

Enzyklopädie der Wolframstäbe

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
Seltenerdmetallindustrie

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung des intelligenten, integrierten und flexiblen Designs und der Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erste erstklassige Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes, das sich auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie konzentriert. Mit fast drei Jahrzehnten umfassender Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän erbt die CTIA GROUP die außergewöhnlichen Design- und Fertigungskapazitäten, die hervorragenden Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihrer Muttergesellschaft und wird zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, Legierungen mit hoher Dichte, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 200 mehrsprachige professionelle Websites für Wolfram und Molybdän eingerichtet, die mehr als 20 Sprachen abdecken und über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden enthalten. Seit 2013 hat der offizielle WeChat-Account "CHINATUNGSTEN ONLINE" über 40.000 Informationen veröffentlicht, fast 100.000 Follower bedient und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen zur Verfügung gestellt. Mit kumulativen Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto, die Milliarden von Malen erreichen, hat es sich zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie entwickelt, die 24/7 mehrsprachige Nachrichten, Produktleistungen, Marktpreise und Markttrenddienste bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die personalisierten Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen. Unter Verwendung der KI-Technologie entwirft und produziert das Unternehmen gemeinsam mit Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Unternehmen bietet integrierte Dienstleistungen rund um den Prozess, die von der Werkzeugöffnung über die Probeproduktion bis hin zur Endbearbeitung, Verpackung und Logistik reichen. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 130.000 Kunden weltweit F&E-, Design- und Produktionsdienstleistungen für über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten erbracht und damit 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.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer mehr als 30-jährigen Branchenerfahrung auch Wissens-, Technologie-, Wolframpreis- und Markttrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und diese frei mit der Wolframindustrie geteilt. Dr. Han verfügt seit den 1990er Jahren über mehr als 30 Jahre Erfahrung im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen und ist ein anerkannter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte im In- und Ausland. Das Team der CTIA GROUP hält sich an das Prinzip, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zur Verfügung zu stellen, und verfasst kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte, die auf der Produktionspraxis und den Bedürfnissen der Marktkunden basieren und in der Branche weithin gelobt werden. Diese Erfolge sind eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP und machen sie zu einem führenden Unternehmen bei der Herstellung und Information von Wolfram- und Molybdänprodukten.



Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C, suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~4.5 x 10 ⁻⁶ /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Verzeichnis

Kapitel 1 Einleitung

- 1.1 Definition und Übersicht über Wolframstäbe
- 1.2 Die Bedeutung von Wolframstäben in der Industrie
- 1.3 Historischer Hintergrund und Entwicklung

Kapitel 2 Arten von Wolframstäben

- 2.1 Wolframstäbe werden nach Zusammensetzung klassifiziert
 - 2.1.1 Reine Wolframstäbe
 - 2.1.2 Hochreine Wolframstäbe ($\geq 99,95\%$)
 - 2.1.3 Dotierte Wolframstäbe (Seltenerd-dotierung, Oxid-Dotierung)
- 2.2 Wolframstäbe werden nach dem Herstellungsprozess klassifiziert
 - 2.2.1 Gesinterte Wolframstäbe
 - 2.2.2 Geschmiedete Wolframstäbe
 - 2.2.3 Gewalzte Wolframstäbe
 - 2.2.4 Wolframstäbe ziehen
 - 2.2.5 Wolframstäbe extrudieren
- 2.3 Wolframstäbe werden nach ihrer Verwendung klassifiziert
 - 2.3.1 Wolframstäbe für den industriellen Einsatz
 - 2.3.2 Wolframstäbe für die Elektronik
 - 2.3.3 Wolframstäbe für militärische Zwecke
 - 2.3.4 Sonstige Wolframstäbe für spezielle Zwecke
- 2.4 Wolframstäbe werden nach Spezifikationen klassifiziert
 - 2.4.1 Wolframstäbe mit kleinem Durchmesser (< 5 mm)
 - 2.4.2 Wolframstäbe mit mittlerem Durchmesser ($5-20$ mm)
 - 2.4.3 Wolframstäbe mit großem Durchmesser (> 20 mm)
- 2.5 Wolframstäbe werden nach ihrem Oberflächenzustand klassifiziert
 - 2.5.1 Schwarze Lederstäbe
 - 2.5.2 Cartlight-Sticks
 - 2.5.3 Polierstäbe
- 2.6 Spezielle Wolframstäbe
 - 2.6.1 Kalium-Wolfram-Stäbe
 - 2.6.2 Thorium-dotierte Wolframstäbe
 - 2.6.3 Cer-dotierte Wolframstäbe
 - 2.6.4 Lanthan-dotierte Wolframstäbe
 - 2.6.5 Zirkonium-dotierte Wolframstäbe
 - 2.6.6 Yttrium-dotierte Wolframstäbe
 - 2.6.7 Verbundstoff-Seltenerd-Wolframstäbe
- 2.7 Vergleich internationaler Modelle und Noten
 - 2.7.1 Reine Wolframstabsorten
 - 2.7.2 Dotierte Wolframstabsorten
 - 2.7.4 In- und ausländische Sorten (GB/T, ASTM, ISO)

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 3 Eigenschaften von Wolframstäben

- 3.1 Physikalische Eigenschaften von Wolframstäben
 - 3.1.1 Hoher Schmelzpunkt von Wolframstäben
 - 3.1.2 Hohe Dichte von Wolframstäben
 - 3.1.3 Niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframstäben
 - 3.1.4 Thermische und elektrische Leitfähigkeit von Wolframstäben
 - 3.1.5 Niedriger Dampfdruck von Wolframstäben
- 3.2 Chemische Eigenschaften von Wolframstäben
 - 3.2.1 Korrosionsbeständigkeit von Wolframstäben
 - 3.2.2 Chemische Stabilität von Wolframstäben
 - 3.2.3 Reaktivität von Wolframstäben mit anderen Elementen
- 3.3 Mechanische Eigenschaften von Wolframstäben
 - 3.3.1 Hohe Festigkeit und Härte von Wolframstäben
 - 3.3.2 Kriechfestigkeit von Wolframstäben
 - 3.3.3 Zähigkeit und Bearbeitbarkeit von Wolframstäben
- 3.4 Vergleich der Eigenschaften verschiedener Arten von Wolframstäben
 - 3.4.1 Reine Wolframstäbe und hochreine Wolframstäbe
 - 3.4.2 Besondere Eigenschaften von dotierten Wolframstäben
- 3.5 Wolframstäbe Sicherheitsdatenblatt von CTIA GROUP LTD

Kapitel 4 Aufbereitung und Fertigungstechnik von Wolframstäben

- 4.1 Aufbereitung von Rohstoffen für Wolframstäbe
 - 4.1.1 Abbau und Reinigung von Wolframerz
 - 4.1.2 Herstellung von Wolframpulver
 - 4.1.3 Zugabe von Legierungselementen und Dotierstoffen
- 4.2 Pulvermetallurgische Technologie von Wolframstäben
 - 4.2.1 Mischen und Pressen von Pulver
 - 4.2.2 Hochtemperatur-Sintern
 - 4.2.3 Leistungsoptimierung von gesinterten Wolframstäben
- 4.3 Technologie zur Verarbeitung der Verformung von Wolframstäben
 - 4.3.1 Warm Schmieden (Hammerschmieden, Rotationsschmieden)
 - 4.3.2 Warmextrusion
 - 4.3.3 Walzen
 - 4.3.4 Ziehen
- 4.4 Aufbereitung von großflächigen Wolframstäben
 - 4.4.1 Technische Schwierigkeiten und Herausforderungen
 - 4.4.2 Vorbereitungsverfahren für Wolframstäbe mit hoher Dichte
 - 4.4.3 Prozessoptimierung und Innovation
- 4.5 Nachbehandlungstechnologie von Wolframstäben
 - 4.5.1 Wärmebehandlung
 - 4.5.2 Oberflächenbehandlung (Polieren, Reinigen)
 - 4.5.3 Präzisionsbearbeitung und -zerspannung
- 4.6 Prozesseigenschaften verschiedener Arten von Wolframstäben
 - 4.6.1 Prozess des reinen Wolframstabs

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

4.6.2 Prozess des hochreinen Wolframstabs

4.6.3 Verfahren für dotierte Wolframstäbe

Kapitel 5 Verwendung von Wolframstäben

5.1 Industrielle Anwendungen von Wolframstäben

5.1.1 Wolframkernstäbe für Quarzöfen

5.1.2 Herstellung von monokristallinen Siliziumwafern

5.1.3 Reinigung von Seltenerdelementen

5.1.4 Wolframtiegel für Saphirkristallofen

5.2 Wolframstäbe werden im Militär und in der Landesverteidigung eingesetzt

5.2.1 Panzerbrechende Kerne

5.2.2 Hochexplosive Wolframstäbe

5.3 Wolframstäbe werden in der Elektronik und Beleuchtung verwendet

5.3.1 Wolfram-Filament (Filament, Stützdraht)

5.3.2 Elektroden (Wolframelektroden, Seltenerd-Wolframelektroden)

5.3.3 Sputtern von Zielen

5.4 Wolframstäbe werden in der Automobil- und Luft- und Raumfahrt verwendet

5.4.1 Komponenten für die Automobilautomatisierung

5.4.2 Hochtemperaturkomponenten für die Luft- und Raumfahrt

5.5 Wolframstäbe werden in der medizinischen und wissenschaftlichen Forschung verwendet

5.5.1 Medizinprodukte (Strahlenschutz)

5.5.2 Versuchsgeräte (Hochtemperaturexperimente)

5.6 Wolframstäbe werden in anderen Bereichen verwendet

5.6.1 Sportartikel (Wolframkarbid-Darts)

5.6.2 Schmuck (Wolframkarbid-Schmuck)

5.6.3 Spezialwerkzeuge und -formen

Kapitel 6 Produktionsanlagen für Wolframstab

6.1 Pulvermetallurgische Ausrüstung für Wolframstäbe

6.1.1 Mischer

6.1.2 Pressen

6.1.3 Hochtemperatur-Sinteröfen

6.2 Ausrüstung zur Verarbeitung der Verformung von Wolframstäben

6.2.1 Drucklufthämmer und elektrohydraulische Hämmer

6.2.2 Rotations-Knetmaschinen

6.2.3 Heiße Extruder

6.2.4 Walzwerke und Ziehmaschinen

6.3 Nachbearbeitungsausrüstung für Wolframstäbe

6.3.1 Wärmebehandlungsöfen

6.3.2 Polier- und Reinigungsgeräte

6.3.3 Präzisionsbearbeitungsgeräte (Drehmaschinen, Schleifmaschinen)

6.4 Fortschrittliche Produktionsausrüstung für Wolframstäbe

6.4.1 Plasma-Sinter-Ausrüstung

6.4.2 Vakuum-Schmelzöfen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 6.4.3 Automatische Steuerungs- und Überwachungssysteme
- 6.5 Auswahl und Wartung von Wolframstäben
 - 6.5.1 Ausrüstungsanforderungen für verschiedene Arten von Wolframstäben
 - 6.5.2 Wartung und Lebensmanagement der Ausrüstung

Kapitel 7 In- und ausländische Normen für Wolframstäbe

- 7.1 Internationale Normen für Wolframstäbe
 - 7.1.1 ISO-Norm (ISO 24370: Wolfram und Wolframlegierungen)
 - 7.1.2 ASTM-Norm (ASTM B777: Wolframlegierung mit hoher Dichte)
 - 7.1.3 RWMA Klasse 13
 - 7.1.4 Sonstige internationale Normen
- 7.2 Chinesischer Standard für Wolframstäbe
 - 7.2.1 GB/T 4187-2017 (Nationales Normal für Wolframstab)
 - 7.2.2 GB/T 3459-2017 (Wolfram und Wolframlegierungsprodukte)
 - 7.2.3 Industriestandard (YS/T 695-2009: Wolframelektrode)
- 7.3 Normvergleich und Anwendbarkeit von Wolframstäben
 - 7.3.1 Unterschiede zwischen in- und ausländischen Normen
 - 7.3.2 Normanforderungen für verschiedene Arten von Wolframstäben
 - 7.3.3 Die leitende Bedeutung von Normen für Produktion und Prüfung

Kapitel 8 Detektion von Wolframstäben

- 8.1 Physikalische Eigenschaften des Wolframstab-Tests
 - 8.1.1 Dichteprüfung von Wolframstäben
 - 8.1.2 Härteprüfung von Wolframstäben (Vickers, Brinell)
 - 8.1.3 Zugfestigkeits- und Zähigkeitsprüfung von Wolframstäben
 - 8.1.4 Prüfung der Wärmeausdehnung und Wärmeleitfähigkeit von Wolframstäben
- 8.2 Analyse der chemischen Zusammensetzung von Wolframstäben
 - 8.2.1 Spektroskopische Analyse (ICP-MS, XRF)
 - 8.2.2 Nachweis von Spurenelementen und Verunreinigungen
- 8.3 Gefügeanalyse von Wolframstäben
 - 8.3.1 Mikroskopische Betrachtung (REM, TEM)
 - 8.3.2 Korngröße und Gleichmäßigkeit des Gefüges
- 8.4 Zerstörungsfreie Prüfung von Wolframstäben
 - 8.4.1 Ultraschallprüfung
 - 8.4.2 Röntgenprüfung
 - 8.4.3 Prüfung von Magnetpulvern
- 8.5 Leistungsüberprüfung von Wolframstäben
 - 8.5.1 Leistungstest bei hohen Temperaturen
 - 8.5.2 Prüfung der Korrosionsbeständigkeit
 - 8.5.3 Leitfähigkeits- und Zeitstandprüfung
- 8.6 Wichtige Punkte bei der Erkennung verschiedener Arten von Wolframstäben
 - 8.6.1 Erkennung von reinen Wolframstäben
 - 8.6.2 Erkennung von hochreinen Wolframstäben
 - 8.6.3 Detektion von dotierten Wolframstäben

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 9 Status und Entwicklungstrend der Wolframstabindustrie

- 9.1 Überblick über den Markt für Wolframstäbe in China
 - 9.1.1 Analyse von Marktnachfrage und -angebot
- 9.2 Überblick über den internationalen Markt für Wolframstangen
 - 9.2.1 Wichtige Ausfuhrländer und -regionen
 - 9.2.2 Importabhängigkeit und Status der Lieferkette
- 9.3 Technologieentwicklungstrend bei Wolframstäben
 - 9.3.1 Neue Werkstoffe und Legierungstechnologien
 - 9.3.2 Umweltfreundliche Produktion und energiesparende Technologien
 - 9.3.3 Intelligente und automatisierte Produktion
- 9.4 Herausforderungen und Chancen von Wolframstäben
 - 9.4.1 Technische Engpässe und Durchbrüche
 - 9.4.2 Marktwettbewerb und Globalisierung
 - 9.4.3 Anforderungen an Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung

Kapitel 10 Schlussfolgerungen

- 10.1 Der Kernwert und die Anwendungsaussichten von Wolframstäben
- 10.2 Zukünftige Entwicklungsrichtung von Wolframstäben
- 10.3 Empfehlungen für die Entwicklung der Branche

Anhang

- A. Glossar
- B. Verweise

Kapitel 1 Einleitung

1.1 Definition und Übersicht der Wolframstäbe

Wolframstab ist ein stabförmiger Metallwerkstoff, der aus Wolfram (chemisches Element Symbol W, Ordnungszahl 74) oder seiner Legierung als Hauptbestandteil durch Pulvermetallurgie, Schmieden, Ziehen oder Extrusionsverfahren hergestellt wird. Wolframstäbe sind bekannt für ihre hervorragenden physikalischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften, darunter ein extrem hoher Schmelzpunkt (3410 °C), eine hohe Dichte (19,25 g/cm³), eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit und eine hervorragende mechanische Festigkeit. Diese Eigenschaften machen Wolframstäbe in vielen anspruchsvollen Industriezweigen wie Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Militär, Medizin und Hochtemperaturfertigung unverzichtbar.

Die Grundzusammensetzung des Wolframstabes

Wolframstäbe lassen sich je nach Zusammensetzung in drei Kategorien einteilen: reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe und dotierte Wolframstäbe.

Reiner Wolframstab: Mit hochreinem Wolfram (Reinheit $\geq 99,9\%$) als Hauptkomponente eignet es sich für hochtemperaturbezogene, hochfeste und korrosionsbeständige Umgebungen, wie z. B. Vakuumröhrenkathoden, Röntgenröhrentargets und Hochtemperatur-Ofenkernstäbe in der Elektronikindustrie.

Hochreiner Wolframstab ($\geq 99,95\%$): Wolfram mit einer Reinheit von 99,95 % oder mehr und einem sehr geringen Verunreinigungsgehalt (<50 ppm) ist für Halbleiter-, Medizin- und High-End-Elektronikgeräte konzipiert, die eine hohe Reinheit und Präzision erfordern, wie z. B. Komponenten von Ionenimplantationsgeräten und Sputtertargets.

Dotierter Wolframstab (Seltenerd-dotierung, Oxiddotierung): Seltenerdelemente (wie Cer, Lanthan, Yttrium) oder Oxide (wie Thoriumoxid, Zirkonoxid) werden der Wolframmatrix zugesetzt, um die Lichtbogenstabilität, die Kriechbeständigkeit und die Verarbeitungsleistung zu verbessern, und werden häufig in Schweißelektroden (z. B. Argon-Lichtbogenschweißelektroden) und Hochtemperatur-Ofenelementen verwendet.

Form und Spezifikation des Wolframstabes

Wolframstäbe gibt es in einer Vielzahl von Formen, mit Durchmessern von Mikrometern (z. B. gezogene Wolframstäbe für Filamente) bis zu Dutzenden von Millimetern (z. B. großflächige industrielle Wolframstäbe). Ihre Längen werden oft an die Bedürfnisse der Anwendung angepasst und reichen von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern. Auch die Oberflächenbeschaffenheit variiert je nach Bearbeitungsprozess, z. B. bei schwarzen Stäben (unbehandelt mit einer Oxidschicht), Polierstäben (glatte Oberfläche nach der Bearbeitung) und Polierstäben (mit extrem hoher Oberflächengüte für Präzisionsanwendungen).

Vorbereitungsprozess des Wolframstabs

Wolframstäbe werden in der Regel mit Hilfe der Pulvermetallurgietechnologie hergestellt, und der grundlegende Prozess umfasst:

Wolframpulver-Vorbereitung: Hochreines Wolframpulver wird aus Wolframerz (wie Wolframit oder

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Scheelit) gereinigt.

Pulverpressen und Sintern: Wolframpulver wird in einen Rohling gepresst und bei hoher Temperatur (2000-3000 °C) gesintert, um einen dichten gesinterten Wolframstab zu bilden.

Verformungsverfahren: Weiterverarbeitung durch Warm Schmieden, Rotationspressen, Walzen oder Ziehen zur Verbesserung der Dichte und der mechanischen Eigenschaften des Materials.

Nachbearbeitung: einschließlich Wärmebehandlung, Oberflächenpolitur oder Reinigung, um spezifische Anwendungsanforderungen zu erfüllen.

Einzige Eigenschaften von Wolframstäben

Wolframstäbe werden aufgrund ihrer einzigartigen Kombination von Eigenschaften bevorzugt:

Hoher Schmelzpunkt: Wolfram hat den höchsten Schmelzpunkt aller Metalle und eignet sich für Umgebungen mit extrem hohen Temperaturen wie Quarzöfen und Saphirkristallöfen.

Hohe Dichte: Die Nähe zur Golddichte verschafft ihm einen Vorteil in Bereichen, die hochwertige Gegengewichte erfordern, wie z. B. Waagen in der Luft- und Raumfahrt.

Korrosionsbeständigkeit: Wolfram hat eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit gegen die meisten Säuren und Basen bei Raumtemperatur und reagiert nur langsam bei hohen Temperaturen und stark oxidierenden Umgebungen (wie Salpetersäure).

Mechanische Festigkeit: Wolframstab behält auch bei hohen Temperaturen eine hohe Festigkeit und Kriechfestigkeit bei und eignet sich für langfristig beanspruchte Teile.

Elektrische und thermische Leitfähigkeit: Obwohl es weniger leitfähig ist als Metalle wie Kupfer, eignet es sich aufgrund seiner Stabilität bei hohen Temperaturen hervorragend für Elektroden und Filamente.

Klassifikation und Nomenklatur von Wolframstäben

Wolframstäbe werden oft nach ihrer Zusammensetzung, Verwendung oder internationalen Standards benannt. Zum Beispiel:

Internationale Normen: wie z.B. ASTM B760 (reiner Wolframstab).

Dotierte Wolframstabsorten: wie z. B. WT20 (2 % Thorium-dotierter Wolframstab), WL15 (1,5 % Lanthan-dotierter Wolframstab) gemäß AWS A5.12-Standard.

Nationale Normen, wie z. B. GB/T 4187-2017, legen die chemische Zusammensetzung, die Maßtoleranzen und die Leistungsanforderungen von Wolframstäben fest. Diese Nomenklaturesysteme erleichtern den globalen Handel und die Anwendung und gewährleisten die Einheitlichkeit und Rückverfolgbarkeit der Materialspezifikationen.

Globaler Marktüberblick für Wolframstäbe

Als Hochleistungswerkstoff wird Wolframstab in globalen Industrieanlagen häufig eingesetzt. China ist der weltweit größte Produzent von Wolframressourcen und Wolframprodukten und macht mehr als 80 % der weltweiten Wolframproduktion aus, die hauptsächlich in die Vereinigten Staaten, nach Europa und Japan exportiert wird. Die Produktion von Wolframstäben konzentriert sich auf eine kleine Anzahl spezialisierter Unternehmen, und die Marktnachfrage wird hauptsächlich von der Halbleiterherstellung, der neuen Energie, der Luft- und Raumfahrt und der Verteidigungsindustrie angetrieben.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Wolframstab ist umweltfreundlich und nachhaltig

Bei der Herstellung von Wolframstäben erfolgt der Abbau von Wolframerz und die Hochtemperaturverarbeitung, die energieintensiv ist und bei der Abgase und Rückstände entstehen können. In den letzten Jahren wurden umweltfreundliche Fertigungstechnologien (z. B. energiesparendes Sintern, Abfallrecycling) eingeführt, um die Umweltbelastung zu verringern. Darüber hinaus machen die hohe Haltbarkeit und Recyclingfähigkeit von Wolframstäben sie über ihren gesamten Lebenszyklus nachhaltig.

1.2 Die Bedeutung von Wolframstäben in der Industrie

Wolframstäbe spielen aufgrund ihrer hervorragenden Leistung eine Schlüsselrolle in der globalen Industrie und werden häufig in anspruchsvollen High-Tech-Bereichen wie der Halbleiterfertigung, der Luft- und Raumfahrt, der Verteidigung, der Energie-, Medizin- und Beleuchtungsindustrie eingesetzt. Seine Bedeutung spiegelt sich in seinen einzigartigen Eigenschaften wider, die den Materialanforderungen extremer Umgebungen gerecht werden und den technologischen Fortschritt und die industrielle Effizienz vorantreiben. Die Bedeutung von Wolframstäben in der Industrie wird aus mehreren Perspektiven ausführlich diskutiert.

Kernanwendungen in Hochtemperaturumgebungen

Der hohe Schmelzpunkt von Wolframstab (3410 °C) macht ihn zu einem unersetzlichen Material in Umgebungen mit hohen Temperaturen. Im Quarz-Durchlaufschmelzofen wird der Wolframstab als Kernstab verwendet, um extremen Temperaturen von mehr als 2000 °C für die Herstellung von hochreinem Quarzglas standzuhalten, das in der Glasfaser- und Halbleiterindustrie weit verbreitet ist. In ähnlicher Weise werden in einem Saphirkristallofen Wolframstäbe zu Tiegeln oder Trägern für die Herstellung von künstlichen Saphirkristallen verarbeitet, die in LED-Substraten und optischen Fenstern verwendet werden. Die Kriechfestigkeit von Wolframstäben gewährleistet eine strukturelle Stabilität auch bei langfristiger Hochtemperaturbeanspruchung, die von anderen Metallwerkstoffen wie Nickel und Molybdän nicht erreicht wird.

Das Rückgrat der Halbleiter- und Elektronikindustrie

Die Halbleiterherstellung erfordert eine extrem hohe Materialreinheit und -leistung, und Wolframstäbe spielen dabei eine wichtige Rolle. So werden beispielsweise bei der Herstellung von monokristallinem Silizium Wolframstäbe als Heizelemente oder Stützstrukturen für Hochtemperaturöfen verwendet, um die Stabilität und Gleichmäßigkeit des Kristallwachstums zu gewährleisten. Darüber hinaus werden dotierte Wolframstäbe (z. B. Cer- oder Lanthan-dotierte Wolframstäbe) häufig als Argon-Lichtbogen-schweißelektroden für das Präzisionsschweißen von Halbleiteranlagen verwendet, und ihre hervorragende Lichtbogenstabilität und Verschleißfestigkeit verbessern die Schweißqualität und -effizienz. Wolframstäbe werden auch zu Sputtertargets verarbeitet, die in PVD-Prozessen (Physical Vapor Deposition) zur Herstellung von Dünnschichtschichten für integrierte Schaltkreise und Displays verwendet werden.

Strategische Materialien im Bereich Verteidigung und Militär

Die hohe Dichte und Härte von Wolframstäben machen es zu einem strategischen Material für die Militärindustrie. Stäbe aus Wolframlegierungen (z. B. Wolfram-Nickel-Eisen-Legierung mit einer Dichte von bis zu 18,5 g/cm³) werden zu panzerbrechenden Kernen für den Angriff auf

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Panzerabwehr- und Panzerziele verarbeitet, mit hoher kinetischer Energie und Durchdringung, die die von herkömmlichen Stählen weit übertreffen. Darüber hinaus wurden Wolframstäbe unter dem Gesichtspunkt der "kinetischen Waffen" als kinetische Sprengköpfe mit hoher Dichte konzipiert, und obwohl sie noch nicht tatsächlich eingesetzt wurden, zeigt ihr Potenzial die Bedeutung von Wolframstäben in der zukünftigen Militärtechnik. Die hohe Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit von Wolframstäben macht sie auch für Raketendüsen und Panzerungsteile geeignet.

Eine zuverlässige Wahl für die Luft- und Raumfahrtindustrie

Wolframstäbe sind in der Luft- und Raumfahrtindustrie weit verbreitet, wo die Materialien in Bezug auf Gewicht, Festigkeit und hohe Temperaturbeständigkeit äußerst anspruchsvoll sind. Stäbe aus Wolframlegierungen werden aufgrund ihrer hohen Dichte als Gegengewichte für Flugzeuge und Satelliten verwendet und sorgen so für eine präzise Gewichtsverteilung und Flugstabilität. In Hubschrauberrotoren und Lageregelungssystemen für Raumfahrzeuge reduzieren Wolframstab-Gegengewichte beispielsweise den Volumenbedarf erheblich. Darüber hinaus werden Wolframstäbe zu Hochtemperaturkomponenten verarbeitet, wie z. B. Düsenauskleidungen von Raketentriebwerken und Wärmeschutzkomponenten für Wiedereintrittsfahrzeuge, deren antiablativ Eigenschaften die Lebensdauer der Komponenten verlängern.

Kritische Komponenten in der Beleuchtungs- und Energieindustrie

In der Beleuchtungsindustrie sind Wolframstäbe das Kernmaterial traditioneller Glüh- und Halogenlampen. Wolframstäbe werden zu Filamenten (die einen Durchmesser von nur wenigen Mikrometern haben können) gezogen und als Filamente verwendet, die aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und niedrigen Dampfdrucks über lange Zeiträume bei hohen Temperaturen Licht emittieren. Obwohl die LED-Technologie die traditionelle Beleuchtung nach und nach ersetzt, ist Wolframfaden in Spezialbeleuchtungen wie Fotoleuchten und Bühnenleuchten immer noch unverzichtbar. Im Bereich der neuen Energie werden Wolframstäbe in den Steuerstäben und Hochtemperatur-Versuchsgeräten von Kernreaktoren eingesetzt, um die Sicherheit und experimentelle Genauigkeit zu gewährleisten.

Ein einzigartiger Beitrag auf dem Gebiet der Medizin und Wissenschaft

Die hohe Dichte und die strahlenabschirmende Fähigkeit von Wolframstäben lassen sie im medizinischen Bereich glänzen. Stäbe aus Wolframlegierungen werden zu Kollimatoren und Abschirmungen für Strahlentherapiegeräte verarbeitet, die zur präzisen Ausrichtung von Röntgen- oder Gammastrahlen verwendet werden, um Patienten und medizinisches Personal vor unerwünschter Strahlung zu schützen. Im Bereich der wissenschaftlichen Forschung werden Wolframstäbe als Heizelemente oder Elektroden in Hochtemperatur-Versuchsöfen eingesetzt und unterstützen so die Spitzenforschung in den Materialwissenschaften, der Physik und der Chemie. Bei Hochtemperatur-Supraleitungsexperimenten beispielsweise gewährleistet die Stabilität von Wolframstäben die Zuverlässigkeit der Versuchsumgebung.

Fördern Sie industrielle Effizienz und Innovation

Die vielfältigen Anwendungen von Wolframstäben erfüllen nicht nur die bestehenden industriellen Bedürfnisse, sondern fördern auch die technologische Innovation. In der Automobilindustrie werden

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Wolframstäbe beispielsweise zur Herstellung verschleißfester Werkzeuge und Formen für automatisierte Produktionslinien verwendet, um die Produktionseffizienz und die Produktkonsistenz zu verbessern. In der Sportartikel- (z. B. Golfschläger, Darts) und Schmuckindustrie werden Stäbe aus Wolframlegierungen aufgrund ihrer hohen Dichte und Verschleißfestigkeit zu Präzisionskomponenten verarbeitet, um die Nachfrage der Verbraucher nach Hochleistungsprodukten zu erfüllen. Diese neuen Anwendungen zeigen die breite Anpassungsfähigkeit von Wolframstäben sowohl in traditionellen als auch in modernen Industrien.

Die Bedeutung der Wirtschaft und der Lieferkette

Als seltenes Metallprodukt nimmt Wolframstab eine wichtige Stellung in der Weltwirtschaft ein. China ist der weltweit größte Produzent von Wolfram und kontrolliert etwa 80 % des Marktes für Wolframressourcen und -produkte, und der Export von Wolframstäben ist für die internationale Lieferkette von entscheidender Bedeutung. Die hohe Wertschöpfung und Unersetzlichkeit von Wolframstab machen ihn zu einem strategischen Reservematerial für das industrielle System vieler Länder. So stufen beispielsweise die Vereinigten Staaten und die Europäische Union Wolfram als kritisches Mineral ein und gewährleisten so die Sicherheit ihrer Lieferkette, um die Verteidigung und die High-End-Fertigung zu unterstützen.

Herausforderungen und anhaltende Bedeutung

Obwohl Wolframstäbe in der Industrie unverzichtbar sind, steht ihre Herstellung vor Herausforderungen wie hohem Energieverbrauch, Umweltverschmutzung und Ressourcenknappheit. Die Entwicklung einer umweltfreundlichen Fertigungstechnologie und einer Technologie zum Recycling von Wolframabfällen ist in den Fokus der Branche gerückt. Diese Herausforderungen haben jedoch die Bedeutung von Wolframstäben nicht verringert, sondern zu technologischen Fortschritten geführt, die es ihm ermöglichen werden, auch in der Industrie der Zukunft eine zentrale Rolle zu spielen.

1.3 Historischer Hintergrund und Entwicklung

Als wichtiges Material in der modernen Industrie ist der Entwicklungsprozess des Wolframstabs eng mit der Entdeckung, Reinigungstechnologie und industriellen Anwendung von Wolfram verbunden. Von der Entdeckung des Wolframs im späten 18. Jahrhundert bis zur weit verbreiteten Verwendung von Wolframstab im 21. Jahrhundert spiegelt die Geschichte des Wolframstabs die Entwicklung der Materialwissenschaft, der metallurgischen Technologie und der industriellen Bedürfnisse wider. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Nachzeichnung des historischen Hintergrunds von Wolframstab und den Entwicklungsverlauf seiner Technologie und Anwendung.

Wolfram-Entdeckung und frühe Forschung

Die Entdeckung von Wolfram geht auf das Jahr 1781 zurück, als der schwedische Chemiker Carl Wilhelm Scheele durch die Analyse von Wolframit das Vorhandensein von Wolframsäure entdeckte. Im Jahr 1783 isolierten die spanischen Brüder Juan José und Fausto Elhuyar erstmals Wolfram aus Wolframsäure und nannten es "Wolfram" (schwedisch für "schwerer Stein"), so benannt nach seiner hohen Dichte. Die frühe Wolframforschung konzentrierte sich hauptsächlich auf chemische Eigenschaften, die auf den Labormaßstab beschränkt waren, und industrielle Anwendungen von Wolfram wurden aufgrund seines hohen Schmelzpunkts und seiner schwierigen Verarbeitung bisher

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

nicht durchgeführt.

In der Mitte des 19. Jahrhunderts, mit dem Fortschritt der metallurgischen Technologie, entstand allmählich der potenzielle industrielle Wert von Wolfram. In den 1850er Jahren begann man, Wolfram bei der Herstellung von legierten Stählen auszuprobieren, um die Härte und Verschleißfestigkeit des Stahls zu verbessern. Die Reinigungs- und Formtechnologie von reinem Wolfram ist jedoch noch unausgereift, was ihre breite Anwendung einschränkt.

Erste Industrialisierung von Wolframstäben

Die Industrialisierung von Wolframstäben begann zu Beginn des 20. Jahrhunderts und ist eng mit den Bedürfnissen der Beleuchtungsindustrie verbunden. Im Jahr 1904 entwickelten die ungarischen Ingenieure Sandor Just und Franz Hanaman Wolframglühlampen, um ineffiziente Kohlefadenlampen zu ersetzen. Der hohe Schmelzpunkt und der niedrige Dampfdruck von Wolfram machen es zu einem idealen Filamentmaterial, aber frühe Wolframfilamente verspröden leicht, was es schwierig macht, sie zu Stäben oder Filamenten zu verarbeiten.

Im Jahr 1909 erfand William D. Coolidge von General Electric das Aufbereitungsverfahren von duktilem Wolfram, um Wolframstäbe und Wolframdrähte durch Pulvermetallurgie und Hochtemperaturschmiedetechnologie mit besserer Zähigkeit herzustellen. Dieser Durchbruch ermöglichte die Massenproduktion von Wolframstäben, wodurch die Kosten für Glühlampen erheblich gesenkt und eine Revolution in der Beleuchtungsindustrie ausgelöst wurde. Das Verfahren von Kulich bildet die Grundlage für die moderne Wolframstabherstellung, einschließlich der Kernschritte Pulverpressen, Sintern und Texturieren.

Die Anwendung von Wolframstäben im 20. Jahrhundert erweiterte sich

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts weitete sich die Anwendung von Wolframstäben von der Beleuchtung auf mehrere Industriebereiche aus.

Elektronik: In den 1920er Jahren wurden Wolframstäbe in Kathoden und Elektroden für Vakuum- und Röntgenröhren verwendet und machten sich aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer elektrischen Leitfähigkeit in der Hochtemperaturelektronik gut.

Militärindustrie: Während des Ersten Weltkriegs wurde Wolfram zur Herstellung von hochfesten legierten Stählen verwendet, um die Leistung von Panzerpanzerungen und Artilleriegranaten zu verbessern. Während des Zweiten Weltkriegs begann man, Stäbe aus Wolframlegierungen zu panzerbrechenden Kernen zu verarbeiten, was die Wirksamkeit von Panzerabwehrwaffen erheblich erhöhte.

Schweißtechnik: In den 1940er Jahren wurden Wolframstäbe als Argon-Lichtbogenschweißelektroden (WIG-Schweißen) entwickelt, und thoriumdotierte Wolframstäbe (mit einem Gehalt von 2 % Thoriumoxid) wurden aufgrund ihrer hervorragenden Lichtbogenstabilität zum Standardmaterial in der Schweißindustrie.

In dieser Zeit hat sich die Produktionstechnologie von Wolframstäben weiter verbessert. Die Optimierung des pulvermetallurgischen Prozesses verbessert die Dichte und die mechanischen Eigenschaften von Wolframstäben, während die Einführung von

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Verformungsverarbeitungstechnologien wie Rotationsschmieden und -ziehen die Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität von Wolframstäben erheblich verbessert.

Die strategische Lage des Kalten Krieges und Wolframstäbe

Während des Kalten Krieges wurden Wolframstäbe zu einem strategischen Material für ihre Anwendungen in der Verteidigung und Luft- und Raumfahrt. In den 1950er und 1970er Jahren wurden Stäbe aus Wolframlegierungen häufig in Turbinenschaufeln von Düsentriebwerken, Raketenkomponenten und Gegengewichten für Raumfahrzeuge verwendet. Sowohl die USA als auch die Sowjetunion haben Wolfram als kritische Ressource eingestuft und Lagerbestände angelegt, um die Sicherheit der Lieferkette zu gewährleisten. Auch Chinas Wolframindustrie entwickelte sich in dieser Zeit rasant und stützte sich auf reiche Wolframerzvorkommen und wurde zum weltweit größten Lieferanten von Wolframstäben.

In den 1960er Jahren gelang der Durchbruch in der Forschung und Entwicklung von dotierten Wolframstäben. Kaliumdotierter Wolframstab (WK) verbessert die Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen durch Zugabe von Spuren von Kalium und ist für Hochtemperatur-Ofenelemente geeignet. Seltenerd-Wolframstäbe (z. B. Cer-dotiert, Lanthan-dotiert) verbessern die Haltbarkeit und Lichtbogenstabilität der Elektrode und ersetzen nach und nach Thorium-dotierte Wolframstäbe, die leicht radioaktiv sind.

Moderne Wolframstabtechnologie und Globalisierung

Im 21. Jahrhundert ist die Anwendungs- und Produktionstechnologie von Wolframstab in eine neue Phase eingetreten.

Halbleiter und neue Energie: Die Verwendung von Wolframstäben bei der Herstellung von monokristallinem Silizium, Saphirkristallen und Dünnschichtsolarzellen hat zugenommen. Wolframstäbe werden beispielsweise als Hochtemperatur-Ofenkernstäbe und Sputtertargets eingesetzt und unterstützen so die rasante Entwicklung der Halbleiter- und Photovoltaikindustrie.

Grüne Herstellung: Mit der Verbesserung der Umweltschutzanforderungen begann die Wolframstabproduktion, die energiesparende Sintertechnologie und das Abfallrecyclingverfahren einzuführen. So können beispielsweise Abfall von Wolframstäben chemisch gereinigt werden, um zu Wolframpulver verarbeitet zu werden, wodurch der Ressourcenverbrauch reduziert wird.

Neue Legierungen und Dotierung: Stäbe aus Wolfram-Nickel-Kupfer-Legierungen werden aufgrund ihrer nichtmagnetischen und hohen Dichte in medizinischen Geräten verwendet, und lanthandotierte Wolframstäbe (WL20) sind aufgrund ihrer Umweltfreundlichkeit zur Mainstream-Wahl für Schweißelektroden geworden.

Der globale Markt für Wolframstäbe konzentriert sich auf China und macht mehr als 80 % der weltweiten Produktion aus. Einige internationale Unternehmen sind auf dem Markt für High-End-Wolframstäbe präsent und konzentrieren sich auf die Herstellung von hochpräzisen und speziellen Wolframstäben. Die Formulierung internationaler Normen (z. B. ASTM B777, ISO 24370) und nationaler Normen (z. B. GB/T 4187-2017) hat den standardisierten Handel mit Wolframstäben erleichtert.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

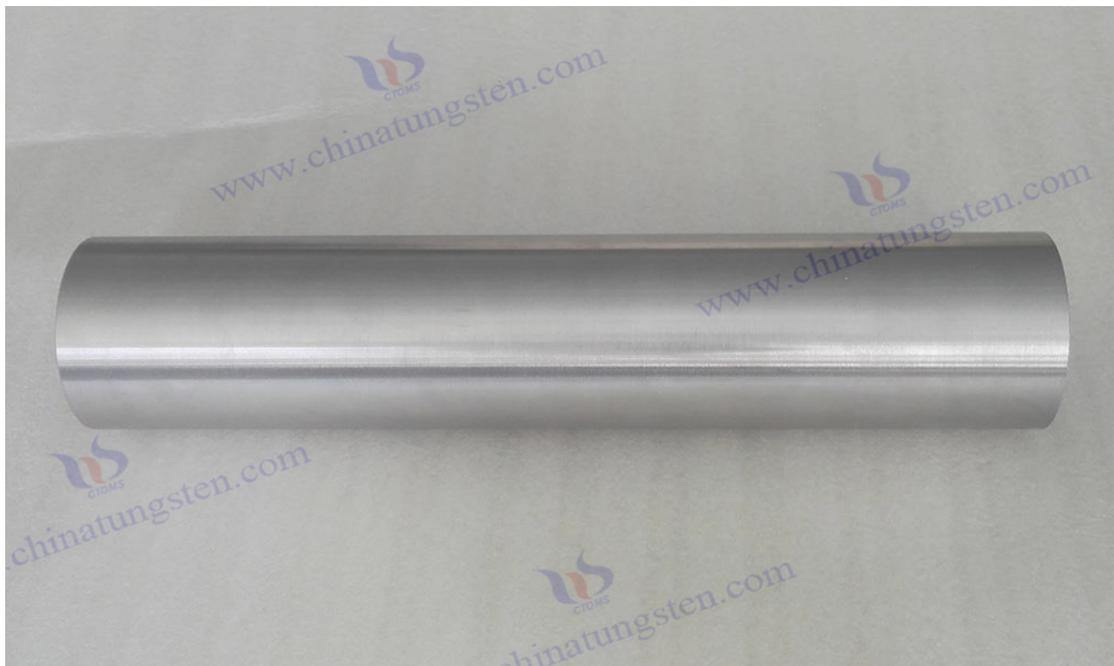
Herausforderungen und Zukunft der Wolframstabentwicklung

Die Entwicklung von Wolframstäben steht vor Herausforderungen wie Ressourcenknappheit, Umweltbelastung und hohen Kosten. Die durch den Wolframabbau verursachten Umweltschäden haben die Länder dazu veranlasst, die Vorschriften zu verschärfen, und der hohe Schmelzpunkt und die hohe Härte von Wolfram haben die Schwierigkeit der Verarbeitung und den Energieverbrauch erhöht. In Zukunft umfasst die Entwicklungsrichtung der Wolframstabindustrie:

Neue Verfahren wie Plasmasintern und additive Fertigung (3D-Druck) zur Herstellung von Wolframstabteilen mit komplexen Formen.

Neue Materialien: Entwicklung von niedrig toxischen dotierten Wolframstäben, um thoriumdotierte Wolframstäbe vollständig zu ersetzen.

Kreislaufwirtschaft: Erhöhen Sie die Wolframrückgewinnung und verringern Sie die Abhängigkeit von Roherz.



CTIA GROUP LTD Wolframstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~4.5 x 10 ⁻⁶ /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 2 Arten von Wolframstäben

Als Hochleistungsmetallwerkstoff wird Wolframstab aufgrund seiner hervorragenden physikalischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften häufig in industriellen, elektronischen, militärischen, medizinischen und wissenschaftlichen Forschungsbereichen eingesetzt. Es gibt viele Arten von ihnen, die nach Zusammensetzung, Herstellungsprozess, Verwendung, Spezifikation, Oberflächenbeschaffenheit, Sondertyp und internationalen Standards klassifiziert werden können. Dieses Kapitel zielt darauf ab, einen systematischen und umfassenden Klassifizierungsrahmen bereitzustellen, der eine eingehende Diskussion der Definition, der Eigenschaften, des Produktionsprozesses, der Anwendungsszenarien, der Herausforderungen der Branche und der Entwicklungstrends jedes Wolframstabes bietet.

2.1 Wolframstäbe werden nach Zusammensetzung klassifiziert

Die Zusammensetzung von Wolframstäben ist ein Schlüsselfaktor für die Bestimmung seiner Leistung und Anwendung. Entsprechend den Unterschieden in den Hauptkomponenten und zugesetzten Elementen können Wolframstäbe in drei Kategorien eingeteilt werden: reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe und dotierte Wolframstäbe. Lassen Sie uns jeden von ihnen im Detail aufschlüsseln.

2.1.1 Reine Wolframstäbe

Definitionen und Übersicht

Reiner Wolframstab ist ein stabförmiges Material, das durch Pulvermetallurgie und Verformungsverarbeitungstechnologie aus Wolfram (Reinheit \geq normalerweise 99,9%) als Hauptbestandteil hergestellt wird. Wolfram (chemisches Symbol W, Ordnungszahl 74) ist bekannt für seinen extrem hohen Schmelzpunkt (3410 °C), seine hohe Dichte (19,25 g/cm³) und seine hervorragende Korrosionsbeständigkeit, wodurch sich reine Wolframstäbe ideal für hochtemperaturbezogene, hochfeste und korrosionsbeständige Umgebungen eignen. Reine Wolframstäbe enthalten in der Regel Spuren von Verunreinigungen (z. B. Eisen, Nickel, Kohlenstoff), werden aber streng im ppm-Bereich kontrolliert, um die chemische Stabilität und die Leistung bei hohen Temperaturen zu gewährleisten.

charakteristisch

Physikalische Eigenschaften: Der Schmelzpunkt von Wolfram ist nach dem Sublimationspunkt von Kohlenstoff (ca. 3550°C) der höchste aller Metalle. Reine Wolframstäbe haben eine Dichte nahe dem theoretischen Wert von 19,25 g/cm³, was mit Gold vergleichbar ist, und eignen sich daher für hochwertige Gegengewichts Anwendungen. Der extrem niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient ($4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) sorgt für Dimensionsstabilität bei hohen Temperaturen. Die Wärmeleitfähigkeit beträgt ca. 173 W/m·K und die elektrische Leitfähigkeit 18 % IACS (International Annealed Copper Standard), was für hochtemperaturleitende Anwendungen geeignet ist.

Chemische Eigenschaften: Reiner Wolframstab hat eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit gegen Säuren, Laugen und die meisten Oxidationsmittel bei Raumtemperatur. So haben Salzsäure, Schwefelsäure und Flußsäure bei Raumtemperatur wenig Wirkung und reagieren nur langsam in konzentrierter Salpetersäure oder geschmolzenem Alkali bei hohen Temperaturen. Der niedrige Dampfdruck ($<10^{-4}$ Pa bei 3000 °C) macht es hervorragend für Vakuum- und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Hochtemperaturumgebungen.

Mechanische Eigenschaften: hohe Härte (Vickers-Härte 350–450 HV), Zugfestigkeit 700–1000 MPa, aber geringe Zähigkeit, leichte Erzeugung von Mikrorissen während der Verarbeitung. Ausgezeichnete Kriechfestigkeit, Langzeitspannung bei 2500°C, geeignet für hochtemperaturbeanspruchte Teile.

Gefüge: Die Korngröße beträgt 10–50 µm nach dem Sintern und kann nach der Verformung auf 5–20 µm verfeinert werden, wodurch die Porosität reduziert und die Festigkeit verbessert wird.

Produktionsprozess

Bei der Herstellung von reinem Wolframstab erfolgt hauptsächlich ein pulvermetallurgisches Verfahren, und der Prozess ist wie folgt:

Herstellung von Wolframpulver: Wolfram wird aus Wolframit (FeMnWO_4) oder Scheelit (CaWO_4) gewonnen, und hochreines Wolframpulver (Partikelgröße 0,5–5 µm, Reinheit $\geq 99,9\%$) wird durch Wasserstoffreduktion hergestellt. Der Reduktionsprozess erfordert eine kontrollierte Temperatur (600–900 °C) und Atmosphäre, um Oxidation oder Kohlenstoffkontamination zu vermeiden.

Pressen: Wolframpulver wird durch kaltisostatisches Pressen oder Formen bei 100–200 MPa mit einer Dichte von etwa 50–60 % theoretischer Dichte zu stabförmigen Rohlingen geformt.

Sintern: Sintern bei 2000–2800°C für 1–3 Stunden in einem wasserstoffgeschützten oder Vakuumofen mit einer Knüppeldichte von 90–95 %. Die Sintertemperatur und die Haltezeit müssen präzise gesteuert werden, um das Kornwachstum und die Beseitigung von Porosität auszugleichen.

Verformung: Verbesserte mechanische Eigenschaften durch Warm Schmieden (Bohr- oder Hammerpressen, 1200–1500°C) oder Warmwalzen zur Erhöhung der Dichte (nahe 19,25 g/cm³). Beim Rotationskneten werden mehrere Durchgänge mit geringer Verformung (10–20 %) erreicht, wodurch das Risiko von Rissen verringert wird.

Nachbehandlung: Glühen (1000–1200 °C) zum Abbau innerer Spannungen, Drehen oder Polieren zur Verbesserung der Oberflächenqualität, Oberflächenrauheit beträgt typischerweise Ra 1,6–3,2 µm und erfüllt damit die Anforderungen an die industrielle Präzision.

anwenden

Reine Wolframstäbe werden häufig in Hochtemperatur- und Reinheitsszenarien eingesetzt:

Elektronikindustrie: wird als Vakuumröhrenkathode, Röntgenröhrentarget und Elektrode für die Funkerosionsverarbeitung (EDM) verwendet.

Beleuchtungsindustrie: Gezogen in Wolframfäden (0,01–0,1 mm Durchmesser) für die Herstellung von Glühlampen, Halogenlampen und speziellen Lichtquellen (z.B. Fotolampen).

Hochtemperaturofen: wird als Kernstab eines kontinuierlichen Quarzschmelzofens verwendet, der hohen Temperaturen über 2000 °C standhält, um Quarzglas für optische Fasern herzustellen; Oder als Saphirkristall-Ofenträger, um Kristalle für LED-Substrate zu züchten.

Wissenschaftliche Forschung: Wird als Heizelement oder Elektrode in Hochtemperatur-Versuchsgeräten verwendet, z. B. als Wärmequelle in der Hochtemperatur-Supraleitungsforschung. Luft- und Raumfahrt: Verarbeitet zu kleinen Gegengewichten für den Einsatz in satellitengestützten Lageregelungssystemen.

Andere: Wird für Hochtemperaturformen und verschleißfeste Werkzeuge wie Glasformen verwendet.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Herausforderungen und Trends

Herausforderung: Geringe Zähigkeit, leichte Rissbildung während der Verarbeitung, insbesondere beim Ziehen mit kleinen Durchmessern, das mehrfaches Glühen erfordert, was die Kosten erhöht. Hochtemperatur-Verarbeitungsanlagen, wie z. B. Vakuum-Sinteröfen, verbrauchen Energie und sind komplex zu warten. Verunreinigungen können schwer zu kontrollieren sein, und Spuren von Sauerstoff oder Kohlenstoff können zu einer verminderten Leistung führen.

Trend:

Die Plasma-Sinter-Technologie (SPS) wird eingesetzt, um die Sintertemperatur auf 1800 °C zu senken, Energie um 30 % zu sparen und Überkorn zu reduzieren.

Nanoskaliges Wolframpulver (Partikelgröße < 100 nm) wird verwendet, um die Sinterdichte auf 98 % zu erhöhen und die mechanischen Eigenschaften zu verbessern.

Entwicklung eines automatisierten Sintersteuerungssystems zur Überwachung von Temperatur und Atmosphäre durch Sensoren zur Verbesserung der Produktkonsistenz.

Die Aufbereitungstechnologie von sauerstoffarmem Wolframpulver (z. B. Plasmareduktion) wurde untersucht, um den Sauerstoffgehalt auf weniger als 10 ppm zu reduzieren.

Vor- und Nachteile:

Vorteile: Extrem hoher Schmelzpunkt und chemische Stabilität, geeignet für extreme Umgebungen; Die hohe Dichte eignet sich für Gegengewichte; Nicht radioaktiv und umweltfreundlich.

Nachteile: geringe Zähigkeit, schwierige Verarbeitung; Hohe Produktionskosten, insbesondere bei hochpräzisen Anwendungen.

Märkte & Standards

Reine Wolframstäbe machen etwa 30 % des weltweiten Marktes für Wolframprodukte aus. Zur Einhaltung der Normen gehören ASTM B760, GB/T 4187-2017 und ISO 24370. Die weltweite Marktgröße für reine Wolframstäbe betrug im Jahr 2023 etwa 1 Milliarde US-Dollar und wird voraussichtlich bis 2030 auf 1,5 Milliarden US-Dollar anwachsen, angetrieben durch die Nachfrage nach Halbleitern und Luft- und Raumfahrt.

2.1.2 Hochreine Wolframstäbe (≥99,95 %)

Definitionen und Übersicht

Hochreiner Wolframstab bezieht sich auf Wolframstab mit einer Wolframreinheit von 99,95 % oder mehr, und der Verunreinigungsgehalt (wie Fe, Ni, C, O) wird unter 50 ppm kontrolliert, der durch mehrfache Reinigung und spezielle Verfahren hergestellt wird. Hochreine Wolframstäbe sind für Halbleiter-, Medizin- und High-End-Elektronikgeräte konzipiert, die strenge Anforderungen an Reinheit und Sauberkeit erfüllen. Seine Eigenschaften liegen nahe an den theoretischen Grenzen von Wolfram und werden häufig in Reinraum- und Hochpräzisionsanwendungen eingesetzt.

charakteristisch

Physikalische Eigenschaften: Dichte 19,2–19,3 g/cm³, nahe dem theoretischen Wert; Der Schmelzpunkt liegt bei 3410 °C und der Wärmeausdehnungskoeffizient bei $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Durch die extrem geringen Verunreinigungen ist die Kristallstruktur homogener und die Oberflächenqualität hervorragend.

Chemische Eigenschaften: Extrem chemisch stabil, nahezu nicht reaktiv mit

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Umgebungschemikalien. Bei hohen Temperaturen reagiert es nur langsam mit Fluorgas oder starken Oxidationsmitteln wie geschmolzenem Natriumnitrat. Niedriger Dampfdruck sorgt für Stabilität in einer Vakuumumgebung.

Mechanische Eigenschaften: feines Korn (5–15 µm), Vickers-Härte 400–500 HV, Zugfestigkeit 800–1100 MPa. Die Zähigkeit ist noch gering, Mikrorisse bei der Verarbeitung müssen vermieden werden.

Elektrische und thermische Leitfähigkeit: Der spezifische Widerstand beträgt etwa 5,3 µΩcm, was aufgrund der Reduzierung von Verunreinigungen etwas besser ist als der von reinem Wolframstab (5,5 µΩcm). Die Wärmeleitfähigkeit beträgt 173 W/m·K, was für die Hochtemperatur-Wärmeleitung geeignet ist.

Produktionsprozess

Die Herstellung von hochreinem Wolframstab fügt eine Reinigungs- und Reinigungskontrolle auf der Basis von reinem Wolframstab hinzu:

Aufbereitung von hochreinem Wolframpulver: chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder mehrfache Wasserstoffreduktion, der Verunreinigungsgehalt wird auf weniger als 50 ppm reduziert. Der Reduktionsofen verwendet hochreinen Wasserstoff (99,999 %), um Stickstoff- und Sauerstoffbelastung zu vermeiden.

Vakuumsintern: Sintern bei 2600–2800 °C für 2–4 Stunden in einem Ultrahochvakuumofen (10⁻⁵ Pa) mit einer Porosität von <1 %. Die Vakuumumgebung verhindert die Bildung von Oxiden.

Präzisionsbearbeitung: Mehrgang-Rotationskneten oder Walzen, Verarbeitungstemperatur 1200–1400°C, Verformung 10–15%. Oberflächengedreht oder poliert mit einer Rauheit von Ra 1,6–3,2 µm.

Qualitätskontrolle: Verunreinigungen wurden mittels ICP-MS (Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie) nachgewiesen und Spurenelemente mittels GD-MS (Glimmentladungs-Massenspektrometrie) analysiert. Reinraumverpackung (ISO-Klasse 5), um eine Kontamination der Oberfläche zu vermeiden.

anwenden

Hochreine Wolframstäbe werden in Bereichen eingesetzt, in denen Reinheit und Sauberkeit entscheidend sind:

Halbleiterindustrie: Komponenten, die in Ionenimplantationsgeräten (z. B. Ionenquellenelektroden) mit einem Durchmesser von 5–20 mm verwendet werden, um die Sauberkeit der Wafer zu gewährleisten.

Sputtertargets: verarbeitet zu Targets (50–100 mm Durchmesser) für die physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) zur Herstellung von Dünnschichtschichten für integrierte Schaltkreise, OLED-Displays und Solarzellen.

Medizinische Geräte: für Röntgen- und CT-Scanner zur Reduzierung von Strahlungsstörungen durch Verunreinigungen, Durchmesser 10–30 mm.

Luft- und Raumfahrt: Präzisionskomponenten, die als Hochtemperaturprüfgeräte verwendet werden, wie z. B. Thermoelement-Schutzhülsen oder Hochtemperatur-Windkanalprüfelemente.

Wissenschaftliche Forschung: wird als hochreine Elektrode in Teilchenbeschleunigern und in der Plasmaforschung verwendet, die hochenergetischen Umgebungen standhält.

Neue Anwendungen: Wird in EUV-Ausrüstungskomponenten (Extreme Ultraviolet Lithography)

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

verwendet, um die Anforderungen der Chipherstellung unter 7 nm zu erfüllen.

Herausforderungen und Trends

Herausforderung: Hohe Kosten für die Herstellung von hochreinem Wolframpulver, große Investitionen in CVD-Anlagen; Das Ultrahochvakuum-Sintern stellt extrem hohe Anforderungen an die Dichtheit und Stabilität der Ausrüstung. Die Reinraumaufbereitung erhöht die Betriebskosten.

Trend:

Die elektrolytische Reinigungstechnologie wurde entwickelt, um CVD zu ersetzen und die Kosten zu senken, mit einem Zielverunreinigungsgrad < 20 ppm.

Die Laser-Oberflächenbehandlung wird eingesetzt, um die Oberflächenqualität zu verbessern und die Abhängigkeit von mechanischem Polieren zu verringern.

Forschung an ultrahochreinem Wolfram (99,9999 %) für den Einsatz in Halbleiterbauelementen der nächsten Generation, wie z. B. 3-nm-Lithographiemaschinen.

Einführung eines KI-Qualitätskontrollsystems zur Überwachung von Verunreinigungen und Kristalldefekten in Echtzeit zur Verbesserung der Ausbeute.

Vor- und Nachteile:

Vorteile: Extrem hohe Reinheit sorgt für eine stabile Leistung und ist für saubere Umgebungen geeignet; Die Kristalle sind homogen, wodurch Defekte reduziert werden.

Nachteile: hohe Produktionskosten, schwierige Verarbeitung; Strenge Anforderungen an Ausrüstung und Umwelt.

Märkte & Standards

Der Markt für hochreine Wolframstäbe konzentriert sich auf die High-End-Fertigung. Entspricht den Anforderungen an die hohe Reinheit nach ASTM B760, dem SEMI-Standard (Halbleiterindustrie) und GB/T 4187-2017. Der weltweite Markt für hochreine Wolframstäbe beläuft sich im Jahr 2023 auf etwa 300 Millionen US-Dollar, was hauptsächlich auf die Halbleiter- und Photovoltaikindustrie zurückzuführen ist.

2.1.3 Dotierte Wolframstäbe (Seltenerd-dotierung, Oxiddotierung)

Definitionen und Übersicht

Dotierte Wolframstäbe sind spezielle Wolframstäbe, die durch Zugabe kleiner Mengen von Seltenerdelementen (z. B. Cer, Lanthan, Yttrium) oder Oxiden (z. B. Thoriumoxid, Zirkonoxid) zur Wolframmatrix hergestellt werden, und die Dotierungsmenge beträgt normalerweise 0,5–2 Gew.-%. Die Dotierung verbessert die Lichtbogenstabilität, die Kriechfestigkeit, die Bearbeitbarkeit und die Lebensdauer der Elektroden von Wolfram und wird häufig in Schweißelektroden, Hochtemperaturofenkomponenten und elektronischen Geräten eingesetzt. Dotierter Wolframstab ist aufgrund seiner maßgeschneiderten Eigenschaften zu einem Schlüsselmaterial in der modernen Industrie geworden.

charakteristisch

Physikalische Eigenschaften: Der Schmelzpunkt und die Dichte liegen nahe an denen von reinem Wolfram (3410 °C, 19,0–19,2 g/cm³), und die dotierten Elemente verfeinern das Korn (5–15 µm), um die Gleichmäßigkeit zu verbessern.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Chemische Eigenschaften: Behält die Korrosionsbeständigkeit von Wolfram bei, aber in oxidierenden Umgebungen mit hohen Temperaturen können bestimmte dotierte Elemente (wie Thorium) die Stabilität leicht verringern. Die Thoriumoxid-Dotierung führt zu einer leichten Radioaktivität und erfordert eine besondere Behandlung.

Mechanische Eigenschaften: Kornfeinung und Dotierungsverstärkung verbessern die Zugfestigkeit (1000–1200 MPa) und Zähigkeit und reduzieren Verarbeitungsrisse. Verbesserte Kriechfestigkeit, geeignet für den langfristigen Einsatz bei hohen Temperaturen.

Elektrische und thermische Leitfähigkeit: Die Dotierung reduziert den spezifischen Widerstand (z. B. ca. $5,0 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ von thoriumdotiertem Wolframstab) und verbessert die Lichtbogenstabilität. Die Wärmeleitfähigkeit ist etwas geringer als die von reinem Wolfram (ca. $160 \text{ W/m}\cdot\text{K}$).

Haupttypen

Mit Seltenen Erden dotierter Wolframstab: Ceroxid (CeO_2), Lanthanoxid (La_2O_3) oder Yttriumoxid (Y_2O_3) werden hinzugefügt, um die Leistung und Haltbarkeit des Lichtbogens zu verbessern, nicht radioaktiv zu sein und die Anforderungen des Umweltschutzes zu erfüllen.

Oxiddotierte Wolframstäbe: Thoriumoxid (ThO_2) und Zirkonoxid (ZrO_2) werden hinzugefügt, um die Leistung bei hohen Temperaturen und die Lebensdauer der Elektrode zu verbessern, und einige Typen (z. B. Thorium-dotierte) werden nach und nach eliminiert.

Dotierte Wolframstäbe aus Verbundwerkstoffen: Kombinieren Sie eine Vielzahl von Dotierstoffen (z. B. $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2$), um die Lichtbogenstabilität, Lebensdauer und Brennbeständigkeit zu optimieren.

Kaliumdotierte Wolframstäbe: Hinzugefügte Spuren von Kalium (50–100 ppm) für eine verbesserte Kriechfestigkeit, entwickelt für Hochtemperaturöfen.

Produktionsprozess

Dotierungszusatz: Wolframpulver wird gleichmäßig mit Seltenerdoxiden oder Metallsalzen (z. B. Lanthannitrat) vermischt, und es wird Kugelmahlen oder Sprühtrocknung verwendet, um eine gleichmäßige Verteilung zu gewährleisten.

Pressen und Sintern: Sintern bei $2300\text{--}2600 \text{ }^\circ\text{C}$ in einem Wasserstoffschutzofen, niedriger als die Sintertemperatur von reinem Wolfram, um eine Verflüchtigung des Dotiermittels zu verhindern. Nach dem Sintern beträgt die Dichte 95–98 %.

Verformung: Rotationskneten ($1200\text{--}1400 \text{ }^\circ\text{C}$) oder Ziehen ($800\text{--}1000 \text{ }^\circ\text{C}$) zur Formung eines Stabes, Dotierung zur Reduzierung von Verarbeitungsrissen.

Oberflächenbehandlung: Gedreht oder poliert, Oberflächenrauheit Ra $1,6\text{--}3,2 \mu\text{m}$, für Elektroden oder Hochtemperaturbauteile.

Qualitätskontrolle: RFA (Röntgenfluoreszenzspektroskopie) zur Detektion des Dotierstoffgehalts, REM (Rasterelektronenmikroskopie) zur Analyse der Kornverteilung.

anwenden

Schweißelektrode: Wolframstäbe mit Thorium-dotierten (WT20), Cer-dotierten (WC20), Lanthan-dotierten (WL20) Wolframstäben werden für das Argon-Lichtbogenschweißen (WIG) und das Plasmaschweißen verwendet, mit schnellem Lichtbogenstart und geringer Ausbrennrate.

Hochtemperatur-Ofenelement: Kalium- oder Seltenerd-dotierter Wolframstab wird zum Heizen von Elementen des Vakuumofens und des Wasserstoffofens verwendet, der mehr als $2500 \text{ }^\circ\text{C}$ standhalten

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

kann.

Elektronik: Dotierte Wolframstäbe werden in den Emittern von Kathodenstrahlröhren, Mikrowellengeräten und Lasern verwendet.

Luft- und Raumfahrt: Seltenerd-Wolframstäbe werden in Hochtemperatur-Versuchsgeräten wie Plasmapropellerelektroden verwendet.

Neue Anwendung: Hochtemperaturdüsen für den 3D-Druck von Metallgeräten, die gegen Hochtemperatur-Metallschmelzen beständig sind.

Herausforderungen und Trends

Herausforderung: Die Homogenität des Dotierstoffs ist schwer zu kontrollieren, und das Hochtemperaturesintern kann zur Verflüchtigung führen. Die Radioaktivität von Thorium-dotierten Wolframstäben schränkt ihre Anwendung ein, und es müssen umweltfreundliche Alternativen entwickelt werden.

Trend:

Forschung und Entwicklung neuer Komposit-Seltenerddotierungen (z. B. $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$) zur Verbesserung der Gesamtleistung und zur Erhöhung der Ziellebensdauer um 20%.

Die Nano-Doping-Technologie wurde eingesetzt, um die Dopingmenge ($<0,5$ Gew.-%) zu reduzieren und die Wirkung zu verbessern.

Entwicklung von nicht-radioaktiven Hochleistungselektroden, die globale Umweltstandards, wie z.B. die EU-RoHS-Richtlinie, erfüllen.

Nutzen Sie KI, um Dotierungsformulierungen zu optimieren und die Leistung und Lebensdauer des Lichtbogens vorherzusagen.

Vor- und Nachteile:

Vorteile: kundenspezifische Leistung, Lichtbogenstabilität und Lebensdauer besser als reines Wolfram; Geeignet für anspruchsvolle Anwendungen.

Nachteile: Der Produktionsprozess ist komplex und die Kosten sind hoch; Einige Dopingarten (z. B. Thorium) unterliegen umweltbedingten Einschränkungen.

Märkte & Standards

Dotierte Wolframstäbe machen mehr als 70 % des Marktes für Schweißelektroden aus. Konform mit AWS A5.12, YS/T 695-2009 und ISO 24370. Der weltweite Markt für dotierten Wolframstab beläuft sich im Jahr 2023 auf rund 500 Mio. USD, was hauptsächlich auf die Schweiß- und Luft- und Raumfahrtindustrie zurückzuführen ist.

2.2 Wolframstäbe werden nach dem Herstellungsprozess klassifiziert

Der Herstellungsprozess von Wolframstäben hat einen erheblichen Einfluss auf ihre Leistung, Genauigkeit und Anwendung. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Erörterung der Eigenschaften des Sinterns, Schmiedens, Walzens, Ziehens und Extrudierens von Wolframstäben gemäß der Klassifizierung der wichtigsten Verarbeitungsprozesse.

2.2.1 Gesinterte Wolframstäbe

Definitionen und Übersicht

Gesintertes Wolframstab ist ein Wolframstab, der direkt durch Pressen und Hochtemperaturesintern

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

in der Pulvermetallurgie geformt wird, mit einer Dichte von 90–95 % theoretischer Dichte und einer rauen Oberfläche mit einer Oxidschicht (schwarze Haut). Gesinterte Wolframstäbe sind als Halbzeug die Basis für das anschließende Schmieden, Walzen oder Ziehen und eignen sich für Schrupp- oder Hochtemperaturanwendungen.

charakteristisch

Physikalische Eigenschaften: Dichte 17,5–18,5 g/cm³, Oberflächenrauheit Ra 3,2–6,4 µm, mit schwarzer Oxidschicht.

Mechanische Eigenschaften: Vickers-Härte 300–400 HV, Zugfestigkeit 500–800 MPa, schlechte Zähigkeit, leicht zu erzeugende Mikrorisse.

Mikrostruktur: Große Körner (10–50 µm) und eine Porosität von 5–10 %, die sich auf Festigkeit und Leitfähigkeit auswirkt.

Produktionsprozess

Pressen von Wolframpulver: Hochreines Wolframpulver oder dotiertes Wolframpulver wird bei 100–200 MPa kalisostatisch in Stabrohling gepresst.

Hochtemperaturesintern: Sintern bei 2000–2800 °C für 1–3 Stunden in einem wasserstoffgeschützten oder Vakuumofen, um eine dichte Struktur aus Partikeln zu bilden.

Kühlung und Inspektion: Langsames Abkühlen (10–20 °C/min) reduziert innere Spannungen und Ultraschall-Porositäts- und Risserkennung.

anwenden

Halbzeuge: Schmieden, Walzen oder Ziehen zur Herstellung von hochpräzisen Wolframstäben.

Hochtemperaturofen: Direkt als Quarzofenhalterung verwendet, hält einer hohen Temperatur von 2000 °C stand.

EDM: Wird als Erodiererelektrode mit geringer Präzision nach dem Schruppen verwendet.

Sonstiges: Provisorische Teile für Hochtemperatur-Versuchsöfen, wie z. B. Tiegelstützen.

Herausforderungen und Trends

Herausforderung: Hohe Porosität schränkt die mechanischen Eigenschaften ein; Der Energieverbrauch beim Sintern ist hoch, und der Wasserstoffschutz muss streng kontrolliert werden. Großformatige Sinterstäbe sind anfällig für innere Defekte.

Trend:

Die Mikrowellen-Sintertechnologie wird eingesetzt, um die Temperatur auf 1800°C zu senken und Energie um 30% zu sparen.

Entwicklung eines Heißisostatischen Pressverfahrens (HIP), um die Dichte auf 97 % zu erhöhen.

Simulieren Sie den Sinterprozess mithilfe der digitalen Zwillings-Technologie, um die Temperatur- und Atmosphärenregelung zu optimieren.

Vor- und Nachteile:

Vorteile: einfacher Prozess, niedrige Kosten; Geeignet für großformatige Wolframstäbe.

Nachteile: geringe Dichte und Leistung, schlechte Oberflächenqualität, Nachbearbeitung erforderlich.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

2.2.2 Geschmiedete Wolframstäbe

Definition und Überblick Geschmiedete Wolframstäbe werden durch Warmschmieden (Hammerschmieden oder Rotationspressen) verformt, was zu einer Dichte nahe dem theoretischen Wert (19,0–19,25 g/cm³) und einer deutlichen Verbesserung der mechanischen Eigenschaften führt. Geschmiedete feine Körner für erhöhte Festigkeit und Kriechfestigkeit, geeignet für hochpräzise und hochfeste Anwendungen.

charakteristisch

Physikalische Eigenschaften: Dichte 19,0–19,25 g/cm³, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 µm (nach dem Einschalten des Lichts).

Mechanische Eigenschaften: Korngröße 5–20 µm, Zugfestigkeit 1000–1400 MPa, Zähigkeit etwas besser als gesinterter Wolframstab.

Mikrostruktur: starke Kornorientierung, Porosität von <1 % und verbesserte Kriechbeständigkeit.

Produktionsprozess

Vorwärmen: Der gesinterter Wolframstab wird unter dem Schutz von Wasserstoff oder Argon auf 1200–1500 °C erhitzt, um eine Oxidation zu verhindern.

Warmschmieden: Verwenden Sie einen Drucklufthammer oder eine Rotationsknetmaschine, um das Schmieden in mehreren Durchgängen mit einer kontrollierten Verformung von jeweils 10 bis 20 % durchzuführen und so das Risiko von Rissen zu verringern.

Glühen: Spannungsarmglühen bei 1000–1200 °C, um eine Rissausbreitung zu verhindern.

Oberflächenbehandlung: Gedreht oder poliert auf eine Oberflächenrauheit von Ra 1,6–3,2 µm, um die geforderten Präzisionsanforderungen zu erfüllen.

anwenden

Industrieteile: für Quarzofenkerne oder Saphirkristall-Ofentiegel.

Luft- und Raumfahrt: Wird zu Gegengewichten oder Hochtemperaturkomponenten wie Triebwerksdüsen verarbeitet.

Elektrode: Hochpräziser geschmiedeter Wolframstab wird zum Plasmaschneiden und Schweißen verwendet.

Andere: Wird für Hochtemperaturformen verwendet, wie z. B. keramische Sinterformen.

Herausforderungen und Trends

Herausforderung: Das Hochtemperaturschmieden erfordert eine spezielle Ausrüstung; Stäbe mit großem Durchmesser (>50 mm) neigen zu Rissen; Das Schmieden hat einen hohen Energieverbrauch.

Trend:

Nutzen Sie die Finite-Elemente-Simulation, um die Schmiedeparameter zu optimieren und Fehler zu reduzieren.

Entwicklung eines hybriden Schmiede-Walz-Prozesses, um die Effizienz zu verbessern und die Kosten zu senken.

Die Induktionserwärmungstechnologie wird eingesetzt, um die Schmiedetemperatur genau zu regeln und 20 % Energie einzusparen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Vor- und Nachteile:

Vorteile: hohe Dichte und mechanische Festigkeit; Geeignet für anspruchsvolle Anwendungen; Die Kornfeinung verbessert die Leistung.

Nachteile: hohe Verarbeitungskosten; Strenge Anforderungen an die Ausrüstung; Es ist schwierig, große Spezifikationen zu verarbeiten.

2.2.3 Gewalzte Wolframstäbe

Definitionen und Übersicht

Gewalzte Wolframstäbe werden im Warmwalz- oder Kaltwalzverfahren mit hoher Maßgenauigkeit und guter Oberflächenqualität weiterverarbeitet und eignen sich für die Massenproduktion von Wolframstäben mit kleinem und mittlerem Durchmesser (5–20 mm).

charakteristisch

Physikalische Eigenschaften: Dichte nahe der Theorie (19,0–19,25 g/cm³), Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 µm.

Mechanische Eigenschaften: walzinduzierte Kornorientierung, Zugfestigkeit 1200–1500 MPa, Zähigkeit etwas besser als bei geschmiedetem Wolframstab.

Gefüge: feine und gleichmäßige Korngröße (5–15 µm), Porosität <1%, ausgezeichnete Festigkeit und Leitfähigkeit.

Produktionsprozess

Vorwärmen: Gesinterte oder geschmiedete Wolframstäbe werden auf 1000–1300 °C erhitzt, um die Duktilität zu verbessern.

Warmwalzen: Durch das Walzen in mehreren Durchgängen wird der Durchmesser allmählich reduziert und die Verformung beträgt 15–25 %.

Kaltwalzen (optional): Kaltwalzen von Wolframstäben mit kleinem Durchmesser zur Verbesserung der Maßgenauigkeit.

Glühen: Durch das Glühen bei 900–1100 °C entfällt die Kaltverfestigung.

anwenden

Elektronikindustrie: gewalzter Wolframstab, der zu Wolframdraht gezogen wird, Herstellung von Filament und Elektrode.

Medizinische Geräte: werden zu Röntgentargets oder Strahlenschutzschilden verarbeitet.

Präzisionskomponenten: werden für hochpräzise mechanische Teile wie Formen und Werkzeuge verwendet.

Sonstiges: Wird in experimentellen Hochtemperaturgeräten verwendet, z. B. in Thermoelementhalterungen.

Herausforderungen und Trends

Herausforderung: Teure Walzausrüstung; Schlechte Walzgleichmäßigkeit bei großem Durchmesser (>20 mm); Kaltwalzen erhöht die Kosten.

Trend:

Die kontinuierliche Walzlinie wird eingesetzt, um die Produktionseffizienz um 30% zu verbessern.

Ein automatisiertes Walzsteuerungssystem wird verwendet, um die Maßhaltigkeit zu gewährleisten.

Entwicklung von Hochtemperatur-Legierungswalzen zur Verlängerung der Lebensdauer von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anlagen.

Vor- und Nachteile:

Vorteile: hohe Maßhaltigkeit, gute Oberflächenqualität, geeignet für die Massenproduktion.

Nachteile: hohe Kosten für die Ausrüstung; Beschränkt auf kleine und mittlere Durchmesser; Das Kaltwalzen verbraucht viel Energie.

2.2.4 Wolframstäbe ziehen

Definitionen und Übersicht

Das Ziehen von Wolframstab ist ein Ziehverfahren, um den Durchmesser des gesinterten oder geschmiedeten Wolframstabs durch eine Diamantmatrize, in der Regel < 5 mm, mit hoher Oberflächenqualität und hervorragender Maßgenauigkeit schrittweise zu reduzieren, geeignet für Wolframdraht und Präzisionselektroden.

charakteristisch

Physikalische Eigenschaften: Dichte nahe der Theorie ($19,2-19,25$ g/cm³), Oberflächenrauheit Ra $1,6-3,2$ µm.

Mechanische Eigenschaften: faserige Kristallstruktur, Zugfestigkeit $1500-2000$ MPa, geringe Zähigkeit.

Mikrostruktur: Die Körner sind entlang der Ziehrichtung stark orientiert und die Porosität liegt nahe 0 %.

Produktionsprozess

Rohlingsvorbereitung: Verwenden Sie geschmiedete oder gewalzte Wolframstäbe (Durchmesser $5-10$ mm).

Ziehen: Ziehen durch die Diamantmatrize bei $800-1000^{\circ}\text{C}$ mit einer Durchmesserreduzierung von $5-10$ %.

Schmieren und Glühen: Schmieren mit Graphit- oder Molybdändisulfid und periodisches Glühen ($900-1100$ °C) zum Abbau von Spannungen.

Reinigen & Polieren: Durch die chemische Reinigung werden Schmiermittel entfernt und bis zu Ra $1,6-3,2$ µm poliert.

anwenden

Herstellung von Wolframfäden: Wolframstäbe, die zur Herstellung von Glühlampen, Halogenlampen und Wolframfäden für spezielle Lichtquellen gezogen werden.

Schweißelektrode: wird für Argon-Lichtbogenschweißen und Plasmaschweißelektroden mit hoher Maßgenauigkeit verwendet.

Mikroelektronik: Verarbeitet zu Miniaturelektroden oder Sonden für Halbleitertests.

Sonstiges: Hochpräzise Komponenten für Laseranlagen.

Herausforderungen und Trends

Herausforderung: Diamantstempel verschleifen schnell und sind kostspielig; Mehrfachglühen erhöht den Energieverbrauch; Das Ziehen mit kleinem Durchmesser ist leicht zu brechen.

Trend:

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Polykristalline Diamantformen (PKD) werden verwendet, um die Lebensdauer um 50 % zu verlängern.

Entwicklung eines kontinuierlichen Ziehverfahrens zur Steigerung der Produktion um 20%.

Das Erhitzen und Ziehen von Lasern wird verwendet, um die Temperatur präzise zu regeln und Brüche zu reduzieren.

Vor- und Nachteile:

Vorteile: Extreme Präzision und Oberflächenqualität; Hohe Intensität; Geeignet für die Mikrofabrikation.

Nachteile: komplexer Prozess; Großer Verschleiß der Form; Beschränkt auf kleine Durchmesser.

2.2.5 Wolframstäbe extrudieren

Definitionen und Übersicht

Extrudierter Wolframstab wird durch Heißextrusionsverfahren geformt, das für Wolframstäbe mit großem Durchmesser (>20 mm) oder komplexem Querschnitt mit hervorragender Dichte und Festigkeit geeignet ist.

charakteristisch

Physikalische Eigenschaften: Dichte 19,0–19,2 g/cm³, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 µm (nach der Bearbeitung).

Mechanische Eigenschaften: Zugfestigkeit 1000–1300 MPa, starke Kornorientierung, gute Schlagfestigkeit.

Mikrostruktur: Gleichmäßiges Korn (10–20 µm) und <2 % Porosität, geeignet für Anwendungen mit hoher Intensität.

Produktionsprozess

Knüppelvorwärmung: Der gesinterte Knüppel wird auf 1300–1600 °C erhitzt und durch Wasserstoff oder Argon geschützt.

Heißextrusion: Extrusion durch hydraulischen Extruder (500–1000 MPa).

Kühlen und Richten: Steuern Sie die Abkühlgeschwindigkeit (10–20 °C/min), um die Verformung zu korrigieren.

Oberflächenbehandlung: Gedreht oder poliert auf Ra 1,6–3,2 µm.

anwenden

Luft- und Raumfahrt: Extrudierte Wolframstäbe mit großem Durchmesser werden für Gegengewichte von Flugzeugen und Satelliten verwendet.

Militär: Verarbeitet zu panzerbrechenden Kernen oder kinetischen Energiekomponenten mit hoher Dichte.

Industriell: wird für Hochtemperatur-Ofenhalterungen und große Formen verwendet.

Andere: wird als Grundmaterial für Steuerstäbe für Kernreaktoren verwendet.

Herausforderungen und Trends

Herausforderung: Die Hochdruckextrusion erfordert große Anlagen; Starker Verschleiß der Form; Die Prozesssteuerung ist komplex.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Trend:

Entwicklung von keramischen Beschichtungsformen, um den Verschleiß um 30 % zu reduzieren.
Verwenden Sie Simulationssoftware, um die Extrusionsparameter zu optimieren und die Ausbeute zu verbessern.

Forschung über die Kombination von additiver Fertigung und Extrusion zur Herstellung komplexer Formen von Wolframstäben.

Vor- und Nachteile:

Vorteile: geeignet für große Spezifikationen und komplexe Querschnitte; Hohe Dichte und Festigkeit.

Nachteile: große Investitionen in Ausrüstung; Die Oberflächengüte ist geringer als bei gezogenen Wolframstäben; Der Prozess ist komplex.

2.3 Wolframstäbe werden nach ihrer Verwendung klassifiziert

Wolframstäbe werden in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, darunter Industrie, Elektronik, Militär und andere Spezialbereiche. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Aufschlüsselung.

2.3.1 Wolframstäbe für den industriellen Einsatz

Definitionen und Übersicht

Industrielle Wolframstäbe werden in Umgebungen mit hohen Temperaturen, hoher Festigkeit oder hoher Verschleißfestigkeit eingesetzt, wie z. B. Quarzöfen, Saphirkristallöfen und Seltenerdreinigungsanlagen, einschließlich reiner Wolframstäbe, Stäbe aus Wolframlegierungen und dotierte Wolframstäbe.

Merkmale und Anwendungen

Quarzöfen: Schmieden oder Extrudieren von reinen Wolframstäben (Durchmesser 20–50 mm) als Kernstäbe, die hohen Temperaturen über 2000 °C standhalten, zur Herstellung von Quarzglas für optische Fasern.

Saphirkristallofen: Wolframstäbe werden zu Tiegeln oder Stützen für die Züchtung von Saphirkristallen für LED-Substrate verarbeitet.

Reinigung von Seltenen Erden: Wolframstab wird als Hochtemperaturbehälter oder Elektrode für die Verhüttung und Raffination von Seltenelementen verwendet.

Matrizen & Werkzeuge: Stäbe aus Wolframlegierungen (W-Ni-Fe) werden aufgrund ihrer hohen Härte und Verschleißfestigkeit in Stanzwerkzeugen und Schneidwerkzeugen verwendet.

Andere: Wird für Hochtemperatur-Keramik-Sinterofenstützen verwendet.

Produktion & Anforderungen

Das Schmieden oder Extrudieren gewährleistet eine hohe Dichte, eine Oberflächenrauheit von 1,6 bis 3,2 µm und Maßtoleranzen ± 0,1 mm.

2.3.2 Wolframstäbe für die Elektronik

Definitionen und Übersicht

Wolframstäbe für die Elektronik werden bei der Herstellung von Filamenten, Elektroden und Sputtertargets verwendet, darunter reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe und dotierte

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Wolframstäbe.

Merkmale und Anwendungen

Glühfaden: Wolframfaden wird durch das Ziehen von reinen Wolframstäben hergestellt, die in Glühlampen, Halogenlampen und speziellen Lichtquellen verwendet werden.

Elektrode: Dotierter Wolframstab (z. B. WT20, WC20) wird für das Argon-Lichtbogenschweißen und die Plasmaschweißelektrode verwendet.

Sputtertarget: Hochreiner Wolframstab wird zu einem Target für die Abscheidung von Halbleiter- und Displayfilmen verarbeitet.

Vakuumpipetten und Röntgenpipetten: Für Kathoden und Targets werden hochreine Wolframstäbe verwendet.

Sonstiges: für Laseremitter.

Produktion & Anforderungen

Ziehen und Polieren bis Ra 1,6–3,2 µm, hohe Reinheit nach ASTM B760 und SEMI Normen.

2.3.3 Wolframstab für militärische Zwecke

Definitionen und Übersicht

Wolframstäbe für militärische Zwecke sind hauptsächlich Stäbe aus Wolframlegierungen, die für militärische Komponenten mit hoher Dichte und hoher Festigkeit verwendet werden, wie z. B. panzerbrechende Geschoskerne und kinetische Waffen.

Merkmale und Anwendungen

Panzerbrechender Kern: Stab aus Wolfram-Nickel-Eisen-Legierung (Dichte 18,0–18,5 g/cm³) für Panzerabwehrmunition mit hoher Durchschlagskraft.

Kinetische Waffen: Stäbe aus Wolframlegierungen mit großem Durchmesser werden in hochkinetischen Sprengköpfen verwendet, theoretisch für Waffen des Konzepts des "Zepters Gottes".

Panzerungsteile: Wolframstäbe werden zu Raketendüsenauskleidungen oder Panzerungsschutz verarbeitet.

Sonstiges: Strahlenschutz für Kernwaffenkomponenten.

Produktion & Anforderungen

Das Extrudieren oder Schmieden gewährleistet eine hohe Dichte nach ASTM B777 und eine Oberflächenrauheit von Ra 1,6–3,2 µm.

2.3.4 Sonstige Wolframstäbe für besondere Zwecke

Definitionen und Übersicht

Zu den weiteren Spezial-Wolframstäben gehören medizinische, wissenschaftliche und Konsumgüter wie Strahlenschutz, Laborgeräte und Sportartikel.

Merkmale und Anwendungen

Medizin: Stäbe aus Wolframlegierungen werden in Abschirmungen und Kollimatoren für Röntgen- und CT-Geräte verwendet.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Wissenschaftliche Forschung: Dotierter Wolframstab wird im Heizelement des Hochtemperatur-Versuchsofens verwendet.

Konsumgüter: Stäbe aus Wolframlegierungen werden zu Darts, Golfschlägergewichten und Wolframstahlschmuck verarbeitet.

Sonstiges: Verschleißfeste Teile für geologische Bohrwerkzeuge.

Produktion & Anforderungen

Je nach Anwendung wird das Zieh-, Extrusions- oder Schmiedeverfahren mit einer Oberflächenrauheit von Ra 1,6–3,2 μm gewählt.

2.4 Wolframstäbe werden nach Spezifikationen klassifiziert

Die Spezifikationen von Wolframstäben basieren hauptsächlich auf dem Durchmesser und sind in drei Kategorien unterteilt: kleiner Durchmesser, mittlerer Durchmesser und großer Durchmesser.

2.4.1 Wolframstäbe mit kleinem Durchmesser (<5 mm)

Definitionen und Übersicht

Wolframstäbe mit kleinen Durchmessern (<5 mm Durchmesser) werden im Ziehverfahren mit hoher Maßgenauigkeit und guter Oberflächengüte präpariert.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: Durchmesser 0,1–5 mm, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 μm , Zugfestigkeit 1500–2000 MPa.

Anwendungen: Wolframfilament-Rohstoffe, Schweißelektroden, mikroelektronische Sonden, Laserkomponenten.

Die Herstellung des Ziehprozesses ist die Hauptstütze, die hochpräzise Formen und Mehrfachglühen erfordert.

2.4.2 Wolframstäbe mit mittlerem Durchmesser (5-20 mm)

Definitionen und Übersicht

Wolframstäbe mit mittlerem Durchmesser (5–20 mm) werden durch Schmieden oder Walzen vorbereitet, um sowohl Festigkeit als auch Verarbeitbarkeit zu gewährleisten.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: Dichte 19,0–19,25 g/cm³, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 μm .

Anwendungen: Komponenten für Hochtemperatur-Öfen, Gegengewichte, Schweißelektroden, medizinische Targets.

Herstellung von Schmiede- oder Walzprozessen, geeignet für die Massenproduktion.

2.4.3 Wolframstäbe mit großem Durchmesser (>20 mm)

Definitionen und Übersicht

Wolframstäbe mit großem Durchmesser (>20 mm) werden durch Strangpressen oder Schmieden vorbereitet und eignen sich für großformatige Teile.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

CTIA GROUP LTD
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~4.5 x 10 ⁻⁶ /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: Dichte 19,0–19,2 g/cm³, hohe Schlagzähigkeit, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 µm.
Anwendung: militärischer Geschosskern, Gegengewicht für die Luftfahrt, große Form, nukleare Komponenten.

Die Herstellung des Extrusionsprozesses basiert hauptsächlich auf Anlagen mit großen Tonnagen.

2.5 Wolframstäbe werden nach ihrem Oberflächenzustand klassifiziert

Die Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst die Anwendung und Verarbeitbarkeit von Wolframstäben, die in schwarze Lederstäbe, Polierstäbe und Polierstäbe unterteilt werden.

2.5.1 Schwarze Lederstäbe

Definitionen und Übersicht

Der Black Skin Rod ist ein gesinterter oder vorgefertigter Wolframstab mit einer Oxidschicht auf der Oberfläche und ist noch nicht fertiggestellt.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: Oberflächenrauheit Ra 3,2–6,4 µm, Dichte 17,5–18,5 g/cm³.
Anwendung: Halbzeuge zum anschließenden Schmieden oder Walzen; Schrappkomponenten für Hochtemperaturöfen.

Die Produktion wird direkt nach dem Sintern gekühlt, um die Oxidschicht zu erhalten.

2.5.2 Cartlight-Stäbe

Definitionen und Übersicht

Der Wendestab entfernt die schwarze Haut durch Drehen oder Schleifen, die Oberfläche ist glatt und die Maßhaltigkeit ist hoch.

Merkmale und Anwendungen

Merkmale: Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 µm, Maßtoleranz ± 0,05 mm.
Anwendungen: Schweißelektroden, Hochtemperatur-Ofenelemente, Präzisions-Gegengewichte.

Für die Herstellung von Dreh- oder Schleifprozessen werden hochpräzise Werkzeugmaschinen benötigt.

2.5.3 Polierstäbe

Definitionen und Übersicht

Der Polierstab erreicht durch die Feinpolitur eine hohe Oberflächenqualität und eignet sich somit für hochpräzise und saubere Umgebungen.

Merkmale und Anwendungen

Merkmale: Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 µm, Maßtoleranz ± 0,02 mm.
Anwendungen: Elektroden für Halbleiterausüstung, Sputtertargets, medizinische Komponenten.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Herstellung von Multi-Pass-Polieren mit Diamantschleifscheiben oder chemischem Polieren.

2.6 Spezielle Wolframstäbe

Spezial-Wolframstäbe können dotiert oder optimiert werden, um spezifische Anwendungsanforderungen zu erfüllen.

2.6.1 Kalium-Wolframstäbe

Definitionen und Übersicht

Kalium-Wolfram-Stäbe (WK) werden in Hochtemperatur-Ofenelementen verwendet, um die Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen durch Zugabe von Spuren von Kalium (50–100 ppm) zu verbessern.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: feine Körnung, hohe Kriechfestigkeit, 20–30 % längere Lebensdauer.

Anwendung: Hochtemperatur-Ofenheizelement, Vakuumofenstütze.

Die Herstellung erfolgt durch Zugabe von Kaliumsalzen zu Wolframpulver, Sintern und anschließendes Ziehen oder Schmieden.

2.6.2 Thorium-dotierte Wolframstäbe

Definitionen und Übersicht

Thoriumdotierter Wolframstab (WT20, mit 2 % ThO₂) war aufgrund seiner guten Lichtbogenstabilität früher ein Standardmaterial für Schweißelektroden.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: schneller Lichtbogenstart, lange Lebensdauer, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 µm, jedoch leicht radioaktiv.

Anwendung: WIG-Schweißelektroden werden nach und nach durch umweltfreundliche Elektroden ersetzt.

Thoriumoxid wird der Produktion und nach dem Sintern, Ziehen und Formen zugesetzt.

2.6.3 Cer-dotierte Wolframstäbe

Definitionen und Übersicht

Cer-dotierter Wolframstab (WC20, mit 2 % CeO₂) ist nicht radioaktiv und hat eine hervorragende Lichtbogenleistung.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: Lichtbogenstabilität, geringe Ausbrennrate, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 µm, geeignet für Niedrigstromschweißen.

Anwendung: WIG-Schweißen, Plasmaschweißelektrode.

Ceroxid wird der Herstellung zugesetzt, gesintert und anschließend gezogen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

2.6.4 Lanthan-dotierte Wolframstäbe

Definitionen und Übersicht

Lanthandotierte Wolframstäbe (WL15/WL20 mit 1,5–2 % La_2O_3) sind die erste Wahl für umweltfreundliche Schweißelektroden.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: hohe Lichtbogenstabilität, lange Lebensdauer, Nicht-Radioaktivität, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 μm .

Anwendung: hochpräzises Schweißen, Elektroden für Halbleiteranlagen.

Lanthanoxid wird der Produktion zugesetzt, gesintert und anschließend gezogen oder poliert.

2.6.5 Zirkonium-dotierter Wolframstab

Definitionen und Übersicht

Zirkonium-dotierter Wolframstab (WZ8, mit 0,8 % ZrO_2) ist für das Wechselstromschweißen geeignet und weist eine hohe Beständigkeit gegen Verschmutzung auf.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: beständig gegen Elektrodenverunreinigung, geeignet für Aluminium- und Magnesiumschweißen, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 μm .

Anwendung: AC-WIG-Schweißelektrode.

Zirkonoxid wird der Produktion zugesetzt, gesintert und anschließend gezogen.

2.6.6 Yttrium-dotierter Wolframstab

Definitionen und Übersicht

Yttrium-dotierte Wolframstäbe (WY20 mit 2% Y_2O_3) werden aufgrund ihres hohen Elektronenemissionsgrads für Spezialschweißungen verwendet.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: Hoher Elektronenemissionsgrad, geeignet für Hochfrequenzschweißen, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 μm .

Anwendung: Plasmaschneiden, Spezialelektrode.

Yttriumoxid wird der Produktion zugesetzt, gesintert und anschließend gezogen.

2.6.7 Verbundstoff Seltenerd-Wolframstab

Definitionen und Übersicht

Verbundstoff-Seltenerd-Wolframstäbe kombinieren eine Vielzahl von Seltenerdoxid (z. B. $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2$), um die umfassende Leistung zu optimieren.

Merkmale und Anwendungen

Eigenschaften: Ausgezeichnete Lichtbogenstabilität, Lebensdauer- und Brennbeständigkeit, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 μm .

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anwendungen: anspruchsvolles Schweißen, Elektroden für die Luft- und Raumfahrt, 3D-Druckdüsen.

Komposit-Seltene Erden werden der Produktion zugesetzt, gezogen oder nach dem Sintern poliert.

2.7 Vergleich internationaler Modelle und Noten

Die Arten und Qualitäten von Wolframstäben basieren auf internationalen und nationalen Normen, die einfach zu handeln und anzuwenden sind.

2.7.1 Reine Wolframstabsorte

Überblick

Zu den reinen Wolframstabsorten gehören WP (AWS A5.12), W1 (GB/T 4187-2017) und ASTM B760 spezifizierter reiner Wolframstab.

Noten & Anforderungen

WP: $\geq 99,9\%$ Reinheit, wird zum Schweißen von Elektroden und Filamenten verwendet.

W1: Reinheit $\geq 99,95\%$, Verunreinigungen werden streng kontrolliert.

ASTM B760: Spezifiziert Reinheit und mechanische Eigenschaften.

2.7.2 Dotierte Wolframstabsorten

Dotierte Wolframstabsorten basieren auf AWS A5.12 und YS/T 695-2009, gängige Modelle sind:

WT20: 2% Thorium-dotierte, rot markierte, geschweißte Elektrode.

WC20: 2% Cer-dotiert, graues Logo, umweltfreundliche Elektrode.

WL15/WL20: 1,5–2 % Lanthan-dotierte Hochleistungselektrode mit goldenem oder blauem Logo.

WZ8: 0,8 % Zirkonium-dotiert, weißes Logo, AC-Schweißen.

WY20: 2% Yttrium-dotiert, cyanfarbenes Logo, spezielle Verschweißung.

2.7.3 Vergleichstabelle in- und ausländischer Sorten (GB/T, ASTM, ISO)

Art	GB/T-Standard	ASTM-Normen	ISO-Norm	AWS A5.12
Reiner Wolframstab	W1	ASTM B760	DIN 24370	WP
Thorium-dotierter Wolframstab	WT	ASTM B776	DIN 24370	WT20
Cer-dotierter Wolframstab	WC	ASTM B776	DIN 24370	WC20
Lanthan-dotierter Wolframstab	WL	ASTM B776	DIN 24370	WL15/WL20
Zirkonium-dotierter Wolframstab	WZ	ASTM B776	DIN 24370	WZ8
Stäbe aus Wolframlegierung	W-Ni-Fe/Cu	ASTM B777	DIN 24370	-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Illustrieren

GB/T 4187-2017 und YS/T 695-2009 legen die chemische Zusammensetzung und die Eigenschaften von Wolframstäben in China fest.

ASTM B760 und B777 sind internationale Normen für reines Wolfram und Wolframlegierungen.

Die ISO 24370 legt die allgemeinen Anforderungen an Wolfram und Wolframlegierungen fest.

AWS A5.12 spezifiziert die Güte- und Farbskala von dotierten Wolframstäben für Schweißelektroden.



CTIA GROUP LTD Wolframstäbe

Kapitel 3 Eigenschaften von Wolframstäben

Als Hochleistungs-Refraktärmetall hat Wolframstab aufgrund seiner hervorragenden physikalischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften ein breites Anwendungsspektrum in Industrie, Elektronik, Luft- und Raumfahrt, Medizin und wissenschaftlicher Forschung. In diesem Kapitel werden die physikalischen Eigenschaften von Wolframstäben (einschließlich hoher Schmelzpunkt, hoher Dichte, niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient, Wärmeleitfähigkeit und niedriger Dampfdruck), chemische Eigenschaften (Korrosionsbeständigkeit, chemische Stabilität und Reaktivität mit Elementen), mechanische Eigenschaften (hohe Festigkeitshärte, Kriechfestigkeit, Zähigkeit und Bearbeitbarkeit) ausführlich erörtert und die Eigenschaften verschiedener Arten von Wolframstäben (reine Wolframstäbe, B. hochreine Wolframstäbe, dotierte Wolframstäbe) und liefert schließlich die MSDS-Informationen (Material Safety Data Sheet) von Wolframstäben.

3.1 Physikalische Eigenschaften von Wolframstäben

Die physikalischen Eigenschaften von Wolframstäben sind die Grundlage für eine Vielzahl von Anwendungen in extremen Umgebungen, darunter ein hoher Schmelzpunkt, eine hohe Dichte, ein niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient, eine gute Wärmeleitfähigkeit und ein niedriger Dampfdruck. Diese Eigenschaften sorgen dafür, dass Wolframstäbe bei hohen Temperaturen, hohen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Lasten und Vakuum eine gute Leistung erbringen.

3.1.1 Hoher Schmelzpunkt von Wolframstäben

Wolfram hat einen Schmelzpunkt von 3410 °C, was nach dem Sublimationspunkt von Kohlenstoff (etwa 3550 °C) der höchste aller Metalle ist. Diese Eigenschaft macht Wolframstäbe zu einem unersetzlichen Material in Hochtemperaturumgebungen, das für Anwendungen geeignet ist, die extremen Wärmebelastungen standhalten. Der hohe Schmelzpunkt von Wolfram beruht auf seiner körperzentrierten kubischen (BCC) Gitterstruktur, der hohen interatomaren Metallbindungsenergie und der starken Bindungskraft, die es Wolframstäben ermöglicht, ihre strukturelle Stabilität bei Temperaturen nahe dem Schmelzpunkt aufrechtzuerhalten.

Anwendungsszenarien:

Hochtemperatur-Ofenelemente: Wolframstäbe werden als Kernstäbe von Quarzöfen verwendet, die hohen Temperaturen von 2000 bis 2500 °C standhalten, um Quarzglas für optische Fasern herzustellen.

Saphirkristallofen: Wolframstab wird als Tiegel oder Stütze für das Wachstum von Saphirkristallen für LED-Substrate mit einer Betriebstemperatur von bis zu 2200 °C verwendet.

Luft- und Raumfahrt: Wolframstäbe werden in Düsenauskleidungen für Hochtemperaturtriebwerke, wie z. B. Plasmatriebwerke, verwendet, um Hochtemperatur-Plasmastößen standzuhalten.

Beleuchtungsindustrie: Wolframstab, der in Wolframfaden gezogen wird und in Glühlampen, Halogenlampen und speziellen Lichtquellen verwendet wird, kann die Arbeitstemperatur 2800 °C erreichen.

Technische Herausforderungen:

Bei hohen Temperaturen können Wolframstäbe in geringen Mengen mit Ofenatmosphären (z. B. Sauerstoff oder Stickstoff) reagieren und müssen durch Wasserstoff oder Vakuum geschützt werden. Ein hoher Schmelzpunkt erfordert spezielle Hochtemperaturgeräte (z. B. Vakuum-Sinteröfen), die einen hohen Energieverbrauch verursachen und die Produktionskosten erhöhen.

Ein langfristiger Betrieb bei hohen Temperaturen kann zu Kornwachstum führen und die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigen.

Entwicklungstrends:

Entwicklung fortschrittlicher Hochtemperatur-Ofendesigns, die Induktionserwärmung und inerte Atmosphären kombinieren, um den Energieverbrauch zu senken und die Effizienz zu steigern.

Es wurden Wolframmatrix-Verbundwerkstoffe untersucht, und die Hochtemperaturstabilität wurde durch Zugabe von hochtemperaturbeständigen Phasen (wie z. B. Zirkonoxid) weiter verbessert, und die angestrebte Temperaturbeständigkeit betrug bis zu 3000 °C.

Die Plasma-Sinter-Technologie (SPS) wird verwendet, um die Sintertemperatur auf 1800 °C zu senken, wodurch das Überkorn und der Energieverbrauch reduziert werden.

3.1.2 Hohe Dichte von Wolframstäben

Die Dichte von Wolframstäben liegt nahe am theoretischen Wert von 19,25 g/cm³, was mit Gold vergleichbar und nur niedriger als Osmium und Iridium ist. Die hohe Dichte ist auf die enge Packung der Wolframatome und das hohe Atomgewicht (183,84 u) zurückzuführen, das ihm eine große

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Masse bei kleinem Volumen verleiht, wodurch es sich für hochwertige Gegengewichte und Strahlenschutzanwendungen eignet.

Anwendungsszenarien:

Gegengewichte für die Luft- und Raumfahrt: Wolframstäbe werden zu Satelliten- oder Drohnengegengewichten verarbeitet, um die Raumnutzung und die Schwerpunkteinstellung zu optimieren.

Militär: Stäbe aus Wolframlegierungen (W-Ni-Fe oder W-Ni-Cu) werden in panzerbrechenden Geschosskernen oder kinetischen Waffen verwendet, um die Durchschlagskraft und kinetische Energie zu verbessern.

Medizin: Wolframstäbe werden zur Abschirmung von Röntgen- und CT-Geräten verwendet, um hochenergetische Strahlung zu absorbieren und Bediener zu schützen.

Konsumgüter: Stäbe aus Wolframlegierungen werden in Gewichten von Golfschlägern, Darts oder hochwertigem Wolframstahlschmuck verwendet, um die Stabilität und das Gefühl zu verbessern.

Technische Herausforderungen:

Die hohe Dichte erhöht die Schwierigkeit der Bearbeitung und erfordert hochpräzise Geräte zur Kontrolle der Maßtoleranzen, insbesondere beim Ziehen mit kleinen Durchmessern.

Großformatige Wolframstäbe (> 50 mm Durchmesser) sind anfällig für innere Defekte wie Porosität oder Risse beim Extrudieren oder Schmieden.

Die Zugabe von Nickel, Eisen und anderen Elementen zu Wolframlegierungsstäben kann die Korrosionsbeständigkeit verringern, und das Legierungsverhältnis muss optimiert werden.

Entwicklungstrends:

Entwicklung von Wolframmatrix-Verbundwerkstoffen mit hoher Dichte (z. B. W-Ni-Cu), um das Gleichgewicht zwischen Dichte und Zähigkeit zu optimieren und die Verarbeitbarkeit zu verbessern. Additive Fertigungstechniken, wie z. B. der 3D-Druck, werden eingesetzt, um komplex geformte Gegengewichte herzustellen, wodurch Materialverschwendung und Verarbeitungskosten reduziert werden.

Die Finite-Elemente-Simulation wird eingesetzt, um den Schmiede- und Extrusionsprozess von großen Wolframstäben zu optimieren, interne Defekte zu reduzieren und die Ausbeute zu verbessern.

3.1.3 Niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframstäben

Wolframstäbe haben einen sehr niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten von $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20–1000°C), was deutlich niedriger ist als Stahl ($11\text{--}13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) und Kupfer ($16\text{--}18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient ermöglicht es dem Wolframstab, eine hervorragende Dimensionsstabilität bei hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten, thermische Spannungen und Verformungen zu reduzieren und ist für hochpräzise und Hochtemperaturumgebungen geeignet.

Anwendungsszenarien:

Halbleiterausüstung: Hochreine Wolframstäbe werden für Elektroden von Ionenimplantationsgeräten verwendet, und die Dimensionsstabilität gewährleistet die Genauigkeit der Waferverarbeitung.

Hochtemperaturofen: Wolframstab wird als Kernstab des Quarzofens oder als Saphirofenräger

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

verwendet, der hohen Temperaturen über 2000 °C ohne Verformung standhält.

Optische Industrie: Wolframstäbe werden in Komponenten von Lasergeräten verwendet, um das optische System ausgerichtet zu halten und zu verhindern, dass thermische Verformungen den Strahlengang beeinträchtigen.

Luft- und Raumfahrt: Wolframstäbe werden in Hochtemperatur-Windkanal-Testkomponenten verwendet, um thermischer Verformung zu widerstehen und die experimentelle Genauigkeit zu erhalten.

Technische Herausforderungen:

Die Kombination aus niedrigem Wärmeausdehnungskoeffizienten und geringer Zähigkeit macht Wolframstäbe empfindlich gegenüber Temperaturschocks, und schnelle Temperaturänderungen können Mikrorisse verursachen.

Eine Fehlanpassung der Wärmeausdehnung mit anderen Materialien bei hohen Temperaturen kann zu Grenzflächenspannungen führen, die die Leistung von Verbundwerkstoffteilen beeinträchtigen.

Bei der Präzisionsbearbeitung muss der Unterschied in der Wärmeausdehnung berücksichtigt werden, um eine Toleranzkontrolle zu gewährleisten.

Entwicklungstrends:

Untersuchen Sie Wolframmatrix-Verbundwerkstoffe, um den Wärmeausdehnungskoeffizienten an andere Materialien (z. B. Keramiken oder Legierungen) anzupassen und Grenzflächenspannungen zu reduzieren.

Die Finite-Elemente-Simulation wird verwendet, um das Bauteildesign zu optimieren, die thermische Spannungsverteilung vorherzusagen und das Risiko einer thermischen Verformung zu verringern.

Entwicklung von Hochtemperatur-Beschichtungstechnologien (z.B. Zirkonoxid-Beschichtungen) zur Erhöhung der Temperaturwechselbeständigkeit von Wolframstäben.

3.1.4 Thermische und elektrische Leitfähigkeit von Wolframstäben

Wolframstab hat eine gute Wärmeleitfähigkeit und eine mäßige elektrische Leitfähigkeit mit einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 173 W/m·K (20°C) und einer elektrischen Leitfähigkeit von 18% IACS (International Standard for Annealed Copper, ca. 9,8 MS/m). Diese Eigenschaften beruhen auf der metallischen Bindungsstruktur und der Elektronenbeweglichkeit von Wolfram, wodurch es für hochtemperaturleitende und wärmeleitende Anwendungen geeignet ist. Obwohl die Leitfähigkeit geringer ist als die von Kupfer (100 % IACS), sind Wolframstäbe aufgrund ihrer Stabilität bei hohen Temperaturen und der geringen Widerstandsänderungsrate in bestimmten Szenarien von Vorteil.

Anwendungsszenarien:

Elektronik: Wolframstäbe werden in Vakuumröhrenkathoden, Röntgenröhrentargets und Elektroden für die Funkenerosion (EDM) verwendet, die Leitfähigkeit und hohe Temperaturstabilität kombinieren.

Schweißelektroden: Dotierte Wolframstäbe (z. B. Cer-dotiert oder Lanthan-dotiert) werden für das Argon-Lichtbogenschweißen (WIG) und das Plasmaschweißen verwendet, wobei die Lichtbogenstabilität von ihrer Leitfähigkeit abhängt.

Hochtemperaturofen: Wolframstab wird als Heizelement verwendet, wobei die Wärmeleitfähigkeit

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

zur schnellen Wärmeübertragung verwendet wird, und die Arbeitstemperatur kann 2500 ° C erreichen.

Wissenschaftliche Forschung: Der Wolframstab wird als Elektrode für Hochtemperatur-Supraleitungsexperimente verwendet, und seine Leitfähigkeit und hohe Temperaturbeständigkeit gewährleisten die Zuverlässigkeit des Experiments.

Technische Herausforderungen:

Die Leitfähigkeit ist geringer als bei Kupfer und Silber, was die Wettbewerbsfähigkeit von Wolframstäben in niederohmigen Anwendungen einschränkt.

Der spezifische Widerstand steigt bei hohen Temperaturen (ca. 0,004/°C) leicht an, und das Schaltungsdesign muss optimiert werden, um dies zu kompensieren.

Die Wärmeleitfähigkeit nimmt bei sehr hohen Temperaturen (>2000 °C) leicht ab, und das Design des Wärmemanagements muss berücksichtigt werden.

Entwicklungstrends:

Entwicklung von dotierten Wolframstäben (z.B. Lanthan- oder Cer-dotiert) zur Reduzierung des spezifischen Widerstands und zur Verbesserung der Lichtbogenstabilität.

UNTERSUCHUNG VON NANOSTRUKTURIERTEN WOLFRAMMATERIALIEN ZUR OPTIMIERUNG DER LEITFÄHIGKEIT DURCH GRAIN BOUNDARY ENGINEERING SNOWFLAKE.

Eine leitfähige Beschichtung (z.B. Graphen-Beschichtung) wird verwendet, um die Leitfähigkeit der Oberfläche von Wolframstäben für spezielle Elektroden zu verbessern.

3.1.5 Niedriger Dampfdruck von Wolframstäben

Wolframstäbe haben einen sehr niedrigen Dampfdruck ($<10^{-4}$ Pa bei 3000 °C) bei hohen Temperaturen, wodurch sie im Vakuum oder in Umgebungen mit hohen Temperaturen stabil sind und sich nicht leicht verflüchtigen oder die Umgebung verschmutzen. Diese Eigenschaft ist auf den hohen Schmelzpunkt und die starken metallischen Bindungen des Wolframs zurückzuführen, die die Verdampfung von Atomen bei hohen Temperaturen reduzieren.

Anwendungsszenarien:

Vakuufofen: Wolframstab wird als Heizelement oder Stütze für Vakuum-Hochtemperaturöfen verwendet, um eine Materialverflüchtigung und eine Verschmutzung der Ofenumgebung zu verhindern.

Halbleiterfertigung: Hochreine Wolframstäbe werden in Ionenimplantationsgeräten und Sputtertargets verwendet, und der niedrige Dampfdruck sorgt für eine schadstofffreie Reinraumumgebung.

Luft- und Raumfahrt: Wolframstäbe werden in experimentellen Hochtemperatur-Vakuumgeräten, wie z. B. Plasmaforschungsgeschichten, verwendet, um die Langzeitstabilität aufrechtzuerhalten.

Elektronik: Wolframstäbe werden in Vakuum-Elektronenröhren (z. B. Röntgenröhren) verwendet, um zu verhindern, dass die Materialverflüchtigung bei hohen Temperaturen die Leistung beeinträchtigt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Technische Herausforderungen:

Spurenverunreinigungen wie Sauerstoff oder Kohlenstoff können den Dampfdruck erhöhen, und die Reinheit des Rohmaterials muss streng kontrolliert werden.

Das Vakuumsystem erfordert ein Ultrahochvakuum (weniger als 10^{-5} Pa), was eine hohe Dichtheit der Ausrüstung erfordert.

Ein langfristiger Betrieb bei hohen Temperaturen kann zu einer Oxidation der Oberfläche führen, die eine Schutzatmosphäre oder Beschichtung erfordert.

Entwicklungstrends:

Entwicklung von ultrahochreinem Wolfram (99,9999 %), um den Dampfdruck weiter zu reduzieren und die Anforderungen von Halbleitern der nächsten Generation zu erfüllen.

Forschung an Hochtemperatur-Antioxidationsbeschichtungen (z. B. SiC oder Al_2O_3), um die Oberflächenverdunstung zu reduzieren.

Optimieren Sie das Design des Vakuumofens in Kombination mit dem Niedertemperatur-Plasmasintern, um die Betriebstemperatur zu senken.

3.2 Chemische Eigenschaften von Wolframstäben

Zu den chemischen Eigenschaften von Wolframstäben gehören eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit, chemische Stabilität und eine begrenzte Elementreaktivität, wodurch sie hervorragend in rauen chemischen Umgebungen eingesetzt werden und für eine Vielzahl von industriellen und wissenschaftlichen Anwendungen geeignet sind.

3.2.1 Korrosionsbeständigkeit von Wolframstäben

Wolframstäbe haben eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit gegen Säuren, Laugen und die meisten Oxidationsmittel (wie Salzsäure, Schwefelsäure, Flusssäure) bei Raumtemperatur und reagieren nur langsam in konzentrierter Hochtemperatur-Salpetersäure oder geschmolzenem Alkali (wie Natriumhydroxid). Die Korrosionsbeständigkeit resultiert aus einer dichten Oxidschicht (WO_3), die sich auf der Oberfläche des Wolframs bildet und externe Chemikalien effektiv isoliert.

Anwendungsszenarien:

Chemische Industrie: Wolframstäbe werden in korrosionsbeständigen Elektroden oder Behältern, wie z. B. elektrochemischen Prozessanlagen, eingesetzt.

Hochtemperaturofen: Wolframstab wird als Heizelement in Wasserstoff oder einer inerten Atmosphäre verwendet und ist beständig gegen korrosive Gase.

Medizinische Geräte: Wolframstab wird als Ziel für Röntgengeräte verwendet, um Oxidationsumgebungen bei hohen Temperaturen zu widerstehen.

Marine: Wolframlegierungsstab wird als Gegengewicht in Meerwasserumgebungen verwendet und ist beständig gegen Salzsprühkorrosion.

Technische Herausforderungen:

Die Oxidschicht kann sich bei hohen Temperaturen verdicken oder ablösen, was eine Schutzatmosphäre (z. B. Wasserstoff oder Argon) erfordert.

Bestimmte starke Oxidationsmittel, wie z. B. Königswasser, können Wolframstäbe bei hohen Temperaturen korrodieren, was den Anwendungsbereich einschränkt.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Die Zugabe von Nickel oder Eisen zu Wolframlegierungsstäben kann die Korrosionsbeständigkeit verringern, und das Legierungsverhältnis muss optimiert werden.

Entwicklungstrends:

Entwicklung korrosionsbeständiger Beschichtungen (z. B. Zirkonoxid oder Siliziumnitrid) zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit bei hohen Temperaturen.

Forschung an Wolframmatrix-Verbundwerkstoffen mit Zusatz von korrosionsbeständigen Elementen wie Chrom zur Verbesserung der Leistung.

Optimieren Sie Oberflächenbehandlungsprozesse (z. B. Plasmaspritzen), um eine dichtere Schutzschicht zu schaffen.

3.2.2 Chemische Stabilität von Wolframstäben

Wolframstäbe sind bei Umgebungstemperaturen und moderaten Temperaturen (<500 °C) chemisch stabil und reagieren praktisch nicht mit Sauerstoff, Stickstoff oder anderen gängigen Gasen. Bei hohen Temperaturen (>1000 °C) können Wolframstäbe langsam WO_3 mit Sauerstoff oder harte Verbindungen (z. B. WC, WN) mit Kohlenstoff und Stickstoff bilden, aber die Reaktionsgeschwindigkeit ist niedrig und muss durch bestimmte Bedingungen ausgelöst werden.

Anwendungsszenarien:

Vakuummgebung: Wolframstab wird im Heizelement des Vakuumofens verwendet, und die chemische Stabilität gewährleistet einen langfristigen Betrieb ohne Verschmutzung.

Halbleiterfertigung: Hochreine Wolframstäbe werden in Ionenimplantationsgeräten verwendet, um zu verhindern, dass chemische Reaktionen Wafer kontaminieren.

Hochtemperatur-Experimente: Wolframstäbe werden in der Hochtemperatur-Supraleitung oder in der Plasmaforschung eingesetzt, um chemisch inert zu bleiben.

Elektronik: Wolframstäbe werden in der Kathode von Vakuumröhren verwendet, um zu verhindern, dass chemische Reaktionen die Leistung beeinträchtigen.

Technische Herausforderungen:

Spurenreaktionen mit Sauerstoff oder Kohlenstoff bei hohen Temperaturen können zu einer Verschlechterung der Oberfläche führen, die eine strenge Kontrolle der Atmosphäre erfordert.

Die Dotierung mit Additiven in Wolframstäben, wie z. B. Thoriumoxid, kann die chemische Stabilität verringern und eine Optimierung der Formulierung erfordern.

Ein langfristiger Betrieb bei hohen Temperaturen kann die Ansammlung von Oberflächenverbindungen auslösen, die die Leitfähigkeit beeinträchtigen können.

Entwicklungstrends:

Ultrahochreines Wolfram (99,999 %) wurde entwickelt, um chemische Reaktionen zu reduzieren, die durch Verunreinigungen verursacht werden.

Die Beschichtung durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) wird verwendet, um eine stabile Schutzschicht zu bilden und die Lebensdauer zu verlängern.

Forschung an selbstheilender Beschichtungstechnologie zur automatischen Reparatur von Oberflächenschäden bei hohen Temperaturen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

3.2.3 Reaktivität von Wolframstäben mit anderen Elementen

Wolframstäbe haben bei Raumtemperatur eine sehr geringe Reaktivität mit anderen Elementen und reagieren nur begrenzt mit Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Fluor und anderen Elementen unter bestimmten Hochtemperaturbedingungen. Zum Beispiel wird WO_3 mit Sauerstoff bei $> 1000\text{ °C}$, Wolframcarbid (WC) mit Kohlenstoff bei $>1500\text{ °C}$ und Wolframnitrid (WN) mit Stickstoff bei $>2000\text{ °C}$ gebildet. Diese Reaktionen erfordern eine Aktivierung mit hoher Energie, und die Reaktionsprodukte sind in der Regel Verbindungen mit hoher Härte, von denen einige verwendet werden können, um die Eigenschaften von Wolframstäben zu verbessern.

Anwendungsszenarien:

Hartbeschichtung: Unter Verwendung der Reaktivität von Wolfram und Kohlenstoff wird eine WC-Beschichtung auf der Oberfläche des Wolframstabs gebildet, um die Verschleißfestigkeit zu erhöhen.

Hochtemperaturesperiment: Wolframstab wird in einem Hochtemperaturreaktor in einer inerten Atmosphäre verwendet, um die Reaktion mit Kohlenstoff oder Stickstoff zu steuern.

Schweißelektrode: Der dotierte Wolframstab reagiert im Hochtemperaturlichtbogen mit Sauerstoff, um die Stabilität des Lichtbogens zu erhalten.

Chemische Industrie: Wolframstäbe werden in speziellen chemischen Reaktionsgefäßen verwendet, um der Korrosion durch bestimmte Gase zu widerstehen.

Technische Herausforderungen:

Die Hochtemperaturreaktion kann die Oberflächeneigenschaften des Wolframstabes verändern und die elektrische oder thermische Leitfähigkeit beeinflussen.

Reaktionsprodukte (z. B. WO_3) können die Oberflächenqualität beeinträchtigen und müssen regelmäßig gereinigt oder geschützt werden.

Dotierungselemente können komplexe Reaktionen hervorrufen, die eine präzise Kontrolle der Dotierungsmengen und Prozessbedingungen erfordern.

Entwicklungstrends:

Erforschung der selektiven Reaktionstechnologie zur Steuerung der Reaktion von Wolfram mit bestimmten Elementen bei hohen Temperaturen zur Bildung funktioneller Beschichtungen.

Entwicklung von mehrschichtigen Verbundschichten (z.B. WC/ Al_2O_3), die Korrosionsbeständigkeit und Funktionalität in Einklang bringen.

Optimieren Sie die Technologie zur Atmosphärenkontrolle, reduzieren Sie unnötige Reaktionen bei hohen Temperaturen und verbessern Sie die Lebensdauer von Wolframstäben.

3.3 Mechanische Eigenschaften von Wolframstäben

Zu den mechanischen Eigenschaften von Wolframstäben gehören eine hohe Festigkeit und Härte, eine ausgezeichnete Kriechbeständigkeit sowie eine begrenzte Zähigkeit und Bearbeitbarkeit, wodurch sie sich hervorragend in Umgebungen mit hoher Belastung und hoher Temperaturbelastung eignen, aber schwer zu verarbeiten sind.

3.3.1 Hohe Festigkeit und Härte von Wolframstäben

Wolframstäbe haben eine extrem hohe Festigkeit und Härte mit einer Vickers-Härte (HV) von 350–500 und einer Zugfestigkeit zwischen 700–2000 MPa (abhängig vom Verarbeitungsprozess und der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Dotierung). Die hohe Festigkeit ist auf die starken metallischen Bindungen und das körperzentrierte kubische Gitter aus Wolfram zurückzuführen, und die hohe Härte macht es verschleißfest und für Anwendungen mit hoher Belastung geeignet.

Anwendungsszenarien:

Hochtemperaturformen: Wolframstäbe werden in Glasformungs- oder Keramik-Sinterformen verwendet, um hohem Druck und Verschleiß standzuhalten.

Militär: Stäbe aus Wolframlegierungen werden für panzerbrechende Geschoskerne verwendet, kombiniert mit hoher Härte und Dichte, um die Durchdringung zu verbessern.

Industriewerkzeuge: Wolframstäbe werden zu Schneidwerkzeugen oder Stanzwerkzeugen verarbeitet und sind widerstandsfähig gegen hohe Beanspruchungen.

Luft- und Raumfahrt: Wolframstäbe werden in Hochtemperatur-Triebwerkskomponenten verwendet, um mechanischen Belastungen standzuhalten.

Technische Herausforderungen:

Die hohe Härte erschwert das Schneiden und Schleifen, da Diamantwerkzeuge oder Laserbearbeitung erforderlich sind.

Hohe Festigkeit, aber hohe Sprödigkeit, leichte Erzeugung von Mikrorissen während der Verarbeitung.

Großformatige Wolframstäbe (>50 mm) werden mit Eigenspannungskonzentration geschmiedet oder extrudiert, und der Prozess muss optimiert werden.

Entwicklungstrends:

Nanokristallines Wolframmaterial wird verwendet, um das Korn auf <100 nm zu verfeinern und so die Festigkeit und Härte zu verbessern.

Entwicklung einer plasmagestützten Verarbeitungstechnologie zur Reduzierung von Verarbeitungsrissen und zur Verbesserung der Genauigkeit.

Es werden Wolframmatrix-Verbundwerkstoffe untersucht, wobei Zähigkeitserhöhende Phasen (z. B. Nickel) hinzugefügt werden, um Festigkeit und Zähigkeit auszugleichen.

3.3.2 Kriechfestigkeit von Wolframstäben

Wolframstäbe haben eine ausgezeichnete Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen (>2000 °C) und können langen Belastungen standhalten, ohne sich nennenswert zu verformen. Die Kriechfestigkeit ergibt sich aus dem hohen Schmelzpunkt und der stabilen Kristallstruktur von Wolfram, und dotierte Wolframstäbe (z. B. Kalium oder Seltene Erden) werden durch die Verstärkung der Korngrenzen weiter verbessert.

Anwendungsszenarien:

Hochtemperaturofen: Wolframstab wird als Stütze für einen Quarzofen oder Saphirofen verwendet und ist einer langfristigen Hochtemperaturbelastung ausgesetzt.

Luft- und Raumfahrt: Wolframstäbe werden in Hochtemperatur-Windkanal-Testkomponenten verwendet, um einer Kriechverformung zu widerstehen.

Wissenschaftliche Forschung: Wolframstäbe werden in Hochtemperatur-Versuchsgeräten verwendet, um die langfristige Dimensionsstabilität aufrechtzuerhalten.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Industrie: Wolframstäbe werden in Hochtemperaturformen eingesetzt, um einer Verformung unter langfristiger Belastung zu widerstehen.

Technische Herausforderungen:

Das Kornwachstum bei sehr hohen Temperaturen ($>2500\text{ °C}$) kann die Kriechfestigkeit verringern, und das Gefüge muss kontrolliert werden.

Ein langfristiger Betrieb kann zu Oberflächenoxidation oder Dotierverflüchtigung führen, was die Leistung beeinträchtigt.

Dotierte Wolframstäbe müssen die Verteilung des Dotierungsmittels optimieren, um lokale Ungleichmäßigkeiten zu vermeiden.

Entwicklungstrends:

Entwicklung von Dotierungstechnologien (z.B. Komposit-Seltenerd-Dotierung) zur weiteren Verbesserung der Kriechfestigkeit und zur Verlängerung der Target-Lebensdauer um 30%.

Das Heißisostatische Pressen (HIP) wird verwendet, um Kornrenzedefekte zu reduzieren und die Stabilität bei hohen Temperaturen zu verbessern.

Forschung an Hochtemperatur-In-situ-Überwachungstechnologie zur Bewertung des Kriechverhaltens in Echtzeit und zur Optimierung des Designs.

3.3.3 Zähigkeit und Zerspanbarkeit von Wolframstäben

Wolframstäbe haben eine geringe Zähigkeit und sind spröde, insbesondere bei Raumtemperatur. Die körperzentrierte kubische Gitterstruktur und die hohe Härte führen zu einer schlechten Duktilität und werden bei hohen Temperaturen ($800\text{--}1500\text{ °C}$) oder mehrfachen Glühzeiten verarbeitet, um die Plastizität zu verbessern. Dotierte Wolframstäbe können die Zähigkeit durch Zugabe von Seltenen Erden oder Oxiden (wie Ceroxid, Lanthanoxid) leicht verbessern, sind aber immer noch schwer zu verarbeiten.

Anwendungsszenarien:

Zeichnung: Wolframstäbe werden zu Wolframfilamenten ($0,01\text{--}0,1\text{ mm}$ Durchmesser) gezogen, die für die Filamentherstellung eine hohe Temperatur und mehrfaches Glühen erfordern.

Präzisionsteile: Wolframstäbe werden zu Halbleitersonden oder -elektroden verarbeitet, die eine hochpräzise Bearbeitungstechnik erfordern.

Schweißelektrode: Dotierter Wolframstab (WC20, WL20) wird zur Elektrode verarbeitet und die Zähigkeit optimiert, um die Lebensdauer zu verbessern.

Formenbau: Wolframstäbe werden zu komplexen Formformen verarbeitet, die eine Laser- oder EDM-Bearbeitung erfordern.

Technische Herausforderungen:

Die Sprödigkeit ist bei Raumtemperatur hoch und bei der Verarbeitung lassen sich leicht Mikrorisse erzeugen, was die Ausbeute verringert.

Die Hochtemperaturverarbeitung erfordert spezielle Geräte wie Vakuumöfen oder Induktionsheizgeräte, was die Kosten erhöht.

Wolframstäbe mit kleinem Durchmesser ($<1\text{ mm}$) haben ein hohes Risiko für Auszugsbrüche und erfordern eine präzise Kontrolle der Verformung.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Entwicklungstrends:

Entwickelte nanoskalige Wolframpulver-Sintertechnologie zur Veredelung von Körnern und zur Verbesserung der Zähigkeit und Verarbeitbarkeit.

Die Laserbearbeitung oder Erodierbearbeitung wird eingesetzt, um die mechanische Belastung zu reduzieren und die Bearbeitungsgenauigkeit zu verbessern.

Forschung an neuen Dotierstoffen (z. B. Komposit-Seltenerdmetallen), um die Zähigkeit bei Raumtemperatur zu verbessern und die Schwierigkeit der Verarbeitung zu verringern.

3.4 Vergleich der Eigenschaften verschiedener Arten von Wolframstäben

Es gibt signifikante Unterschiede in den physikalischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Arten von Wolframstäben (reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe, dotierte Wolframstäbe), die sich auf ihre Anwendungsbereiche und Leistungsfähigkeit auswirken.

3.4.1 Reiner Wolframstab und hochreiner Wolframstab

Vergleich der physikalischen Eigenschaften:

Reiner Wolframstab (Reinheit $\geq 99,9\%$): Dichte $19,0\text{--}19,25\text{ g/cm}^3$, Schmelzpunkt $3410\text{ }^\circ\text{C}$, Wärmeausdehnungskoeffizient $4,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, Wärmeleitfähigkeit $173\text{ W/m}\cdot\text{K}$, elektrische Leitfähigkeit 18% IACS. Korngrößen von $10\text{--}50\text{ }\mu\text{m}$ und Spurenverunreinigungen ($100\text{--}500\text{ ppm}$) können die Leistung bei hohen Temperaturen beeinträchtigen.

Hochreiner Wolframstab (Reinheit $\geq 99,95\%$): Dichte nahe dem theoretischen Wert von $19,25\text{ g/cm}^3$, feineres Korn ($5\text{--}15\text{ }\mu\text{m}$), Verunreinigungsgehalt $< 50\text{ ppm}$, etwas bessere Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand ca. $5,3\text{ }\mu\Omega\cdot\text{cm}$ vs. $5,5\text{ }\mu\Omega\cdot\text{cm}$), niedrigerer Dampfdruck, geeignet für saubere Umgebungen.

Vergleich der chemischen Eigenschaften:

Reiner Wolframstab: hohe Korrosionsbeständigkeit, aber die Spurenreaktion auf Sauerstoff oder Kohlenstoff ist bei hohen Temperaturen deutlicher, und die Atmosphäre muss geschützt werden.

Hochreine Wolframstäbe: höhere chemische Stabilität, nahezu keine Reaktion mit Chemikalien bei Raumtemperatur, geringere WO_3 -Bildungsrate bei hohen Temperaturen, geeignet für Vakuum- oder Reinraumanwendungen.

Vergleich der mechanischen Eigenschaften:

Reiner Wolframstab: Vickers-Härte $350\text{--}450\text{ HV}$, Zugfestigkeit $700\text{--}1000\text{ MPa}$, geringe Zähigkeit, Hochtemperaturglühen ist für die Verarbeitung erforderlich.

Hochreiner Wolframstab: Die Härte ist etwas höher ($400\text{--}500\text{ HV}$), die Zugfestigkeit beträgt $800\text{--}1100\text{ MPa}$ und die Kornfeinung verbessert die Festigkeit, aber die Zähigkeit ist immer noch begrenzt und erfordert eine präzise Bearbeitung.

Unterschiede in der Anwendung:

Reiner Wolframstab: Geeignet für allgemeine Hochtemperaturanwendungen, wie z. B. Kernstäbe von Quarzöfen, Filamentrohstoffe und Gegengewichte.

Hochreine Wolframstäbe: Speziell für hochpräzise und saubere Umgebungen entwickelt, wie z. B. Elektroden für Halbleiter-Ionenimplantationsgeräte, Sputtertargets und Komponenten von EUV-

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Lithographiemaschinen.

Technische Herausforderungen:

Reine Wolframstäbe sind kostengünstiger, aber Verunreinigungen können die Leistungskonsistenz beeinträchtigen.

Die Herstellung von hochreinen Wolframstäben erfordert eine CVD-Reinigung und Reinraumverarbeitung, die hohe Kosten und strenge Anforderungen an die Ausrüstung stellt.

Entwicklungstrends:

Reiner Wolframstab: Optimieren Sie den Sinterprozess, reduzieren Sie Verunreinigungen und verbessern Sie die Leistungsstabilität.

Hochreiner Wolframstab: Entwickeln Sie ultrahochreines Wolfram (99,9999 %), um die Anforderungen der Chipherstellung unter 3 nm zu erfüllen.

3.4.2 Besondere Eigenschaften von dotierten Wolframstäben

Physikalische Eigenschaften: Dotierte Wolframstäbe (mit 0,5–2 Gew.-% Seltenerdmetallen oder Oxiden, wie z.B. Ceroxid, Lanthanoxid, Thoriumoxid) sind aufgrund der geringeren Dichte der Dotierstoffe etwas weniger dicht als reine Wolframstäbe (19,0–19,2 g/cm³). Die Kornfeinheit beträgt 5–15 µm, und der Wärmeausdehnungskoeffizient und die Wärmeleitfähigkeit (ca. 160 W/m·K) ist etwas niedriger als der von reinem Wolframstab, aber die elektrische Leitfähigkeit ist aufgrund der verbesserten Elektronenbeweglichkeit des Dotierers etwas höher (ca. 5,0 µΩ·cm).

Chemische Eigenschaften: Dotierte Wolframstäbe behalten die Korrosionsbeständigkeit und chemische Stabilität von Wolfram bei, aber bei hohen Temperaturen können einige Dotierstoffe (wie Thoriumoxid) eine leichte Reaktion hervorrufen, die die Stabilität verringert. Seltenerd-dotierungen (z. B. Cer-dotiert, Lanthan-dotiert) sind nicht radioaktiv, erfüllen die Anforderungen des Umweltschutzes und weisen eine bessere chemische Stabilität auf.

Mechanische Eigenschaften: Der dotierte Wolframstab wird durch Korngrenzen verstärkt, um die Zugfestigkeit (1000–1200 MPa) und Zähigkeit zu verbessern, und die Kriechfestigkeit wird deutlich verbessert, was für Langzeitbelastungen bei hohen Temperaturen geeignet ist. Mit einer Vickers-Härte von 400–500 HV ist die Verarbeitbarkeit besser als bei reinen Wolframstäben, muss aber dennoch bei hohen Temperaturen verarbeitet werden.

Anwendungsszenarien:

Schweißelektrode: Dotierter Wolframstab (z. B. WC20, WL20) wird für das Argon-Lichtbogenschweißen und das Plasmaschweißen verwendet, mit hoher Lichtbogenstabilität und geringer Ausbrennrate.

Hochtemperaturofen: Für das Heizelement des Vakuumofens wird ein kaliumdotierter oder Seltenerd-Wolframstab verwendet, der mehr als 2500 °C standhält.

Elektronik: Dotierte Wolframstäbe werden in Kathodenstrahlröhren, Mikrowellengeräten und Laseremittern verwendet.

Neue Anwendung: Hochtemperaturdüsen für den 3D-Druck von Metallgeräten, die gegen Hochtemperatur-Metallschmelzen beständig sind.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Technische Herausforderungen:

Die Gleichmäßigkeit des Dotiermittels ist schwer zu kontrollieren, und das Sintern bei hohen Temperaturen kann zur Verflüchtigung führen und die Leistung beeinträchtigen.

Die Anwendung von Thorium-dotierten Wolframstäben ist leicht radioaktiv, und es müssen umweltfreundliche Alternativen entwickelt werden.

Der Dotierungsprozess erhöht die Komplexität und die Kosten der Produktion und erfordert eine Optimierung der Rezepturen und Prozesse.

Entwicklungstrends:

Forschung und Entwicklung von Komposit-Seltenerd-dotierungen (z. B. $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$) zur Verbesserung der Lichtbogenstabilität, Lebensdauer und Brennbeständigkeit.

Die Nanodotierungstechnologie wird verwendet, um die Dotierungsmenge ($<0,5$ Gew.-%) zu reduzieren und die Leistungseffizienz zu verbessern.

Entwicklung von nicht-radioaktiven Hochleistungselektroden, die globale Umweltstandards (z.B. EU-RoHS-Richtlinie) erfüllen.

3.5 Wolframstab Sicherheitsdatenblatt von CITA GROUP LTD

Im Folgenden finden Sie eine Zusammenfassung des Sicherheitsdatenblatts (Sicherheitsdatenblatt) von Chinatungsten-Wolframstäben, das Sicherheits-, Gesundheits- und Umweltinformationen auf der Grundlage der allgemeinen Eigenschaften und Industriestandards von Wolframstäben enthält. Da es sich bei Wolframstab um ein festes Metallmaterial handelt, ist sein MSDS-Gehalt relativ prägnant und konzentriert sich hauptsächlich auf die potenziellen Risiken bei der Verarbeitung und Verwendung.

Sicherheitsdatenblätter (MSDS)

Produktname: Wolframstab (reiner Wolframstab, hochreiner Wolframstab, dotierter Wolframstab)

Chemische Zusammensetzung:

Reiner Wolframstab: Wolfram (W) $\geq 99,9\%$, Spuren von Verunreinigungen (Fe, Ni, C, O usw., 100–500 ppm).

Hochreiner Wolframstab: Wolfram (W) $\geq 99,95\%$, Verunreinigungen < 50 ppm.

Dotierter Wolframstab: Wolfram (W) 97–99,5 %, Dotierung (z. B. CeO_2 , La_2O_3 , ThO_2 , K) 0,5–2 Gew.-%

Physikalische Form: Massiver Metallstab mit einer Dichte von 19,0–19,25 g/cm^3 und einer Oberflächenrauheit von Ra 1,6–3,2 μm .

Gefahrenübersicht:

Bei Raumtemperatur besteht keine nennenswerte Gefahr, eine hohe chemische Stabilität und es ist nicht leicht, zu brennen oder zu explodieren.

Bei der Verarbeitung (z. B. Schneiden, Schleifen, Schweißen) können Metallstaub oder Dämpfe entstehen, die beim Einatmen Atemwegsreizungen verursachen können.

Thorium-dotierter Wolframstab (WT20) enthält Thoriumoxid, das leicht radioaktiv ist und einen besonderen Schutz erfordert.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Gesundheitsrisiken:

Einatmen: Wolframstaub kann die Atemwege reizen, und eine langfristige Exposition kann zu Lungenbeschwerden führen.

Hautkontakt: Massive Wolframstäbe sind ungiftig, aber Verarbeitungsstaub kann leichte Hautreizungen verursachen.

Blickkontakt: Staub kann mechanische Reizungen verursachen und sollte mit den Augen gespült werden.

Verschlucken: Die Wahrscheinlichkeit einer versehentlichen Einnahme ist gering, und kleine Mengen der Einnahme sind nicht signifikant toxisch, sollten aber vermieden werden.

Thorium-dotierte Wolframstäbe: Eine langfristige Exposition gegenüber Thoriumoxidstaub kann das Strahlenrisiko erhöhen, und die Exposition muss kontrolliert werden.

Sicherheitsvorkehrungen:

Persönlicher Schutz: Tragen Sie während der Verarbeitung eine Staubmaske (N95 oder höher), eine Schutzbrille und Handschuhe.

Belüftung: Der Verarbeitungsbereich muss mit einem lokalen Absaug- oder Staubentfernungssystem ausgestattet sein, um die Staubkonzentration zu kontrollieren.

Radioaktiver Schutz (Thorium-dotierte Wolframstäbe): Verwenden Sie einen speziellen Abzug, überwachen Sie die Strahlungswerte regelmäßig und halten Sie sich an die lokalen Vorschriften (z. B. China GB 18871-2002).

Handhabung & Lagerung:

In einem trockenen, gut belüfteten Lager lagern, fern von Kontakt mit starken Oxidationsmitteln (z. B. konzentrierte Salpetersäure).

Die Verarbeitungsanlage muss geerdet sein, um Staubexplosionen durch statische Elektrizität zu vermeiden.

Wolframabfälle werden als Metallabfälle verwertet, und thoriumdotierte Wolframstäbe müssen gemäß den Vorschriften über radioaktive Abfälle entsorgt werden.

Erste-Hilfe-Maßnahmen:

Einatmen: Bringen Sie die Person an die frische Luft und suchen Sie bei Bedarf einen Arzt auf.

Hautkontakt: Waschen Sie Ihre Haut mit Wasser und Seife und suchen Sie bei Bedarf einen Arzt auf.

Blickkontakt: Mindestens 15 Minuten lang mit viel Wasser spülen und ggf. einen Arzt aufsuchen.

Einnahme: Spülen Sie Ihren Mund sofort aus, verdünnen Sie ihn mit Wasser und suchen Sie bei Bedarf einen Arzt auf.

Auswirkungen auf die Umwelt:

Wolframstäbe selbst sind nicht giftig für die Umwelt, aber Verarbeitungsstaub kann die Luft oder die Gewässer verschmutzen und muss ordnungsgemäß gesammelt werden.

Mit Thorium-Wolfram-Stäben dotierte Abfälle sollten gemäß den Vorschriften über radioaktive Abfälle entsorgt werden, um Umweltbelastungen zu vermeiden.

Regulatorische Informationen:

Es entspricht China GB/T 4187-2017 (Wolframstabstandard) und YS/T 695-2009

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

(Wolframelektrodenstandard).

Thorium-dotierte Wolframstäbe unterliegen dem Sicherheitscode für radioaktive Materialien der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) und dem chinesischen GB 18871-2002 (Standard zum Schutz vor ionisierender Strahlung).

Versandinformationen:

Transport von ungefährlichen Gütern gemäß den Anforderungen der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation (IMO) und der International Air Transport Association (IATA).

Thorium-dotierte Wolframstäbe müssen mit radioaktiven Warnhinweisen gekennzeichnet sein und in Übereinstimmung mit den Vorschriften verpackt und transportiert werden.

Informationen zum Lieferanten

Lieferant: CTIA GROUP LTD

Telefonnummer: 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD Wolframstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 4 Aufbereitung und Fertigungstechnik von Wolframstäben

Als Hochleistungs-Refraktärmetall umfasst der Vorbereitungsprozess von Wolframstab eine komplexe Rohstoffbehandlung, Pulvermetallurgie, Verformungsverarbeitung, Nachbehandlung und kundenspezifische Technologie für verschiedene Arten von Wolframstab. Der hohe Schmelzpunkt (3410 °C), die hohe Dichte (19,25 g/cm³) und die einzigartigen mechanochemischen Eigenschaften von Wolfram stellen hohe Anforderungen an Produktionsanlagen und Prozesssteuerung. In diesem Kapitel wird der Vorbereitungs- und Produktionsprozess von Wolframstäben, einschließlich der Rohstoffaufbereitung, der Pulvermetallurgietechnologie, der Verformungsverarbeitungstechnologie, der Vorbereitung von großflächigen Wolframstäben, der Nachbehandlungstechnologie und der Prozesseigenschaften verschiedener Arten von Wolframstäben (reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe, dotierte Wolframstäbe) ausführlich erörtert.

4.1 Aufbereitung von Rohstoffen für Wolframstäbe

Die Aufbereitung von Wolframstäben beginnt mit der Gewinnung und Verarbeitung hochwertiger Rohstoffe, die den Abbau und die Reinigung von Wolframerz, die Aufbereitung von Wolframpulver und die Zugabe von Legierungselementen oder Dotierstoffen umfasst. Diese Schritte haben einen direkten Einfluss auf die Reinheit, Leistung und Produktionseffizienz von Wolframstäben.

4.1.1 Abbau und Reinigung von Wolframerz

Der Rohstoff für Wolframstab wird hauptsächlich aus Wolframerz gewonnen, und zu den gebräuchlichen Typen gehören Wolframit (FeMnWO₄) und Scheelit (CaWO₄). Der Abbau erfolgt in der Regel im Tagebau oder im Untertagebau, abhängig von den geologischen Bedingungen der Lagerstätte. Das abgebauten Erz durchläuft mehrere Reinigungsstufen, um eine hochreine Wolframverbindung zu erhalten.

Prozess:

Erzzerkleinerung und -vermahlung: Das Roherz wird in kleine Partikel (<10 mm) zerkleinert und durch Kugel- oder Stabmahlen weiter auf den Mikrometerbereich (10–100 µm) veredelt, um die Effizienz der anschließenden Aufbereitung zu verbessern.

Aufbereitung: Schwerkraftaufbereitung (z. B. Jig, Shaker), Flotation oder magnetische Trenntechniken werden verwendet, um Wolframerz aus Gangart zu trennen und hochgradiges Wolframkonzentrat (WO₃-Gehalt 60–70 %) zu erhalten.

Chemische Reinigung: Wolframkonzentrat wird geröstet (500–800 °C), um Verunreinigungen wie Schwefel und Arsen zu entfernen, gefolgt von einer Laugung von Alkali (Natriumhydroxid) oder Säure (Salzsäure), um Natriumwolframat (Na₂WO₄) oder Wolframsäure (H₂WO₄) herzustellen.

Kristallisation und Raffination: weitere Reinigung durch Lösungsmittelextraktion oder Ionenaustausch zur Erzeugung von hochreinem Ammoniumwolframat (APT, (NH₄)₂WO₄) mit einer Reinheit von mehr als 99,9 %, das sich für die anschließende Wolframpulveraufbereitung eignet.

Wichtige Punkte:

Der Aufbereitungsprozess muss genau gesteuert werden, um Verunreinigungen (z. B. Silizium, Phosphor, Eisen) zu reduzieren.

Die Alkalilaugungsmethode ist für Wolframit geeignet, und die Säurelaugungsmethode ist für

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Scheelit geeignet, und der Prozess muss je nach Erztyp optimiert werden.

Hochreines APT ist der wichtigste Rohstoff für die Herstellung von hochreinen Wolframstäben, und Verunreinigungen wie Kohlenstoff und Sauerstoff müssen streng kontrolliert werden.

4.1.2 Herstellung von Wolframpulver

Wolframpulver ist der Kernrohstoff für die Herstellung von Wolframstäben, der durch Reduktion von Ammoniumwolframat oder Wolframoxid (WO_3) durch Wasserstoff gewonnen wird, und die Partikelgröße und -reinheit wirken sich direkt auf die Eigenschaften von Wolframstäben aus.

Prozess:

Oxidbereitstellung: Ammoniumwolframat wird an Luft ($400\text{--}600^\circ\text{C}$) kalziniert und zu Wolframoxid (WO_3) oder $WO_{2.9}$ zersetzt, die Farbe ist gelb oder blaugrün.

Wasserstoffreduktion: Wolframoxid wird in einem Mehrrohrföfen oder Drehrohrföfen bei $600\text{--}900^\circ\text{C}$ in zwei Stufen zu hochreinem Wasserstoff (99,999 %) reduziert: zunächst zu WO_2 (braun) und dann weiter zu Wolframmetallpulver (grau). Die reduzierende Atmosphäre muss streng kontrolliert werden, um eine Sauerstoff- oder Stickstoffbelastung zu vermeiden.

Siebung und Klassifizierung: Wolframpulver ($0,5\text{--}5\ \mu\text{m}$) mit einheitlicher Partikelgröße kann durch Vibrationssieb- oder Luftstromklassifizierung erhalten werden, die für verschiedene Arten von Wolframstäben geeignet ist (z. B. erfordern reine Wolframstäbe größere Partikelgrößen und hochreine Wolframstäbe erfordern feinere Partikelgrößen).

Qualitätskontrolle: Verunreinigungen werden mittels Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA) oder Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) detektiert, um eine Reinheit von $\geq 99,9\%$ (hochreines Wolframpulver $\geq 99,95\%$) zu gewährleisten.

Wichtige Punkte:

Die Reduktionstemperatur und der Wasserstoffdurchfluss müssen präzise eingestellt werden, um die Partikelgröße und Morphologie des Wolframpulvers zu steuern.

Hochreines Wolframpulver muss in einer sauberen Umgebung hergestellt werden, um Staubbelastung zu vermeiden.

Wolframpulver sollte für die Lagerung versiegelt werden, um Oxidation oder Feuchtigkeitsaufnahme zu verhindern.

4.1.3 Zugabe von Legierungselementen und Dotierstoffen

Zur Herstellung von dotierten Wolframstäben oder Wolframlegierungsstäben müssen Wolframpulver Legierungselemente oder Dotierstoffe zugesetzt werden, um die Lichtbogenstabilität, Kriechbeständigkeit oder Verarbeitbarkeit zu verbessern.

Handwerk:

Dotierungsauswahl: Zu den gängigen Dotierungsoptionen gehören Seltenerdoxide (z. B. Ceroxid CeO_2 , Lanthanoxid La_2O_3 , Yttrium Y_2O_3 , $0,5\text{--}2\ \text{Gew.}\%$), Oxide (z. B. Thorium- ThO_2 , Zirkonoxid ZrO_2) oder Spuren von Kalium ($50\text{--}100\ \text{ppm}$). Zu den Legierungselementen gehören Nickel, Eisen und Kupfer, die zur Herstellung von Stäben aus Wolframlegierungen mit hoher Dichte verwendet werden.

Mischmethode: Das Dotiermittel wird durch hochenergetisches Kugelmahlen oder Sprühtrocknen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

gleichmäßig mit Wolframpulver vermischt, um eine gleichmäßige Verteilung des Dotiermittels zu gewährleisten. Die Kugelmahlzeit wird auf 4–8 Stunden kontrolliert, um eine Überfeinheit des Pulvers oder Verunreinigungen zu vermeiden.

Lösungsdotierung: Das Dotiermittel wird in Form von Nitrat (z. B. Lanthannitrat) in Wasser gelöst, auf die Oberfläche des Wolframpulvers gesprüht und bildet nach dem Trocknen eine gleichmäßige Dotierung.

Qualitätskontrolle: Zur Analyse der Dotierungsverteilung wurde Rasterelektronenmikroskopie (REM) eingesetzt, und zur Bestimmung der Dotierungsmenge wurde RFA verwendet, um die Einhaltung der Designanforderungen sicherzustellen (z. B. CeO_2 -Gehalt von $2\% \pm 0,1\%$).

Wichtige Punkte:

Die Partikelgröße des Dotiermittels sollte an die von Wolframpulver angepasst werden (typischerweise $< 1\ \mu\text{m}$), um eine Agglomeration zu vermeiden.

Thorium-dotierte Wolframstäbe bedürfen eines besonderen Schutzes, da Thoriumoxid leicht radioaktiv ist.

Der Anteil der Legierungselemente sollte so gesteuert werden, dass der Schmelzpunkt oder die Korrosionsbeständigkeit von Wolfram nicht verringert wird.

4.2 Pulvermetallurgische Technologie von Wolframstäben

Die Pulvermetallurgie ist die Kerntechnologie der Wolframstabaufbereitung, bei der Wolframpulver durch Pulvermischen, Pressen und Hochtemperaturesintern in dichte stabförmige Rohlinge umgewandelt wird, die die Grundlage für die anschließende Verformungsverarbeitung bilden.

4.2.1 Mischen und Pressen von Pulver

Pulvermischen: Wolframpulver (oder dotiertes Wolframpulver) wird durch mechanisches Mischen oder Sprühtrocknung mit einem Bindemittel (z. B. Polyvinylalkohol PVA) vermischt, um das Fließvermögen und die Formbarkeit zu gewährleisten. Zu den Mischanlagen gehören Planetenmühlen oder V-Mischer mit einer Mischzeit von 2-4 Stunden, um Pulveroxidation oder -verunreinigung zu vermeiden.

Pressvorgang:

Kaltisostatisches Pressen (CIP): Das gemischte Wolframpulver wird in eine flexible Form geladen und bei einem Druck von 100–200 MPa mit einer Dichte von etwa 50–60 % theoretischer Dichte in einen stabförmigen Rohling gepresst. CIP eignet sich für großformatige Rohlinge und hat eine gute Gleichmäßigkeit.

Formen: Pressen auf einer hydraulischen Presse mit einer Stahlmatrize, geeignet für kleine Chargen oder Rohlinge mit kleinem Durchmesser bei Drücken von 50–150 MPa.

Prozesskontrolle: Die Pressgeschwindigkeit muss langsam sein (0,5–1 mm/s), um ein Reißen des Rohlings zu verhindern. Der Rohling wird im Vakuum oder in inerte Atmosphäre entfettet, um das Bindemittel zu entfernen.

Wichtige Punkte:

Die Oberfläche der Form muss glatt sein, um die Oberflächenfehler des Rohlings zu reduzieren.

Der Pressdruck muss entsprechend der Pulverpartikelgröße und der Art der Dotierstoffe angepasst

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

werden.

Saubere Umgebung (e.g. ISO Klasse 7), um Staubkontamination zu vermeiden.

4.2.2 Hochtemperatur-Sintern

Das Hochtemperaturesintern ist ein wichtiger Schritt in der Pulvermetallurgie, bei dem Wolframpulverpartikel bei hohen Temperaturen zu Rohlingen mit hoher Dichte kombiniert werden.

Prozess:

Sinterausrüstung: Es wird ein Wasserstoffschutzofen oder ein Vakuum-Sinterofen verwendet, die Temperatur beträgt 2000–2800 °C und die Temperatur wird 1–3 Stunden lang gehalten.

Sinterprozess: Wolframpulverrohlinge werden bei hohen Temperaturen mit einer Porosität von 5–10 % und einer Dichte von 90–95 % theoretischer Dichte einer Partikeldiffusion und -bindung unterzogen. Das Sintern gliedert sich in das Vorsintern (1000–1500 °C, Entfernung flüchtiger Verunreinigungen) und das Hauptsintern (2000–2800 °C, Verdichtung).

Atmosphärenregelung: Wasserstoffschutz gegen Oxidation, Durchflussmenge 0,5–2 m³/h; Das Vakuumsintern (10⁻³–10⁻⁵ Pa) eignet sich für hochreine Wolframstäbe, um die Gasadsorption zu reduzieren.

Kühlung: Langsames Abkühlen (10–20 °C/min), um Risse durch thermische Belastung zu vermeiden.

Wichtige Punkte:

Die Sintertemperatur muss entsprechend der Partikelgröße des Wolframpulvers und der Art der Dotierstoffe optimiert werden, eine zu hohe Temperatur kann zu zu großen Körnern führen.

Die Atmosphäre im Inneren des Ofens muss von hoher Reinheit (99,999 %) sein, um Kohlenstoff- oder Sauerstoffverschmutzung zu vermeiden.

Der gesinterte Rohling muss mit Ultraschall untersucht werden, um ihn auf innere Porosität und Risse zu prüfen.

4.2.3 Leistungsoptimierung von gesinterten Wolframstäben

Gesinterte Wolframstäbe (schwarze Stäbe) müssen weiter optimiert werden, um den Anforderungen der Anwendung gerecht zu werden.

Methode der Optimierung:

Sekundärsintern: Durch kurzzeitiges Sekundärsintern (0,5–1 Stunde) bei 2200–2600°C in einem Vakuumofen wird die Porosität weiter auf <2 % reduziert und die Dichte auf mehr als 19,0 g/cm³ erhöht.

Heißisostatisches Pressen (HIP): Bei der Verarbeitung bei 2000 °C, 100–200 MPa, wurden Mikroporen eliminiert und die Dichte lag nahe dem theoretischen Wert von 19,25 g/cm³.

Oberflächenreinigung: Die Oberflächenoxidschicht wird mit chemischer Reinigung (Salzsäure oder Flusssäure) entfernt, um eine Rauheit von Ra 3,2–6,4 µm zu erreichen.

Mikrostrukturanpassung: Optimieren Sie die Korngröße (10–50 µm) und erhöhen Sie die Festigkeit, indem Sie die Sinterzeit und die Abkühlgeschwindigkeit steuern.

Wichtige Punkte:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Das HIP-Verfahren erfordert eine spezielle Ausrüstung für Hochleistungs-Wolframstäbe.
Die Oberflächenreinigung sollte in einer belüfteten Umgebung durchgeführt werden, um Säuregefahren zu vermeiden.
Die Leistungsoptimierung erfordert ein Gleichgewicht zwischen Korngröße und Porosität, um Festigkeitsverluste zu vermeiden.

4.3 Technologie zur Verarbeitung der Verformung von Wolframstäben

Die Verformungsverarbeitung verbessert die Dichte, Festigkeit und Maßgenauigkeit von Wolframstäben durch Warm Schmieden, Warmfließpressen, Walzen und Ziehen, um den Anforderungen verschiedener Anwendungen gerecht zu werden.

4.3.1 Warm Schmieden (Hammerschmieden, Rotationsschmieden)

Beim Warm Schmieden werden gesinterte Wolframstäbe durch mechanische Hochtemperaturverformung zu Stangen mit hoher Dichte verarbeitet, die in Hammerschmieden und Rotationsschmieden unterteilt werden.

Prozess des Hammerschmiedens:

Ausrüstung: Drucklufthammer oder hydraulische Schmiedemaschine, Schmiedetemperatur 1200–1500°C, Wasserstoff- oder Argonschutz.

Verfahren: Der gesinterte Wolframstab wird auf 1200°C vorgewärmt und in mehreren Durchgängen mit einer Verformung von jeweils 10–20% geschmiedet, wodurch der Durchmesser allmählich verkleinert und die Dichte (19,0–19,25 g/cm³) erhöht wird.

Nachbehandlung: Glühen nach dem Schmieden (1000–1200°C) zum Spannungsabbau und Oberflächendrehen auf eine Rauheit von Ra 1,6–3,2 µm.

Rotationsknetverfahren:

Ausstattung: Rundknetmaschine mit Hochfrequenz-Induktionsheizer bei 1200–1400°C.

Prozess: Wolframstäbe werden in einer rotierenden Matrize multidirektionalem Druck ausgesetzt und gleichmäßig verformt, geeignet für Stäbe mit kleinem und mittlerem Durchmesser (5–50 mm).

Vorteile: Das Rotationskneten ist gleichmäßiger als das Hammerkneten, hat ein geringeres Risiko von Rissen und eignet sich für hochpräzise Anwendungen.

Wichtige Punkte:

Die Schmiedetemperatur muss genau geregelt werden, um eine Überhitzung und Überkörnung zu vermeiden.

Das Ausmaß der Verformung muss Schritt für Schritt kontrolliert werden, um eine Konzentration der inneren Spannung zu verhindern.

Schutzatmosphären (z.B. Argon) verhindern die Oxidation der Oberfläche.

4.3.2 Warmfließpressen

Das Warmfließpressen wird für die Umformung von Wolframstäben mit großen Spezifikationen oder komplexen Querschnitten mit hoher Dichte und Festigkeit verwendet.

Prozess:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Vorwärmen: Gesinterte Wolframstäbe werden auf 1300–1600 °C erhitzt und durch Wasserstoff oder Argon geschützt.

Extrusion: Wolframstäbe werden mit einem hydraulischen Extruder (500–1000 MPa) mit einem Durchmesser von 20–100 mm und einer Dichte von 19,0–19,2 g/cm³ extrudiert.

Richten und Abkühlen: Nach dem Extrudieren langsam (10–20°C/min) abkühlen lassen und die Form mit einem Glätteisen anpassen.

Oberflächenbehandlung: Drehen oder Schleifen bis zu einer Rauheit von Ra 1,6–3,2 µm.

Wichtige Punkte:

Die Formen müssen aus hochtemperaturbeständigen Materialien (wie Molybdän oder Keramik) hergestellt werden, um den Verschleiß zu reduzieren.

Die Extrusionsgeschwindigkeit (0,1–0,5 mm/s) muss langsam sein, um Rissbildung zu vermeiden.

Die Extrusion mit großem Durchmesser erfordert Anlagen mit hoher Tonnage, um die Kosten zu kontrollieren.

4.3.3 Walzen

Wolframstäbe werden durch Warm- oder Kaltwalzen zu kleinen und mittleren Durchmessern (5–20 mm) mit hoher Maßgenauigkeit und guter Oberflächengüte verarbeitet.

Prozess:

Warmwalzen: Gesinterte oder geschmiedete Wolframstäbe werden auf 1000–1300 °C erhitzt und durch Walzen in mehreren Durchgängen (15–25 % Verformung) schrittweise im Durchmesser reduziert.

Kaltwalzen (optional): Wolframstäbe mit kleinem Durchmesser (<10 mm) werden bei Raumtemperatur oder niedriger Temperatur (<500 °C) gewalzt, um die Genauigkeit zu verbessern.

Glühen: Durch das Glühen bei 900–1100 °C wird die Kaltverfestigung vermieden und Rissbildung verhindert.

Oberflächenbehandlung: Poliert bis Rauheit Ra 1,6–3,2 µm.

Wichtige Punkte:

Beim Warmwalzen werden Hochtemperaturwalzen (z. B. Molybdänlegierungen) benötigt, um der Härte von Wolfram standzuhalten.

Das Kaltwalzen ist auf kleine Durchmesser beschränkt und erfordert hochpräzise Geräte.

Die Glühatmosfera sollte rein sein, um eine Kontamination der Oberfläche zu vermeiden.

4.3.4 Ziehen

Das Ziehen wird zur Herstellung von Wolframstäben mit kleinem Durchmesser (<5 mm) verwendet und ist ein Schlüsselverfahren für die Herstellung von Wolframdrähten und Präzisionselektroden.

Prozess:

Rohlingsvorbereitung: Verwenden Sie geschmiedete oder gewalzte Wolframstäbe (Durchmesser 5–10 mm).

Ziehen: Ziehen durch einen Diamantstempel bei 800–1000 °C in mehreren Durchgängen mit jeweils einer Durchmesserreduzierung von 5–10 % auf einen Enddurchmesser von 0,01 mm

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

(Wolframdraht).

Schmieren und Glühen: Schmieren mit Graphit- oder Molybdändisulfid und periodisches Glühen (900–1100 °C) zum Abbau von Spannungen.

Reinigen & Polieren: Durch die chemische Reinigung werden Schmiermittel entfernt und auf eine Rauheit von Ra 1,6–3,2 µm poliert.

Wichtige Punkte:

Die Diamantmatrize muss regelmäßig ausgetauscht werden, um die Genauigkeit zu erhalten.

Die Ziehgeschwindigkeit (1–5 m/min) muss kontrolliert werden, um einen Bruch zu vermeiden.

Für das Hochtemperaturziehen ist eine inerte Atmosphäre erforderlich, um eine Oxidation zu verhindern.

4.4 Aufbereitung von Großstäben aus Wolfram

Großformatige Wolframstäbe (Durchmesser > 20 mm) werden aufgrund ihrer hohen Dichte und hohen Festigkeit häufig in der Luft- und Raumfahrt, im Militär und in der Industrie eingesetzt.

4.4.1 Technische Schwierigkeiten und Herausforderungen

Bei der Herstellung von großflächigen Wolframstäben gibt es folgende technische Schwierigkeiten:

Hohe Dichteanforderungen: In der Nähe der theoretischen Dichte (19,25 g/cm³) muss beim Sintern und Verformungsprozess die Porosität streng kontrolliert werden.

Innere Defekte: Rohlinge mit großem Durchmesser sind anfällig für Porositäten, Risse oder Spannungskonzentrationen, die die Festigkeit beeinträchtigen.

Einschränkungen der Ausrüstung: Das Extrudieren oder Schmieden erfordert Anlagen mit großen Tonnagen (> 1000 Tonnen), die hohe Anforderungen an Werkzeugmaterialien und Heizsysteme stellen.

Gleichmäßigkeit: Großformatige Stangen sind anfällig für ungleichmäßige Körner oder Entmischungen in der Zusammensetzung während des Sinterns und der Verarbeitung.

Kostenkontrolle: hoher Energieverbrauch für die Verarbeitung bei hohen Temperaturen und hohen Tonnagen, schneller Werkzeugverschleiß und erhöhte Produktionskosten.

4.4.2 Aufbereitungsverfahren für Wolframstäbe mit hoher Dichte

Prozess:

Großformatiges Knüppelpressen: Knüppel mit großem Durchmesser (50–100 mm Durchmesser) werden durch kaltisostatisches Pressen (200–300 MPa) mit einer Dichte von 50–60 % theoretischer Dichte hergestellt.

Hochtemperaturesintern: Sintern bei 2200–2800°C für 2–4 Stunden in einem Vakuum- oder Wasserstoffofen mit einer Dichte von 90–95 %.

Heißisostatisches Pressen (HIP): 1–2 Stunden bei 2000 °C, 150–200 MPa, eliminierte Mikroporosität, Dichte nahe 19,25 g/cm³.

Warmextrusion: extrudiert bei 1300–1600 °C, 800–1200 MPa, Durchmesser 20–100 mm, Oberflächenrauheit Ra 3,2–6,4 µm.

Nachbehandlung: Glühen (1000–1200°C) zum Spannungsabbau und Drehen auf Rauheit Ra 1,6–

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

3,2 µm.

Wichtige Punkte:

Das HIP-Verfahren ist der Schlüssel zu einer hohen Dichte und erfordert Ultrahochdruckgeräte. Extrusionswerkzeuge müssen aus hochtemperaturbeständigen Materialien (z. B. Molybdänlegierungen) hergestellt werden, um den Verschleiß zu reduzieren. Sintern und Extrudieren werden in Abschnitten erhitzt, um eine gleichmäßige Temperatur zu gewährleisten.

4.4.3 Prozessoptimierung und Innovation

Optimierungsmaßnahmen:

Gradiertes Sintern: Mehrstufiges Erhitzen (1000°C Vorsintern, 2500°C Hauptsintern) wird verwendet, um die übermäßige Korngröße zu reduzieren.

Verbundformen: Verwenden Sie Formen auf Molybdänbasis oder keramikbeschichtet, um die Lebensdauer der Form zu verlängern.

Automatisierte Steuerung: Sensoren überwachen Temperatur, Druck und Atmosphäre, um die Prozesskonsistenz zu verbessern.

Kontinuierliche Extrusion: Entwicklung einer kontinuierlichen Heißextrusionslinie, um die Zwischenkühlung und Wiedererwärmung zu reduzieren und die Effizienz zu verbessern.

Kornkontrolle: Optimieren Sie die Korngröße (10–30 µm) und erhöhen Sie die Festigkeit durch Zugabe von Spuren von Dotierstoffen wie Kalium oder Seltenen Erden.

Wichtige Punkte:

Die automatisierte Steuerung erfordert integrierte Temperatur- und Drucksensoren, um eine Echtzeitüberwachung zu gewährleisten.

Verbundformen müssen regelmäßig gewartet werden, um Verformungen oder Verschleiß zu vermeiden.

Das Dotiermittel sollte präzise zugegeben werden, um die Leistung bei hohen Temperaturen zu verhindern.

4.5 Nachbehandlungstechnologie von Wolframstäben

Zu den Nachbehandlungstechniken gehören Wärmebehandlung, Oberflächenbehandlung und Präzisionsbearbeitung, um die Leistung, Oberflächenqualität und Maßgenauigkeit von Wolframstäben zu optimieren.

4.5.1 Wärmebehandlung

Die Wärmebehandlung entlastet die Zerspannung, optimiert das Gefüge und verbessert die mechanischen Eigenschaften von Wolframstäben durch Glühen oder Alterungsbehandlung.

Prozess:

Spannungsarmglühen: 1–2 Stunden lang bei 1000–1200 °C in einem Vakuum- oder Wasserstoffofen mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 10–20 °C/min halten, um innere Spannungen zu reduzieren.

Rekristallisationsglühen: Inkubieren bei 1400–1600 °C für 0,5–1 Stunde, um die Korngröße (10–

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

30 µm) anzupassen und die Zähigkeit zu verbessern.

Alterungsbehandlung (dotierter Wolframstab): 2–4 Stunden lang bei 800–1000 °C warm halten, um die Dotierungsverteilung zu stabilisieren und die Lichtbogenleistung zu verbessern.

Wichtige Punkte:

Die Glühatmosfera muss von hoher Reinheit sein (99,999 % Wasserstoff oder 10^{-5} Pa Vakuum), um eine Oxidation zu verhindern.

Die Temperatur und die Haltezeit müssen je nach Art des Wolframstabes (reines Wolfram oder dotiert) angepasst werden.

Die Abkühlung muss langsam erfolgen, um Risse durch thermische Belastung zu vermeiden.

4.5.2 Oberflächenbehandlung (Polieren, Reinigen)

Die Oberflächenbehandlung verbessert die Oberflächenqualität und Sauberkeit von Wolframstäben, um den Anforderungen hochpräziser Anwendungen gerecht zu werden.

Polierprozess:

Mechanisches Polieren: Polieren auf eine Rauheit von Ra 1,6–3,2 µm mit einer Diamantschleifscheibe oder einem Aluminiumoxid-Schleifmittel, geeignet zum Schweißen von Elektroden oder Halbleiterbauelementen.

Chemisches Polieren: Eine Mischung aus Flusssäure und Salpetersäure (Verhältnis 1:3) wird verwendet, um 10–30 Sekunden lang einzuweichen, um die Oberflächenoxidschicht zu entfernen und einen Spiegeleffekt zu erzielen.

Elektrolytisches Polieren: Wolframstab wird als Anode verwendet, Elektrolytbehandlung auf Phosphatbasis, und die Oberflächenrauheit kann Ra 1,6 µm oder weniger erreichen.

Ablauf der Reinigung:

Chemische Reinigung: Reinigung mit verdünnter Salzsäure oder Lauge (Natriumhydroxid), um Öl und Oxide auf der Oberfläche zu entfernen.

Ultraschallreinigung: Geben Sie 5–10 Minuten lang Reinigungsmittel in deionisiertes Wasser und Ultraschallreinigung, um die Sauberkeit zu gewährleisten.

Plasmareinigung: Entfernung von Spurenverunreinigungen in Vakuumplasmaanlagen, geeignet für hochreine Wolframstäbe.

Wichtige Punkte:

Das Polieren sollte in einer sauberen Umgebung (ISO-Klasse 5) durchgeführt werden, um eine Sekundärkontamination zu vermeiden.

Bei der chemischen Reinigung muss die Säure- und Alkalikonzentration kontrolliert werden, um Korrosion von Wolframstäben zu vermeiden.

Die Plasmareinigung eignet sich für hochpräzise Anwendungen und erfordert spezielle Geräte.

4.5.3 Präzisionsbearbeitung und -zerspannung

Die Präzisionsbearbeitung und das Schneiden werden verwendet, um Wolframstäbe in bestimmten Formen und Größen herzustellen, um die hohen Präzisionsanforderungen zu erfüllen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Prozess:

Drehen: CNC-Drehmaschinen mit Diamantwerkzeugen für die Bearbeitung von Durchmesser toleranzen $\pm 0,05$ mm und einer Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 μm .

Schleifen: Bearbeitung von Wolframstäben mit kleinem Durchmesser (< 5 mm) mit einer Toleranz von $\pm 0,02$ mm mit einer Zentrierschleifmaschine oder einer spitzenlosen Schleifmaschine.

Funkenerosion (EDM): Zum Schneiden komplexer Formen oder großer Größen von Wolframstäben mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm, geeignet für militärische Teile.

Laserschneiden: mit Hochleistungslasern, Schneiden von Wolframstäben oder Mikroteilen mit kleinem Durchmesser, kleiner Wärmeeinflusszone, hohe Präzision.

Wichtige Punkte:

Diamantwerkzeuge müssen regelmäßig ausgetauscht werden, um die Schnittgenauigkeit zu erhalten. Das EDM muss die Entladungsparameter kontrollieren, um Oberflächenverbrennungen zu vermeiden.

Beim Laserschneiden ist ein Schutz vor Inertgas erforderlich, um die Oxidation zu reduzieren.

4.6 Prozesseigenschaften verschiedener Arten von Wolframstäben

Verschiedene Arten von Wolframstäben (reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe, dotierte Wolframstäbe) haben aufgrund von Unterschieden in der Zusammensetzung und Anwendung unterschiedliche Aufbereitungsprozesse.

4.6.1 Prozess des reinen Wolframstabs

Prozessmerkmale:

Rohstoffe: Wolframpulver mit einer Reinheit von $\geq 99,9$ %, einer Partikelgröße von 0,5 bis 5 μm und Verunreinigungen (wie Fe, C, O) werden bei 100 bis 500 ppm kontrolliert.

Pulvermetallurgie: kaltisostatisches Pressen (100–200 MPa) Knüppel, wasserstoffgeschütztes Sintern (2000–2800 °C), Dichte 90–95 %.

Verformung: Warmgeschmiedet oder Walzen (1200–1500°C), Mehrgangverformung, Dichte bis zu 19,0–19,25 g/cm³.

Nachbehandlung: gegläht (1000–1200°C) zum Spannungsabbau, gedreht oder poliert auf eine Rauheit von Ra 1,6–3,2 μm .

Anwendungsorientiert: Das Verfahren konzentriert sich auf die Kostenkontrolle und eignet sich für allgemeine Hochtemperaturanwendungen (z. B. Kernstäbe von Quarzöfen, Filamentrohstoffe).

Wichtige Punkte:

Die Sintertemperatur muss das Kornwachstum und die Poreneliminierung ausgleichen.

Die Aufbereitungstechnik ist einfach, der Bedarf an den Anlagen ist relativ gering.

Die Oberflächenbehandlung besteht hauptsächlich aus mechanischem Polieren, um der industriellen Präzision gerecht zu werden.

4.6.2 Verfahren für hochreine Wolframstäbe

Prozessmerkmale:

Rohstoffe: Wolframpulver mit einer Reinheit von $\geq 99,95$ %, Partikelgröße von 0,1–1 μm , Verunreinigung < 50 ppm, gereinigt durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD).

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Pulvermetallurgie: Sintern (2600–2800°C) im Ultrahochvakuum (10^{-5} Pa) mit einer Dichte von mehr als 98 % und einer Porosität von <1 %.

Verformung: Rotationskneten oder Walzen (1200–1400 °C) mit einer Verformung von 10–15 %, um feine Körner (5–15 μm) zu gewährleisten.

Nachbearbeitung: Elektropolieren oder Plasmareinigung, Rauheit Ra 1,6–3,2 μm , Verpackung im Reinraum (ISO-Klasse 5).

Anwendungsorientiert: Das Verfahren legt Wert auf hohe Reinheit und Reinheit und eignet sich für Halbleiter-, Medizin- und EUV-Lithographie-Maschinenkomponenten.

Wichtige Punkte:

Reinigung und Sintern erfordern ultrahochreine Geräte, um eine Kontamination zu verhindern.

Die Verarbeitung erfordert eine saubere Umgebung, um Staub und Verunreinigungen zu kontrollieren.

Die Nachbearbeitung erfolgt hauptsächlich durch chemisches oder elektrolytisches Polieren, um die Oberflächenqualität zu gewährleisten.

4.6.3 Verfahren für dotierte Wolframstäbe

Prozessmerkmale:

Rohstoffe: 0,5–2 Gew.-% Dotierstoffe (z. B. CeO_2 , La_2O_3 , ThO_2 , K) werden dem Wolframpulver zugesetzt und durch Kugelmahlen oder Lösungsdotierung gleichmäßig gemischt.

Pulvermetallurgie: Sintertemperatur 2300–2600°C (niedriger als reiner Wolframstab) zur Vermeidung von Dotierstoffverflüchtigung, Dichte 95–98%.

Verformung: Ziehen oder Rotationskneten (800–1400°C), Dotierung zur Verbesserung der Zähigkeit und zur Verringerung der Rissgefahr.

Nachbehandlung: geglühter (800–1000°C) stabilisierter Dotierstoff, poliert auf Rauheit Ra 1,6–3,2 μm , Thorium-dotierter Wolframstab zum Strahlenschutz.

Anwendungsorientiert: Prozessoptimierte Lichtbogenstabilität und Kriechfestigkeit für Schweißelektroden und Hochtemperatur-Ofenkomponenten.

Wichtige Punkte:

Das Dotiermittel muss gleichmäßig verteilt sein, um eine ungleichmäßige Leistung zu vermeiden. Thoriumdotierte Wolframstäbe benötigen einen besonderen Schutz, um die Radioaktivitätsvorschriften einzuhalten.

Der Ziehprozess erfordert ein mehrfaches Glühen, um die Erfolgsquote der Bearbeitung zu verbessern.



CTIA GROUP LTD Wolframstäbe

Kapitel 5 Verwendung von Wolframstäben

Mit seinem hohen Schmelzpunkt (3410 °C), seiner hohen Dichte (19,25 g/cm³), seiner hervorragenden mechanischen Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und chemischen Stabilität hat Wolframstab in vielen Bereichen einen unersetzlichen Anwendungswert gezeigt. Von der industriellen Produktion bis zur militärischen Verteidigung, von der elektronischen Beleuchtung über die Luft- und Raumfahrt bis hin zur medizinischen Forschung und im täglichen Leben werden Wolframstäbe und ihre Derivate häufig in Hochleistungsszenarien eingesetzt. In diesem Kapitel werden die spezifischen Verwendungen von Wolframstäben in der Industrie, im Militär und in der Verteidigung, in der Elektronik und Beleuchtung, in der Automobil- und Luft- und Raumfahrt, in der medizinischen und wissenschaftlichen Forschung und in anderen Bereichen ausführlich erörtert, einschließlich Quarzofenkernen, panzerbrechenden Geschosskernen, Wolframdrahtelektroden, Hochtemperaturkomponenten für die Luft- und Raumfahrt, Strahlenschutz, Sportartikel und mehr.

5.1 Industrielle Anwendungen von Wolframstäben

Die industriellen Anwendungen von Wolframstäben konzentrieren sich hauptsächlich auf Hochtemperatur-, Hochlast- und Präzisionsfertigungsumgebungen, und sein hoher Schmelzpunkt und seine Dimensionsstabilität machen es zu einem idealen Material unter extremen Arbeitsbedingungen.

5.1.1 Wolframkernstab für Quarzöfen

Quarzöfen werden zur Herstellung von hochreinem Quarzglas verwendet und dienen hauptsächlich der Glasfaser-, Halbleiter- und Photovoltaikindustrie. Der Wolframstab wird als Kernstab im Ofen verwendet, der hohen Temperaturen von 2000 bis 2500 °C standhält, um die strukturelle Stabilität zu erhalten und einen gleichmäßigen Fluss der Quarzschmelze zu gewährleisten.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

App-Funktionen:

Materialanforderungen: reiner Wolframstab (Reinheit $\geq 99,9\%$) oder hochreiner Wolframstab ($\geq 99,95\%$), Durchmesser 10–50 mm, um das Anhaften von Quarz zu verhindern.

Funktion: Der Kernstab ist in der Mitte des Ofenkörpers fixiert und führt den Quarzrohling zum Schmelzen in eine Rohr- oder Stabform, die hohen Temperaturen und leichter Oxidationsatmosphäre standhält.

Vorteile: Der hohe Schmelzpunkt und der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient ($4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) stellen sicher, dass es während des Langzeitbetriebs nicht weich oder verformt wird; Niedriger Dampfdruck reduziert die Verschmutzung im Ofen.

Typisches Szenario: Herstellung von faseroptischen Preforms oder Quarzröhren für 5G-Kommunikationsbasisstationen oder Solarzellensubstrate.

Wichtige Punkte:

Der Kernstab muss regelmäßig gereinigt werden, um Quarzrückstände zu vermeiden, die die Oberflächenqualität beeinträchtigen.

Schutz vor Wasserstoff oder inerte Atmosphäre für lange Lebensdauer.

Die Präzisionsbearbeitung stellt die Rundheit und Geradheit des Kernstabes sicher und erfüllt die Anforderungen an hochpräzise Quarzprodukte.

5.1.2 Herstellung von monokristallinen Siliziumwafern

Monokristalline Siliziumwafer sind das Kernmaterial für die Herstellung von Halbleiterchips, und Wolframstäbe werden als Heizelemente, Stützen oder Seed-Klemmstangen in monokristallinen Öfen von Czochralski verwendet.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: hochreiner Wolframstab (Reinheit $\geq 99,95\%$), Durchmesser 5–20 mm, um eine Kontamination der Silikonschmelze zu verhindern.

Funktion: Als Klemmstange für den Impfkristall kann es den Silizium-Impfkristall fixieren und das Wachstum des Einkristalls steuern. Als Heizelement hält es einer hohen Temperatur von 2300°C stand und sorgt für ein stabiles thermisches Feld.

Vorteile: hohe chemische Stabilität sorgt für keine Kontamination von hochreinem Silizium; Hohe Festigkeit und Kriechbeständigkeit unterstützen lange Betriebszeiten bei hohen Temperaturen; Der niedrige Dampfdruck ist für Vakuumumgebungen geeignet.

Typisches Szenario: Produktion von 8–12 Zoll großen monokristallinen Siliziumwafern für die 5-nm-Chipfertigung.

Wichtige Punkte:

Wolframstäbe müssen in einem Reinraum verarbeitet und gelagert werden, um das Einbringen von Verunreinigungen zu vermeiden.

Die Klemmstange muss mit hoher Präzision bearbeitet werden, um eine perfekte Ausrichtung auf den Impfkristall zu gewährleisten.

Tauschen Sie das Heizelement regelmäßig aus, um zu verhindern, dass das Getreidewachstum die Leistung beeinträchtigt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

5.1.3 Reinigung von Seltenerdelementen

Seltenerdelemente (z. B. Lanthan, Cer, Neodym) sind im Bereich der neuen Energie, magnetischer Materialien und Katalysatoren unerlässlich, und Wolframstäbe werden als Elektroden oder Tiegelträger in Elektrolytöfen oder Hochtemperaturschmelzöfen zur Reinigung von Seltenen Erden verwendet.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: reiner Wolframstab oder dotierter Wolframstab (Cer- oder Lanthan-dotiert, 0,5–2 Gew.-%), Durchmesser 10–30 mm.

Funktion: Als Elektrode liefert der Wolframstab einen stabilen Strom bei der elektrolytischen Reinigung. Als Stütze hält es hohen Temperaturen von 1600–2000 °C stand und hält die Struktur intakt.

Vorteile: starke Korrosionsbeständigkeit, Beständigkeit gegen Erosion der Seltenerdschmelze; Dotierter Wolframstab verbessert die Lichtbogenstabilität und verlängert die Lebensdauer der Elektrode; Die hohe Dichte sorgt für mechanische Stabilität.

Typisches Szenario: Herstellung von hochreinem Lanthan (La) oder Cer (Ce) für Permanentmagnete für Windkraft- oder Automobilabgaskatalysatoren.

Wichtige Punkte:

Dotierte Wolframstäbe müssen gleichmäßig dotiert sein, um eine gleichbleibende Lichtbogenleistung zu gewährleisten.

Die Oberfläche der Elektrode muss poliert werden, um Rückstände von Seltenen Erden zu reduzieren.

Der Elektrolytöfen benötigt eine inerte Atmosphäre, um die Oxidation von Wolframstäben zu verhindern.

5.1.4 Wolframtiegel für Saphirkristallofen

Saphirkristalle (Al_2O_3) sind Schlüsselmaterialien für LED-Substrate und optische Fenster, und Wolframstäbe werden in Saphirkristall-Wachstumsöfen zu Tiegeln oder Trägern verarbeitet, die Temperaturen von 2200 bis 2400 °C standhalten.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: hochreiner Wolframstab (Reinheit $\geq 99,95\%$), Durchmesser 20–100 mm, Oberflächenrauheit Ra 1,6–3,2 μm nach der Verarbeitung zum Tiegel.

Funktion: Der Wolframtiegel enthält geschmolzenes Aluminiumoxid, und die Halterung fixiert den Tiegel oder den Impfkristall, hält das Wärmefeld stabil und fördert das Wachstum von Einkristallen.

Vorteile: hoher Schmelzpunkt und Kriechfestigkeit sorgen dafür, dass sich der Tiegel nicht verformt; Niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient reduziert die thermische Belastung; Die hohe Dichte bietet mechanische Unterstützung.

Typisches Szenario: Produktion von 4-6 Zoll großen Saphirgläsern für LED-Beleuchtung oder Smartphone-Bildschirme.

Wichtige Punkte:

Der Tiegel muss präzise bearbeitet werden, um eine glatte Innenwand zu gewährleisten und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kristalldefekte zu reduzieren.

Ein Vakuum- oder Wasserstoffschutz verhindert die Oxidation von Wolframtiegel.

Der Tiegel muss regelmäßig inspiziert werden, um zu verhindern, dass Risse die Qualität des Kristalls beeinträchtigen.

5.2 Wolframstäbe werden im Militär und in der Landesverteidigung eingesetzt

Die hohe Dichte und Festigkeit von Wolframstäben machen sie zu wichtigen Anwendungen im Militär- und Verteidigungsbereich, insbesondere in panzerbrechenden Kernen und hochexplosiven Wolframstäben.

5.2.1 Panzerbrechende Kerne

Panzerbrechende Kerne werden in Panzergeschützen oder Panzerabwehrwaffen verwendet, und Stäbe aus Wolframlegierungen sind aufgrund ihrer hohen Dichte und Härte ein ideales Material.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: Stab aus Wolframlegierung (W-Ni-Fe oder W-Ni-Cu, Wolframgehalt 90–95 Gew.), Dichte 18,0–18,5 g/cm³, Durchmesser 10–30 mm.

Funktion: Der Kern durchdringt die Panzerung bei einem Aufprall mit hoher Geschwindigkeit (>1500 m/s), verlässt sich auf eine hohe Dichte, um kinetische Energie bereitzustellen, und eine hohe Härte sorgt dafür, dass er nicht fragmentiert.

Vorteile: umweltfreundlicher als angereicherte Urankerne, mit einer Dichte nahe der von Uran (19,1 g/cm³); Ausgezeichnete Zugfestigkeit (800–1200 MPa) sorgt für Schlagfestigkeit; Es hat eine gute Verarbeitungsleistung und lässt sich leicht formen.

Typisches Szenario: für 120-mm-Panzergranaten oder Panzerabwehrraketen-Gefechtsköpfe.

Wichtige Punkte:

Das Legierungsverhältnis muss optimiert werden, um ein Gleichgewicht zwischen Dichte und Zähigkeit zu gewährleisten.

Der Kern muss mit hoher Präzision bearbeitet werden, und die Durchmessertoleranz $\pm 0,05$ mm.

Das Polieren der Oberfläche reduziert den Luftwiderstand und erhöht die Reichweite.

5.2.2 Hochexplosive Wolframstäbe

Der hochexplosive Wolframstab (auch bekannt als "kinetischer Stab" oder "Zepter Gottes"-Konzept) ist eine hypothetische kinetische Hochgeschwindigkeitswaffe, die Wolframstäbe verwendet, um aus dem Weltraum oder aus großen Höhen geworfen zu werden, wobei sie sich auf Gravitationsbeschleunigung und -dichte verlässt, um massive Zerstörungskraft zu erzeugen.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: reiner Wolframstab oder Wolframlegierungsstab, Dichte 19,0–19,25 g/cm³, Durchmesser 50–100 mm.

Funktion: Der Wolframstab trifft das Ziel mit Überschallgeschwindigkeit (>Mach 100) aus großer Höhe (> 10 km) und setzt dabei kinetische Energie frei, die einer kleinen Atombombe entspricht, um unterirdische Festungen oder militärische Einrichtungen zu zerstören.

Vorteile: Hohe Dichte sorgt für enorme kinetische Energie; Hoher Schmelzpunkt hält

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Reibungswärme beim Wiedereintritt stand ($>2000\text{ }^{\circ}\text{C}$); Nicht radioaktiv und in Übereinstimmung mit internationalen Vorschriften.

Typisches Szenario: Wird theoretisch für Präzisionsschläge gegen hochwertige Ziele wie Kommandozentralen oder nukleare Anlagen verwendet.

Wichtige Punkte:

Wolframstäbe müssen mit einer hohen Temperaturbeständigkeit beschichtet werden, um einen Wiedereintrittsablation zu verhindern.

Die Abmessungen und Gewichte müssen genau ausgelegt werden, um eine stabile Flugbahn zu gewährleisten.

Das Wurfsystem erfordert eine hochpräzise Führung, um den Landepunktfehler zu kontrollieren.

5.3 Wolframstäbe werden in der Elektronik und Beleuchtung verwendet

Wolframstäbe werden aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts, ihrer elektrischen Leitfähigkeit und ihres niedrigen Dampfdrucks häufig in Wolframfilamenten, Elektroden und Sputtertargets verwendet.

5.3.1 Wolfram-Filament (Filament, Stützdraht)

Wolframfaden ist der Kernbestandteil von Glühlampen, Halogenlampen und speziellen Lichtquellen und wird durch Wolframstabziehen hergestellt.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: Reiner Wolframstab (Reinheit $\geq 99,9\%$), gezogen in Wolframdraht mit einem Durchmesser von 0,01 bis 0,1 mm.

Funktion: Das Filament emittiert Licht bei einer hohen Temperatur von $2500\text{--}2800\text{ }^{\circ}\text{C}$ und bietet eine hocheffiziente Lichtquelle; Der Stützdraht fixiert das Filament, um die Struktur stabil zu halten.

Vorteile: ein hoher Schmelzpunkt sorgt dafür, dass das Filament nicht schmilzt; Niedriger Dampfdruck reduziert die Verdunstung und verlängert die Lebensdauer; Eine gute elektrische Leitfähigkeit (18 % IACS) unterstützt eine effiziente Lumineszenz.

Typische Szenen: Halogenscheinwerfer für Autos, Projektorlampen, Bühnenbeleuchtung.

Wichtige Punkte:

Wolframfilament muss mehrmals gegläht werden, um die Duktilität zu verbessern.

Das Filament muss gleichmäßig gezogen werden, um eine lokale Überhitzung und einen Bruch zu vermeiden.

Inertgase (z.B. Argon) füllen den Kolben und reduzieren die Wolframverdunstung.

5.3.2 Elektroden (Wolframelektroden, Seltenerd-Wolframelektroden)

Wolframstäbe werden zu Elektroden verarbeitet und werden häufig beim Argon-Lichtbogenschweißen (WIG), Plasmaschweißen und in elektronischen Geräten eingesetzt.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: dotierte Wolframstäbe (z.B. Cer-dotierte WC20, Lanthan-dotierte WL20, Thorium-dotierte WT20), Durchmesser 1–5 mm.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Funktion: Die Elektrode liefert einen stabilen Strom in einem Hochtemperaturlichtbogen (>6000 °C), der den Lichtbogen zündet und aufrechterhält und zum Schweißen oder Plasmaschneiden geeignet ist.

Vorteile: Dotierter Wolframstab zur Verbesserung der Lichtbogenstabilität und zur Reduzierung von Verbrennungsverlusten; Hoher Schmelzpunkt, um hohen Lichtbogentemperaturen standzuhalten; Die Seltenerd-dotierung (z. B. CeO₂) ist im Vergleich zu Thorium-dotierten Elektroden nicht radioaktiv und umweltfreundlich.

Typische Szenarien: Schweißen von Edelstahl oder Aluminiumlegierungen, Plasmabearbeitung im Bau von Halbleiteranlagen.

Wichtige Punkte:

Die Elektrodenspitze muss in eine konische Form geschliffen werden, um die Lichtbogenkonzentration zu optimieren.

Das Dotiermittel muss gleichmäßig verteilt sein, um eine gleichbleibende Leistung zu gewährleisten. Thorium-dotierte Elektroden müssen geschützt werden und den Radioaktivitätsvorschriften entsprechen.

5.3.3 Sputtern von Zielen

Wolframstäbe werden zu Sputtertargets für PVD-Beschichtungen (Physical Vapor Deposition) verarbeitet, um Halbleiter und optische Bauelemente herzustellen.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: hochreiner Wolframstab (Reinheit $\geq 99,95\%$), Durchmesser 50–100 mm.

Funktion: Das Target wird in einer Vakuumkammer mit hochenergetischen Ionen beschossen, wobei Wolframatomfreigesetzt werden, die sich auf dem Substrat ablagern, um eine leitfähige oder schützende Beschichtung zu bilden.

Vorteile: Hohe Reinheit sorgt dafür, dass die Beschichtung frei von Verunreinigungen ist; Niedriger Dampfdruck, geeignet für Vakuumumgebung; Eine hohe Dichte erhöht die Lebensdauer des Ziels.

Typisches Szenario: Herstellung von Verbindungsschichten für 3-5nm-Chips und Herstellung von optischen Antireflexbeschichtungen.

Wichtige Punkte:

Das Zielmaterial muss von ultrahoher Reinheit sein, um eine Kontamination des Chips zu verhindern.

Die Oberfläche muss elektropoliert werden, um Partikeldefekte zu reduzieren.

Das Zielmaterial muss regelmäßig ausgetauscht werden, um das restliche Wolfram zurückzugewinnen.

5.4 Wolframstäbe werden in der Automobil- und Luft- und Raumfahrt verwendet

Die Anwendung von Wolframdraht in der Automobil- und Luft- und Raumfahrt nutzt hauptsächlich seine hohe Dichte, hohe Festigkeit und hohe Temperaturbeständigkeit, um den Anforderungen komplexer Arbeitsbedingungen gerecht zu werden.

5.4.1 Komponenten für die Automobilautomatisierung

Wolframstäbe werden in der Automobilherstellung für Gegengewichte, Schweißelektroden und Automatisierungskomponenten verwendet, um die Effizienz und Leistung zu verbessern.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: Stab aus Wolframlegierung (W-Ni-Fe, Dichte 18,0–18,5 g/cm³) oder dotierter Wolframstab (WC20), Durchmesser 5–20 mm.

Funktion: Gegengewichte (z.B. Kurbelwellen-Gegengewichte) optimieren die Motorvibration; Wolframelektroden werden zum Widerstandspunktschweißen verwendet, indem sie Stahlbleche des Körpers verbinden; In Automatikgetrieben werden Komponenten mit hoher Dichte eingesetzt, um die Verschleißfestigkeit zu erhöhen.

Vorteile: hohe Dichte reduziert das Bauteilvolumen; Hohe Härte (350–500 HV) hält Abrieb stand; Die dotierte Wolframelektrode verbessert die Schweißstabilität.

Typisches Szenario: Schweißen von Batteriepacks für neue Energiefahrzeuge, Optimierung des Motorgewichts.

Wichtige Punkte:

Das Gegengewicht muss mit einer kontrollierten Gewichtstoleranz von $\pm 0,1$ g präzise bearbeitet werden.

Schweißelektroden müssen regelmäßig geschliffen werden, um die Spitzenform zu erhalten.

Die Komponenten müssen mit einer korrosionsbeständigen Beschichtung beschichtet werden, um Feuchtigkeit und Salznebel zu widerstehen.

5.4.2 Hochtemperaturkomponenten für die Luft- und Raumfahrt

Wolframstäbe werden in der Luft- und Raumfahrtindustrie für Hochtemperaturtriebwerke, Windkanal-Testkomponenten und Gegengewichte verwendet, um den Anforderungen extremer Umgebungen gerecht zu werden.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: reiner Wolframstab oder Wolframlegierungsstab, Dichte 19,0–19,25 g/cm³, Durchmesser 10–50 mm.

Funktion: Die Düsenauskleidung hält der hohen Temperatur des Plasmatriebwerks (>2000 °C) stand; Optimierung des Schwerpunkts durch Gegengewichte (z.B. Satelliten-Ausgleichsgewichte); Die Komponenten der Windkanalprüfung sind beständig gegen thermische Verformung.

Vorteile: Hoher Schmelzpunkt und Kriechbeständigkeit sorgen für hohe Temperaturstabilität; Die hohe Dichte sorgt für effiziente Gegengewichte; Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient reduziert die thermische Belastung.

Typisches Szenario: Ionentriebwerksdüsen, Gegengewichte zur Lageregelung von Raumfahrzeugen.

Wichtige Punkte:

Die Bauteile müssen mit einer hochtemperaturbeständigen Beschichtung überzogen werden, um eine Oxidation zu verhindern.

Das Gegengewicht muss mit hoher Präzision bearbeitet werden, um einen präzisen Schwerpunkt zu gewährleisten.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Windkanalkomponenten müssen poliert werden, um Störungen der Luftströmung zu reduzieren.

5.5 Wolframstab wird in der medizinischen und wissenschaftlichen Forschung verwendet

Die Anwendung von Wolframstab in der medizinischen und wissenschaftlichen Forschung basiert hauptsächlich auf seiner hohen Dichte, hohen Temperaturbeständigkeit und chemischen Stabilität, um den Anforderungen hoher Präzision und spezieller Umgebungen gerecht zu werden.

5.5.1 Medizinprodukte (Strahlenschutz)

Wolframstäbe werden zu Strahlenschutzschilden verarbeitet, die häufig in Röntgen-, CT- und Strahlentherapiegeräten verwendet werden, um medizinisches Personal und Patienten zu schützen.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: Stab aus Wolframlegierung (W-Ni-Cu, Dichte 18,0–18,5 g/cm³), Durchmesser 10–50 mm.

Funktion: Die Abschirmung absorbiert hochenergetische Röntgen- oder Gammastrahlen, ersetzt die Bleiabschirmung und bietet eine höhere Schutzeffizienz.

Vorteile: Hohe Dichte bietet eine hervorragende Abschirmleistung, 30% kleineres Volumen als Blei; Ungiftig, in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Medizin- und Umweltschutzes; Hohe Festigkeit hält langfristigen Gebrauch stand.

Typische Szenen: CT-Gerät, Kollimator, Schutzschild des Tumor-Strahlentherapiegeräts.

Wichtige Punkte:

Die Abschirmung muss präzise bearbeitet werden, um sicherzustellen, dass die Lücken minimiert werden.

Die Oberfläche muss poliert werden, um zu verhindern, dass Staub die medizinische Umgebung verschmutzt.

Die Legierung muss bleifrei und RoHS-konform sein.

5.5.2 Versuchsgeräte (Hochtemperaturversuche)

Wolframstäbe werden in der wissenschaftlichen Forschung für Hochtemperatur-Versuchsgeräte wie Vakuumöfen, Supraleitungsexperimente und Plasmaforschung verwendet.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: hochreiner Wolframstab (Reinheit ≥ 99,95 %) oder dotierter Wolframstab, Durchmesser 5–20 mm.

Funktion: Als Heizelement hält es hohen Temperaturen über 2500 ° C stand; Als Elektrode liefert es einen stabilen Strom; Halten Sie als Unterstützung den Versuchsaufbau stabil.

Vorteile: Niedriger Dampfdruck sorgt für eine saubere Vakuumumgebung; Ein hoher Schmelzpunkt unterstützt extreme Temperaturen; Chemische Stabilität verhindert experimentelle Kontaminationen.

Typische Szenarien: Tests von supraleitenden Materialien bei hohen Temperaturen, Experimente mit Kernfusionsplasma.

Wichtige Punkte:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wolframstäbe müssen von extrem hoher Reinheit sein, um zu verhindern, dass Verunreinigungen das Experiment beeinträchtigen.

Die Elektroden müssen poliert werden, um die Instabilität des Lichtbogens zu reduzieren.

Der Vakuumofen muss regelmäßig gewartet werden, um eine Oxidation der Wolframstäbe zu verhindern.

5.6 Wolframstäbe werden in anderen Bereichen verwendet

Wolframstäbe haben auch einzigartige Anwendungen in Sportartikeln, Schmuck und Spezialwerkzeugen, was ihre Vielseitigkeit widerspiegelt.

5.6.1 Sportartikel (Wolframkarbid-Darts)

Ruten aus Wolframlegierung werden zur Herstellung von High-End-Darts verwendet, um die Wettbewerbsleistung zu verbessern.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: Stab aus Wolframlegierung (W-Ni-Cu, Dichte 18,0–18,5 g/cm³), Durchmesser 5–10 mm.

Funktion: Der Körper des Pfeils verwendet eine hohe Dichte, um ein geringes Volumen und ein hohes Gewicht zu erreichen und die Stabilität und Genauigkeit des Wurfs zu optimieren.

Vorteile: Hohe Dichte, kleiner als herkömmliche Messingpfeile, geeignet für dichte Zielbereiche; Hohe Härte, um wiederholten Stößen standzuhalten; Es kann an individuelle Bedürfnisse angepasst werden.

Typische Szenen: professionelle Darts-Wettbewerbe, High-End-Unterhaltungsgeräte.

Wichtige Punkte:

Darts müssen präzise gedreht werden, um die Gewichtsverteilung zu kontrollieren.

Die Oberfläche muss poliert oder plattiert werden, um die Ästhetik und Haptik zu verbessern.

Das Legierungsverhältnis muss optimiert werden, um die Zähigkeit zu gewährleisten und Bruch zu verhindern.

5.6.2 Schmuck (Wolframkarbid-Schmuck)

Stäbe aus Wolframlegierungen werden zu Ringen, Armbändern und anderem Schmuck verarbeitet, der sowohl schön als auch langlebig ist.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: Stab aus Wolframlegierung (W-Ni-Cu oder W-C, Dichte 18,0–18,5 g/cm³), Durchmesser 5–20 mm.

Funktion: Schmuck nutzt eine hohe Härte und Korrosionsbeständigkeit und bietet Kratzfestigkeit und Haltbarkeit; Die hohe Dichte sorgt für ein ruhiges Gefühl.

Vorteile: verschleißfester als Edelstahl oder Titan; Kann zu einem Spiegeleffekt poliert werden; Es ist ungiftig und für Menschen mit empfindlicher Haut geeignet.

Typische Szenen: Eheringe, Erinnerungsarmbänder, hochwertiger Modeschmuck.

Wichtige Punkte:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Schmuck muss mit hoher Präzision und Maßtoleranzen $\pm 0,05$ mm bearbeitet werden.

Die Oberfläche muss galvanisch oder CVD-beschichtet sein, um die Oxidationsbeständigkeit zu erhöhen.

Das Design muss gewichtssensibel sein, um zu verhindern, dass übermäßiges Gewicht den Tragekomfort beeinträchtigt.

5.6.3 Spezialwerkzeuge und -formen

Wolframstäbe werden zu Schneidwerkzeugen, Stanzwerkzeugen oder verschleißfesten Teilen für die hochintensive industrielle Bearbeitung verarbeitet.

App-Funktionen:

Materialanforderungen: reiner Wolframstab oder Wolframlegierungsstab, Dichte 19,0–19,25 g/cm³, Durchmesser 5–30 mm.

Funktion: Schneiden von harten Materialien (z. B. Keramik, legierter Stahl); Stanzen von Automobilteilen oder elektronischen Komponenten; Verschleißfeste Teile werden in Bergbaumaschinen eingesetzt.

Vorteile: Hohe Härte (350–500 HV) Verschleißfestigkeit; Hohe Festigkeit hält hohen Belastungen stand; Korrosionsbeständigkeit und verlängerte Lebensdauer.

Typisches Szenario: Verarbeitung von Luftfahrtteilen, Herstellung von elektronischen Chipformen.

Wichtige Punkte:

Der Fräser muss diamantgeschliffen werden, um sicherzustellen, dass die Schneide scharf ist.

Die Form muss wärmebehandelt werden, um die Verarbeitungsbelastung zu verringern.

Die Oberfläche muss poliert oder beschichtet werden, um die Materialhaftung zu verringern.



CTIA GROUP LTD Wolframstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 6 Produktionsanlagen für Wolframstab

Die Herstellung von Wolframstäben umfasst eine komplexe Prozesskette von der Rohstoffverarbeitung bis zur Verarbeitung des Endprodukts, die eine extrem hohe Anlagenleistung erfordert, da der hohe Schmelzpunkt (3410 °C), die hohe Dichte (19,25 g/cm³) und die Härte (350–500 HV) von Wolfram spezielle Geräte erfordern, um eine hohe Präzision, hohe Effizienz und hohe Qualität der Produktion zu erreichen. Dieses Kapitel konzentriert sich auf die wichtigsten Ausrüstungen, die für die Herstellung von Wolframstäben erforderlich sind, einschließlich pulvermetallurgischer Ausrüstung (Mischer, Pressen, Hochtemperatur-Sinteröfen), Verformungsverarbeitungsanlagen (Druckluflhämmer, elektrohydraulische Hämmer, Rotationskneimmaschinen, Warmextrusionsmaschinen, Walzwerke, Ziehmaschinen), Nachbearbeitungsanlagen (Wärmebehandlungsöfen, Polier- und Reinigungsgeräte, Präzisionsbearbeitungsanlagen), fortschrittliche Produktionsanlagen (Plasmasintern) B. Vakuumschmelzöfen, automatische Steuerungssysteme) und praktische Anleitungen für die Auswahl und Wartung von Geräten.

6.1 Pulvermetallurgische Anlagen für Wolframstäbe

Die Pulvermetallurgie ist der grundlegende Prozess der Wolframstabherstellung, der das Mischen, Pressen und Hochtemperaturesintern von Wolframpulver umfasst, und die verwendete Ausrüstung muss die Gleichmäßigkeit des Pulvers, die Kompaktheit der Knüppel und die hohe Temperaturstabilität gewährleisten.

6.1.1 Mischer

Der Mischer dient dazu, Wolframpulver mit Dotierstoffen (wie z.B. Ceroxid, Lanthanoxid) oder Bindemitteln (z.B. Polyvinylalkohol) homogen zu mischen, um hochwertige Rohstoffe für die anschließende Pressung bereitzustellen.

Ausstattungsmerkmale:

Typ: V-Mischer, Planetenkugelmühle oder dreidimensionaler Mischer mit einem Volumen von 50–500 L und geeignet für die Produktion kleiner bis mittlerer Chargen.

Funktionsprinzip: Das Pulver wird durch Rotation oder Vibration im Behälter getrommelt, und die Planetenkugelmühle erreicht durch Hochgeschwindigkeitsmahlung mit einer Mischzeit von 2–8 Stunden eine Mischung im Mikrometerbereich.

Prozessanpassung: Der V-Mischer eignet sich für reines Wolframpulver oder niedrige Dotierungsmengen (<1 Gew.-%); Kugelmühlen eignen sich für hochdotierte (z. B. 2 Gew.-% CeO₂) oder nanoskalige Pulver, bei denen das Mahlmedium (Wolfram- oder Zirkonoxidkugeln) kontrolliert werden muss, um eine Kontamination zu vermeiden.

Schlüsselparameter: 50–300 U/min, Sauberkeit (ISO 7-Umgebung), Schutz vor Oxidation durch Inertgase (z. B. Stickstoff).

Industrielle Praxis:

Die Innenwand des Mixers sollte mit Edelstahl oder Wolframlegierung ausgekleidet sein, um die Eisenverschmutzung zu reduzieren.

Ausgestattet mit einem Staubsammelsystem, um das Fliegen von Wolframpulver zu verhindern.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Die Homogenität der Mischung (z. B. REM-Analyse) wird regelmäßig überprüft, um eine gleichmäßige Dotierungsverteilung zu gewährleisten.

6.1.2 Pressen

Die Presse presst das gemischte Wolframpulver zu einem stabförmigen Rohling, der die Ausgangsform und Dichte für das Sintern liefert.

Ausstattungsmerkmale:

Typ: Kaltisostatische Presse (CIP) als Hauptpresse, ergänzt durch hydraulische Formpresse, Druckbereich 100–300 MPa.

Funktionsprinzip: CIP presst Rohlinge mit einem Durchmesser von 20–100 mm durch gleichmäßigen Druck in einem flüssigen Medium (Wasser oder Öl) über eine flexible Form (Gummi oder Polyurethan); Die Formmaschine wird direkt über eine Stahlmatrize gepresst und ist für kleine Durchmesser (<20 mm) geeignet.

Prozessanpassung: CIP eignet sich für großformatige oder komplex geformte Rohlinge mit einer Dichte von 50–60 % theoretischer Dichte; Die Formmaschine eignet sich für die hochpräzise Kleinserienfertigung mit einer Toleranz von $\pm 0,1$ mm.

Schlüsselparameter: Genauigkeit der Druckregelung ± 1 MPa, Pressgeschwindigkeit 0,5–1 mm/s, glatte Formoberfläche zur Reduzierung von Fehlern.

Industrielle Praxis:

CIP-Formen müssen regelmäßig ausgetauscht werden, um zu verhindern, dass Verformungen die Qualität des Rohlings beeinträchtigen.

Die Formmaschine muss mit einer Vakuumentgasungsvorrichtung ausgestattet sein, um die Luft zwischen den Pulvern zu entfernen.

Nach dem Pressen muss der Rohling geröntgt werden, um ihn auf innere Risse oder Poren zu prüfen.

6.1.3 Hochtemperatur-Sinterofen

Der Hochtemperatur-Sinterofen erhitzt den gepressten Rohling auf 2000 – 2800 °C, um die Wolframpulverpartikel zu einem hochdichten Stab zu verbinden.

Ausstattungsmerkmale:

Typ: Wasserstoff-Shield-, Vakuum-Sinter- oder Induktionsofen mit einem Ofenvolumen von 0,1–1 m³.

Funktionsprinzip: Mittels Widerstands- oder Induktionserwärmung wird hochreiner Wasserstoff (99,999 %) in den Ofen oder ein Vakuum (10^{-3} – 10^{-5} Pa) eingebracht und der Knüppel bei hohen Temperaturen mit einer Dichte von 90–95 % dispergiert.

Prozessanpassung: Der Wasserstoffofen ist für reine Wolframstäbe geeignet und die Kosten sind niedrig. Der Vakuumofen eignet sich für hochreine Wolframstäbe, um die Adsorption von Verunreinigungen zu reduzieren; Induktionsöfen eignen sich für das Schnellsintern mit einer Standzeit von 1–3 Stunden.

Schlüsselparameter: Genauigkeit der Temperaturregelung ± 10 °C, Abkühlgeschwindigkeit 10–20 °C/min, Ofenmaterial Molybdän oder Graphit.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Industrielle Praxis:

Der Ofenraum muss regelmäßig gereinigt werden, um Wolframdampfablagerungen zu entfernen. Ausgestattet mit einem Atmosphärenüberwachungssystem zur Erfassung des Sauerstoffgehalts (<10 ppm) in Echtzeit.

Nach dem Sintern werden die Stäbe mit Ultraschall geprüft, um sicherzustellen, dass keine internen Fehler vorhanden sind.

6.2 Ausrüstung zur Verarbeitung der Verformung von Wolframstäben

Verformungsverarbeitungsanlagen verbessern die Dichte und Festigkeit von Wolframstäben durch mechanische Hochtemperaturverformung, die Schmieden, Extrudieren, Walzen und Ziehen umfasst.

6.2.1 Drucklufthämmer und elektrohydraulische Hämmer

Drucklufthämmer und elektrohydraulische Hämmer werden zum Warm Schmieden von Wolframstangenrohlingen, zur Vorumformung und zur Erhöhung der Dichte eingesetzt.

Ausstattungsmerkmale:

Typ: Drucklufthammer (0,5–5 Tonnen), elektrohydraulischer Hammer (1–10 Tonnen), geeignet für Stangen mit einem Durchmesser von 20–100 mm.

Funktionsprinzip: Der Drucklufthammer treibt den Hammerkopf mit Druckluft an, und der elektrohydraulische Hammer sorgt für eine höhere Präzision und Kraft (50–200 kN) durch das Hydrauliksystem, indem er in mehreren Durchgängen bei 1200–1500 °C mit einer Verformung von 10–20 % pro Durchgang schmiedet.

Prozessanpassung: Der Drucklufthammer eignet sich für kleine und mittlere Produktionen, niedrige Kosten; Der elektrohydraulische Hammer eignet sich für große Stangen mit hoher Regelgenauigkeit und reduzierten Rissen.

Schlüsselparameter: Schmiedefrequenz 10–30 mal/min, Erwärmung mit Wasserstoffschutz, Formmaterial ist eine Molybdänlegierung.

Industrielle Praxis:

Ausgestattet mit einem Induktionsheizgerät, um eine konstante Schmiedetemperatur aufrechtzuerhalten.

Der Hammerkopf muss regelmäßig geglättet werden, um Dellen auf der Oberfläche der Stange zu vermeiden.

Das Glühen nach dem Schmieden (1000–1200 °C) baut Spannungen ab.

6.2.2 Rotationsknetmaschinen

Die Rotationsknetmaschine realisiert das hochpräzise Schmieden von Wolframstäben durch rotierende Matrizen, die für Stangen mit kleinem und mittlerem Durchmesser geeignet sind.

Ausstattungsmerkmale:

Typ: CNC-Rotationsknetmaschine, Bearbeitungsdurchmesser 5–50 mm, ausgestattet mit Hochfrequenz-Induktionserwärmung.

Funktionsprinzip: Der Wolframstab dreht sich bei 1200–1400 °C, und die Form übt einen multidirektionalen Druck aus, wodurch sich der Durchmesser allmählich verringert, die Verformung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

gleichmäßig ist und die Dichte 19,0–19,25 g/cm³ erreicht.

Prozessanpassung: Geeignet für hochreine Wolframstäbe oder dotierte Wolframstäbe mit einer Toleranz von ± 0,05 mm.

Schlüsselparameter: Drehzahl 100–500 U/min, Druck 10–50 kN, Lebensdauer der Form ca. 1000 Zyklen.

Industrielle Praxis:

Die Form muss auf Molybdänbasis oder keramikbeschichtet sein, um dem Verschleiß bei hohen Temperaturen standzuhalten.

Ausgestattet mit einem Kühlsystem, um eine Überhitzung des Geräts zu verhindern.

Nach dem Rotationspressen muss die Stange gerichtet werden, um die Geradheit zu erhalten.

6.2.3 Heißextruder

Die Warmextrusionsmaschine wird für die Umformung von Wolframstäben mit großen Spezifikationen oder komplexen Querschnitten mit hoher Dichte und Festigkeit verwendet.

Ausstattungsmerkmale:

Typ: Hydraulischer Extruder, Druck 500–1200 MPa, geeignet für Durchmesser 20–100 mm.

Funktionsprinzip: Der Rohling aus Wolframstab wird auf 1300–1600 °C vorgewärmt und mit einer Matrize mit einem Extrusionsverhältnis von 5:1–10:1 extrudiert.

Prozessanpassung: Geeignet für Wolframlegierungsstäbe oder großformatige reine Wolframstäbe, Wasserstoff- oder Argonschutz ist erforderlich, um Oxidation zu verhindern.

Wichtige Parameter: Extrusionsgeschwindigkeit 0,1–0,5 mm/s, Formmaterial Molybdän oder Keramik, Temperiergenauigkeit ± 20°C.

Industrielle Praxis:

Die Form muss regelmäßig geschmiert werden (Graphit oder Molybdändisulfid), um den Verschleiß zu reduzieren.

Ausgestattet mit einem automatischen Zuführsystem zur Verbesserung der Produktionseffizienz.

Nach der Extrusion muss der Stab langsam abgekühlt werden, um Risse zu vermeiden.

6.2.4 Walzwerke und Ziehmaschinen

Walzwerke und Ziehwerke werden eingesetzt, um Wolframstäbe oder Wolframdrähte mit kleinen und mittleren Durchmessern mit hoher Präzision und hervorragender Oberflächengüte herzustellen.

Merkmale des Walzwerks:

Typ: Warmwalzwerk (1000–1300°C) oder Kaltwalzwerk (<500°C) mit einem Bearbeitungsdurchmesser von 5–20 mm.

Funktionsprinzip: Der Wolframstab wird durch mehrfache Walzendurchgänge (Molybdänlegierung oder Hartmetall) mit jeweils einer Verformung von 15–25 % zerkleinert.

Prozessanpassung: Das Warmwalzen eignet sich für reinen Wolframdraht, das Kaltwalzen eignet sich für hochpräzise dotierte Wolframstäbe mit einer Toleranz von ± 0,02 mm.

Schlüsselparameter: Walzgeschwindigkeit 50–200 U/min, Glühtemperatur 900–1100°C.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Merkmale der Ziehmaschine:

Typ: Mehrmatrizenziehmaschine, Bearbeitungsdurchmesser 0,01–5 mm, bestückt mit Diamantmatrizen.

Funktionsprinzip: Der Wolframstab wird durch eine Matrize bei 800–1000 °C mit einer Durchmesserreduzierung von 5–10 % gezogen, und das Schmiermittel besteht aus Graphit oder Molybdändisulfid.

Prozessanpassung: Geeignet für Wolframdraht oder Elektroden mit kleinem Durchmesser.

Wichtige Parameter: Ziehgeschwindigkeit 1–5 m/min, Standzeit ca. 500 kg Wolframstab.

Industrielle Praxis:

Rollen und Matrizen müssen regelmäßig ausgetauscht werden, um die Genauigkeit zu erhalten.

Ausgestattet mit einem Inline-Inspektionssystem zur Überwachung von Durchmesser und Oberflächenqualität.

Das Ziehen erfordert mehrfaches Glühen, um Bruch zu vermeiden.

6.3 Nachbearbeitungsanlagen für Wolframstäbe

Nachbearbeitungsgeräte optimieren die Leistung, Oberflächenqualität und Maßgenauigkeit von Wolframstäben und umfassen Wärmebehandlung, Polieren, Reinigen und Präzisionsbearbeitung.

6.3.1 Wärmebehandlungsöfen

Wärmebehandlungsöfen werden zum Glühen oder zur Alterungsbehandlung eingesetzt, um Zerspannungsspannungen abzubauen und Mikrostrukturen zu optimieren.

Ausstattungsmerkmale:

Typ: Vakuum-Wärmebehandlungsöfen oder Wasserstoffschutzöfen mit einem Ofenvolumen von 0,05–0,5 m³.

Funktionsprinzip: Erwärmung durch Widerstand oder Induktion, Temperatur 800–1600°C, Wärmeerhaltung 0,5–4 Stunden, Abkühlgeschwindigkeit 10–20°C/min.

Prozessanpassung: Spannungsarmglühen (1000–1200 °C), geeignet zum Schmieden oder Extrudieren von Stäben; Das Rekristallisationsglühen (1400–1600 °C) eignet sich zum Ziehen von Stäben; Die Alterungsbehandlung (800–1000 °C) ist für dotierte Wolframstäbe geeignet.

Schlüsselparameter: Temperaturgenauigkeit ±5°C, Vakuum 10⁻⁵ Pa oder Wasserstoffreinheit 99,999%.

Industrielle Praxis:

Der Ofen besteht aus Molybdän oder Graphit, das gegen Hochtemperaturkorrosion beständig ist.

Ausgestattet mit einem Atmosphärenkontrollsystem, um Oxidation zu verhindern.

Nach der Wärmebehandlung muss der Stab einer Härteprüfung unterzogen werden, um die Leistung zu überprüfen.

6.3.2 Polier- und Reinigungsgeräte

Polier- und Reinigungsgeräte verbessern die Oberflächenqualität von Wolframstäben und erfüllen die Anforderungen hochpräziser Anwendungen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Polier-Ausrüstung:

Typ: Mechanische Poliermaschine (Diamantschleifscheibe), chemischer Poliertank, elektrolytische Polieranlage.

Funktionsprinzip: Mechanisches Polieren beseitigt Oberflächenfehler durch Schleifmittel; Beim chemischen Polieren wird ein Flusssäure-Salpetersäure-Gemisch (1:3) verwendet, das 10–30 Sekunden lang eingeweicht wird. Beim elektrolytischen Polieren wird Wolframstab als Anode und eine Elektrolytbehandlung auf Phosphatbasis verwendet, um einen Spiegeleffekt zu erzielen.

Prozessanpassung: Das mechanische Polieren ist für Stangen in Industriequalität geeignet; Das chemische und elektrolytische Polieren eignet sich für hochreine Wolframstäbe oder -elektroden.

Reinigungsgerät:

Typ: Ultraschallreinigungsmaschine, Plasmareinigungsgerät.

Funktionsprinzip: Die Ultraschallreinigung entfernt Ölflecken mit einer Ultraschallwelle von 40 kHz und entionisiertem Wasser (einschließlich Reinigungsmittel) für 5–10 Minuten; Bei der Plasmareinigung wird Argonplasma in einer Vakuumkammer verwendet, um Spuren von Verunreinigungen zu entfernen.

Prozessanpassung: Die Ultraschallreinigung ist für konventionelle Stangen geeignet; Die Plasmareinigung eignet sich für hochreine Wolframstäbe für Halbleiter.

Industrielle Praxis:

Das Polieren erfolgt in einem Reinraum der ISO-Klasse 5, um eine Staubkontamination zu vermeiden.

Das chemische Polierbad benötigt ein Belüftungssystem zur Behandlung der Abfallflüssigkeit.

Nach der Reinigung sollte der Stab trocken und versiegelt sein, um eine Feuchtigkeitsaufnahme zu verhindern.

6.3.3 Präzisionsbearbeitungsgeräte (Drehmaschinen, Schleifmaschinen)

Eigenschaften der Drehmaschine:

Typ: CNC-Drehmaschine (CNC-Maschine), die für die hochpräzise Bearbeitung geeignet ist, ausgestattet mit Diamantwerkzeugen.

Funktionsprinzip: Wolframstäbe werden durch Rotationsschneiden mit einer Durchmessertoleranz von $\pm 0,05$ mm bearbeitet.

Prozessanpassung: Geeignet für großformatige Stangen oder komplexe Formbearbeitungen, wie z. B. Gegengewichte für die Luftfahrt.

Wichtige Parameter: 500–1500 U/min, Vorschub 0,1 mm/U.

Merkmale der Schleifmaschine:

Typ: Spitzenlose Schleifmaschine, Zentrierschleifmaschine, geeignet für Stangen mit kleinem Durchmesser.

Funktionsprinzip: Schleifen mit Schleifscheiben (Diamant oder Keramik) mit einer Durchmessertoleranz von $\pm 0,02$ mm.

Prozessanpassung: Die spitzenlose Schleifmaschine eignet sich für Elektroden- oder Wolframdrahtblank, und die Zentrumsschleifmaschine eignet sich für hochpräzise Formteile.

Wichtige Parameter: Schleifscheibendrehzahl 2000–3000 U/min, Kühlmittelöl oder Wasserbasis.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Industrielle Praxis:

Werkzeuge und Schleifscheiben müssen regelmäßig ausgetauscht werden, um Verschleiß zu vermeiden, der die Genauigkeit beeinträchtigt.

Ausgestattet mit einem Kühlsystem zur Reduzierung des thermischen Verzugs.

Nach der Verarbeitung ist eine Ultraschallreinigung erforderlich, um Schmutz zu entfernen.

6.4 Fortschrittliche Produktionsausrüstung für Wolframstäbe

Modernste Produktionsanlagen verbessern die Qualität und Effizienz von Wolframstäben und stellen die technologische Grenze der Branche dar, einschließlich Plasmasintern, Vakuumschmelzen und automatisierter Steuerung.

6.4.1 Plasma-Sinter-Anlagen

Ausstattungsmerkmale:

Typ: Funkenplasma-Sinterofen (SPS) mit einem Ofenvolumen von 0,01 – 0,1 m³.

Funktionsprinzip: Das Plasma wird durch Gleichstromimpulse (1000–5000 A) erzeugt, kombiniert mit einer hohen Temperatur von 1800–2200 °C und einem Druck von 50–100 MPa, und schnell (5–15 Minuten) mit einer Dichte von mehr als 98 % gesintert.

Prozessanpassung: Geeignet für hochreine Wolframstäbe oder nanodotierte Wolframstäbe mit feinen Körnern (5–10 µm) und reduziertem Energieverbrauch.

Schlüsselparameter: Strompulsfrequenz 50–100 Hz, Vakuum 10⁻⁴ Pa, Formgraphit oder Wolfram.

Industrielle Praxis:

Ausgestattet mit Online-Überwachung, Echtzeitsteuerung von Strom und Temperatur.

Die Form muss gegen hohe Temperaturen und hohen Druck beständig sein und regelmäßig überprüft werden.

Nach der SPS muss die Porosität des Stabes getestet werden, um die Kompaktheit zu gewährleisten.

6.4.2 Vakuum-Schmelzöfen

Ausstattungsmerkmale:

Typ: Vakuum-Elektrolichtbogenofen (VAR) oder Elektronenstrahlschmelzofen (EBM) mit einem Volumen von 0,05–0,5 m³.

Funktionsprinzip: VAR schmilzt Wolframblöcke im Vakuum (10⁻⁵ Pa) mittels eines Lichtbogens (10–30 kV); EBM wird mit einem hochenergetischen Elektronenstrahl (50–100 kW) aufgeschmolzen und ist für ultrahochreines Wolfram geeignet.

Prozessanpassung: VAR eignet sich für Stäbe aus Wolframlegierungen, EBM eignet sich für hochreine Wolframstäbe (Reinheit ≥ 99,999 %), wodurch der Gaseinschluss reduziert wird.

Schlüsselparameter: Schmelzleistung 20–100 kW, Kühlwasserdurchfluss 10–50 L/min.

Industrielle Praxis:

Ausgestattet mit einer Vakuumpumpe, um ein Ultrahochvakuum aufrechtzuerhalten.

Der geschmolzene Knüppel muss einer Röntgeninspektion unterzogen werden, um Einschlüsse zu vermeiden.

Warten Sie die Elektroden oder die Elektronenkanone regelmäßig, um die Lebensdauer zu

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

verlängern.

6.4.3 Automatische Steuerungs- und Überwachungssysteme

Ausstattungsmerkmale:

Typ: SPS-Steuerung, SCADA-Überwachungsplattform, integrierte Sensoren (Temperatur, Druck, Atmosphäre).

Funktionsprinzip: Echtzeiterfassung von Sinter-, Schmiede- oder Verarbeitungsdaten durch Sensoren, SPS passt Parameter an und SCADA ermöglicht Fernüberwachung und Datenanalyse.

Prozessanpassung: Es eignet sich für die gesamte Prozessautomatisierung, die Sintern, Extrudieren, Polieren und andere Prozesse abdeckt, um die Konsistenz und Effizienz zu verbessern.

Schlüsselparameter: Temperaturgenauigkeit ± 1 °C, Druckgenauigkeit $\pm 0,1$ MPa, Datenabtastrate 1 Hz.

Industrielle Praxis:

Das System muss staub- und wasserdicht sein und sich an Umgebungen mit hohen Temperaturen anpassen.

Kalibrieren Sie den Sensor regelmäßig, um sicherzustellen, dass die Daten korrekt sind.

Die Datenspeicherung muss verschlüsselt werden, um Prozessparameter zu schützen.

6.5 Auswahl und Wartung von Wolframstäben

Die Auswahl der Ausrüstung muss entsprechend der Art des Wolframstabs und der Produktionsnachfrage optimiert werden, und das Wartungsmanagement sollte die Lebensdauer der Ausrüstung verlängern.

6.5.1 Ausrüstungsanforderungen für verschiedene Arten von Wolframstäben

Reiner Wolframstab:

Anforderungen: Standard-Wasserstoff-Sinterofen (2000–2800°C), Drucklufthammer oder Warmwalzwerk, kostengünstig, geeignet für die Großserienproduktion.

Ausstattungsmerkmale: CIP-Pressen (150 MPa), mechanische Poliermaschine, die auf Langlebigkeit und hohe Leistung Wert legt.

Anwendbare Szene: Quarzofenkernstange, Gegengewicht.

Hochreiner Wolframstab:

Anforderungen: Vakuum-Sinterofen (10^{-5} Pa), SPS oder EBM, Rotationsknetmaschine oder CNC-Drehmaschine zur Gewährleistung einer hohen Sauberkeit und Präzision.

Ausstattungsmerkmale: Betrieb im Reinraum (ISO-Klasse 5), elektrolytische Polier- und Plasmareinigungsgeräte.

Anwendbare Szenarien: Halbleiterelektroden, Sputtertargets.

Dotierte Wolframstäbe:

Anforderungen: Planetenmühle (homogene Dotierung), Vakuum-Wärmebehandlungs-ofen (800–1200°C), Ziehmaschine (0,01–5 mm).

Ausrüstungsmerkmale: Thorium-dotierte Wolframstäbe müssen mit Einrichtungen zur Entsorgung radioaktiver Strahlung ausgestattet werden, wobei der Schwerpunkt auf der Optimierung der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Lichtbogenleistung liegt.

Anwendbare Szenarien: Schweißelektroden, Komponenten für Hochtemperaturöfen.

Industrielle Praxis:

Wählen Sie die Größe der Anlage entsprechend dem Produktionsvolumen (z. B. kleiner Ofen für Forschung und Entwicklung, großer Ofen für die Massenproduktion).

Geräte für hochreine Wolframstäbe müssen in einem Reinraum isoliert werden.

Dotierte Wolframstäbe müssen mit einer Vielzahl von Dotierstoffmischanlagen kompatibel sein.

6.5.2 Wartung und Lebensdauer der Ausrüstung

Instandhaltungsmaßnahmen:

Regelmäßige Inspektion: Überprüfen Sie jeden Monat den Verschleiß von Formen, Schleifscheiben und Werkzeugen; Kalibrieren Sie Temperatur- und Drucksensoren vierteljährlich.

Reinigung und Wartung: Der Sinterofen muss alle sechs Monate gereinigt werden, um Wolframdampfablagerungen zu entfernen; Die Polieranlage muss wöchentlich gereinigt werden, um Schleifrückstände zu vermeiden.

Schmiermanagement: Extruder und Ziehmaschinen müssen jeden Monat mit Hochtemperaturschmierstoffen (z. B. Molybdändisulfid) aufgefüllt werden. Überprüfen Sie regelmäßig die Ölqualität des Hydrauliksystems.

Vorbeugende Wartung: Vorhersage von Lagerausfällen durch Schwingungsüberwachung; Verwenden Sie ein Infrarot-Thermometer, um Überhitzungs-Hotspots im Gerät zu erkennen und Überhitzungsschäden zu vermeiden.

Ersatzteilmanagement: Lagerhaltung kritischer Komponenten (z. B. Diamantmatrizen, Molybdänelektroden), um Ausfallzeiten zu reduzieren.

Lebensmanagement:

Lebensdauer der Form: Wolfram- oder Extrusionsmatrizen müssen etwa 1000–5000 Mal regelmäßig mit einer hochtemperaturbeständigen Beschichtung (z. B. ZrO_2) aufgetragen werden.

Lebensdauer des Ofens: Der Molybdän- oder Graphitofen wird etwa 2000 bis 3000 Mal gesintert, und die Auskleidung muss regelmäßig gewechselt werden.

Geräte-Upgrades: Ältere Geräte (z. B. herkömmliche Druckluftschlämmer) können auf CNC-Systeme aufgerüstet werden, um die Genauigkeit und Effizienz zu verbessern.

Datenanalyse: Analysieren Sie die Betriebsdaten der Geräte über ein SCADA-System, um die Wartungsintervalle zu optimieren und die Lebensdauer um 20 bis 30 % zu verlängern.

Industrielle Praxis:

Erstellen Sie ein Wartungsprotokoll, um jede Wartung und jeden Ausfall aufzuzeichnen.

Schulen Sie die Bediener, um frühe Anzeichen von Ausfällen zu erkennen, wie z. B. ungewöhnliche Vibrationen oder Temperaturschwankungen.

Arbeiten Sie mit Anbietern zusammen, um die Gerätefirmware regelmäßig zu aktualisieren, um die Leistung zu optimieren.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



CTIA GROUP LTD Wolframstäbe

Kapitel 7 In- und ausländische Normen für Wolframstäbe

Als Hochleistungs-Refraktärmetall müssen die Herstellung, Prüfung und Anwendung von Wolframstab strengen in- und ausländischen Standards entsprechen, um Qualitätskonsistenz, Leistungszuverlässigkeit und Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt zu gewährleisten. Diese Normen decken die chemische Zusammensetzung, die physikalischen Eigenschaften, die Maßtoleranzen, die Oberflächengüte und die Prüfverfahren von Wolframstäben ab und gelten für reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe, dotierte Wolframstäbe und Stäbe aus Wolframlegierungen. In diesem Kapitel werden die internationalen Normen (ISO, ASTM, RWMA usw.) und die chinesischen Normen (GB/T, YS/T usw.) für Wolframstäbe systematisch vorgestellt und deren Unterschiede, Anwendbarkeit und Bedeutung für die Produktionsprüfung verglichen und analysiert.

7.1 Internationale Normen für Wolframstäbe

Internationale Normen bieten einheitliche Spezifikationen für den weltweiten Handel und die Anwendung von Wolframstäben, die hauptsächlich von der Internationalen Organisation für Normung (ISO), der American Society for Testing and Materials (ASTM) und der Resistance Welding Manufacturing Association (RWMA) formuliert wurden und die Zusammensetzung, Eigenschaften und Verwendungen von Wolfram und Wolframlegierungen abdecken.

7.1.1 ISO-Norm (ISO 24370: Wolfram und Wolframlegierungen)

Normübersicht: ISO 24370:2005 "Feinkeramik und Refraktärmetallwerkstoffe" ist eine Norm für Refraktärmetalle, die von der Internationalen Organisation für Normung entwickelt wurde, einschließlich Spezifikationen für Wolfram- und Wolframlegierungsstäbe, die für Anwendungen mit hohen Temperaturen und hoher Festigkeit geeignet sind.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wichtigste Bestimmungen:

Geltungsbereich: Spezifizieren Sie die chemische Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften und die Maßanforderungen von reinem Wolfram und Wolframlegierungsstäben, die für die Luft- und Raumfahrt, Elektronik und Industrie geeignet sind.

Chemische Zusammensetzung: Reiner Wolframstab-Wolframgehalt $\geq 99,9\%$, Verunreinigungen (wie Fe, C, O) müssen in Spuren kontrolliert werden; Stäbe aus Wolframlegierungen (z. B. W-N-Fe) müssen sich über den Anteil der Legierungselemente im Klaren sein.

Physikalische Eigenschaften: spezifizierte Dichte (reines Wolfram $\geq 19,0\text{ g/cm}^3$), Zugfestigkeit und Härte, wobei die Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen im Vordergrund steht.

Abmessungen und Toleranzen: Die Durchmesser reichen von 1 – 100 mm, die Toleranzen werden je nach Anwendung in gängige und hohe Genauigkeitsklassen eingeteilt.

Prüfmethoden: Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA) wird empfohlen, um die Zusammensetzung zu analysieren, Ultraschall zur Erkennung interner Defekte und Härteprüfer zur Prüfung mechanischer Eigenschaften.

Anwendbare Szenarien:

Es wird hauptsächlich für Hochtemperaturkomponenten in der Luft- und Raumfahrt (z. B. Düsenauskleidungen), elektronische Sputtertargets und Schweißelektroden verwendet.

Es betont die internationale Konsistenz und eignet sich für grenzüberschreitende Lieferketten und den Exporthandel.

Wichtige Punkte:

Die Norm stellt strenge Anforderungen an die Kontrolle von Verunreinigungen in hochreinen Wolframstäben, und eine saubere Produktionsumgebung ist erforderlich.

Die Prüfmethode entspricht den internationalen Standards und ist für die globale Zertifizierung geeignet.

Sie muss regelmäßig aktualisiert werden, um neuen Materialtechnologien Rechnung zu tragen.

7.1.2 ASTM-Norm (ASTM B777: Wolframlegierung mit hoher Dichte)

Standardübersicht: Die ASTM B777-15 Standardspezifikation für Wolfram-basierte Legierungen mit hoher Dichte wurde von der American Society for Testing and Materials (ASTM) für die Leistung und Anwendung von Wolframlegierungsstäben (z. B. W-Ni-Fe, W-Ni-Cu) entwickelt und ist im militärischen und medizinischen Bereich weit verbreitet.

Wichtigste Bestimmungen:

Geltungsbereich: Umfasst die Klassifizierung von Stäben aus Wolframlegierungen mit hoher Dichte (Klasse 1–4), abgestuft nach Wolframgehalt (90–97 Gew.-%) und Leistung.

Chemische Zusammensetzung: Geben Sie das Verhältnis von Wolfram, Nickel, Eisen oder Kupfer und Verunreinigungen (z. B. S, P) unterhalb der angegebenen Grenzwerte an.

Physikalische Eigenschaften: Dichtebereich $17,0\text{--}18,5\text{ g/cm}^3$, Zugfestigkeit $600\text{--}1200\text{ MPa}$, Härte $300\text{--}400\text{ HV}$.

Abmessungen und Toleranzen: 5–50 mm Durchmesser, Länge kann angepasst werden, Toleranzen entsprechen den Anforderungen der Präzisionsbearbeitung.

Nachweismethode: Zur Analyse der Zusammensetzung wurde die Massenspektrometrie mit

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) verwendet, die Magnetpulverprüfung zur Erkennung von Oberflächenrissen und der Zugversuch zur Überprüfung der Festigkeit.

Anwendbare Szenarien:

Es wird hauptsächlich für panzerbrechende Kerne, Strahlenschutzteile und Gegengewichte für die Luftfahrt verwendet.

Geeignet für den nordamerikanischen Markt und die Militärindustrie, wobei der Schwerpunkt auf hoher Dichte und mechanischen Eigenschaften liegt.

Wichtige Punkte:

Der Standard ist nach Dichte und Festigkeit abgestuft, was für die Materialauswahl praktisch ist.

Es gibt klare Anforderungen an die Umweltfreundlichkeit von Legierungselementen (z. B. bleifreie Formulierungen).

Die Detektion erfordert eine spezielle Ausrüstung, die kostspielig ist.

7.1.3 RWMA Klasse 13

Normübersicht: Die Resistance Welding Manufacturers Association (RWMA) hat eine Norm der Klasse 13 für reine Wolframstäbe entwickelt, die für Widerstandsschweißelektroden und Hochtemperaturelektrodenanwendungen ausgelegt ist.

Wichtigste Bestimmungen:

Geltungsbereich: Spezifizieren Sie die Zusammensetzung, Leitfähigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit von reinem Wolframstab (Wolframgehalt $\geq 99,9\%$).

Chemische Zusammensetzung: Strenge Kontrolle von Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff und anderen Verunreinigungen, um eine Instabilität des Lichtbogens zu verhindern.

Physikalische Eigenschaften: Leitfähigkeit von ca. 18 % IACS, Härte von 350–450 HV, Beständigkeit gegen Brennen bei hohen Temperaturen.

Abmessungen und Toleranzen: 1–10 mm Durchmesser, $\pm 0,05$ mm Toleranz, geeignet für die Bearbeitung von Elektrodenspitzen.

Nachweismethode: Leitfähigkeitstester überprüft die Leitfähigkeit, Mikroskopprüfung der Oberflächenqualität, Hochtemperaturbeständigkeitstest simuliert Lichtbogenumgebung.

Anwendbare Szenarien:

Es wird in Widerstandspunktschweißelektroden und bei der Montage elektronischer Geräte im Automobilbau eingesetzt.

Es eignet sich für Hochfrequenz-Schweißszenarien und betont die Lebensdauer der Elektroden.

Wichtige Punkte:

Standardmäßige fokussierte Elektrodenleistung, wobei andere Anwendungen ignoriert werden.

Es stellt hohe Anforderungen an die Oberflächenqualität und erfordert eine präzise Politur.

Die Nachweismethode ist einfach und für kleine und mittlere Unternehmen geeignet.

7.1.4 Sonstige internationale Normen

Überblick: Neben ISO, ASTM und RWMA decken auch andere internationale Normen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wolframstäbe ab, wie z.B.:

AWS A5.12: Wolfram- und dotierte Wolframelektrodenstandards (z. B. WT20, WC20), die vom American Welding Institute entwickelt wurden und den Dotierungsgehalt (z. B. 2 % ThO₂ oder CeO₂) und die Lichtbogenleistung festlegen.

JIS Z 3211: Japanischer Industriestandard für die Zusammensetzung und Größe von Wolframelektroden für den asiatischen Markt.

DIN EN 26848: Europäische Norm, die allgemeine Anforderungen an Wolframstäbe festlegt, mit Schwerpunkt auf Hochtemperaturanwendungen.

Kerninhalt:

AWS A5.12 konzentriert sich auf die Schweißbarkeit von dotierten Wolframstäben, einschließlich Lichtbogenstabilität und Ausbrennrage.

JIS Z 3211 ähnelt der ISO 24370, weist jedoch engere Maßtoleranzen auf und ist für die Präzisionselektronik geeignet.

DIN EN 26848 behandelt reines Wolfram und legierte Stäbe mit Schwerpunkt auf Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Verteidigung.

Anwendbare Szenarien:

AWS A5.12 wird in der globalen Schweißindustrie eingesetzt, JIS Z 3211 bedient den japanischen Elektronikmarkt und DIN EN 26848 wird für europäische Luft- und Raumfahrtunternehmen verwendet.

Diese Standards ergänzen ISO und ASTM, um den Anforderungen der Regionalisierung gerecht zu werden.

Wichtige Punkte:

Die anwendbaren Kriterien müssen entsprechend dem Zielmarkt ausgewählt werden.

Dotierte Wolframstab-Standards (z. B. AWS) haben besondere Anforderungen an die Verwaltung von Radiodotierstoffen (z. B. ThO₂).

Die Tests müssen über alle Standards hinweg verifiziert werden, was die Kosten für die Zertifizierung erhöht.

7.2 Chinesischer Standard für Wolframstäbe

Das chinesische Standardsystem umfasst nationale Standards (GB/T) und Industriestandards (YS/T), die die Zusammensetzung, Leistung, Größe und Prüfung von Wolframstäben abdecken, um den Anforderungen der inländischen Produktion und Anwendung gerecht zu werden.

7.2.1 GB/T 4187-2017 (Nationales Normal für Wolframstab)

Normübersicht: GB / T 4187-2017 "Wolframstab" ist ein chinesischer nationaler Standard, der die Leistung und Verwendung von reinem Wolframstab und hochreinem Wolframstab festlegt und für industrielle, elektronische und wissenschaftliche Forschungsbereiche geeignet ist.

Wichtigste Bestimmungen:

Bereich: Umfasst reine Wolframstäbe ($\geq 99,9$ % Wolframgehalt) und hochreine Wolframstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

(≥99,95 %) mit Durchmessern von 1 bis 100 mm.

Chemische Zusammensetzung: Strenge Grenzwerte für Verunreinigungen (z. B. Fe, C, O) und Sauerstoffgehalt < 50 ppm für hochreine Wolframstäbe.

Physikalische Eigenschaften: Dichte ≥ 19,0 g/cm³, Zugfestigkeit variiert je nach Durchmesser und Verarbeitungszustand, Härte 300–450 HV.

Abmessungen und Toleranzen: Die Toleranzen werden in gewöhnliche Güte (±0,1 mm) und Präzisionsgüte (±0,05 mm) unterteilt, und die Länge kann angepasst werden.

Detektionsmethode: RFA- oder ICP-MS-Analyse von Komponenten, Ultraschallprüfung der internen Qualität, Vickers-Härteprüferprüfung der Härte.

Anwendbare Szenarien:

Es wird für Quarzofenkernstangen, monokristalline Silizium-Klemmstangen und Halbleitertargets verwendet.

Geeignet für den Inlandsmarkt und den Export, wobei hohe Reinheit und Maßgenauigkeit im Vordergrund stehen.

Wichtige Punkte:

Die Norm stellt hohe Anforderungen an die saubere Herstellung von hochreinen Wolframstäben, und es wird eine staubfreie Umgebung gefordert.

Die Prüfmethode entsprechen den internationalen Standards und sind für die Exportzertifizierung geeignet.

Regelmäßige Überarbeitungen, um neuen Prozessen gerecht zu werden.

7.2.2 GB/T 3459-2017 (Wolfram und Wolframlegierungsprodukte)

Normübersicht: GB / T 3459-2017 "Wolfram und Wolframlegierungsprodukte" ist eine chinesische nationale Norm, die Wolframstäbe, Wolframlegierungsstäbe und andere Wolframprodukte abdeckt, die für die Luftfahrt, das Militär und die Industrie geeignet sind.

Wichtigste Bestimmungen:

Sortiment: umfasst reine Wolframstäbe, dotierte Wolframstäbe und Stäbe aus Wolframlegierungen (z. B. W-Ni-Fe) mit einem Wolframgehalt von 90–99,9 %.

Chemische Zusammensetzung: Geben Sie den Anteil der Legierungselemente (z. B. Ni, Fe) an, und die Grenzwerte für Verunreinigungen hängen von der Anwendung ab.

Physikalische Eigenschaften: Dichte 17,0–19,25 g/cm³, Zugfestigkeit 600–1000 MPa, mäßige Dehnung.

Abmessungen und Toleranzen: Durchmesser 5–50 mm, Toleranzen ± 0,2 mm, spezielle Anforderungen können angepasst werden.

Prüfmethode: ICP-AES-Analyse von Bauteilen, Magnetpulverfehlerprüfung von Oberflächen, Zugprüfung zur Überprüfung der Leistung.

Anwendbare Szenarien:

Es wird für panzerbrechende Geschosskerne, Gegengewichte für die Luftfahrt und Strahlenschutzprodukte verwendet.

Bedient die heimische Militärindustrie und die Schwerindustrie mit Schwerpunkt auf hoher Dichte

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

und Festigkeit.

Wichtige Punkte:

Der Standard deckt eine Vielzahl von Wolframprodukten mit hoher Flexibilität ab.

Die Anforderungen an den Umweltschutz für Legierungsstäbe sind streng und es sind ungiftige Formulierungen erforderlich.

Die Detektion muss durch eine umfassende Ausrüstung unterstützt werden.

7.2.3 Industriestandard (YS/T 695-2017: stumpfe Elektrode)

Normübersicht: YS/T 695-2017, "Blunt Electrode" ist der Industriestandard für Nichteisenmetalle in China, der auf die Leistung und Produktion von reinen stumpfen und dotierten stumpfen Elektroden (wie WC20, WL20, WT20) abzielt.

Wichtigste Bestimmungen:

Bereich: Geben Sie die Zusammensetzung, Größe und Lichtbogeneigenschaften der stumpfen Elektrode mit einem Durchmesser von 0,5 bis 10 mm an.

Chemische Zusammensetzung: reiner stumpfer Gehalt $\geq 99,9\%$, dotiert mit stumpfen Seltenerdoxid (z. B. 2 % CeO_2) oder Thoriumoxid, niedrige Verunreinigungsgrenze.

Physikalische Eigenschaften: ausgezeichnete Leitfähigkeit, hohe Temperaturbrennbeständigkeit, hohe Lichtbogenstabilität.

Abmessungen und Toleranzen: Toleranzen $\pm 0,05$ mm, Spitzen müssen den Schweißanforderungen entsprechen.

Detektionsmethode: Lichtbogenprüfmaschine zur Prüfung von Zündung und Stabilität, RFA-Analyse des Dotierstoffgehalts, mikroskopische Inspektion der Oberfläche.

Anwendungsszenarien:

Es wird zum Argon-Lichtbogenschweißen (WIG), Plasmaschneiden und für den Automobil- und Schiffbau verwendet.

Es eignet sich für die häusliche Schweißindustrie und betont die Elektrodenleistung.

Wichtige Punkte:

Thorium-dotierte stumpfe Elektroden unterliegen den Radioaktivitätsvorschriften.

Der Test simuliert die tatsächliche Schweißumgebung, um die Leistung des Lichtbogens zu überprüfen.

Standards werden regelmäßig aktualisiert, also behalten Sie die neueste Version im Auge.

7.3 Normvergleich und Anwendbarkeit von stumpfen Stäben

Normenvergleich und Anwendbarkeitsanalyse: Es gibt Unterschiede in den Formulierungszielen, Anforderungen und Anwendungsszenarien in- und ausländischer Normen, und es ist notwendig, je nach Art des stumpfen Stabes und des Marktes geeignete Spezifikationen auszuwählen.

7.3.1 Unterschiede zwischen in- und ausländischen Normen

Vergleichende Analyse:

Setzen Sie sich Ziele:

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Internationale Standards (wie ISO, ASTM) betonen die globale Universalität und haben weit gefasste Begriffe, die für den grenzüberschreitenden Handel geeignet sind; Chinesische Standards (GB/T, YS/T) kombinieren inländische Technologie und Marktnachfrage, und die Begriffe sind spezifischer.

ASTM B777 konzentriert sich auf Stäbe aus stumpfen Legierungen mit hoher Dichte, die für Militär und Medizin geeignet sind. GB/T 3459 deckt eine breite Palette von stumpfen Produkten ab und bietet ein breiteres Spektrum an Flexibilität.

RWMA Class 13 und YS/T 695 sind auf Elektroden spezialisiert, und internationale Standards konzentrieren sich mehr auf Leitfähigkeit und Lichtbogenleistung.

Technische Anforderungen:

Inhaltsstoffe nach internationalem Standard: Internationale Normen (z. B. ISO 24370) sehen eine strengere Kontrolle von Verunreinigungen (z. B. Sauerstoff, Kohlenstoff) vor, was für hochreine stumpfe Stäbchen geeignet ist. Chinesische Normen (wie GB/T 4187) haben etwas lockerere Anforderungen an gewöhnliche reine stumpfe Ruten, um die Produktionskosten zu senken.

Physikalische Eigenschaften: ASTM B777 verlangt eine höhere Festigkeit und Dichte der Zugfestigkeit von stumpfen Legierungen (600–1200 MPa); GB/T 3459 betont den Dichtebereich (17,0–19,25 g/cm³).

Maßtoleranz: ISO- und JIS-Standardtoleranzen sind enger ($\pm 0,05$ mm) und eignen sich für hohe Präzision; GB/T Toleranzabstufung ($\pm 0,1$ – $0,2$ mm) für eine Vielzahl von Anforderungen.

Nachweismethode:

Internationale Normen empfehlen RFA-, ICP-MS- und Magnetpulverprüfungen, die mit den chinesischen Normen übereinstimmen, aber ASTM erfordert komplexere Zugprüfungen.

Der Lichtbogentest von YS/T 695 ist branchenspezifischer, und AWS A5.12 ist ähnlich, aber strenger.

Wichtige Punkte:

Internationale Standards eignen sich eher für Export- und High-End-Märkte, während chinesische Standards eher mit der Realität der heimischen Produktion übereinstimmen.

Die Prüfgeräte müssen mit beiden Normen kompatibel sein, und das Gleichgewicht zwischen Kosten und Effizienz muss berücksichtigt werden.

Das Radioaktivitätsmanagement von Thorium-dotierten Wolframelektroden ist in internationalen Normen strenger.

7.3.2 Normanforderungen für verschiedene Arten von Wolframstäben

Reine stumpfe Rute:

Geltende Normen: ISO 24370, GB/T 4187, RWMA Klasse 13.

Anforderungen: stumpfer Gehalt $\geq 99,9$ %, geringe Verunreinigungen (z. B. Sauerstoff < 100 ppm), Dichte $\geq 19,0$ g/cm³, Toleranz $\pm 0,1$ mm.

Anwendbare Szenarien: Kernproben von Quarzöfen, Gegengewichte, wobei der Schwerpunkt auf hoher Temperaturstabilität und Kostenkontrolle liegt.

Hochreiner Wolframstab:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anwendbare Normen: ISO 24370, GB/T 4187 (hochreine Qualität), ASTM B760 (Referenz für stumpfe Plattenverlängerung).

Anforderungen: Stumpfgehalt $\geq 99,95\%$, sehr geringe Verunreinigungen (z.B. Sauerstoff < 30 ppm), saubere Herstellung, Toleranz $\pm 0,05$ mm.

Anwendbare Szenarien: Halbleitertargets, medizinische Geräte mit Schwerpunkt auf hoher Dichte und Reinheit.

Dotierte stumpfe Stäbchen:

Geltende Normen: AWS A5.12, YS/T 695, GB/T 3459.

Anforderungen: Das Dotierungsmittel (z. B. 2 % CeO_2) ist gleichmäßig verteilt, die Lichtbogenstabilität ist hoch und Thorium-dotierte Stäbe benötigen eine radioaktive Kontrolle.

Anwendbare Szenarien: Schweißelektroden, Hochtemperatur-Ofenkomponenten, Betonung der elektrischen Leistung.

Stab aus Wolframlegierung:

Anwendbare Normen: ASTM B777, GB/T 3459.

Anforderungen: stumpfer Gehalt 90–97 %, Dichte 17,0–18,5 g/cm^3 , Zugfestigkeit 600–800 MPa, ungiftige Formulierung.

Anwendbare Szenarien: panzerbrechender Geschosskern, Strahlenschutz, Betonung der hohen Festigkeit und des Umweltschutzes.

Wichtige Punkte:

Die Standardauswahl sollte auf die Art des stumpfen Stabes und den Einsatzbereich abgestimmt sein.

Hochreine und dotierte stumpfe Stäbe erfordern eine höhere Präzisionsausrüstung, um die Produktion und Inspektion zu unterstützen.

Bei stumpfen Legierungsstäben müssen Umweltvorschriften beachtet werden.

7.3.3 Die richtungsweisende Bedeutung von Normen für Produktion und Prüfung

Produktionshinweise:

Kontrolle der Inhaltsstoffe: Normen legen Grenzwerte für Verunreinigungen und Dotierstoffe fest, um die Auswahl und Reinigung von Rohstoffen zu leiten (z. B. verlangt ISO einen Sauerstoffgehalt < 50 ppm und die Wasserstoffreduzierung muss optimiert werden).

Prozessoptimierung: Toleranzen und Leistungsanforderungen (z. B. $\pm 0,1$ mm für GB/T) bestimmen die Präzision von Press-, Sinter- und Verarbeitungsanlagen.

Qualitätsmanagement: Die Norm verlangt, die Zertifizierung nach ISO 9001 und anderen Systemen zu fördern, den Produktionsprozess zu standardisieren und die Fehlerquote zu reduzieren.

Anleitung zum Testen:

Analyse der Zusammensetzung: RFA, ICP-MS stellen sicher, dass die Chemie den Standards entspricht, und die Instrumente müssen regelmäßig kalibriert werden.

Leistungsnachweis: Zugversuche, Härteprüfungen und Lichtbogenprüfungen verifizieren mechanische und elektrische Eigenschaften mit standardisierter Probenvorbereitung.

Fehlerprüfung: Ultraschall- und Magnetpulverprüftechniken erkennen Innen- und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Oberflächenfehler, um die Produktsicherheit zu gewährleisten.

Industrielle Praxis:

Unternehmen müssen standardisierte Laboratorien für die Qualitätskontrolle einrichten, die mit multifunktionalen Prüfgeräten ausgestattet sind.

Regelmäßige Schulung der Mitarbeiter, um sich mit den Unterschieden zwischen in- und ausländischen Standards vertraut zu machen und die Compliance zu verbessern.

Exportprodukte müssen zunächst die Standards des Zielmarktes erfüllen und sich im Voraus auf die Zertifizierung vorbereiten.



CTIA GROUP LTD Wolframstäbe

Kapitel 8 Detektion von Wolframstäben

Als Hochleistungs-Refraktärmetall wirkt sich die Qualität des Wolframstabs direkt auf die Anwendungsleistung aus, und die physikalischen Eigenschaften, die chemische Zusammensetzung, die Mikrostruktur und die besonderen Eigenschaften müssen durch umfassende Prüfmethoden bewertet werden. Die Prüfung umfasst eine Vielzahl von Techniken von Makro bis Mikro, einschließlich Prüfung physikalischer Eigenschaften, chemischer Analysen, mikroskopischer Beobachtungen, zerstörungsfreier Prüfung und Leistungsüberprüfung, mit unterschiedlichen Schwerpunkten für reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe und dotierte Wolframstäbe. In diesem Kapitel werden die Prüfverfahren für Wolframstäbe erläutert, einschließlich Dichte, Härte, Zugfestigkeit, thermische Eigenschaften, chemische Zusammensetzung, Mikrostruktur, zerstörungsfreie Prüfung, hohe Temperatur, Korrosionsbeständigkeit, Leitfähigkeit und andere Leistungstests, und die Prüfprioritäten verschiedener Arten von Wolframstäben analysiert.

8.1 Physikalische Eigenschaften des Wolframstabtests

Bei der Prüfung physikalischer Eigenschaften werden die Dichte, Härte, Festigkeit und thermischen Eigenschaften von Wolframstäben bewertet, um sicherzustellen, dass sie die Designanforderungen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

für Luft- und Raumfahrt, Elektronik und industrielle Anwendungen erfüllen.

8.1.1 Dichteproofung von Wolframstäben

Zweck: Die Dichte ist der Schlüsselindikator für die Qualität des Wolframstabs und spiegelt die Kompaktheit des Sinterns und der Verarbeitung wider, die theoretische Dichte des reinen Wolframstabs beträgt $19,25 \text{ g/cm}^3$ und der Wolframlegierungsstab $17,0\text{--}18,5 \text{ g/cm}^3$.

Nachweismethode:

Archimedes-Methode: Wolframstäbe werden in deionisiertes Wasser getaucht, das Trockengewicht und das Gewicht in Wasser werden gemessen und die Dichte berechnet. Verwenden Sie eine hochpräzise elektronische Waage (Genauigkeit $\pm 0,001 \text{ g}$) und eine thermostatische Senke (25°C).

Röntgen-Densitometer: Dichtemessung durch Röntgenabsorption, geeignet für eine schnelle berührungslose Inspektion mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Operative Punkte:

Die Oberfläche der Probe sollte gereinigt werden, um Öl- oder Oxidschichten zu entfernen.

Die Archimedes-Methode erfordert eine Kalibrierung der Dichte der Flüssigkeit, um Luftblasen auszuschließen.

Die Röntgenmethode erfordert eine periodische Kalibrierung des Geräts, um die Standardprobe zu verifizieren.

Interpretation der Ergebnisse:

Dichten, die unter den theoretischen Werten liegen, können auf eine unzureichende Porosität oder Sinterbildung hinweisen.

Die Dichte von Wolframlegierungsstäben muss dem Legierungsverhältnis entsprechen, und die Abweichung kann auf eine ungleichmäßige Zusammensetzung zurückzuführen sein.

8.1.2 Härteprüfung von Wolframstäben (Vickers, Brinell)

Testzweck: Die Härte spiegelt die mechanische Festigkeit und Verschleißfestigkeit des Wolframstabs wider, und die Härte des reinen Wolframstabs beträgt etwa $350\text{--}450 \text{ HV}$ und die Härte des Wolframlegierungsstabs etwa $300\text{--}400 \text{ HV}$.

Nachweismethode:

Vickers-Härte (HV): Mit einem Diamant-Eindringkörper wird eine Last von $10\text{--}50 \text{ kgf}$ aufgebracht, die diagonale Länge des Eindrucks wird gemessen und die Härte berechnet. Geeignet für Stäbe mit kleinem Durchmesser oder hochpräzise Prüfungen.

Brinell-Härte (HB): $500\text{--}3000 \text{ kgf}$ wird mit einem Hartmetallkugel-Eindringkörper zur Messung des Eindringdurchmessers aufgebracht und ist für große Stäbe geeignet.

Operative Punkte:

Die Probe muss auf eine Spiegeloberfläche poliert werden, um Oberflächenfehler zu vermeiden, die das Ergebnis beeinträchtigen.

Die Vickers-Prüfung erfordert die Auswahl geeigneter Lasten, um zu verhindern, dass der Eindruck zu klein oder zu groß wird.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Der Brinell-Test stellt sicher, dass der Eindringkörper senkrecht zur Probe steht und über mehrere Messungen gemittelt wird.

Interpretation der Ergebnisse:

Zu viel Härte kann auf zu feine Körner oder zu viel Dotierung hinweisen.

Eine geringe Härte kann auf unzureichende Porosität oder Verarbeitungsspannung zurückzuführen sein.

8.1.3 Zugfestigkeits- und Zähigkeitsprüfung von Wolframstäben

Zweck: Um die Tragfähigkeit und das Bruchverhalten von Wolframstab unter Zugbelastung mit Zugfestigkeit und Zähigkeit zu bewerten, beträgt die Zugfestigkeit von reinem Wolframstab etwa 600–1000 MPa, und der Wolframlegierungsstab ist höher.

Nachweismethode:

Zugversuch: Mit einer universellen Materialprüfmaschine wird eine Wolframstabprobe (Standardgrößen wie 5 mm Durchmesser und 50 mm Länge) mit einer Geschwindigkeit von 0,5 – 1 mm/min gespannt und gedehnt sowie die Bruchlast und Dehnung erfasst.

Schlagprüfung: Die Schlagprüfmaschine Charpy wird verwendet, um die Schlagzähigkeit von Wolframstab bei niedriger Temperatur oder Raumtemperatur zu prüfen und die absorbierte Energie zu messen.

Operative Punkte:

Die Proben sollten gemäß den Normen (z. B. ASTM E8) bearbeitet werden, um Kratzer auf der Oberfläche zu vermeiden.

Für den Zugversuch muss die Umgebungstemperatur (23 ± 5 °C) geregelt und die Spannungs-Dehnungs-Kurve aufgezeichnet werden.

Der Schlagversuch erfordert die Auswahl eines geeigneten Kerbtyps (z. B. V-Form), um die Wiederholbarkeit zu gewährleisten.

Interpretation der Ergebnisse:

Eine unzureichende Zugfestigkeit kann auf innere Defekte oder eine zu hohe Korngröße hinweisen.

Eine geringe Zähigkeit kann auf eine unsachgemäße Dotierung oder ungleichmäßiges Sintern zurückzuführen sein, und der Prozess muss optimiert werden.

8.1.4 Prüfung der Wärmeausdehnung und Wärmeleitfähigkeit von Wolframstäben

Zweck: Der Wärmeausdehnungskoeffizient (ca. $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) und die Wärmeleitfähigkeit (ca. 170 W/m·K) beeinflussen die Dimensionsstabilität und Wärmeleitfähigkeit von Wolframstab in einer Umgebung mit hohen Temperaturen.

Nachweismethode:

Wärmeausdehnungstest: Der Wärmeausdehnungskoeffizient wird berechnet, indem die Änderung der Probenlänge im Bereich von 100–1000 °C mit einem thermischen Dilatometer (z. B. Dilatometer) gemessen wird.

Wärmeleitfähigkeitsprüfung: Mit dem Laser-Flash-Verfahren wird ein Ende des Wolframstabes

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

erwärmt, um die Wärmediffusionsrate zu messen und die Wärmeleitfähigkeit zu berechnen.

Operative Punkte:

Wärmeausdehnungstests werden in einer inerten Atmosphäre (z. B. Argon) durchgeführt, um eine Oxidation zu verhindern.

Die Prüfung der Wärmeleitfähigkeit erfordert eine Kalibrierung des Geräts, um die Genauigkeit anhand einer Standardprobe wie Kupfer zu überprüfen.

Die Probengröße sollte einheitlich sein (z. B. 10 mm Durchmesser, 2 mm Dicke).

Interpretation der Ergebnisse:

Ein hoher Wärmeausdehnungskoeffizient kann auf Verunreinigungen oder Legierungselemente hinweisen.

Eine geringe Wärmeleitfähigkeit kann auf eine ungleichmäßige Porosität oder Mikrostruktur zurückzuführen sein.

8.2 Analyse der chemischen Zusammensetzung von Wolframstäben

Die Analyse der chemischen Zusammensetzung stellt sicher, dass Wolframstäbe die Standards für Reinheit und Dotierungsgehalt erfüllen, und der Nachweis von Verunreinigungen ist entscheidend für die Leistung.

8.2.1 Spektroskopische Analyse (ICP-MS, RFA)

Zweck: Zur quantitativen Analyse der Gehalte an Wolfram, Dotierungsmitteln (wie Ce, La, Th) und Verunreinigungen (wie Fe, C, O) in Wolframstäben.

Nachweismethode:

Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS): Die Probe wird in einer sauren Lösung (z. B. Salpetersäure + Fluorwasserstoffsäure) gelöst und durch Plasmaanregung und Massenspektrometrie getrennt, um den Elementgehalt mit einer Empfindlichkeit von ppb zu detektieren.

Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA): Röntgenanregung der Probenoberfläche, Analyse von Fluoreszenzspektren, schnelle Bestimmung des Elementgehalts, geeignet für die zerstörungsfreie Analyse.

Operative Punkte:

ICP-MS erfordert hochreine Reagenzien und ein sauberes Labor (ISO-Klasse 5), um eine Kontamination zu vermeiden.

RFA poliert die Oberfläche der Probe, um sicherzustellen, dass sie flach ist, und kalibriert das Gerät, um die Genauigkeit zu verbessern.

Die beiden Methoden müssen kombiniert werden, wobei die ICP-MS für die Spurenelementverifizierung und die RFA für ein schnelles Screening verwendet werden muss.

Interpretation der Ergebnisse:

Ein Wolframgehalt unter dem Standard (z. B. 99,9 %) kann auf eine unzureichende Reinigung hinweisen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Abweichungen im Dotierungsgehalt können die Leistung des Lichtbogens oder die Stabilität bei hohen Temperaturen beeinträchtigen.

8.2.2 Nachweis von Spurenelementen und Verunreinigungen

Zweck: Spurenelemente (wie O, C, N) und Verunreinigungen (wie Fe, Si) können die Leistung von Wolframstäben verringern, die streng kontrolliert werden müssen.

Nachweismethode:

Inertgasschmelzmethode: Die Probe wird in Argon bei hoher Temperatur geschmolzen, um Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff freizusetzen, und mit einem Infrarot- oder Wärmeleitfähigkeitsdetektor mit einer Empfindlichkeit von ppm analysiert.

Glimmentladungs-Massenspektrometrie (GD-MS): Die Probenoberfläche wird durch Glimmentladung angeregt und die Spurenverunreinigungen werden mittels Massenspektrometrie analysiert, die für hochreine Wolframstäbe geeignet ist.

Operative Punkte:

Die Proben werden mit Ultraschall gereinigt, um Oberflächenverunreinigungen zu entfernen.

Das Inertgasschmelzverfahren erfordert hochreines Argon (99,999 %), das das Standardgas kalibriert.

GD-MS erfordert eine Vakuumumgebung (10^{-6} Pa) und regelmäßige Wartung und Entladeleistung.

Interpretation der Ergebnisse:

Ein hoher Sauerstoffgehalt kann zu einer Sprödigkeit bei hohen Temperaturen führen, und die Sinteratmosphäre muss optimiert werden.

Übermäßige Verunreinigungen können auf eine Kontamination der Rohstoffe zurückzuführen sein, und die Qualitätskontrolle muss verstärkt werden.

8.3 Gefügeanalyse von Wolframstäben

Die Gefügeanalyse zeigt die Korngröße, die Gleichmäßigkeit des Gefüges und die Defektverteilung von Wolframstäben, was sich auf die mechanischen und thermischen Eigenschaften auswirkt.

8.3.1 Mikroskopische Betrachtung (REM, TEM)

Zweck: Beobachtung der Oberflächenmorphologie, der Brucheigenschaften und der inneren Struktur von Wolframstäben sowie Identifizierung von Rissen, Poren oder Dotierungsverteilung.

Nachweismethode:

Rasterelektronenmikroskopie (REM): Abtasten der Oberfläche einer Probe mit einem Elektronenstrahl mit Nanometerauflösung, ausgestattet mit einem energiedispersiven Spektrometer (EDS) zur Analyse der Elementverteilung.

Transmissionselektronenmikroskopie (TEM): Der Elektronenstrahl durchdringt ultradünne Proben (<100 nm), um die Kristallstruktur und -versetzungen zu beobachten, die für hochauflösende Analysen geeignet sind.

Operative Punkte:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

REM-Proben müssen poliert oder gebrochen und mit Kohlenstoff oder Gold beschichtet werden, um die Leitfähigkeit zu verbessern.

TEM-Proben müssen mit ionisierter Verdünnung vorbereitet werden, um sie sauber zu halten und eine Kontamination zu vermeiden.

Das Mikroskop muss kalibriert werden, und die Vergrößerung und die Abbildungsbedingungen werden aufgezeichnet.

Interpretation der Ergebnisse:

REM zeigt Porosität oder Risse, die auf Sinter- oder Bearbeitungsfehler hinweisen.

Die TEM zeigt Anomalien der Dotieragglomeration oder der Korngrenze auf, die eine Optimierung des Mischprozesses erfordern.

8.3.2 Gleichmäßigkeit der Korngröße und des Gefüges

Zweck: Die Korngröße (typischerweise 10–50 μm) und die Homogenität des Gefüges beeinflussen die Festigkeit, Zähigkeit und Hochtemperaturleistung von Wolframstäben.

Nachweismethode:

Lichtmikroskopie: Die Probe wird poliert und chemisch geätzt (z. B. HNO_3 -Lösung), um die Korngrenzen zu beobachten und die durchschnittliche Korngröße zu messen.

Röntgenbeugung (XRD): Analysiert die Kristallorientierung und Korngröße, berechnet die Korngröße (nach der Scherrer-Formel).

Operative Punkte:

Die Korrosionszeit muss genau gesteuert werden (10-30 Sekunden), um übermäßige Korrosion zu vermeiden.

Die XRD erfordert eine hochreine Wolframstandardkalibrierung mit einem Abtastwinkel von 10–80°.

Verschiedene Bereiche werden mehrfach gemessen, um eine genaue Beurteilung der Gewebegleichmäßigkeit zu gewährleisten.

Interpretation der Ergebnisse:

Die Korngröße ist zu groß und die Festigkeit kann verringert werden, so dass die Sintertemperatur angepasst werden muss.

Unebenes Gewebe kann auf unsachgemäßes Pressen oder Dotieren zurückzuführen sein, und der Prozess muss optimiert werden.

8.4 Zerstörungsfreie Prüfung von Wolframstäben

Die zerstörungsfreie Prüfung (NDT) wird verwendet, um Innen- und Oberflächenfehler von Wolframstäben zu bewerten, die Integrität der Probe zu erhalten und eignet sich für die Qualitätskontrolle.

CTIA GROUP LTD
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

8.4.1 Ultraschallprüfung

Zweck: Erkennung der inneren Poren, Risse oder Einschlüsse von Wolframstäben, um die strukturelle Integrität zu gewährleisten.

Nachweismethode:

Mit Hilfe eines Ultraschallprüfgeräts wird 5–10 MHz Ultraschall abgestrahlt, das reflektierte Signal empfangen und die Lage und Größe des Fehlers analysiert.

Eine Längs- oder Scherwellensonde in Kombination mit einem Wasserkoppler tastet die gesamte Länge des Stabes ab.

Operative Punkte:

Die Oberfläche der Probe sollte flach sein, sauber sein und Öl entfernen.

Die Sonde muss kalibriert werden, um die Empfindlichkeit anhand einer defekten Standardprobe zu überprüfen.

Die Höhe und Position des Fehlerechos werden aufgezeichnet und der C-Scan wird geplottet.

Interpretation der Ergebnisse:

Starke Echos weisen auf große Defekte (z. B. Porosität > 0,5 mm) hin, die nachbearbeitet werden müssen.

Kontinuierliche Echos können von lamellenförmigen Rissen stammen und müssen zur Überprüfung in Scheiben geschnitten werden.

8.4.2 Röntgenprüfung

Zweck: Zur Identifizierung der inneren Poren, Einschlüsse oder Risse von Wolframstäben, die für großformatige Stangen geeignet sind.

Nachweismethode:

Mit einem industriellen Röntgengerät (100–300 kV) wird ein Wolframstab durchdrungen, ein Transmissionsbild aufgenommen und das Fehlverhalten analysiert.

Arbeiten Sie mit digitaler Bildgebung (DR) oder Computertomographie (CT) zusammen, um die Auflösung zu verbessern.

Operative Punkte:

Er muss vor Strahlung geschützt werden, und für den Betrieb ist eine berufliche Qualifikation erforderlich.

Passen Sie die Röntgenenergie an, um das Eindringen dicker Proben (>20 mm) zu gewährleisten.

Kalibriert mit Standard-Fehlerproben wurden die Graustufenwerte der Bilder aufgezeichnet.

Interpretation der Ergebnisse:

Dunkle Bereiche weisen auf Porosität oder Einschlüsse hin und müssen in Verbindung mit Ultraschall überprüft werden.

Die CT-Rekonstruktion quantifiziert das Fehlervolumen und leitet die Qualitätsbewertung.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

8.4.3 Prüfung von Magnetpulvern

Testzweck: Um die Oberfläche und oberflächennahe Risse von Wolframlegierungsstäben (z. B. W-Ni-Fe) zu erkennen, ist reiner Wolframstab aufgrund des Nichtmagnetismus nicht geeignet.

Nachweismethode:

Ein Magnetfeld (AC oder DC) wird an ein Magnetisierungsgerät angelegt, fluoreszierende magnetische Partikel werden versprüht und magnetische Spuren werden unter einer UV-Lampe beobachtet.

Längs- oder Quermagnetisierung, um Risse in verschiedenen Richtungen zu erkennen.

Operative Punkte:

Die Oberfläche der Probe muss gereinigt und der Magnetisierungsstrom entsprechend dem Durchmesser (500–2000 A) angepasst werden.

Das magnetische Partikel sollte gleichmäßig versprüht werden, und die Beobachtungszeit sollte auf 1–2 Minuten gesteuert werden.

Die Länge und Verteilung der magnetischen Markierungen werden aufgezeichnet und Fotos für die Archivierung aufgenommen.

Interpretation der Ergebnisse:

Lineare magnetische Markierungen weisen auf Oberflächenrisse hin, die poliert oder nachbearbeitet werden müssen.

Dichte magnetische Markierungen können auf Bearbeitungsspannungen zurückzuführen sein und müssen durch Wärmebehandlung beseitigt werden.

8.5 Leistungsnachweis von Wolframstäben

Leistungsüberprüfungstests simulieren reale Betriebsbedingungen, um die Leistung von Wolframstäben in Hochtemperatur-, korrosiven und elektrischen Umgebungen zu bewerten.

8.5.1 Leistungstest bei hohen Temperaturen

Zweck: Bewertung der Oxidation, des Kriechens und der Festigkeit von Wolframstäben bei hohen Temperaturen (1000–2500 °C) für Luft- und Raumfahrt- und Ofenanwendungen.

Nachweismethode:

Hochtemperatur-Zugversuch: Die Zugfestigkeit wird mit einer Hochtemperaturprüfmaschine geprüft, indem die Probe in einem Vakuum- oder Argonofen auf eine bestimmte Temperatur erhitzt wird.

Zeitstandversuch: Es wird eine konstante Last (z. B. 100 MPa) aufgebracht, die Verformung wird für 100–1000 Stunden aufgezeichnet und die Kriechgeschwindigkeit berechnet.

Operative Punkte:

Es muss durch hochreines Argongas (99,999 %) geschützt werden, um eine Oxidation zu verhindern. Die Proben müssen eine Standardgröße haben (z. B. 5 mm Durchmesser) und die Halterungen sollten aus Molybdän oder Keramik bestehen.

Die Genauigkeit der Temperaturregelung beträgt ± 10 °C und die Dehnungskurve wird

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

aufgezeichnet.

Interpretation der Ergebnisse:

Die Verschlechterung der Festigkeit bei hohen Temperaturen kann auf das Kornwachstum zurückzuführen sein und erfordert ein optimiertes Sintern.

Eine zu hohe Kriechrate kann auf eine unzureichende Dotierung hinweisen und die Formulierung muss angepasst werden.

8.5.2 Prüfung der Korrosionsbeständigkeit

Testzweck: Bewertung der Korrosionsbeständigkeit von Wolframstäben in sauren, alkalischen oder hochtemperaturigen Gasumgebungen, geeignet für chemische und Elektrodenanwendungen.

Nachweismethode:

Tauchtest: Der Gewichtsverlust wird gemessen, indem die Probe 24–168 Stunden lang in ein korrosives Medium (z. B. 10 % HNO₃ oder NaOH) bei einer konstanten Temperatur (25–80 °C) getaucht wird.

Gaskorrosionstest: Einwirkung von oxidierenden oder vulkanisierenden Atmosphären (z. B. O₂, H₂S) in einem Hochtemperaturofen zur Aufzeichnung von Oberflächenveränderungen.

Operative Punkte:

Die Probe sollte gewogen werden (Genauigkeit ± 0,0001 g) und die Oberfläche gleichmäßig poliert werden.

Das korrosive Medium muss regelmäßig ausgetauscht werden, um eine stabile Konzentration zu gewährleisten.

Bei Gastests ist die Kontrolle der Durchflussmenge (0,1–1 l/min) und der Luftfeuchtigkeit erforderlich.

Interpretation der Ergebnisse:

Ein Gewichtsverlust von >0,1 % deutet auf eine unzureichende Korrosionsbeständigkeit hin und erfordert eine verbesserte Rezeptur.

Die Dicke der Oxidschicht auf der Oberfläche kann auf Verunreinigungen zurückzuführen sein und muss für die Reinigung optimiert werden.

8.5.3 Leitfähigkeits- und Zeitstandversuch

Testzweck: Leitfähigkeit (ca. 18 % IACS) und Kriechfestigkeit sind Schlüsseigenschaften von Elektroden und Hochtemperaturkomponenten, die die Stabilität und Lebensdauer des Lichtbogens beeinflussen.

Nachweismethode:

Leitfähigkeitsprüfung: Bei der Vier-Sonden-Methode wird ein konstanter Strom angelegt, der Spannungsabfall gemessen und die Leitfähigkeit berechnet.

Kriechfestigkeitsprüfung: Ähnlich wie die Hochtemperatur-Kriechprüfung, jedoch mit Schwerpunkt auf dotierten Wolframstäben (wie WC20) zur Prüfung der Verformung in Lichtbogenumgebungen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Operative Punkte:

Die Leitfähigkeitsprüfung erfordert einen guten Kontakt und die Sonde ist aus Kupfer oder Silber. Kriechfestigkeitsprüfungen simulieren Schweißbedingungen (z. B. 6000 °C Lichtbogen) und erfassen das Ausmaß der Verformung.

Die Proben werden mehrfach getestet und gemittelt.

Interpretation der Ergebnisse:

Die geringe Leitfähigkeit kann auf eine ungleichmäßige Verteilung des Dotierungsmittels zurückzuführen sein.

Eine unzureichende Kriechbeständigkeit kann auf eine unzureichende Dotierung von Seltenen Erden und die Notwendigkeit einer optimalen Durchmischung hinweisen.

8.6 Wichtige Punkte für die Erkennung verschiedener Arten von Wolframstäben

Verschiedene Arten von Wolframstäben (reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe, dotierte Wolframstäbe) haben aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzungen und Verwendungen unterschiedliche Nachweisschwerpunkte.

8.6.1 Detektion von reinen Wolframstäben

Wichtige Punkte der Erkennung:

Physikalische Eigenschaften: Dichte ($\geq 19,0 \text{ g/cm}^3$), Härte (350–450 HV) und Zugfestigkeit, um eine hohe Temperaturstabilität zu gewährleisten.

Chemische Zusammensetzung: Wolframgehalt $\geq 99,9\%$, Sauerstoff, Kohlenstoff und andere Verunreinigungen $< 100 \text{ ppm}$, um Sprödigkeit bei hohen Temperaturen zu verhindern.

Zerstörungsfreie Prüfung: Ultraschalldetektion der inneren Poren, Röntgenprüfung der Qualität großer Stäbe.

Anwendbare Szenarien:

Kernstab- und Gegengewichtsteile für Quarzöfen erfordern niedrige Kosten und stabile Leistung.

Wichtige Punkte:

Für die Dichtepfung wird bevorzugt die Archimedes-Methode eingesetzt, die kostengünstig ist. Bei der Störstoffdetektion muss auf den Sauerstoffgehalt geachtet und die Sinteratmosphäre optimiert werden.

Die zerstörungsfreie Prüfung erstreckt sich über die gesamte Charge, um die Konsistenz zu gewährleisten.

8.6.2 Detektion von hochreinen Wolframstäben

Wichtige Punkte der Erkennung:

Chemische Zusammensetzung: Wolframgehalt $\geq 99,95 \%$, Spurenverunreinigungen (z. B. O, N) $< 30 \text{ ppm}$, mittels ICP-MS und GD-MS.

Mikrostruktur: REM und TEM beachten die Korngröße (5–15 μm) und die Dotierungsverteilung, um die Sauberkeit zu gewährleisten.

Leistungsüberprüfung: Leitfähigkeits- und Korrosionsbeständigkeitsprüfung, um die Halbleiteranforderungen zu erfüllen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anwendbare Szenarien:

Sputtertargets und Medizinprodukte erfordern eine hohe Reinheit und saubere Produktion.

Wichtige Punkte:

Der Test sollte in einem Reinraum (ISO-Klasse 5) durchgeführt werden, um eine Kontamination zu vermeiden.

Die Spurenelementanalytik erfordert hochempfindliche Instrumente und eine regelmäßige Kalibrierung.

Leistungstests simulieren reale Betriebsbedingungen, wie z. B. eine Vakuumumgebung.

8.6.3 Detektion von dotierten Wolframstäben

Wichtige Punkte der Erkennung:

Chemische Zusammensetzung: Der Gehalt an Dotierstoffen (z. B. 2 % CeO_2 , La_2O_3) ist einheitlich, und Thorium-dotierte Stäbchen müssen radioaktiv nachgewiesen werden.

Leistungsüberprüfung: Prüfung der Leitfähigkeit und Lichtbogenstabilität mit einer Lichtbogenprüfmaschine zur Simulation des Schweißens.

Mikrostruktur: REM-EDS zur Analyse der Dotierungsverteilung, XRD zur Überprüfung der Kristallorientierung.

Anwendbare Szenarien:

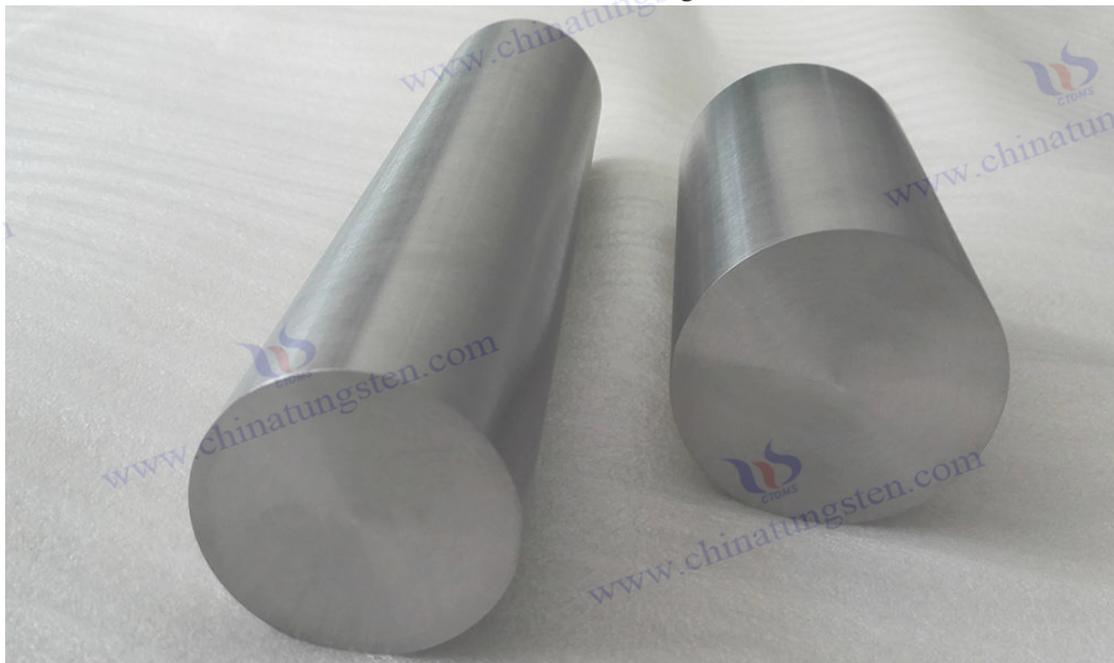
Schweißelektroden und Hochtemperatur-Ofenkomponenten erfordern eine hervorragende Lichtbogenleistung.

Wichtige Punkte:

Die Lichtbogenprüfung erfordert gängige Schweißbedingungen und zeichnet die Ausbrennrate auf.

Die ungleichmäßige Verteilung des Dotierungsmittels erfordert einen optimierten Mischprozess.

Die Detektion von thoriumdotierten Wolframstäben unterliegt den Radioaktivitätsvorschriften.



Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 9 Status und Entwicklungstrend der Wolframstabindustrie

Als strategisches Refraktärmetallmaterial spielt Wolframstab aufgrund seines hohen Schmelzpunkts, seiner hohen Dichte und seiner hervorragenden mechanischen Eigenschaften eine unersetzliche Rolle in der Luft- und Raumfahrt, Elektronik, beim Schweißen und im Militär. In den letzten Jahren hat der globale Markt für Wolframstäbe einen rasanten Wachstumstrend gezeigt, der durch Veränderungen bei Angebot und Nachfrage, technologischen Fortschritt und Umweltschutzmaßnahmen angetrieben wird. In diesem Kapitel wird der chinesische und internationale Wolframstabmarkt analysiert, technologische Entwicklungstrends (neue Materialien, umweltfreundliche Fertigung, intelligente Produktion) erörtert und die Herausforderungen und Chancen der Branche bewertet (technologische Engpässe, Marktwettbewerb, nachhaltige Entwicklung).

9.1 Überblick über den Markt für Wolframstäbe in China

China ist die weltweit größte Wolframressource und der größte Hersteller von Wolframstäben, der Markt expandiert rasant und das Angebots- und Nachfragemuster wird durch politische Regulierung und nachgelagerte Nachfrage bestimmt.

9.1.1 Analyse von Marktnachfrage und -angebot

Marktnachfrage:

Die Marktnachfrage nach Wolframstäben in China stammt hauptsächlich aus den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Elektronikfertigung, Schweißen und Hartmetallwerkzeuge.

Luft- und Raumfahrt: Wolframstäbe werden für Hochtemperaturkomponenten (z. B. Düsenauskleidungen) und Gegengewichte verwendet, die von inländischen Großflugzeugen (z. B. C919) und Luft- und Raumfahrtprogrammen (z. B. Raumstationen) angetrieben werden, wobei die Nachfrage stetig wächst.

Elektronikfertigung: Hochreine Wolframstäbe sind ein Schlüsselmaterial für Halbleiter-Sputtertargets und -Elektroden, und mit der Lokalisierung von Chips und der Entwicklung von 5G-Geräten ist die Nachfrage sprunghaft angestiegen.

Schweißen und Schneiden: Dotierte Wolframstäbe (z. B. WC20, WT20) werden häufig beim WIG-Schweißen und Plasmaschneiden verwendet und profitieren von der Automobil-, Schifffahrts- und Bauindustrie, und der Markt expandiert weiter.

Wolframkarbid: Als Rohstoff für Hartmetallwerkzeuge wird Wolframstab durch die Nachfrage nach CNC-Werkzeugmaschinen und High-End-Fertigung angetrieben und macht einen bedeutenden Marktanteil aus.

Analyse des Angebots:

Ressourcenvorteil: Chinas Wolframreserven machen 51 % der Weltproduktion aus, die Hauptproduktionsgebiete sind Jiangxi, Hunan und Henan.

Produktionskapazität: Große inländische Unternehmen verfügen über eine komplette Industriekette, die vom Wolframerzabbau bis zur Stabverarbeitung reicht, mit einer hohen Konzentration von Produktionskapazitäten.

Politische Regulierung: Die Regierung schränkt den Wolframabbau durch Exportquoten und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Umweltschutzmaßnahmen ein und verstärkt ab 2023 die Verwendung von recyceltem Wolfram, um Reformen auf der Angebotsseite zu fördern.

Herausforderung: Schwankende Rohstoffpreise und steigende Umweltschutzkosten drücken die Gewinne kleiner und mittlerer Unternehmen, und hochwertige Wolframstäbe (z. B. hochreine und nanoskalige Stäbe) sind nach wie vor auf Importe angewiesen.

Trendprognose:

Es wird erwartet, dass die Marktnachfrage mit einer durchschnittlichen jährlichen Rate von 5-7 % wachsen wird, und die High-End-Fertigung und neue Energien (wie Photovoltaik und Windkraft) werden zu neuen Wachstumspunkten.

Das Angebot wird sich auf Produkte mit hoher Wertschöpfung verlagern, und KMU werden ihre Technologie aufrüsten müssen, um dem Kostendruck gerecht zu werden.

9.2 Überblick über den internationalen Markt für Wolframstäbe

Der globale Wolframstabmarkt ist hart umkämpft, wobei China das Angebot anführt, Europa, die Vereinigten Staaten, Japan und Südkorea die High-End-Nachfrage dominieren und die Umstrukturierung der Lieferkette und die Geopolitik die Marktstruktur beeinflussen.

9.2.1 Wichtige Ausfuhrländer und -regionen

Status der Ausfuhr:

Chinas Wolframexporte erreichten im Jahr 2022 24.900 Tonnen und stellten damit das weltweit dominierende Angebot dar, hauptsächlich nach Japan (23 %), Südkorea (19 %), Europa (35 %) und in die Vereinigten Staaten (11 %).

Produktstruktur: Die Exporte werden von Wolframstäben in Rohmaterialqualität und Produkten mit geringer Wertschöpfung dominiert, und Hartmetallstäbe machen 8,9 Tausend Tonnen aus, was einem Anstieg von 7,23 % gegenüber dem Vorjahr entspricht.

Export-Trends:

Wachstumsgetrieben: Die Exporte werden durch die gestiegene Nachfrage in den Bereichen Luft- und Raumfahrt und Verteidigung in Europa und den Vereinigten Staaten angetrieben, insbesondere nach Stäben aus Wolframlegierungen.

Regionale Veränderungen: Die Exporte nach Europa und in die Vereinigten Staaten werden im Jahr 2022 um 18,03 % bzw. 46,75 % steigen, während die Exporte nach Japan und Südkorea zurückgehen werden, was die Anpassung der globalen Industriekette widerspiegelt.

Herausforderung: Handelskonflikte und Exportquoten schränken den Export von Low-End-Produkten ein, und der High-End-Markt wird von europäischen und amerikanischen Unternehmen besetzt, mit geringer Wertschöpfung.

9.2.2 Importabhängigkeit und Status der Lieferkette

Abhängigkeit vom Import:

China: Hochwertige Wolframstäbe (z. B. hochreine Wolframstäbe, dotierte Elektroden) sind teilweise von Importen abhängig, wobei die Einfuhren etwa 90 % der Ausfuhren ausmachen, hauptsächlich aus den Vereinigten Staaten, Deutschland und Japan, was den technologischen Rückstand widerspiegelt.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Europa und die Vereinigten Staaten: Da China auf Chinas Wolframrohstoffe angewiesen ist, entfielen im Jahr 2022 83 % des weltweiten Wolframerzangebots, und die Entwicklung lokaler Minen in Europa und den Vereinigten Staaten verläuft langsam, was es schwierig macht, kurzfristig autark zu sein.

Japan und Südkorea: Stark abhängig von Chinas Wolframstabimporten, die für den Export von Produkten mit hoher Wertschöpfung (z. B. Halbleiterziele) verarbeitet werden.

Status der Lieferkette:

Konzentrationsrisiko: Die globale Wolfram-Lieferkette ist stark von China abhängig, und das Risiko einer Unterbrechung der Lieferkette ist aufgrund der Geopolitik und der Pandemie gestiegen.

Umstrukturierungsversuche: Europa und die Vereinigten Staaten beschleunigen die Entwicklung von Wolframminen in Übersee (wie Australien und Vietnam), aber Kapital- und Kostenbeschränkungen begrenzen den Fortschritt, und Chinas Dominanz ist kurzfristig stabil.

Recyceltes Wolfram: Die weltweite Recyclingquote von Wolframschrott ist auf 30 % gestiegen, und Europa, die Vereinigten Staaten und China haben die Industriekette für recyceltes Wolfram gefördert, um die Abhängigkeit von Rohstoffen zu verringern.

Trendprognose:

Die globalen Lieferketten werden sich diversifizieren, wobei Vietnam und Australien wahrscheinlich als aufstrebende Lieferanten hervorgehen werden, während China dominant bleiben wird.

Die Importländer werden die Forschung und Entwicklung von High-End-Wolframstäben verstärken, um ihre Abhängigkeit von Chinas Technologie zu verringern.

9.3 Technologieentwicklungstrend bei Wolframstäben

Technologische Fortschritte treiben den Wandel der Wolframstabindustrie hin zu hoher Leistung, niedrigen Kosten und Nachhaltigkeit voran, die Materialien, Prozesse und Produktionsmethoden umfassen.

9.3.1 Neue Werkstoffe und Legierungstechnologien

Technische Leitung:

Hochreiner Wolframstab: Die Reinheit wurde durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) und Plasmasintern (SPS) auf 99,99 % erhöht, um die Anforderungen der Halbleiter- und Luft- und Raumfahrt zu erfüllen.

Dotierungsoptimierung: Entwicklung von nicht-Thorium-dotierten Wolframstäben (z.B. W-La₂O₃, W-CeO₂) zur Verbesserung der Lichtbogenstabilität und des Umweltschutzes sowie Ersatz radioaktiver WT20-Elektroden.

Wolframlegierung: Forschung und Entwicklung von hochdichten Legierungen wie W-Ni-Fe und W-Cu zur Optimierung von Festigkeit und Leitfähigkeit, die im Militär und in der Elektronik eingesetzt werden.

Nanotechnologie: Nanokristalline Wolframstäbe werden durch Kugelfräsen und SPS vorbereitet, und die Korngröße wird auf 5–10 µm reduziert, wodurch die Zähigkeit und die Leistung bei hohen Temperaturen verbessert werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Fortschritte und Herausforderungen:

Fortschritt: Chinesische Unternehmen wie Xiamen Tungsten haben die Lokalisierung einiger hochreiner Wolframstäbe realisiert, und die Forschung und Entwicklung von Nano-Wolframstäben ist in die Pilotphase eingetreten.

Herausforderung: Die Kosten für die Raffination von hochreinen Produkten und die Nanoverarbeitung sind hoch, die Ausrüstung hängt von Importen ab und die Kerntechnologie muss durchbrochen werden.

Trendprognose:

Nicht-Thorium-dotierte und Nano-Wolfram-Stäbe werden mit einem Marktanteil von 40 % bis 2030 zum Mainstream werden.

Die Legierungstechnologie wird sich auf Multifunktionalität konzentrieren, um den neuen Energie- und Verteidigungsanforderungen gerecht zu werden.

9.3.2 Umweltfreundliche Fertigung und energiesparende Technologien

Technische Leitung:

Verwertung von recyceltem Wolfram: Wolframabfälle werden durch Hydrometallurgie und Elektrolyse zurückgewonnen, um die Abhängigkeit vom Roherzabbau zu verringern, und die Rückgewinnungsrate soll bis 2030 50 % erreichen.

Niedrigenergie-Sintern: Mikrowellensintern und SPS-Technologie werden eingesetzt, um die Sinterzeit (5-15 Minuten) zu verkürzen und den Energieverbrauch um 30 % zu senken.

Sauberere Produktion: Entwicklung eines fluorfreien Reinigungsverfahrens, um den Einsatz von Flusssäure zu reduzieren und die Abwassereinleitung zu reduzieren.

Abgasnachbehandlung: Ausgestattet mit hocheffizienten Entstaubungs- und Entschwefelungssystemen, um Emissionsnormen (z. B. $SO_2 < 50 \text{ mg/m}^3$) zu erfüllen.

Fortschritte und Herausforderungen:

Fortschritt: China hat Maßnahmen zur Unterstützung der Recyclingwolframindustrie eingeführt, wobei die Produktion von recyceltem Wolfram im Jahr 2023 20 % des Gesamtangebots ausmachen wird.

Herausforderung: Die Anfangsinvestitionen in grüne Technologien sind hoch, was sich kleine und mittlere Unternehmen nur schwer leisten können und politische Subventionen benötigen.

Trendprognose:

Die umweltfreundliche Fertigung wird zur Einstiegsschwelle der Branche, und es wird erwartet, dass die Durchdringungsrate energiesparender Technologien bis 2030 80 % erreichen wird.

Recyceltes Wolfram wird mehr als 30 % des weltweiten Angebots ausmachen und den Druck auf die Ressourcen verringern.

9.3.3 Intelligente und automatisierte Produktion

Technische Leitung:

Intelligente Steuerung: SPS- und SCADA-Systeme werden verwendet, um Sinter-, Schmiede- und Verarbeitungsparameter in Echtzeit zu überwachen und so die Konsistenz zu verbessern.

Automatisierungsausrüstung: Die Einführung der CNC-Rotationsknetmaschine, der automatischen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Ziehmaschine und der Roboter Montagelinie hat die Produktionseffizienz um 20 % gesteigert.

Digitaler Zwilling: Erstellen Sie ein digitales Modell der Wolframstabproduktion, um Prozessparameter zu optimieren und Trial-and-Error-Kosten zu reduzieren.

Rückverfolgbarkeit der Qualität: Erfassen Sie die Daten der gesamten Kette von den Rohstoffen bis zu den fertigen Produkten durch die Blockchain-Technologie, um eine kontrollierbare Qualität zu gewährleisten.

Fortschritte und Herausforderungen:

Fortschritt: Führende chinesische Unternehmen haben intelligente Produktionslinien mit einer Automatisierungsrate von 50 % im Jahr 2023 eingeführt.

Herausforderungen: Die hohen Kosten für intelligente Geräte, die geringe Durchdringungsrate kleiner und mittlerer Unternehmen und der Mangel an technischen Talenten.

Trendprognose:

Im Jahr 2030 wird erwartet, dass die Automatisierungsrate der chinesischen Wolframdrahtindustrie 70 % erreichen wird, und Intelligenz wird die Wettbewerbslandschaft neu gestalten.

Digitale Zwillinge und die Rückverfolgbarkeit von Qualität werden im High-End-Markt zum Standard.

9.4 Herausforderungen und Chancen von Wolframstäben

Die Wolframstabindustrie steht bei der rasanten Entwicklung vor vielfältigen Herausforderungen in Technik, Markt und Umweltschutz und birgt gleichzeitig riesige Chancen.

9.4.1 Technische Engpässe und Durchbrüche

Herausforderung:

High-End-Technologielücke: Die Kernausrüstung von hochreinem Wolframstab und Nano-Wolframstab (z. B. SPS-Ofen) hängt von Importen ab, was hohe Kosten verursacht und die Lokalisierung einschränkt.

Gleichmäßigkeit der Dotierung: Die ungleichmäßige Verteilung der Seltenerd-dotierungen wirkt sich auf die Lichtbogenleistung aus, und der Mischprozess muss verbessert werden.

Unzureichende FuE-Investitionen: Kleine und mittlere Unternehmen verfügen nur über begrenzte FuE-Mittel, und es ist schwierig, Schlüsseltechnologien zu durchbrechen.

Gelegenheit:

Beschleunigung der Lokalisierung: Der nationale "14. Fünfjahresplan" unterstützt die Forschung und Entwicklung neuer Wolframmaterialien, und es wird erwartet, dass die Lokalisierungsrate von hochreinen Wolframstäben im Jahr 2025 80 % erreichen wird.

Zusammenarbeit zwischen Industrie, Hochschule und Forschung: Hochschulen und Unternehmen gehen gemeinsam zentrale Probleme an, um den Technologiewandel zu beschleunigen.

Politische Unterstützung: Die Regierung stellt FuE-Subventionen und steuerliche Anreize bereit, um die Innovationskosten zu senken.

Bewältigungsstrategien:

Intensivierung der Forschung und Entwicklung von Kernausrüstungen und Durchbruch aus der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Abhängigkeit von Importen.

Aufbau einer Forschungsplattform aus Industrie, Universität und Universität, um die Iteration von Technologien zu beschleunigen.

Optimieren Sie den Dotierungsprozess und verbessern Sie die Produktleistung.

9.4.2 Marktwettbewerb und Globalisierung

Herausforderung:

Internationaler Wettbewerb: Europäische und amerikanische Unternehmen dominieren den High-End-Markt, während chinesische Unternehmen Produkte mit geringer Wertschöpfung dominieren.

Handelshemmnisse: Die Vereinigten Staaten und Europa haben Zölle auf Wolframprodukte verhängt, die die Wettbewerbsfähigkeit der Exporte beeinträchtigen.

Industrielle Konzentration: Kleine und mittlere Unternehmen sind technologisch rückständig und laufen Gefahr, übernommen oder vernichtet zu werden.

Gelegenheit:

Globale Nachfrage: Die Nachfrage nach Luft- und Raumfahrt, Halbleitern und neuen Energien wächst, und es wird erwartet, dass der Weltmarkt bis 2030 Milliarden von Dollar erreichen wird.

"One Belt, One Road": Chinesische Unternehmen können den Markt in Südostasien und Afrika erweitern und Technologie und Produktionskapazitäten exportieren.

Markenaufbau: Es wird erwartet, dass chinesische Unternehmen durch technologische Modernisierung einen Platz im mittleren bis oberen Markt einnehmen werden.

Bewältigungsstrategien:

Steigern Sie die Wertschöpfung von Produkten und entwickeln Sie hochreine und dotierte Wolframstäbe.

Stärkung der internationalen Zusammenarbeit und Umgehung von Handelshemmnissen.

Fördern Sie die industrielle Integration und verbessern Sie die Konzentration.

9.4.3 Anforderungen an Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung

Herausforderung:

Druck auf den Umweltschutz: Beim Wolframabbau und bei der Verhüttung fallen Abwässer und Abgase an, die Kosten für den Umweltschutz machen 20 % der Produktionskosten aus.

Ziel der Klimaneutralität: Um bis 2030 einen Höchststand der CO₂-Emissionen zu erreichen, müssen Unternehmen den Energieverbrauch senken, und traditionelle Prozesse sind nur schwer zu erfüllen.

Radioaktivitätsmanagement: Thorium-dotierte Wolframstäbe müssen streng kontrolliert werden, was die Kosten für die Einhaltung der Vorschriften erhöht.

Gelegenheit:

Grüner Markt: Die Nachfrage nach umweltfreundlichen Wolframstäben (z. B. Nicht-Thorium-Elektroden) wächst, und die Marktaussichten sind breit gefächert.

Potenzial für recyceltes Wolfram: Die Technologie zum Recycling von Wolframabfällen ist ausgereift und die Kosten sind niedriger als die des Roherzabbaus.

Politische Dividenden: Die Regierung subventioniert grüne Produktionsprojekte, um die Kosten der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Transformation zu senken.

Bewältigungsstrategien:

Förderung von recyceltem Wolfram und Niedrigenergie-Technologie, um die Kosten für den Umweltschutz zu senken.

Entwicklung von nicht-Thorium-dotierten Elektroden zur Erfüllung von Umweltvorschriften.

Einrichtung eines CO₂-Fußabdruck-Managements, um dem Ziel der Klimaneutralität gerecht zu werden.



CTIA GROUP LTD Wolframstäbe

CTIA GROUP LTD
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 10 Schlussfolgerungen

Als hochleistungsfähiges Refraktärmetall spielt Wolframstab aufgrund seiner hervorragenden physikalischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften eine unersetzliche Rolle in der Luft- und Raumfahrt, in der Elektronik, beim Schweißen, in der Militärindustrie und in neuen Energiebereichen. Dieses Kapitel fasst den Kernwert und die Anwendungsaussichten von Wolframstab zusammen, freut sich auf seine zukünftige Entwicklungsrichtung, macht Vorschläge für die Entwicklung der Industrie und reflektiert die Grenzen und zukünftigen Forschungsaussichten dieser Forschung.

10.1 Der Kernwert und die Anwendungsperspektive von Wolframstäben

Kernwerte:

Wolframstab hat sich aufgrund seines hohen Schmelzpunkts, seiner hohen Dichte, seiner hervorragenden Härte und seiner hohen Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit zu einem Vertreter der wichtigsten Industriematerialien entwickelt. Seine Kernwerte spiegeln sich in folgenden Aspekten wider:

Hohe Leistungsgarantie: Der Wolframstab bleibt in extremen Umgebungen (z. B. hohe Temperaturen, hoher Druck, Lichtbogen) stabil und erfüllt die hohen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt (z. B. Düsenauskleidung), der Halbleiterindustrie (Sputtertarget) und des Militärs (panzerbrechender Geschosskern).

Funktionsvielfalt: Reine Wolframstäbe, hochreine Wolframstäbe und dotierte Wolframstäbe (z. B. WC20 und WL20) dienen unterschiedlichen Szenarien, die Dotierungsoptimierung verbessert die Lichtbogenleistung, das Legieren erhöht die Festigkeit und Leitfähigkeit.

Strategische Bedeutung: Wolfram ist eine knappe strategische Ressource, die Wolframdrahtindustrie umfasst nationale Sicherheit und High-End-Fertigung, und die globale Lieferkette hängt von China ab (83 % der Produktion), was ihren geoökonomischen Wert unterstreicht.

Nachhaltiges Potenzial: Fortschritte in der Technologie für recyceltes Wolfram und umweltfreundliche Herstellungsprozesse reduzieren den Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung und verbessern die langfristige Wettbewerbsfähigkeit der Branche.

Anwendungsperspektiven:

Luft- und Raumfahrt: Mit der Weiterentwicklung globaler Raumfahrtprogramme (wie der chinesischen Raumstation und dem Raumschiff von SpaceX) wird die Nachfrage nach Wolframstäben für Hochtemperaturkomponenten und Gegengewichte weiter steigen, und es wird erwartet, dass der Marktanteil bis 2030 auf 20 % steigen wird.

Elektronik und Halbleiter: 5G, KI-Chips und Quantencomputer treiben die Nachfrage nach hochreinen Wolframstäben in die Höhe, und es wird erwartet, dass der Markt für Sputtertargets und -elektroden mit einer durchschnittlichen jährlichen Rate von 8 % wachsen wird.

Neue Energie: Die Anwendung von Wolframstäben in der Photovoltaik (monokristalline Silizium-Klemmstangen) und Windkraft (hochfeste Komponenten) hat sich ausgeweitet, profitiert vom globalen Ziel der Klimaneutralität, und das Marktpotenzial ist erheblich.

Schweißen & Fertigung: Dotierte Wolframelektroden sind in der Automobil-, Schiffbau- und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Bauindustrie weit verbreitet, und die Nachfrage wächst stetig mit der Modernisierung der High-End-Fertigung.

Militär & Medizin: Die Nachfrage nach Stäben aus Wolframlegierungen in panzerbrechenden Kernen und Strahlenschutzteilen wird durch die weltweite Modernisierung der Verteidigung und die Erneuerung medizinischer Geräte angetrieben, und die Marktaussichten sind robust.

10.2 Zukünftige Entwicklungsrichtung von Wolframstäben

Technologische Innovation:

Hohe Reinheit und Nanotechnologie: Verbesserung der Reinheit von Wolframstäben auf mehr als 99,99 % und Entwicklung von nanokristallinen Wolframstäben (Korngröße 5–10 µm) zur Verbesserung der Zähigkeit und Hochtemperaturleistung, um die Anforderungen der Halbleiter- und Luft- und Raumfahrt zu erfüllen.

Nicht-Thorium-dotierte Elektroden: Forschung und Entwicklung von umweltfreundlichen dotierten Wolframstäben (z. B. W-La₂O₃, W-CeO₂) als Ersatz für radioaktive WT20-Elektroden zur Verbesserung der Lichtbogenstabilität und Marktakzeptanz.

Neue Wolframlegierung: Optimieren Sie die Formel von W-Ni-Fe, W-Cu und anderen Legierungen, gleichen Sie Festigkeit, Leitfähigkeit und Umweltschutz aus und erweitern Sie militärische und elektronische Anwendungen.

Umweltfreundliche Fertigung: Förderung von Mikrowellensintern, Plasmasintern (SPS) und fluorfreien Reinigungsprozessen, Reduzierung des Energieverbrauchs um 30 % und Reduzierung von Abwasser- und Abgasemissionen.

Intelligente Produktion: Integrieren Sie digitale Zwillinge, SPS-Steuerung und Blockchain-Rückverfolgbarkeitstechnologie, um die Produktionseffizienz um 20 % zu verbessern und ein Qualitätsmanagement über die gesamte Kette zu erreichen.

Marktexpansion:

Durchbruch auf dem High-End-Markt: Verstärken Sie die Forschung und Entwicklung von hochreinen Wolframstäben und dotierten Elektroden, erobern Sie den High-End-Markt in Europa, Amerika, Japan und Südkorea und verringern Sie die Importabhängigkeit.

Entwicklung aufstrebender Märkte: Durch die "Belt and Road"-Initiative den Markt in Südostasien, Afrika und Südamerika erweitern und Wolframstabtechnologie und Produktionskapazität exportieren.

Vielfältige Anwendungen: Erforschen Sie neue Einsatzmöglichkeiten von Wolframstäben in neuen Energiequellen (z. B. Wasserstoffbauelementen), in der Biomedizin (z. B. hochpräzise chirurgische Instrumente) und in der Quantentechnologie.

Optimierung der Lieferkette:

Nutzung von recyceltem Wolfram: Erhöhung der Recyclingquote von Wolframabfällen auf 50 %, Aufbau eines Kreislaufwirtschaftsmodells und Verringerung des Ressourcendrucks.

Diversifiziertes Angebot: Unterstützen Sie die Entwicklung aufstrebender Wolframminen in Vietnam und Australien und verringern Sie das Risiko einer Konzentration in der globalen Lieferkette.

Regionale Zusammenarbeit: Stärkung der technischen und handelspolitischen Zusammenarbeit mit Japan, Südkorea und der Europäischen Union, um geopolitische Einflüsse zu vermeiden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Richtlinien und Normen:

Formulierung internationaler Normen: Förderung von internationalen Normen für Wolframstäbe unter chinesischer Führung (z. B. Aktualisierung der ISO 24370), um den globalen Diskurs zu verbessern.

Verschärfte Umweltvorschriften: Strengere Emissions- und Recyclingstandards wurden eingeführt, um die grüne Transformation der Branche zu fördern.

Förderpolitik für die Industrie: Ausweitung der FuE-Subventionen und Steueranreize, Förderung der technologischen Innovation und der Modernisierung kleiner und mittlerer Unternehmen.

10.3 Empfehlungen für die Entwicklung der Branche

Auf Unternehmensebene:

Erhöhung der F&E-Investitionen: Fokussierung auf hochreine Wolframstäbe, Nanotechnologie und Nicht-Thorium-Dotierungsverfahren, Durchbrechung der Importabhängigkeit von Kernanlagen (z. B. SPS-Öfen) und Empfehlung, dass F&E 5-8 % des Umsatzes ausmachen sollte.

Fördern Sie die intelligente Transformation: Setzen Sie CNC-Geräte und SCADA-Systeme ein, bauen Sie intelligente Produktionslinien auf und erreichen Sie bis 2025 eine Automatisierungsrate von mehr als 50 %, um die Arbeitskosten zu senken und die Konsistenz zu verbessern.

Stärkung des Markenaufbaus: Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit chinesischer Wolframrutenmarken auf dem High-End-Markt durch internationale Ausstellungen (z. B. Hannover Messe) und Zertifizierungen (z. B. ISO 9001).

Vertiefung der Integration der Industriekette: Durch Fusionen und Übernahmen oder Kooperationen die Ressourcen kleiner und mittlerer Unternehmen integrieren, die industrielle Konzentration fördern und die Effizienz der Lieferkette vom Erz bis zum fertigen Produkt optimieren.

Aufbau der Industrie für recyceltes Wolfram: Investitionen in Hydrometallurgie und elektrolytische Rückgewinnungstechnologie, Erhöhung des Anteils der Produktion von recyceltem Wolfram auf 30 % bis 2025 und Senkung der Rohstoffkosten.

Auf Regierungsebene:

Verbesserung der politischen Unterstützung: Einführung eines Sonderfonds zur Unterstützung der Forschung und Entwicklung neuer Wolframmaterialien und der umweltfreundlichen Fertigung und Verlängerung der Steuerermäßigung und -befreiung für kleine und mittlere Unternehmen bis 2030.

Stärkung des Ressourcenmanagements: Optimierung der Wolframabbauquoten, Förderung der Verwendung von recyceltem Wolfram und Reduzierung des Roherzabbaus um 20 % bis 2030.

Förderung der internationalen Zusammenarbeit: Im Rahmen der Initiative "Belt and Road" eine internationale Allianz von Wolframressourcen aufbauen, um die Technologieleistung und den Marktanteil zu erweitern.

Stärkung der Umweltaufsicht: Formulierung von Emissionsnormen für die Wolframverhüttung (z. B. $SO_2 < 30 \text{ mg/m}^3$), Begrenzung der Produktion von Unternehmen mit hohem Schadstoffausstoß und Förderung der grünen Transformation der Branche.

Unterstützung der Zusammenarbeit zwischen Industrie, Universität und Forschung: Finanzierung gemeinsamer Laboratorien von Universitäten und Unternehmen (z. B. Tsinghua University und Xiamen Tungsten), um den technologischen Wandel zu beschleunigen und bis 2025 10 wichtige technologische Durchbrüche zu erzielen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Auf der Ebene der Branchenverbände:

Formulierung von Industriestandards: Überarbeitung von Produktions- und Prüfnormen für Wolframstäbe (z. B. GB/T 4187), um sie in internationale Standards zu integrieren und die Produktqualität zu verbessern.

Aufbau einer Kommunikationsplattform: Organisieren Sie ein jährliches Forum für die Wolframindustrie, um die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen, Universitäten und Regierungen zu fördern und Erfahrungen in der umweltfreundlichen Fertigung und im Bereich der intelligenten Fertigung auszutauschen.

Durchführung von Marktforschung: Veröffentlichen Sie regelmäßig globale Marktberichte für Wolframstäbe, um Unternehmen bei der genauen Gestaltung aufstrebender Märkte zu unterstützen.



CTIA GROUP LTD Wolframstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anhang

A. Glossar

Wolframstab: Ein stabartiges Material mit Wolfram oder seinen Legierungen als Hauptbestandteil, das normalerweise durch pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt wird.

Pulvermetallurgie: Der Prozess der Vorbereitung von Materialien durch Mischen, Pressen und Sintern von Metallpulvern.

Wärmeausdehnungskoeffizient: Die Geschwindigkeit, mit der sich das Volumen oder die Länge eines Materials bei der Temperatur ändert.

Hohe Dichte: Bezieht sich auf die kompakte innere Struktur des Materials und die geringe Porosität, die normalerweise mit einer hohen Festigkeit zusammenhängt.

Sintern: Der Prozess der Kombination von Metallpulverpartikeln zu einem festen Material bei hohen Temperaturen.

Warmgeschmied: Schmieden eines Metalls bei hohen Temperaturen, um seine Form und Eigenschaften zu verändern.

Rotationsschmied: Der Prozess der Verarbeitung von Metall durch Rotation und Druck, geeignet für die Stangenproduktion.

Heißextrusion: Der Prozess des Extrudierens von Metall durch eine Form bei hohen Temperaturen.

Wolframlegierung: Ein Verbundwerkstoff mit Wolfram als Matrix und der Zugabe von Nickel, Eisen, Kupfer und anderen Elementen.

Dotierter Wolframstab: Ein Wolframstab, der seine Eigenschaften durch Zugabe von Seltenen Erden oder anderen Elementen verbessert.

Korrosionsbeständigkeit: Die Fähigkeit eines Materials, chemischen Angriffen zu widerstehen.

Wärmeleitfähigkeit: Die Fähigkeit eines Materials, Wärme zu leiten.

Elektrische Leitfähigkeit: Die Fähigkeit eines Materials, einen elektrischen Strom zu leiten.

Kriechbeständigkeit: Die Fähigkeit eines Materials, einer Verformung bei hohen Temperaturen und unter ständiger Belastung zu widerstehen.

Zerstörungsfreie Prüfung: Eine Methode zur Prüfung der Leistung und der Mängel eines Materials, ohne seine Struktur zu beschädigen.

ICP-MS (Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma): Ein Instrument zur Analyse von Spurenelementen in Materialien.

REM/TEM (Raster-/Transmissionselektronenmikroskopie): Eine Mikroskopietechnik, die zur Beobachtung der Mikrostruktur von Materialien verwendet wird.

RWMA (Resistance Welding Manufacturers' Association): Resistance Welding Manufacturers Association, die Standards für Wolframmaterialien entwickelt.

B. Verweise

[1] ASTM E8-21, Norm für Zugprüfungen metallischer Werkstoffe, Amerikanische Gesellschaft für Prüfung und Werkstoffe, 2021.

[2] ISO 6892-1:2019, Zugversuche an metallischen Werkstoffen bei Raumtemperatur, Internationale Organisation für Normung, 2019.

[3] GB/T 4187-2017, Wolframstab, Nationaler Standard, 2017.

[4] GB/T 3459-2017, Wolfram und Wolframlegierungsprodukte, Nationale Norm, 2017.

[5] YS/T 695-2009, Wolframelektroden, Industriestandard für Nichteisenmetalle, 2009.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- [6] International Tungsten Association, Technischer Leitfaden zur Prüfung von Wolframmaterial, 2023.
- [7] Chinesischer Verband der Wolframindustrie, Spezifikation für die Qualitätskontrolle von Wolframstäben, 2022.
- [8] AWS A5.12, Spezifikation für Wolfram- und oxiddotierte Wolframelektroden für das Lichtbogenschweißen, American Welding Association, 2009.
- [9] JIS Z 3211-2008, Wolframelektroden, Japanischer Industriestandard, 2008.
- [10] DIN EN 26848, Wolfram und Wolframlegierungserzeugnisse, Europäisches Normungsinstitut, 1991.
- [11] YS/T 695-2017, Wolframelektroden, Industriestandard für Nichteisenmetalle, 2017.
- [12] ASTM B760-07, Standardspezifikation für Wolframbleche, -bleche und -folien, ASTM International, 2007.
- [13] ISO 24370:2005, Feinkeramik und Refraktärmetalle, Internationale Organisation für Normung, 2005.
- [14] Yih, S. W. H., & Wang, C. T., Wolfram: Quellen, Metallurgie, Eigenschaften und Anwendungen, Plenum Press, 1979.
- [15] Coolidge, W. D., Die Entwicklung des duktilen Wolframs, Transaktionen des American Institute of Electrical Engineers, 1910.
- [16] U.S. Geological Survey, Wolfram: Ein strategisches Metall, 2018.
- [17] Lassner, E., & Schubert, W. D., Wolfram: Eigenschaften, Chemie, Technologie des Elements, Legierungen und chemische Verbindungen, Springer, 1999.
- [18] Europäische Kommission, Kritische Rohstoffe für strategische Technologien und Sektoren in der EU, 2020.
- [19] ASTM B760-07, Standardspezifikation für Wolframplatten, -bleche und -folien, ASTM International, 2007.
- [20] AWS A5.12, Spezifikation für Wolfram- und oxiddispersierte Wolframelektroden für das Lichtbogenschweißen, American Welding Society, 2009.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung