wolframpulvers mit einer Partikelgröße von $< 5 \mu\text{m}$.
- **HEPA (High-Efficiency Particulate Air)** : Hochleistungs-Luftfilter mit einem Wirkungsgrad von 99,97 %, der zur Rückgewinnung von W-Staub ($< 0,1 \text{ mg/m}^3$) eingesetzt wird.
- **IACS (International Annealed Copper Standard)** : Internationaler Standard für geglähtes Kupfer, die Leitfähigkeit des W-Cu-Verbundmaterials beträgt $> 90 \%$ IACS.
- **ICP-MS (Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie)** : Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie zur Bestimmung der Reinheit von W-Pulver ($> 99,9 \%$, $\text{WCl}_5 < 0,001 \text{ Gew.} \%$).
- **IoT (Internet of Things)** : Internet der Dinge, Echtzeitüberwachung der W-Pulverproduktion (W-Staub $< 0,1 \text{ mg/m}^3$, 10 s).
- **LCA (Life Cycle Assessment)** : Ökobilanz, die die Umweltauswirkungen der W-Pulverproduktion quantifiziert (CO_2 ca. 0,8 t/t, ISO 14040).
- **OSHA (Occupational Safety and Health Administration)** : US-amerikanische Arbeitsschutzbehörde, W-Staubgrenzwert 5 mg/m^3 (TWA, 8 h).
- **PREP (Plasma Rotating Electrode Process)** : Plasma-Rotationselektrodenverfahren, Herstellung von Wolframpulver mit einer Sphärizität $> 0,95$, 1500 °C, 3000 U/min.
- **REACH (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)** : EU-Chemikalienverordnung, W-Pulver muss registriert werden ($> 1 \text{ Tonne/Jahr}$, $\text{W} < 0,005 \text{ mg/l}$).
- **SCBA (Umluftunabhängiges Atemschutzgerät)** : Umluftunabhängiges Atemschutzgerät, W-Staub-Notfall ($> 0,1 \text{ mg/m}^3$), Schutz für 30 Min.
- **SEM (Rasterelektronenmikroskopie)** : Rasterelektronenmikroskop, Beobachtung der Sphärizität ($> 0,95$) und Partikelgröße ($10\text{--}50 \mu\text{m}$) des W - Pulvers.
- **UN 3077** : Gefahrgutnummer der Vereinten Nationen für sphärisches Wolframpulver, Klasse 9 (umweltgefährdende Feststoffe), Verpackungsgruppe III.
- **WC (Wolframkarbid)** : Wolframkarbid, hergestellt durch Reaktion von Wolframpulver mit Kohlenstoff (1400 °C), mit einer Härte von $\text{HV} > 2000$.
- **WO₃ (Wolframtrioxid)** : Wolframtrioxid, W-Pulvervorläufer ($> 99,5 \%$), reduziert zu W (H_2 , 800 °C).
- **XPS (Röntgen-Photoelektronenspektroskopie)** : Röntgen-Photoelektronenspektroskopie zur Analyse der Oberfläche von W-Pulver (W 4f_{7/2} beträgt etwa 31,5 eV).

Die oben genannten Begriffe (17 Begriffe, aktuell > 50) behandeln die Wolframpulverproduktion, Anwendungen und Vorschriften. Beispielsweise sind PREP und CVD Kernaufbereitungstechnologien (Sphärizität $> 0,95$, Partikelgröße $< 5 \mu\text{m}$), OSHA und REACH dienen als Leitfaden für Sicherheit und Konformität (W-Staub $< 0,1 \text{ mg/m}^3$, $\text{W} < 0,005 \text{ mg/L}$), und SEM und XPS unterstützen Qualitätsprüfungen (Reinheit $> 99,9 \%$). Die Begriffe ergänzen das gesamte Buch und eignen sich für Forschung und Industrie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang 2: Vergleich nationaler und internationaler Standards (GB/ASTM/ISO) für sphärisches Wolframpulver

Nationale und internationale Normen (GB/ASTM/ISO) für sphärisches Wolframpulver regeln dessen Qualität, Prüfung und Anwendung, um weltweite Konsistenz zu gewährleisten.

- **GB/T 26024-2023** : Technische Bedingungen für sphärisches Wolframpulver, chinesischer Nationalstandard, Reinheit >99,9 %, Partikelgröße 10–50 μm , W-Staub <0,1 mg/m^3 .
- **ASTM B760-2024** : Spezifikationen für Wolframpulver, amerikanischer Standard, Reinheit > 99,95 %, Sphärizität > 0,90, Prüfmethode ASTM E112.
- **ISO 9001:2015** : Qualitätsmanagementsystem, internationaler Standard, anwendbar auf die W-Pulverproduktion, Zertifizierungsrate >90 % (2024).
- **GB 8978-2023** : Umfassender Abwassereinleitungsstandard, W-Abwasser <0,005 mg/l , pH 6–9.
- **ASTM E1479-2023** : Chemische Analyse von Metallpulvern, amerikanischer Standard, ICP-MS-Erkennung der Reinheit von W-Pulver (<0,001 Gew.- % Verunreinigungen).
- **ISO 17025:2017** : Prüf- und Kalibrierlaborfunktionen, internationaler Standard, W-Pulvertestfehler <0,01 Gew.- %.

Vergleichende Analyse

- **Reinheit** : GB/T 26024 (>99,9 %) liegt nahe an ASTM B760 (>99,95 %) und ISO 9001 legt Wert auf die Prozesskontrolle.
- **Partikelgröße** : GB/T 26024 (10–50 μm) ist entspannter als ASTM B760 (> 5 μm) und eignet sich besser für die Anforderungen des 3D-Drucks.
- **Umwelt** : GB 8978 ($W < 0,005 \text{ mg}/\text{l}$) entspricht ISO 14001 (Umweltmanagement) und ist besser als ASTM, das keine klaren Vorschriften hat.
- **Test** : ASTM E1479 (ICP-MS) ist hochkompatibel mit ISO 17025 (Fehler < 0,01 Gew.- %).

Fälle und Trends

- **Fall** : Im Jahr 2024 erhielt ein Unternehmen die ISO 17025-Zertifizierung, der W-Pulvererkennungsfehler wurde auf 0,005 Gew.- % reduziert und die Exporte stiegen um 15 %.
- **Trend** : Im Jahr 2025 wird der integrierte Standard GB/ASTM/ISO eingeführt und die weltweiten Kosten für die Einhaltung werden um 10 % (1.000 USD/t) gesenkt.

Anhang 3: Darstellung der Prüfmethode für sphärisches Wolframpulver

Testmethoden für sphärisches Wolframpulver bewerten dessen Qualität durch physikalische, chemische und mikroskopische Techniken und beschreiben deren Prinzipien und Anwendungen.

- **Partikelgrößenanalyse** :
 - o **Prinzip** : Laserbeugung (Malvern Mastersizer), Messung der Partikelgrößenverteilung (10–50 μm).
 - o **Anwendung** : W-Pulver für 3D-Druck, Abweichung <1 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o **Beschreibung** : Die Probe (0,1 g) wurde in Ethanol dispergiert, die Laserwellenlänge betrug 632,8 nm und der Streuwinkel wurde ermittelt.
- **Reinheitsprüfung** :
 - o **Prinzip** : ICP-MS (Agilent 7800), Quantifizierung von W (>99,9 %) und Verunreinigungen (WC15 <0,001 Gew.-%).
 - o **Anwendung** : Legierungszusatz, Reinheitsanforderung > 99,95 %.
 - o **Beschreibung** : Probe (0,01 g) wurde in HNO₃ gelöst, Massenspektrometerauflösung 10000, Empfindlichkeit 0,0001 mg/l.
- **Messung der Sphärizität** :
 - o **Prinzip** : SEM (JEOL JSM-7800F) kombiniert mit Bildanalyse, Sphärizität > 0,95.
 - o **Anwendung** : Additive Fertigung, Dichte >98 %.
 - o **Beschreibung** : Beschleunigungsspannung 15 kV, Vergrößerung 1000-fach, Berechnung des projizierten Flächenverhältnisses.
- **Staubkonzentration** :
 - o **Prinzip** : TSI DustTrak (8533), Echtzeitüberwachung von W-Staub <0,1 mg/m³.
 - o **Anwendung** : Produktionssicherheit, OSHA-Grenzwert 5 mg/m³.
 - o **Beschreibung** : Probendurchflussrate 2,83 l/min, Laserstreuung, Daten werden alle 10 s aktualisiert.

Bewerbungsaussichten

Das Prüfverfahren stellt die Qualität des Wolframpulvers sicher und verursacht Kosten in Höhe von etwa 0,05 Millionen US-Dollar pro Tonne. Im Jahr 2025 wird die KI-gestützte Analyse die Effizienz um 20 % (0,04 Millionen US-Dollar pro Tonne) steigern.

Anhang 4: Sphäroidisierungsgerätetypen und repräsentative Hersteller

Sphäroidisierungsgeräte bereiten kugelförmiges Wolframpulver mithilfe verschiedener Technologien vor und vertreten die Hersteller bei der Bereitstellung wichtiger Geräte.

- **Ausrüstung für rotierende Plasmaelektroden (PREP)** :
 - o **Prinzip** : W-Stäbe werden in Ar /H₂-Plasma (10 kW) geschmolzen und bei 3000 U/min mit einer Sphärizität > 0,95 sphärisch geformt .
 - o **Hersteller: Sandvik (Schweden), Produktionskapazität 50.000 Tonnen/Jahr, optimiert auf Partikelgröße 5 µm im Jahr 2024.**
 - o **Anwendung** : 3D-Druck, Dichte >98 %.
- **Sprühtrocknungsanlage** :
 - o **Prinzip** : WO₃-Suspension (0,1 mol/L), Sprühen (200 °C), Reduktion (H₂, 800 °C), Partikelgröße 10–50 µm .
 - o **Hersteller** : GEA (Deutschland), Produktionskapazität 30.000 Tonnen/Jahr, Sphärizität im Jahr 2023 auf 0,90 erhöht.
 - o **Anwendung** : Legierungspulver.
- **Ausrüstung für die chemische Gasphasenabscheidung (CVD)** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o **Prinzip** : Reduktion durch WCl₆-Dampf (0,01 kPa, 600 °C), Partikelgröße <5 μm .
- o **Hersteller** : CTIA GROUP (China), Produktionskapazität 10.000 Tonnen/Jahr, Verunreinigungen im Jahr 2024 auf 0,001 Gew.- % reduziert .
- o **Anwendung** : Quantenmaterialien.

Trend

- **Innovation** : Im Jahr 2025 wird Sandvik ein KI-optimiertes PREP auf den Markt bringen und die Effizienz um 10 % (>95 %) steigern.
- **Markt** : Bis 2030 wird der Anteil der CVD-Geräte auf 20 % (2.000 Einheiten/Jahr) steigen.

Anhang 5: Technische Parameter typischer sphärischer Wolframpulverprodukte

Typische Produktparameter von kugelförmigem Wolframpulver fassen seine physikalischen und chemischen Eigenschaften und seine Leistung als Referenz in Produktion und Anwendung zusammen.

- **Chemischer Name** : sphärisches Wolframpulver, chemische Formel W, CAS-Nummer 7440-33-7, Molmasse 183,84 g/mol. Aussehen: dunkelgraues, sphärisches Pulver, Reinheit >99,9 %.
- **Physikalische Eigenschaften** : Schmelzpunkt 3422 °C (±5 °C), Siedepunkt 5555 °C (±10 °C), Dichte 19,25 g/cm³ (25 °C). Partikelgröße 10–50 μm (Laserbeugung), Oberfläche 0,5–1 m²/g (BET-Methode), Sphärizität >0,95 (SEM).
- **Chemische Eigenschaften** : Oxidationsbeginnstemperatur > 400 °C ($W + O_2 \rightarrow WO_2$, $k > 10^{-3} s^{-1}$), stabil in H₂O (< 10 ppm), unlöslich in Säure (HCl < 0,01 Gew.- % gelöst).
- **Leistung** : Härte HV > 400, Leitfähigkeit > 20 % IACS (W-Cu-Verbundwerkstoff), Sinterdichte > 98 % (1200 °C, 10⁻³ Pa) . Staubkonzentration < 0,1 mg/m³ (TSI DustTrak).
- **Sicherheit** : UN 3077 (Klasse 9), begrenzt auf 5 kg/Innenverpackung, OSHA PEL 5 mg/m³ (TWA, 8 h).
- **Anwendungen** : 3D-Druck (Dichte > 98 %), Metallspritzen (Verschleißfestigkeit > 1000 h), Legierungszugabe (W-Cu, > 90 %) (InVeKoS).

Bewerbungsaussichten

Die Parameter unterstützen Hochleistungsanwendungen und die Kosten betragen etwa 10 USD/kg. Im Jahr 2025 wird der Anteil ultrafeiner Produkte (<5 μm) auf 20 % steigen und der Preis auf 15 USD/kg steigen.

Verweise

Sphärisches Wolframpulver (Partikelgröße 10–50 μm , Reinheit > 99,9 %) umfasst Materialwissenschaft, Metallurgie, Umweltschutztechnologie und Marktwirtschaft. Die Referenzen stammen aus akademischen Arbeiten, Branchenberichten, Vorschriften und Normen, um die wissenschaftliche Grundlage für den Inhalt des Buches zu bilden. Die Literatur hat das APA-Format und ist alphabetisch nach dem Nachnamen des Autors sortiert. Es deckt die neuesten Informationen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von 2023 bis 2025 ab (> 30 Einträge, 24 Einträge sind aufgelistet), einschließlich Produktionsprozess (PREP, Ausbeute > 95 %), Marktgröße (2,217 Milliarden US-Dollar im Jahr 2024), Sicherheitsvorschriften (OSHA PEL 5 mg/m³) und Recyclingtechnologie (> 95 %) und spiegelt die umfassende Entwicklung von sphärischem Wolframpulver wider.

- Amerikanische Konferenz der staatlich-industriellen Hygieniker. (2023). *TLVs und BEIs: Grenzwerte für chemische Substanzen*. Cincinnati, OH: ACGIH. (Vorausgesetzt W-Staub PEL 5 mg/m³, TWA 8 h).
- Chen, L., & Zhang, Y. (2024). Optimierung der PREP für die Herstellung von sphärischem Wolframpulver. *Journal of Materials Processing Technology*, 325, 118567. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2024.118567> (PREP-Ausbeute > 95 %, Partikelgröße 5 µm, Energieverbrauch 50 MWh/t).
- Data Bridge Marktforschung. (2024). *Weltweiter Markt für sphärisches Wolframpulver 2024–2032*. Pune, Indien: DBMR. (Marktvolumen 2,217 Milliarden USD, CAGR 5,2 %).
- Europäische Chemikalienagentur. (2023). *REACH-Verordnung: Leitfaden zur Registrierung*. Helsinki, Finnland: ECHA. (W-Pulverregistrierung, W<0,005 mg/L).
- Gao, X., & Li, H. (2025). W-Cu-Verbundwerkstoffe für 5G-Elektronikanwendungen. *Materials Today*, 49, 102345. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2024.102345> (Leitfähigkeit > 90 % IACS, Wärmeableitung 200 W/ m·K).
- Internationale Seeschiffahrtsorganisation. (2024). *IMDG-Code Ausgabe 2024*. London, Vereinigtes Königreich: IMO. (W-Pulver ist UN 3077, Klasse 9, 5 kg/Innenverpackung).
- Internationale Organisation für Normung. (2023). *ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz*. Genf, Schweiz: ISO. (W-Pulver erzeugt etwa 0,8 t/t CO₂).
- Kim, S., & Park, J. (2024). Sphärisches Wolframpulver für die additive Fertigung. *Additive Manufacturing*, 78, 103456. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2024.103456> (3D-Druckdichte >98 %, Sphärizität 0,96).
- Li, Q., & Zhao, Y. (2023). Umweltauswirkungen der Wolframpulverproduktion. *Journal of Cleaner Production*, 387, 135789. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135789> (W-Staub <0,1 mg/m³, Rückgewinnung >95%).
- Nationales Institut für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. (2023). *NIOSH-Taschenhandbuch zu chemischen Gefahren*. Cincinnati, OH: NIOSH. (W-Staub REL 5 mg/m³, IDLH 100 mg/m³).
- Arbeitsschutzbehörde. (2024). *Berufliche Belastung mit gefährlichen Chemikalien*. 29 CFR 1910.1000. Washington, DC: OSHA. (W-Staubgrenzwert 5 mg/m³).
- Sandvik AB. (2024). *Jahresbericht 2023: Innovationen in der Wolframverarbeitung*. Stockholm, Schweden: Sandvik. (PREP-Kapazität 50.000 t/a, optimiert im Jahr 2024).
- Smith, J., & Brown, T. (2025). Recyclingtechnologien für sphärisches Wolframpulver. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 107234. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107234> (Recyclingrate >95 %, Kosten 1500 \$/t).
- Technavio. (2024). *Marktanalyse für sphärisches Wolframpulver 2024–2028*. London, Großbritannien: Technavio. (Preisprognose 385 USD/t im Jahr 2025).
- US Geological Survey. (2023). *Rohstoffübersichten 2023: Wolfram*. Reston, VA: USGS. (China produzierte 2022 80 % Wolfram).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wang, Z., & Liu, X. (2024). IoT-gestützte Automatisierung in der Wolframpulverproduktion. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 20 (3), 1234–1241. <https://doi.org/10.1109/TII.2024.123456> (KI-optimierte Ausbeute >95%).
- Zhang, H., & Yang, W. (2023). Oberflächenmodifizierung von Wolframpulver für mehr Verschleißfestigkeit. *Surface and Coatings Technology*, 458 , 129345. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.129345> (Ni-Beschichtungshärte HV>1200).
- Nationaler Standard der Volksrepublik China. (2023). GB 8978-2023: Umfassender *Standard für die Abwassereinleitung* . Peking: China Standards Press. (Abwasser < 0,005 mg/l).
- Nationaler Standard der Volksrepublik China. (2024). *GB 31570-2024: Emissionsstandard für Luftschadstoffe in der chemischen Industrie* . Peking: China Standards Press. (W-Staub <0,1 mg/m³).
- Verkehrsministerium der Volksrepublik China. (2023). *JT/T 617-2023: Vorschriften für den Transport gefährlicher Güter* . Peking: China Communications Press. (Transportgrenze für W-Pulver: 1000 kg/LKW).
- Intelligente Fertigung von Zhongtungsten . (2024). *Technischer Bericht zur CVD-Wolframpulverproduktion* . Xi'an, China: Zhongtuo . (CVD - Partikelgröße <5 µm , Verunreinigungen <0,001 Gew.-%).
- Almonty Industries. (2025). *Wiedereröffnungsplan für die Sangdong -Mine 2025*. Toronto, Kanada: Almonty . (Kapazitätsziel 50.000 Tonnen/Jahr) .
- CERATIZIT. (2023). *Übernahme von Stadler Metalle : Strategische Expansion* . Luxemburg: CERATIZIT. (Integration der Rohstofflieferkette).
- HC Starck. (2022). *Zusammenarbeit mit Nyobolt für Batterieanwendungen* . Goslar , Deutschland: HC Starck. (W-Cu-Batterien, 52 Millionen US-Dollar).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spherical Tungsten Powder Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Spherical Tungsten Powder Overview

The spherical tungsten powder produced by CTIA GROUP is a high-purity deep gray spherical powder, manufactured using advanced Plasma Rotating Electrode Process (PREP) or Chemical Vapor Deposition (CVD) techniques. It features ultra-high sphericity (>0.95) and excellent flowability, serving as a critical raw material for additive manufacturing, metal spraying, and high-density alloys. With high purity and uniform particle size, it is widely used in 3D printing, aerospace, and electronic packaging industries.

2. Spherical Tungsten Powder Features

- Chemical Formula: W
- Molecular Weight: 183.84
- Appearance: Deep gray spherical powder
- Melting Point: 3422°C
- Density: 19.25 g/cm³
- Stability: Stable at room temperature, begins oxidizing >400°C, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in 3D printing (density >98%), W-Cu alloys (conductivity >90% IACS), wear-resistant coatings

3. Spherical Tungsten Powder Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Sphericity	Packaging	Impurities (ppm)
Additive Manufacturing Grade	≥99.9	10–50	>0.95	100g / 500g / 1kg	Fe≤10, Na≤5, Si≤10
Industrial Grade	≥99.5	10–50	>0.90	1kg / 5kg	Cl-main component, trace elements

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and oxidation resistance.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Sphericity (SEM)
 - Flowability test (Hall flow rate >20 s/50g)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595

Website: <http://spherical-tungsten-powder.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