

## Was ist eine Wolframlegierungsstange

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

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

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

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

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



### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Inhaltsverzeichnis

### Kapitel 1 Grundlagen zum Wolframlegierungsstab

- 1.1 Definition des Wolframlegierungsstabs
- 1.2 Eigenschaften des Wolframlegierungsstabs
- 1.3 Materialzusammensetzung von Wolframlegierungsstäben
  - 1.3.1 Logik für das Verhältnis der Wolframmatrix zu Metallelementen (Nickel, Eisen usw.)
- 1.4 Klassifizierung von Wolframlegierungsstäben
  - 1.4.1 Klassifizierung von Wolframlegierungsstäben nach Zusammensetzung
  - 1.4.2 Klassifizierung von Wolframlegierungsstäben nach Leistung
  - 1.4.3 Klassifizierung von Wolframlegierungsstäben nach Spezifikationen
- 1.5 Unterschiede zu ähnlichen Produkten
  - 1.5.1 Vergleich der Leistung und Anwendung mit reinem Wolframstab
  - 1.5.2 Vergleich der Leistung und Anwendung mit Molybdänlegierungsstäben
  - 1.5.3 Vergleich der Leistung und Anwendung mit Titanlegierungsstäben

### Kapitel 2 Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

- 2.1 Physikalische Eigenschaften des Wolframlegierungsstabs
  - 2.1.1 Hohe Dichteigenschaften von Wolframlegierungsstäben
  - 2.1.2 Hoher Schmelzpunkt des Wolframlegierungsstabs
  - 2.1.3 Hitzebeständigkeit von Wolframlegierungsstäben
  - 2.1.4 Thermischer Ausdehnungskoeffizient des Wolframlegierungsstabs
  - 2.1.5 Wärmeleitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben
  - 2.1.6 Elektrische Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben
- 2.2 Mechanische Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben
  - 2.2.1 Zugfestigkeit des Wolframlegierungsstabs
  - 2.2.2 Druckfestigkeit von Wolframlegierungsstäben
  - 2.2.3 Härteeigenschaften von Wolframlegierungsstäben
  - 2.2.4 Zähigkeit des Wolframlegierungsstabs
  - 2.2.5 Ermüdungsbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben
  - 2.2.6 Abriebfestigkeit von Wolframlegierungsstäben
- 2.3 Funktionale Anpassungsfähigkeit von Wolframlegierungsstäben
  - 2.3.1 Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben
  - 2.3.2 Strahlungsbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben
  - 2.3.3 Elektromagnetische Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben
- 2.4 Leistungstest von Wolframlegierungsstäben
  - 2.4.1 Methoden zum Test physikalischer Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben
    - 2.4.1.1 Dichtetestmethode
    - 2.4.1.2 Schmelzpunkttestmethode
    - 2.4.1.3 Testmethode für den thermischen Ausdehnungskoeffizienten
    - 2.4.1.4 Leitfähigkeitstestmethode
  - 2.4.2 Spezifikationen für den Test mechanischer Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 2.4.2.1 Spezifikationen für den Zugtest
- 2.4.2.2 Spezifikationen für den Härtetest
- 2.4.2.3 Spezifikationen für den Schlagzähigkeitstest
- 2.4.2.4 Spezifikationen für den Ermüdungsleistungstest
- 2.4.3 Vergleich nationaler und internationaler Leistungsnormen für Wolframlegierungsstäbe
  - 2.4.3.1 Chinesische Normen
  - 2.4.3.2 Internationale Normen
  - 2.4.3.3 Normen für Wolframlegierungsstäbe in Europa, Amerika, Japan, Südkorea usw.
- 2.5 MSDS (Material Safety Data Sheet) für Wolframlegierungsstäbe der CTIA GROUP LTD
- 2.6 Faktoren, die die Leistung von Wolframlegierungsstäben beeinflussen
  - 2.6.1 Einfluss des Zusammensetzungsverhältnisses auf die Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben
  - 2.6.2 Einfluss des Herstellungsprozesses auf die Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben
  - 2.6.3 Einfluss der nachfolgenden Verarbeitung auf die Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben
- 2.7 Passung zwischen Leistung und Anwendung von Wolframlegierungsstäben
  - 2.7.1 Anforderungen der Rüstungsindustrie an hohe Dichte und hohe Festigkeit
  - 2.7.2 Leistungsanforderungen an Strahlungsbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit im medizinischen Bereich
  - 2.7.3 Industrielle Anpassungslogik für Hitzebeständigkeit und Abriebfestigkeit

### **Kapitel 3 Herstellungstechnik und Prozess von Wolframlegierungsstäben**

- 3.1 Herstellungsprozess von Wolframlegierungsstäben
  - 3.1.1 Vorbereitung von Rohstoffen für Wolframlegierungsstäbe
    - 3.1.1.1 Auswahlkriterien und Siebverfahren für Wolframpulver
    - 3.1.1.2 Reinheitsanforderungen an andere Metallelemente (Nickel, Eisen, Kupfer usw.)
    - 3.1.1.3 Berechnungsmethode für das Verhältnis von Wolframpulver zu anderen Metallelementen
    - 3.1.1.4 Mischgeräte und Kontrolle der Mischgleichmäßigkeit
  - 3.1.2 Formgebungsverfahren von Wolframlegierungsstäben
    - 3.1.2.1 Design von Kaltpressformen und Anpassung an Spezifikationen
    - 3.1.2.2 Druckparameter und Haltezeit für das Kaltpressen
    - 3.1.2.3 Unterschiede zwischen den Betriebsweisen von Naßbeutel- und Trockenbeutelisostatischem Pressen
    - 3.1.2.4 Druckkontrolle und Anforderungen an die Gründichte beim isostatischen Pressen
  - 3.1.3 Sinterprozess von Wolframlegierungsstäben
    - 3.1.3.1 Vakuumkontrolle und Temperatursteigerungskurve beim Vakuumsintern
    - 3.1.3.2 Verdichtungsvorgang und Einstellung der Haltezeit beim Vakuumsintern
    - 3.1.3.3 Wasserstoffreinheit und Taupunktkontrolle beim Wasserstoffsintern
    - 3.1.3.4 Maßnahmen zur Kontrolle von Reduktion und Oxidation beim Wasserstoffsintern
  - 3.1.4 Nachfolgende Verarbeitung von Wolframlegierungsstäben
    - 3.1.4.1 Werkzeugauswahl für das Schneiden
    - 3.1.4.2 Schneidparameter und Kontrolle der Bearbeitungsgenauigkeit
    - 3.1.4.3 Schleifscheibenart und Anforderungen an die Oberflächenrauheit
    - 3.1.4.4 Optimierung der mechanischen Eigenschaften durch Wärmebehandlung

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## 3.2 Kritische Kontrollpunkte im Prozess von Wolframlegierungsstäben

### 3.2.1 Kontrolle der Sintertemperatur und -atmosphäre

#### 3.2.1.1 Grundlage für die Bestimmung des Sintertemperaturbereichs

#### 3.2.1.2 Einfluss der Aufheizrate auf das Korngrowth

#### 3.2.1.3 Leckagedetektion und Sicherstellung der Atmosphärenstabilität beim Vakuumsintern

#### 3.2.1.4 Kontrolle der Gasgeschwindigkeit und Behandlung von Abgasen beim Wasserstoffsintern

### 3.2.2 Sicherstellung der Bearbeitungsgenauigkeit und Oberflächenqualität von Wolframlegierungsstäben

#### 3.2.2.1 Werkzeuge zur Messung von Dimensionstoleranzen und Prüfhäufigkeit

#### 3.2.2.2 Kontrollmethoden für geometrische und positionsbezogene Toleranzen

#### 3.2.2.3 Detektion von Oberflächenfehlern und Reparaturverfahren

#### 3.2.2.4 Oberflächenbehandlung und Qualitätsannahmenormen

## Kapitel 4 Anwendungsbereiche von Wolframlegierungsstäben

### 4.1 Anwendung von Wolframlegierungsstäben im militärischen und aerospace-Bereich

#### 4.1.1 Dichteanforderungen an Wolframlegierungsstäbe für Panzerbrecherprojektilkerne

#### 4.1.2 Zugfestigkeitsnormen für Wolframlegierungsbänder in Panzerbrecherprojektilkernen

#### 4.1.3 Kontrolle der Dimensionsgenauigkeit von Wolframlegierungsstäben für Raumfahrzeug-Gegengewichte

#### 4.1.4 Betriebstemperaturgrenze von Wolframlegierungsstäben für hitzebeständige Raumfahrzeugkomponenten

### 4.2 Anwendung von Wolframlegierungsstäben im medizinischen Bereich

#### 4.2.1 Bleiequivalentanforderungen an Wolframlegierungsstäbe für Strahlentherapie-Abschirmelemente

#### 4.2.2 Strahlungsdämpfungskoeffizient von Wolframlegierungsbändern für Strahlentherapie-Abschirmelemente

#### 4.2.3 Reinheitsnormen für Wolframlegierungsstäbe für CT-Wolframziele

#### 4.2.4 Hitzestoßbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben für CT-Wolframziele

### 4.3 Anwendung von Wolframlegierungsstäben in der industriellen Fertigung

#### 4.3.1 Betriebstemperatur von Wolframlegierungsbändern für Heizelemente in Hochtemperaturöfen

#### 4.3.2 Anforderungen an Antioxidationsbeschichtungen (Antioxidationsbeschichtungen) auf Wolframlegierungsstäben für Hochtemperaturkomponenten

#### 4.3.3 Härteindex von Wolframlegierungsstäben für Formeinsätze

#### 4.3.4 Abriebfestigkeitsparameter von Wolframlegierungsstäben für Formeinsätze

### 4.4 Anwendung von Wolframlegierungsstäben im Elektronik- und Neuenergie-Bereich

#### 4.4.1 Elektrische Leitfähigkeitsnormen für Wolframlegierungsbänder als elektronische Elektroden

#### 4.4.2 Anforderungen an Lichtbogenabtragungsbeständigkeit für Wolframlegierungselektrodenbänder

## Kapitel 5 Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsstäben

### 5.1 Schlüsselpunkte für den Rohstofftest

#### 5.1.1 Reinheitstest von Wolframpulver

#### 5.1.2 Verifizierung des Zusammensetzungsverhältnisses von Metallelementen (Ni/Fe/Cu)

#### 5.1.3 Test der Partikelgrößenverteilung von Rohstoffen

### 5.2 Schlüsselpunkte für den Fertigprodukttest

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 5.2.1 Dichtetest von Fertigprodukten
- 5.2.2 Stichprobenprüfung der mechanischen Eigenschaften
- 5.2.3 Prüfung von Aussehen und Abmessungen
- 5.3 Lösungen für häufige Qualitätsprobleme
  - 5.3.1 Formriss: Anpassung des Pressdrucks und der Formschmierung
  - 5.3.2 Unebenmäßige Dichte: Optimierung der Sinteraufheizrate und der Haltezeit
  - 5.3.3 Oberflächenfehler: Verbesserung von Schleif- und Polierverfahren

## **Kapitel 6 Technologische Innovation und zukünftige Trends von Wolframlegierungsstäben**

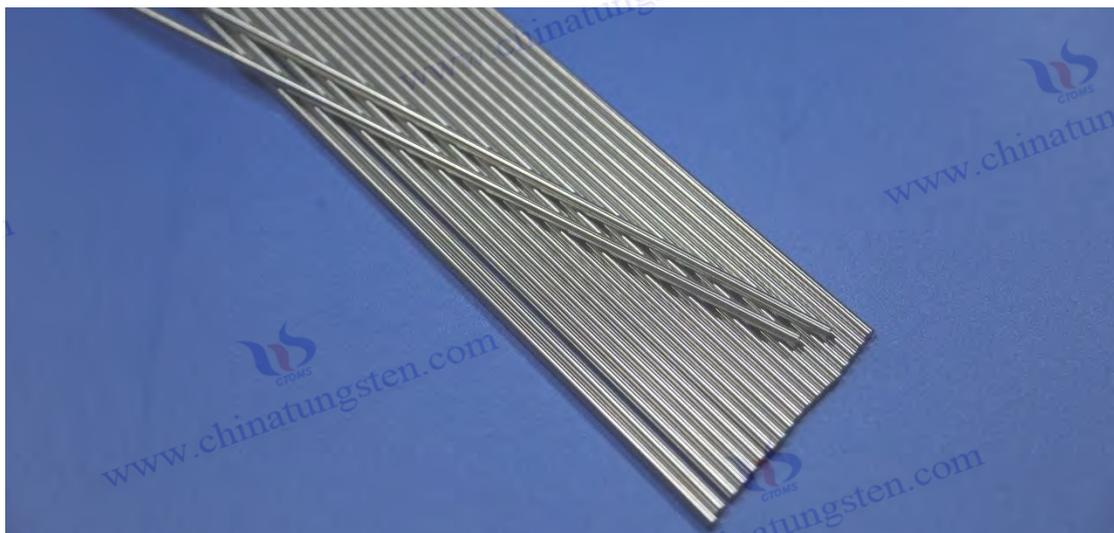
- 6.1 Forschungs- und Entwicklungsrichtung der Technologie
  - 6.1.1 Forschung und Entwicklung neuer Legierungszusammensetzungen (Seltenerd-Dotierung)
  - 6.1.2 Anwendung fortschrittlicher Fertigungstechnologien (3D-Druck)
- 6.2 Branchentendenzen
  - 6.2.1 Entwicklung von leichten und kostengünstigen Produkten
  - 6.2.2 Grüne Produktion und Recyclingtechnologie

## **Kapitel 7 Auswahl und Anwendung von Wolframlegierungsstäben**

- 7.1 Auswahl und Verarbeitung von Wolframlegierungsstäben
  - 7.1.1 Auswahlmethoden für verschiedene Szenarien
  - 7.1.2 Häufige Probleme und Lösungen während der Verarbeitung
- 7.2 Wartung und Sicherheit von Wolframlegierungsstäben
  - 7.2.1 Kernanforderungen an Lagerung und Wartung
  - 7.2.2 Sicherheitsvorschriften für Betrieb und Entsorgung

Anhang:

Terminologie zu Wolframlegierungsstäben  
Literaturverzeichnis



CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsstange

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

**Core advantages:** 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

**Precision customization:** support high density (17-19 g/cm<sup>3</sup>), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

**Quality cost:** optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

**Advanced capabilities:** advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

#### 100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

#### Service commitment

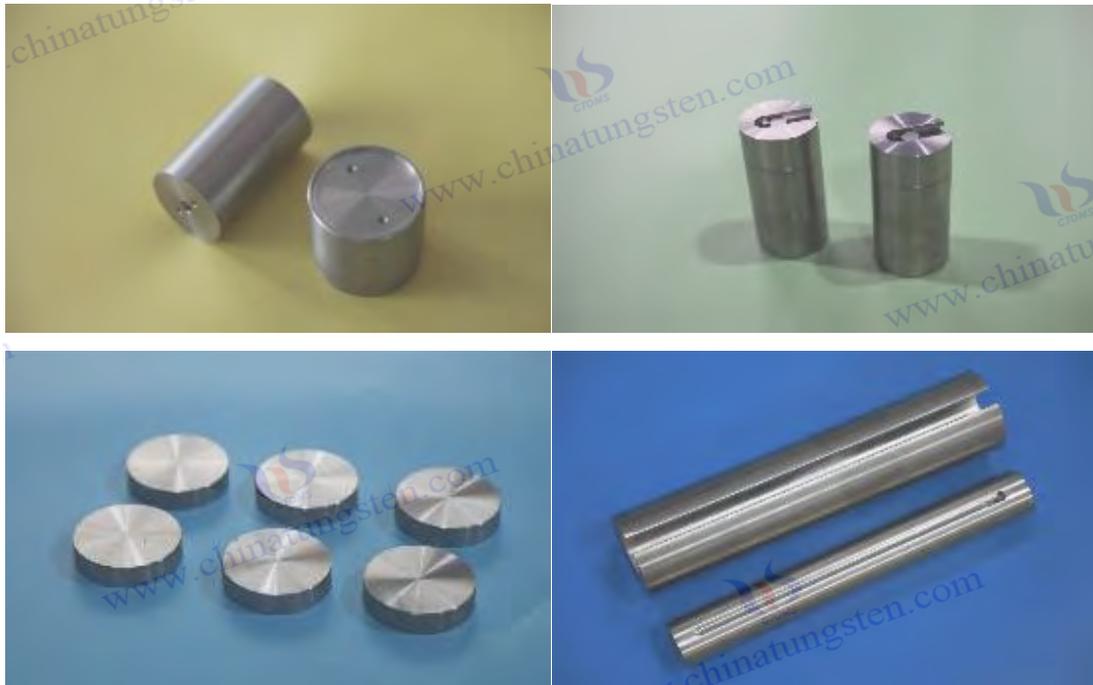
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Kapitel 1 Grundkenntnisse über Wolframlegierungsstangen

Wolframlegierungsstäbe nehmen aufgrund ihrer einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften in zahlreichen Bereichen eine wichtige Stellung ein. Durch ein ausgeklügeltes Produktionsverfahren vereint dieses Material die hohe Dichte und Festigkeit von Wolfram mit den Eigenschaften anderer metallischer Elemente. Das Ergebnis ist ein Verbundwerkstoff, der hohe Härte, hohe Temperaturbeständigkeit und hervorragende Verarbeitungseigenschaften vereint. Wolframlegierungsstäbe finden breite Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik, der Elektronik und der Präzisionsfertigung. Ihre hohe Dichte macht sie besonders geeignet für Anwendungen, die Gewichtsausgleich oder Strahlenschutz erfordern. Die Herstellung und Anwendung von Wolframlegierungsstäben spiegelt nicht nur den Fortschritt der modernen Materialwissenschaft wider, sondern fördert auch die innovative Entwicklung von Hightech-Industrien. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit steigern ihre Attraktivität in umweltsensiblen Bereichen und erfüllen die Anforderungen einer nachhaltigen industriellen Entwicklung.

### 1.1 Definition von Wolframlegierungsstangen

Wolframlegierungsstäbe sind ein Verbundwerkstoff, der hauptsächlich aus Wolfram besteht und mit anderen Metallelementen (wie Nickel, Eisen oder Kupfer) versetzt ist und in einem pulvermetallurgischen Verfahren hergestellt wird. Dieses Material ist bekannt für seine hohe Dichte, Festigkeit und hervorragende Hochtemperaturbeständigkeit, wodurch es auch in anspruchsvollen Betriebsumgebungen eine stabile Leistung bietet. Wolframlegierungsstäbe werden typischerweise in langen Streifen mit rundem, rechteckigem oder anderen kundenspezifischen Querschnitten geliefert, je nach Anwendung. Der Produktionsprozess umfasst Pulvermischen, Pressen, Sintern und Präzisionsbearbeitung, um sicherzustellen, dass das Material eine gleichmäßige Mikrostruktur und stabile physikalische Eigenschaften aufweist. Bei der Entwicklung und Herstellung von Wolframlegierungsstäben werden die funktionalen Anforderungen für spezifische Anwendungen, wie z. B. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt oder Strahlenschutz im medizinischen Bereich, vollständig berücksichtigt.

Die Definition von Wolframlegierungsstäben beschränkt sich nicht nur auf ihre Materialzusammensetzung, sondern umfasst auch ihre Funktionalität und ihr Anwendungsspektrum. In der Elektronikindustrie werden Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihrer hohen thermischen und elektrischen Leitfähigkeit als Kühlkörper oder Elektrodenmaterial verwendet; in der Präzisionsfertigung machen sie ihre hohe Härte und Verschleißfestigkeit zu einem idealen Werkzeugmaterial. Der Herstellungsprozess von Wolframlegierungsstäben ist flexibel, und Zusammensetzung und Verarbeitungsverfahren können je nach Anwendung angepasst werden, um den Leistungsanforderungen verschiedener Bereiche gerecht zu werden. Ihre Ungiftigkeit bietet erhebliche Vorteile in der Medizin und Elektronik und vermeidet potenzielle Schäden für Umwelt und menschlichen Körper. Darüber hinaus eignen sich Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihrer Recyclingfähigkeit hervorragend für das Ressourcenrecycling und reduzieren die Umweltbelastung des Produktionsprozesses. Diese Eigenschaften machen Wolframlegierungsstäbe zu einem unverzichtbaren Multifunktionsmaterial in der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

modernen Industrie und unterstützen den technologischen Fortschritt maßgeblich.

## 1.2 Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Die Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben sind der Hauptgrund für ihre breite Anwendung in Hightech-Bereichen und zeichnen sich durch hervorragende physikalische, mechanische und chemische Eigenschaften aus. Diese Eigenschaften ermöglichen es ihnen, unter extremen Bedingungen stabil zu bleiben und den Bedarf an Hochleistungsmaterialien in Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Elektronik und Medizin zu decken. Die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben ist eines ihrer herausragendsten Merkmale. Sie ermöglicht es ihnen, ein erhebliches Gewicht auf begrenztem Raum unterzubringen, was sie besonders für Anwendungen geeignet macht, die präzises Gegengewicht erfordern. Darüber hinaus ermöglichen ihre hohe Härte und Verschleißfestigkeit die Aufrechterhaltung der strukturellen Integrität in Umgebungen mit hoher Belastung und Reibung, was ihre Lebensdauer verlängert. Wolframlegierungsstäbe weisen außerdem eine ausgezeichnete Hochtemperaturbeständigkeit auf und können ihre Leistung auch in Hochtemperaturumgebungen aufrechterhalten, wodurch sie sich für den Einsatz in Hochtemperaturprozessen oder Gerätekomponenten eignen.

Neben seinen physikalischen Eigenschaften machen seine thermische und elektrische Leitfähigkeit Wolframlegierungsstäbe zu einer ausgezeichneten Wahl für Anwendungen in der Elektronik- und Halbleiterindustrie, da sie eine schnelle Übertragung von Wärme und Strom ermöglichen und so einen stabilen Gerätebetrieb gewährleisten. Dank seiner Korrosionsbeständigkeit halten sie den Einflüssen einer Vielzahl chemischer Umgebungen stand und eignen sich daher für den Einsatz unter komplexen oder rauen Bedingungen. Auch die Verarbeitbarkeit von Wolframlegierungsstäben ist bemerkenswert. Trotz seiner hohen Härte können sie dank fortschrittlicher Pulvermetallurgie und Präzisionsbearbeitungsverfahren in eine Vielzahl komplexer Formen gebracht werden und erfüllen so die Anforderungen hochpräziser Anwendungen. Darüber hinaus verschaffen ihnen seine Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit Vorteile in umwelttechnisch strengen Anwendungen, wie der Herstellung medizinischer Geräte und der Produktion umweltfreundlicher Elektronik. Diese Eigenschaften tragen zur Vielseitigkeit von Wolframlegierungsstäben bei und machen sie zu einem unersetzlichen Material in der modernen Industrie. Eine eingehende Analyse seiner Eigenschaften kann Hinweise für optimiertes Design und Anwendung liefern und die Entwicklung verwandter Technologien fördern.

## 1.3 Materialzusammensetzung von Wolframlegierungsstäben

Die Materialzusammensetzung von Wolframlegierungsstäben ist die wichtigste Grundlage für ihre herausragende Leistung. Sie bestehen üblicherweise aus Wolfram als Hauptbestandteil, dem in einem speziellen Verfahren weitere Metallelemente zugesetzt werden. Wolfram, ein Metall mit hohem Schmelzpunkt und hoher Dichte, verleiht den Legierungsstäben hervorragende physikalische Eigenschaften, während die hinzugefügten Metallelemente ihre mechanischen Eigenschaften, Verarbeitbarkeit und Funktionalität weiter optimieren. Häufige Zusatzelemente sind Nickel, Eisen, Kupfer oder Silber, die in einem pulvermetallurgischen Verfahren mit Wolframpulver vermischt, gepresst und gesintert werden, um eine gleichmäßige Mikrostruktur zu bilden. Die Materialzusammensetzung

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von Wolframlegierungsstäben bestimmt nicht nur ihre grundlegenden Eigenschaften, sondern beeinflusst auch ihre Leistung in bestimmten Anwendungsszenarien, wie beispielsweise bei hochdichten Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt oder bei Komponenten mit hoher Wärmeleitfähigkeit in der Elektronik.

Bei der Materialzusammensetzung von Wolframlegierungsstäben müssen die Leistungsanforderungen der jeweiligen Anwendung umfassend berücksichtigt werden. Ist beispielsweise eine hohe Wärmeleitfähigkeit erforderlich, kann die Zugabe von Kupfer die Wärmeleitfähigkeit der Legierung deutlich verbessern; bei hoher Festigkeit kann die Kombination von Nickel und Eisen die mechanische Festigkeit der Legierung erhöhen. Während des Produktionsprozesses wird das Zusammensetzungsverhältnis von Wolframlegierungsstäben durch präzise Kontrolle der Pulvermischung und der Sinterbedingungen eingestellt, um die Gleichmäßigkeit und Stabilität des Materials zu gewährleisten. Seine Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit bieten erhebliche Vorteile in umweltsensiblen Bereichen und vermeiden Umweltprobleme, die durch herkömmliche Materialien wie Blei entstehen können. Die Materialzusammensetzung von Wolframlegierungsstäben ermöglicht zudem ihre Anpassungsfähigkeit an verschiedene Verarbeitungsprozesse wie Schneiden, Schleifen und Oberflächenbehandlung und ermöglicht die Herstellung hochpräziser Bauteile.

### 1.3.1 Logik für das Verhältnis von Wolframmatrix zu Metallelementen (Nickel, Eisen usw.)

Die Abstimmung zwischen der Wolframmatrix und metallischen Elementen (wie Nickel, Eisen und Kupfer) ist für die Entwicklung und Herstellung von Wolframlegierungsstäben von zentraler Bedeutung und wirkt sich direkt auf deren physikalische und mechanische Eigenschaften sowie ihre Anpassbarkeit an spezifische Anwendungen aus. Wolfram als Matrixmaterial bildet aufgrund seines hohen Schmelzpunkts und seiner hohen Dichte die Primärstruktur des Legierungsstabs und bildet die Grundlage für hohe Dichte und Hochtemperaturbeständigkeit. Die Sprödigkeit und die Verarbeitungsschwierigkeiten von reinem Wolfram schränken jedoch seine direkte Anwendung ein, sodass zur Optimierung der Leistung die Zugabe anderer metallischer Elemente erforderlich ist. Nickel und Eisen wirken typischerweise als Bindemittel, stärken die Bindung zwischen den Wolframpartikeln und verbessern die Zähigkeit und mechanische Festigkeit der Legierung. Kupfer wird aufgrund seiner hervorragenden thermischen und elektrischen Leitfähigkeit häufig in Anwendungen eingesetzt, die ein effizientes Wärmemanagement erfordern. Die Abstimmungslogik zielt darauf ab, Dichte, Festigkeit, Zähigkeit und Funktionalität auszubalancieren, indem die Anteile der einzelnen Elemente wissenschaftlich angepasst werden, um den Anforderungen spezifischer Anwendungen gerecht zu werden.

Bei der Legierungsentwicklung dominiert typischerweise der Wolframgehalt, um die hohe Dichte des Legierungsstabs sicherzustellen, während die Anteile der hinzugefügten Elemente je nach Anwendungsanforderungen fein abgestimmt werden. Beispielsweise verbessert bei Gegengewichtsanwendungen in der Luft- und Raumfahrt die Zugabe von Nickel und Eisen die Zähigkeit der Legierung und verhindert Brüche in Umgebungen mit hoher Belastung. In der Elektronik optimiert Kupfer die Wärmeleitfähigkeit und eignet sich daher für Wärmeableitungskomponenten. Der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Legierungsprozess erfolgt durch ein pulvermetallurgisches Verfahren, das präzises Pulvermischen, Pressen und Flüssigphasensintern umfasst, um eine gleichmäßige Verteilung der Elemente und eine stabile Mikrostruktur zu gewährleisten. Die Legierungslogik berücksichtigt auch die Verarbeitbarkeit. Ein angemessener Nickel- oder Kupfergehalt kann die Härte der Legierung verringern und die Schneid- und Schleifleistung verbessern. Darüber hinaus sind Umweltaspekte bei der Legierungsentwicklung von entscheidender Bedeutung. Es werden ungiftige Elemente ausgewählt, um Umweltverschmutzung zu vermeiden und gleichzeitig die Recyclingfähigkeit des Materials sicherzustellen. Die optimierte Legierungslogik für die Wolframmatrix und die Metallelemente verkörpert das sorgfältige Design der Materialwissenschaft und bietet sowohl theoretische als auch praktische Unterstützung für die hohe Leistung von Wolframlegierungsstäben in verschiedenen Anwendungen und fördert ihre breite Einführung in der modernen Industrie.

#### 1.4 Klassifizierung von Wolframlegierungsstäben

Die Klassifizierung von Wolframlegierungsstäben ist ein wichtiger Weg, um ihre Anwendungsvielfalt und funktionalen Eigenschaften zu verstehen. Verschiedene Klassifizierungsstandards ermöglichen eine klare Unterteilung der Typen, um den Anforderungen bestimmter Bereiche gerecht zu werden. Die Klassifizierungsmethoden umfassen hauptsächlich drei Dimensionen: Zusammensetzung, Leistung und Spezifikationen. Jede Klassifizierung spiegelt die unterschiedliche Bedeutung von Wolframlegierungsstäben in Materialdesign, Produktionsprozess oder Anwendungsszenarien wider. Die Klassifizierung nach Zusammensetzung konzentriert sich auf die chemische Zusammensetzung der Wolframlegierungsstäbe und betont den Einfluss zugesetzter Elemente auf die Leistung; die Klassifizierung nach Leistung konzentriert sich auf ihre physikalischen und mechanischen Eigenschaften und hebt ihre Anwendbarkeit in bestimmten Funktionen hervor; die Klassifizierung nach Spezifikation basiert auf Größe und Form, um den Montageanforderungen verschiedener Geräte gerecht zu werden. Diese Klassifizierungsmethoden bieten einen systematischen Rahmen für die Auswahl, das Design und die Anwendung von Wolframlegierungsstäben und ermöglichen eine flexible Anpassung an die vielfältigen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Medizin und anderer Bereiche. Durch die Klassifizierung können wir Materialeigenschaften besser auf tatsächliche Verwendungszwecke abstimmen und ihre breite Anwendung in Hightech-Bereichen fördern.

##### 1.4.1 Klassifizierung von Wolframlegierungsstäben nach Zusammensetzung

Die grundlegende Klassifizierungsmethode für Wolframlegierungsstäbe ist die Klassifizierung nach Zusammensetzung. Wolframlegierungsstäbe werden anhand ihrer unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung in verschiedene Typen unterteilt, hauptsächlich basierend auf dem Wolframgehalt und der Art und dem Anteil der zugesetzten Metallelemente. Wolfram nimmt als Hauptbestandteil in der Regel eine dominierende Stellung ein, während zugesetzte Metallelemente wie Nickel, Eisen, Kupfer oder Silber durch Pulvermetallurgie mit Wolfram kombiniert werden, um einen Verbundwerkstoff mit spezifischen Eigenschaften zu bilden. Wolframlegierungsstäbe unterschiedlicher Zusammensetzung weisen erhebliche Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften, der Verarbeitungsleistung und den Anwendungsszenarien auf und erfüllen so vielfältige Anforderungen wie Gegengewichte in der Luft-

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und Raumfahrt, elektronische Wärmeleitkomponenten oder medizinische Strahlenabschirmung. Gängige Zusammensetzungs-klassifizierungen umfassen Wolfram-Nickel-Eisen-Legierung, Wolfram-Kupfer-Legierung und Wolfram-Nickel-Kupfer-Legierung, und jeder Typ optimiert seine Leistung durch Anpassung des Elementverhältnisses.

Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen zeichnen sich durch hohe Dichte und Festigkeit aus. Nickel und Eisen wirken als Bindemittel und verbessern die Zähigkeit und die mechanischen Eigenschaften der Legierung. Sie eignen sich für Anwendungen, die hohes Gewicht und Schlagfestigkeit erfordern, wie beispielsweise Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt. Wolfram-Kupfer-Legierungen sind für ihre hohe Wärme- und elektrische Leitfähigkeit bekannt. Die Zugabe von Kupfer verbessert die Wärmeleitfähigkeit deutlich und macht sie ideal für Wärmeableitungssubstrate oder Elektroden in der Elektronikindustrie. Wolfram-Nickel-Kupfer-Legierungen vereinen die Vorteile von Zähigkeit und Wärmeleitfähigkeit und eignen sich daher für Anwendungen, die eine hohe Gesamtleistung erfordern, wie beispielsweise Strukturkomponenten in Präzisionsinstrumenten. Der Grundgedanke hinter der Zusammensetzungs-klassifizierung ist die Ausgewogenheit von Dichte, Festigkeit, Zähigkeit und Funktionalität durch eine wissenschaftlich formulierte Mischung, um den Anforderungen verschiedener Anwendungen gerecht zu werden. Während der Produktion wird das Zusammensetzungsverhältnis durch präzise Pulvermischung und Sinterprozesse präzise kontrolliert, um eine gleichmäßige Mikrostruktur zu gewährleisten. Darüber hinaus werden bei der Auswahl der Zusammensetzung Umweltaspekte berücksichtigt, wobei der Verwendung ungiftiger Elemente Vorrang eingeräumt wird, um potenzielle Schäden für Umwelt und Gesundheit zu vermeiden. Diese Zusammensetzungs-klassifizierung bietet Flexibilität bei der Gestaltung und Anwendung von Wolframlegierungsstäben, bietet maßgeschneiderte Materiallösungen für verschiedene Branchen und fördert ihre breite Anwendung in Hightech-Bereichen.

#### 1.4.2 Klassifizierung von Wolframlegierungsstäben nach Leistung

Wolframlegierungsstäbe werden anhand ihrer physikalischen und mechanischen Eigenschaften in verschiedene Typen eingeteilt, um ihre Anwendbarkeit in bestimmten Funktionsszenarien hervorzuheben. Zu den Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben zählen vor allem Dichte, Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit, Hochtemperaturbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Diese Eigenschaften bestimmen ihre spezifischen Einsatzmöglichkeiten in der Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Medizin und anderen Bereichen. Durch die Leistungsklassifizierung können die Materialeigenschaften besser auf die Anwendungsanforderungen abgestimmt und das Gerätedesign sowie die Betriebseffizienz optimiert werden. Gängige Leistungsklassifizierungen umfassen Typen mit hoher Dichte, hoher Wärmeleitfähigkeit, hoher Festigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit. Jeder Typ verfügt über eine Leistungsoptimierung für bestimmte Anwendungsszenarien.

Hochdichte Wolframlegierungsstäbe mit ihrem hervorragenden Gewicht-Volumen-Verhältnis eignen sich ideal für Anwendungen, die präzise Gegengewichte erfordern, wie z. B. Lageregelungskomponenten in der Luft- und Raumfahrt oder rotierende Gegengewichte in medizinischen Bildgebungsgeräten. Wolframlegierungsstäbe mit hoher Wärmeleitfähigkeit sorgen für eine effiziente Wärmeübertragung und

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

werden häufig in Wärmeableitungssubstraten in der Elektronikindustrie oder in Wärmemanagementkomponenten in der Halbleiterfertigung eingesetzt, um eine stabile Temperatur im Hochleistungsbetrieb zu gewährleisten. Hochfeste Wolframlegierungsstäbe zeichnen sich durch besondere mechanische Eigenschaften und Verschleißfestigkeit aus und eignen sich daher für Umgebungen mit hoher Belastung oder Reibung, wie z. B. als Werkzeugmaterialien oder strukturelle Stützkomponenten in der Präzisionsfertigung. Hochtemperaturbeständige Wolframlegierungsstäbe sind für Hochtemperaturumgebungen konzipiert, behalten ihre stabile Leistung auch bei extremen Temperaturen und eignen sich für Triebwerkskomponenten in der Luft- und Raumfahrt oder Hochtemperatur-Prozessanlagen. Die Leistungsklassifizierung basiert auf der Verbesserung spezifischer Eigenschaften durch Anpassung der Legierungszusammensetzung und des Herstellungsprozesses an die Anwendungsanforderungen. So verbessert beispielsweise ein erhöhter Kupfergehalt die Wärmeleitfähigkeit, während ein höherer Nickel-Eisen-Anteil die Festigkeit und Zähigkeit erhöht. Die Leistungsklassifizierung berücksichtigt auch die Verarbeitbarkeit und Umweltfreundlichkeit, um sicherzustellen, dass das Material bei Herstellung und Verwendung die Anforderungen an hohe Präzision und nachhaltige Entwicklung erfüllt. Diese Klassifizierung bietet klare Richtlinien für die Auswahl und Anwendung von Wolframlegierungsstäben und fördert deren effizienten Einsatz in verschiedenen Anwendungen.

### 1.4.3 Klassifizierung von Wolframlegierungsstäben nach Spezifikationen

Wolframlegierungsstäbe werden nach Größe, Form und physikalischer Gestalt kategorisiert, um den Montageanforderungen verschiedener Geräte und Anwendungen gerecht zu werden. Die Spezifikationen von Wolframlegierungsstäben umfassen hauptsächlich Durchmesser, Länge, Dicke, Querschnittsform (z. B. rund, rechteckig oder kundenspezifisch) und Oberflächenbeschaffenheit. Diese Parameter wirken sich direkt auf ihre Passform und Leistung in praktischen Anwendungen aus. Die Spezifikationsklassifizierung betont die physikalische Form und Bearbeitungsgenauigkeit des Stabs und gewährleistet so eine nahtlose Integration in Präzisionssysteme wie in der Luft- und Raumfahrt, Elektronik und Medizintechnik. Diese Klassifizierung ermöglicht kundenspezifische Wolframlegierungsstäbe, die den unterschiedlichen Design- und Funktionsanforderungen verschiedener Branchen gerecht werden.

Zu den üblichen Spezifikationen gehören Wolframlegierungsstäbe mit kleinem Durchmesser (kleinerer Durchmesser, typischerweise in der Elektronik und bei Präzisionsinstrumenten verwendet), Wolframlegierungsstäbe mit großem Durchmesser (geeignet für Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt oder große Strukturkomponenten), dünne Stäbe (dicker, geeignet für Kühlkörper oder Elektroden) und Stäbe in Sonderformen (bearbeitet, um spezielle Geräteanforderungen zu erfüllen). Wolframlegierungsstäbe mit kleinem Durchmesser werden aufgrund ihrer hohen Präzision und Kompaktheit oft in Steckverbindern oder wärmeleitenden Komponenten in der Elektronikindustrie verwendet, wo extrem hohe Oberflächengüten und Maßtoleranzen erforderlich sind. Wolframlegierungsstäbe mit großem Durchmesser, deren Hauptvorteil ihre hohe Tragfähigkeit ist, eignen sich für Anwendungen, die größere Gegengewichte erfordern, wie etwa Lageregelungssysteme für Satelliten. Dünne Wolframlegierungsstäbe eignen sich hervorragend für Wärmeableitungs- und

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Abschirmanwendungen und bieten hohe Leistung bei geringerer Dicke. Sonderformen werden präzisionsgefertigt, um spezielle geometrische Anforderungen zu erfüllen, wie etwa Strahlenschutzkomponenten in medizinischen Geräten. Die Spezifikationsklassifizierung erfordert eine Kombination von Produktionsprozessen (wie Schneiden, Schleifen und Oberflächenbehandlung), um Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität sicherzustellen und gleichzeitig die Bearbeitbarkeit des Materials und die Umweltfreundlichkeit zu berücksichtigen. Die Spezifikationsklassifizierung bietet Flexibilität und gezielte Anwendungsmöglichkeiten für Wolframlegierungsstäbe, unterstützt deren weit verbreiteten Einsatz in hochpräzisen und hochzuverlässigen Anwendungen und leistet wichtige Unterstützung für die innovative Entwicklung der modernen Industrie.

## 1.5 Unterschiede zu ähnlichen Produkten

Als Verbundwerkstoff unterscheiden sich Wolframlegierungsstäbe hinsichtlich Leistung und Anwendung erheblich von anderen Metallwerkstoffen (wie reinem Wolfram, Molybdänlegierungen und Titanlegierungen). Diese Unterschiede zeigen sich vor allem in den physikalischen und mechanischen Eigenschaften, den Verarbeitungsmöglichkeiten und der Anpassungsfähigkeit an Anwendungsszenarien. Durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer mildern Wolframlegierungsstäbe die Sprödigkeit und die Verarbeitungsschwierigkeiten von reinem Wolfram. Dieses Material bietet auch einen starken Kontrast zu Molybdän- und Titanlegierungen hinsichtlich Dichte, Festigkeit und Funktionalität. Ein Vergleich dieser Materialien hilft, die einzigartigen Vorteile von Wolframlegierungsstäben zu verdeutlichen, wie z. B. ihre hohe Dichte für Gegengewichtsanwendungen, ihre hohe Wärmeleitfähigkeit für die Wärmeableitung von Elektronik und ihre hohe Temperaturbeständigkeit für Luft- und Raumfahrtkomponenten. Der folgende Artikel analysiert systematisch die Unterschiede zwischen Wolframlegierungsstäben und ihrer Anwendbarkeit in bestimmten Anwendungen und vergleicht ihre Leistung und Anwendungsmöglichkeiten mit denen von reinem Wolframstäben, Molybdänlegierungsstäben und Titanlegierungsstäben.

### 1.5.1 Vergleich von Leistung und Anwendung mit reinem Wolframstab

Die Unterschiede in Leistung und Anwendung zwischen Wolframlegierungsstäben und reinen Wolframstäben ergeben sich hauptsächlich aus der unterschiedlichen Materialzusammensetzung und Verarbeitung. Reine Wolframstäbe, die ausschließlich aus Wolfram bestehen, weisen eine extrem hohe Dichte und einen hohen Schmelzpunkt auf, sind jedoch aufgrund ihrer Sprödigkeit und der schwierigen Verarbeitung nur begrenzt anwendbar. Wolframlegierungsstäbe verbessern ihre Zähigkeit und Verarbeitungseigenschaften durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer deutlich, während ihre hohe Dichte erhalten bleibt, was sie in einer Vielzahl von Szenarien wettbewerbsfähiger macht. In Bezug auf die Leistung übertreffen Wolframlegierungsstäbe reine Wolframstäbe in Bezug auf Zähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und elektrische Leitfähigkeit. Während reine Wolframstäbe aufgrund ihrer hohen Härte und Sprödigkeit bei hoher Belastung oder Vibration zum Brechen neigen, verbessern Wolframlegierungsstäbe durch die Einführung einer Nickel-Eisen-Bindephase die Schlagfestigkeit und mechanische Stabilität. Darüber hinaus macht die thermische und elektrische Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben (insbesondere Wolfram-Kupfer-Legierungen) diese besser geeignet für

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungen, die ein effizientes Wärmemanagement erfordern, wie z. B. elektronische Wärmeableitungskomponenten. Reine Wolframstäbe werden aufgrund ihrer geringeren Wärmeleitfähigkeit hauptsächlich in Hochtemperaturrelektroden oder Heizelementen verwendet.

Wolframlegierungsstäbe lassen sich leichter verarbeiten, schleifen und formen und können präzise in komplexe Formen gebracht werden, um den hohen Präzisionsanforderungen der Luft- und Raumfahrt sowie der Elektronikindustrie gerecht zu werden. Reine Wolframstäbe sind aufgrund ihrer hohen Härte und Sprödigkeit schwer zu bearbeiten und neigen bei der Verarbeitung zur Rissbildung, was ihre Verwendung in hochpräzisen Bauteilen einschränkt. Wolframlegierungsstäbe finden breite Anwendung in Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt (z. B. zur Lageregelung von Satelliten), in medizinischen Strahlenschutzvorrichtungen (z. B. Komponenten von CT-Geräten) und in elektronischen Wärmeableitungssubstraten. Ihre vielfältigen Eigenschaften machen sie anpassungsfähiger. Reine Wolframstäbe hingegen werden hauptsächlich als Elektroden für Hochtemperaturumgebungen verwendet, z. B. als Argon-Lichtbogenschweißelektroden oder als Hochtemperaturofenkomponenten, und haben einen eingeschränkteren Anwendungsbereich. Die Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit von Wolframlegierungsstäben verstärken ihre Vorteile in umweltsensiblen Anwendungen zusätzlich. Die Verarbeitung von reinen Wolframstäben kann jedoch mehr Abfall erzeugen und die Umweltbelastung erhöhen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihrer optimierten Leistung und Verarbeitungsflexibilität in einer Vielzahl von Anwendungen eine größere Anpassungsfähigkeit und Praktikabilität aufweisen als reine Wolframstäbe und somit eine effizientere Materialoption für die moderne Industrie darstellen.

### 1.5.2 Vergleich von Leistung und Anwendung mit Stäben aus Molybdänlegierungen

Die Unterschiede in Leistung und Anwendung zwischen Stäben aus Wolframlegierungen und Stäben aus Molybdänlegierungen zeigen sich hauptsächlich in Dichte, Festigkeit, Hochtemperaturbeständigkeit und den Anwendungsschwerpunkten. Stäbe aus Molybdänlegierungen bestehen hauptsächlich aus Molybdän, dem üblicherweise Elemente wie Titan, Zirkonium oder Kohlenstoff zugesetzt werden. Sie weisen eine hohe Festigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit auf, haben aber eine geringere Dichte als Stäbe aus Wolframlegierungen. Die hohe Dichte von Stäben aus Wolframlegierungen bietet erhebliche Vorteile bei Anwendungen, bei denen ein Gewichtsausgleich erforderlich ist, wie beispielsweise bei Gegengewichtskomponenten in der Luft- und Raumfahrt, während Stäbe aus Molybdänlegierungen aufgrund ihrer geringeren Dichte besser für Leichtbaukonstruktionen geeignet sind. In Bezug auf die Leistung sind die mechanische Festigkeit und Oxidationsbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen bei hohen Temperaturen denen von Stäben aus Molybdänlegierungen etwas unterlegen. Stäbe aus Molybdänlegierungen behalten ihre Leistung auch bei höheren Temperaturen stabil bei und eignen sich für Umgebungen mit extrem hohen Temperaturen, wie beispielsweise Hochtemperatur-Ofenauskleidungen oder Triebwerkskomponenten in der Luft- und Raumfahrt. Allerdings sind die Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen (insbesondere Wolfram-Kupfer-Legierungen) besser als die von Stäben aus Molybdänlegierungen, was sie für die elektronische Wärmeableitung und Elektrodenanwendungen vorteilhafter macht.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In Bezug auf die Verarbeitbarkeit haben Molybdänlegierungsstäbe eine geringere Härte als Wolframlegierungsstäbe, wodurch sie leichter zu verarbeiten und für die Herstellung dünner Bleche oder komplexer Formen geeignet sind. Ihre Festigkeit und Verschleißfestigkeit sind jedoch geringer als die von Wolframlegierungsstäben, was ihre Anwendung in Umgebungen mit hoher Belastung einschränkt. Durch Pulvermetallurgie werden Zähigkeit und Verarbeitbarkeit von Wolframlegierungsstäben optimiert, sodass sie Anforderungen an hohe Präzision und Verschleißfestigkeit erfüllen, wie z. B. rotierende Komponenten in medizinischen Bildgebungsgeräten. In Bezug auf die Anwendung werden Wolframlegierungsstäbe häufig in hochdichten Gegengewichten und Abschirmanwendungen verwendet, beispielsweise in der medizinischen Strahlenabschirmung und der Lageregelung in der Luft- und Raumfahrt, während Molybdänlegierungsstäbe häufiger in Hochtemperatur-Strukturkomponenten oder Sputtertargets in der Halbleiterherstellung verwendet werden. Molybdänlegierungsstäbe haben in bestimmten sauren Umgebungen eine bessere Korrosionsbeständigkeit als Wolframlegierungsstäbe, sind jedoch in Umgebungen mit hoher Luftfeuchtigkeit oder oxidierenden Substanzen stabiler. Die Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit von Wolframlegierungsstäben machen sie für umweltsensible Anwendungen wie medizinische Geräte vorteilhaft, während die Herstellung von Molybdänlegierungsstäben einen höheren chemischen Aufwand erfordern kann, was die Umweltkosten erhöht. Diese Unterschiede zwischen Wolframlegierungsstäben und Molybdänlegierungsstäben verleihen ihnen unterschiedliche Anwendungsschwerpunkte und bieten ergänzende Materialoptionen für verschiedene Industrieszenarien.

### 1.5.3 Vergleich mit Stäben aus Titanlegierungen hinsichtlich Leistung und Anwendung

Die Unterschiede in Leistung und Anwendung zwischen Wolfram- und Titanlegierungsstäben liegen hauptsächlich in ihrer Dichte, Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Anwendbarkeit. Titanlegierungsstäbe, die hauptsächlich aus Titan mit Zusätzen wie Aluminium und Vanadium bestehen, zeichnen sich durch geringe Dichte, hohe Festigkeit und ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit aus und werden daher häufig in Leichtbaukonstruktionen eingesetzt. Die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben bietet Vorteile bei Anwendungen, die einen Gewichtsausgleich erfordern, wie z. B. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt oder rotierende Komponenten in medizinischen Geräten. Titanlegierungsstäbe mit geringer Dichte eignen sich hingegen besser für Anwendungen, bei denen es auf Gewichtsreduzierung ankommt, wie z. B. Luft- und Raumfahrtstrukturen. Titanlegierungsstäbe bieten ein besseres Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht und damit eine höhere spezifische Festigkeit in Umgebungen mit hoher Beanspruchung. Aufgrund ihrer höheren absoluten Festigkeit und Härte eignen sie sich für verschleiß- und schlagfeste Anwendungen. Wolframlegierungsstäbe bieten im Vergleich zu Titanlegierungsstäben zudem eine bessere Wärme- und elektrische Leitfähigkeit (insbesondere Wolfram-Kupfer-Legierungen) und eignen sich daher besser für Anwendungen zur elektronischen Kühlung und für Elektroden. Die geringere Wärmeleitfähigkeit von Titanlegierungsstäben schränkt jedoch ihren Einsatz im Wärmemanagement ein.

Titanlegierungsstäbe zeichnen sich durch hervorragende Korrosionsbeständigkeit in Meeresumgebungen und sauren Bedingungen aus und eignen sich daher für den Einsatz in Schiffen oder chemischen Geräten. Wolframlegierungsstäbe sind ebenfalls in allgemeinen chemischen Umgebungen stabil, in stark sauren

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umgebungen jedoch möglicherweise etwas weniger stabil. Titanlegierungsstäbe lassen sich leichter schneiden und formen als Wolframlegierungsstäbe. Durch eine optimierte Zusammensetzung (z. B. durch Zugabe von Nickel oder Kupfer) wurde die Bearbeitbarkeit von Wolframlegierungsstäben verbessert, sodass sie hohe Präzisionsanforderungen erfüllen können. Wolframlegierungsstäbe werden häufig in Gegengewichten und Abschirmkomponenten verwendet, die eine hohe Dichte erfordern, beispielsweise in der medizinischen Strahlenabschirmung und der Lageregelung in der Luft- und Raumfahrt. Titanlegierungsstäbe hingegen werden häufiger in leichten Strukturteilen wie Flugzeugrümpfen oder medizinischen Implantaten verwendet. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit verschaffen Wolframlegierungsstäben Vorteile bei umweltsensiblen Anwendungen, während Titanlegierungsstäbe aufgrund ihrer Biokompatibilität häufiger in medizinischen Implantaten eingesetzt werden. Die Unterschiede zwischen Stäben aus Wolframlegierungen und Stäben aus Titanlegierungen spiegeln die unterschiedliche Betonung von Gewicht, Festigkeit und Funktionalität wider und bieten eine vielfältige Materialauswahl für das Industriedesign, das ein breites Spektrum an Anforderungen von hoher Dichte bis hin zu geringem Gewicht erfüllt.



CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsstange

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Kapitel 2 Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Stäbe aus Wolframlegierungen bieten aufgrund ihrer außergewöhnlichen physikalischen und mechanischen Eigenschaften einen umfassenden Anwendungswert in der Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und Präzisionsfertigung. Ihre Leistungsfähigkeit verdanken sie der hohen Dichte und dem hohen Schmelzpunkt von Wolfram, kombiniert mit Zusatzelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer. Pulvermetallurgie optimiert, entsteht ein Material mit einer einzigartigen Balance aus Festigkeit, Zähigkeit und Funktionalität. Stäbe aus Wolframlegierungen überzeugen in Umgebungen mit hoher Belastung, hohen Temperaturen und hoher Präzision und erfüllen vielfältige Anforderungen wie Gegengewichtung, Wärmeableitung, Strahlenschutz und strukturelle Unterstützung. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit verschaffen ihnen erhebliche Vorteile in umweltschonenden Anwendungen und stehen im Einklang mit dem Streben der modernen Industrie nach nachhaltiger Entwicklung.

### 2.1 Physikalische Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Die physikalischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben bilden die Grundlage für ihre herausragende Leistung in einer Vielzahl von Hightech-Anwendungen. Zu diesen Eigenschaften zählen hohe Dichte, hoher Schmelzpunkt, hohe Temperaturbeständigkeit sowie Wärme- und elektrische Leitfähigkeit. Diese Eigenschaften ermöglichen es ihnen, unter extremen Bedingungen stabil zu bleiben und die hohen Materialanforderungen in Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Elektronik und Medizin zu erfüllen. Die physikalischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben leiten sich von den natürlichen Eigenschaften ihres Hauptbestandteils Wolfram ab. Sie werden zusätzlich durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer optimiert, um die Sprödigkeit und Verarbeitungsschwierigkeiten von reinem Wolfram zu verbessern. Im Vergleich zu anderen Metallmaterialien haben Wolframlegierungsstäbe erhebliche Vorteile hinsichtlich Dichte und Hochtemperaturbeständigkeit, wodurch sie ein hohes Gewicht bei begrenztem Volumen ermöglichen oder die strukturelle Integrität in Hochtemperaturumgebungen bewahren können. Ihre thermische und elektrische Leitfähigkeit (insbesondere von Wolfram-Kupfer-Legierungen) erweitert ihr Potenzial in der elektronischen Wärmeableitung und bei Elektrodenanwendungen zusätzlich.

#### 2.1.1 Hohe Dichteigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben ist eine ihrer bemerkenswertesten physikalischen Eigenschaften und bietet einen unersetzlichen Vorteil bei Anwendungen, die einen Gewichtsausgleich oder eine hohe Massekonzentration auf begrenztem Volumen erfordern. Wolfram als Hauptbestandteil verleiht dem Legierungsstab seine extrem hohe Dichte. Durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer wird die Mikrostruktur der Legierung optimiert, wodurch die hohe Dichte erhalten bleibt und gleichzeitig die Zähigkeit und Verarbeitungsleistung verbessert werden. Dank dieser hohen Dichte können Wolframlegierungsstäbe ein erhebliches Gewicht auf relativ kleinem Raum bieten und eignen sich daher für Anwendungen, die präzise Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik und der Präzisionsfertigung erfordern. Der Dichtevorteil zeigt sich auch in Strahlenschutzanwendungen, wo das hochdichte Material hochenergetische Strahlung effektiv

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

blockieren und so Ausrüstung und Personal schützen kann.

In der Luft- und Raumfahrt wird die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben häufig in Lageregelungs- und Gegengewichtskomponenten eingesetzt, beispielsweise in den Ausgleichssystemen von Satelliten und Raumfahrzeugen. Durch eine optimierte Gewichtsverteilung gewährleisten sie Stabilität im Orbitalbetrieb. In der Medizintechnik werden hochdichte Wolframlegierungsstäbe in rotierenden Komponenten von bildgebenden Geräten (z. B. CT-Geräten) eingesetzt. Ihr Gewichtsvorteil sorgt für dynamisches Gleichgewicht und bietet gleichzeitig Strahlenschutz. Im Vergleich zu anderen hochdichten Materialien (wie Blei) sind Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihrer Ungiftigkeit besonders in den umwelttechnisch anspruchsvollen Bereichen Medizin und Elektronik von Vorteil und vermeiden potenzielle Umweltrisiken. Die hohe Dichte der Wolframlegierungsstäbe wird bei der Herstellung durch ein pulvermetallurgisches Verfahren erreicht, bei dem Zusammensetzung und Sinterbedingungen präzise gesteuert werden, um Materialgleichmäßigkeit und Dichtestabilität zu gewährleisten. Die Verarbeitbarkeit ermöglicht eine Vielzahl von Formen und Spezifikationen, um den Größen- und Gewichtsanforderungen verschiedener Anwendungen gerecht zu werden. Die hohe Dichte unterstützt auch den Einsatz in Präzisionsinstrumenten, beispielsweise in Komponenten zur Schwingungsdämpfung, bei denen lokal Gewicht hinzugefügt wird, um Vibrationen während des Betriebs zu reduzieren. Die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben bietet eine solide Grundlage für ihre Anwendung in verschiedenen Szenarien und fördert die Designoptimierung und Leistungsverbesserung in Hightech-Bereichen.

### 2.1.2 Hoher Schmelzpunkt von Wolframlegierungsstäben

Eine weitere wichtige physikalische Eigenschaft von Wolframlegierungsstäben ist ihr hoher Schmelzpunkt. Dieser ergibt sich aus dem extrem hohen Schmelzpunkt von Wolfram selbst und der hervorragenden Hitzebeständigkeit, die durch die Zugabe von Elementen aufrechterhalten wird. Dank dieses hohen Schmelzpunkts behalten Wolframlegierungsstäbe ihre strukturelle Integrität und mechanischen Eigenschaften auch in Hochtemperaturumgebungen und eignen sich daher für den Einsatz in Triebwerkskomponenten für die Luft- und Raumfahrt, elektronischen Hochtemperaturelektroden und industriellen Hochtemperaturprozessanlagen. Der hohe Schmelzpunkt von Wolfram wird durch Pulvermetallurgie erhalten, während die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer die Zähigkeit und Verarbeitbarkeit der Legierung verbessert und sie so für Hochtemperaturanwendungen geeigneter macht. Im Vergleich zu anderen Metallwerkstoffen bleiben Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts auch unter extremen Temperaturbedingungen stabil, wodurch Verformungen oder Versagen durch thermische Belastung vermieden werden.

In der Luft- und Raumfahrtindustrie sind Stäbe aus Wolframlegierungen aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts ideal für Komponenten in der Nähe von Triebwerksdüsen oder Hochtemperaturstrukturen geeignet, da sie den rauen Bedingungen durch Hochtemperaturgase und Thermoschocks standhalten. In der Elektronikindustrie unterstützt der hohe Schmelzpunkt den Einsatz in Hochtemperaturelektroden oder Heizelementen und sorgt für eine stabile Stromleitung in Vakuumgeräten oder Schweißprozessen. Der hohe Schmelzpunkt ermöglicht zudem den Einsatz als Stützstruktur in Hochtemperaturöfen oder Wärmebehandlungsanlagen, wodurch die Lebensdauer der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Geräte verlängert wird. Der hohe Schmelzpunkt von Stäben aus Wolframlegierungen wird durch ein Flüssigphasen-Sinterverfahren optimiert. Hinzugefügte Elemente bilden während des Sinterprozesses eine Bindephase, die die Bindung zwischen den Partikeln stärkt und die strukturelle Stabilität bei hohen Temperaturen gewährleistet. Seine Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit machen ihn umweltfreundlich für Hochtemperaturanwendungen und vermeiden die potenziellen Umweltverschmutzungsprobleme, die mit herkömmlichen Hochtemperaturmaterialien verbunden sind. Bei der Verarbeitung erfordert der hohe Schmelzpunkt Hochleistungswerkzeuge und Präzisionsgeräte, um Maßgenauigkeit und Oberflächengüte zu gewährleisten.

### 2.1.3 Hohe Temperaturbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben

Die Hochtemperaturbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben ist ein wesentlicher Ausdruck ihrer physikalischen Eigenschaften. Sie ermöglicht ihnen eine stabile Leistung in Umgebungen mit hohen Temperaturen, hohem Druck oder Thermoschocks und erfüllt so die Nachfrage nach hitzebeständigen Materialien in der Luft- und Raumfahrt, der Elektronik und den Industriesektoren. Diese Hochtemperaturbeständigkeit rührt nicht nur vom hohen Schmelzpunkt von Wolfram her, sondern auch von der Optimierung der Mikrostruktur der Legierung durch zugesetzte Elemente (wie Nickel, Eisen oder Kupfer), was zu ausgezeichneter mechanischer Festigkeit und Oxidationsbeständigkeit selbst bei hohen Temperaturen führt. Dank ihrer Hochtemperaturbeständigkeit können Wolframlegierungsstäbe extremen Temperaturschwankungen standhalten und eignen sich daher für den Einsatz als kritische Komponente in Hochtemperaturprozessen oder -geräten. Ihre Korrosionsbeständigkeit erhöht ihre Stabilität in chemischen Umgebungen mit hohen Temperaturen zusätzlich und verhindert Leistungseinbußen durch Oxidation oder chemische Reaktionen.

In der Luft- und Raumfahrtindustrie macht die hohe Temperaturbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben diese zu einem bevorzugten Material für Antriebssysteme oder Hochtemperatur-Strukturkomponenten, da sie ihre Form und Festigkeit in den Hochtemperaturumgebungen von Brennkammern oder Düsen beibehalten. In der Elektronikindustrie unterstützt seine hohe Temperaturbeständigkeit den Einsatz in Hochtemperatur-Wärmeableitungskomponenten oder Elektroden, beispielsweise in Anlagen zur Halbleiterherstellung, wo es Wärme schnell ableitet und einen stabilen Betrieb aufrechterhält. Seine hohe Temperaturbeständigkeit ermöglicht auch den Einsatz als Auskleidung oder Stütze in industriellen Hochtemperaturöfen oder Wärmebehandlungsanlagen, wodurch die Lebensdauer der Anlagen verlängert wird. Die hohe Temperaturbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben wird durch Pulvermetallurgie und Oberflächenbehandlungsverfahren weiter verbessert, beispielsweise durch die Zugabe von Kupfer zur Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit oder durch Beschichtungen zur Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit. Während der Verarbeitung erfordert die hohe Temperaturbeständigkeit eine strenge Kontrolle der Sintertemperaturen und Abkühlraten, um durch thermische Spannungen verursachte Mikrorisse zu vermeiden. Seine Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit gewährleisten die Einhaltung von Umweltstandards bei Hochtemperaturanwendungen und reduzieren die Umweltbelastung durch Produktion und Entsorgung. Die hohe Temperaturbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben gewährleistet ihre zuverlässige Anwendung in rauen Umgebungen und leistet

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wichtige Unterstützung für den technologischen Fortschritt in der Luft- und Raumfahrt, der Elektronik und der Industrie.

#### 2.1.4 Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframlegierungsstäben

Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframlegierungsstäben ist ein wichtiger Parameter für ihre physikalischen Eigenschaften. Er gibt an, wie stark sich das Volumen oder die Größe des Materials bei Temperaturänderungen ausdehnt, und wird üblicherweise als linearer Ausdehnungskoeffizient angegeben. Der relativ niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframlegierungsstäben ist auf die geringe Ausdehnungseigenschaft von Wolfram selbst zurückzuführen. Durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer lässt er sich leicht anpassen, bleibt aber dennoch auf einem niedrigen Niveau. Diese Eigenschaft ermöglicht die Aufrechterhaltung der Dimensionsstabilität in Umgebungen mit großen Temperaturschwankungen und reduziert Verformungen oder Risse durch thermische Spannung. Wolframlegierungsstäbe eignen sich besonders für Anwendungen wie die Luft- und Raumfahrt, die Elektronik und Hochtemperatur-Prozessanlagen, die hohe Präzision und Stabilität erfordern. Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient ermöglicht Wolframlegierungsstäben eine gute Leistung unter Temperaturwechselbedingungen und lässt sich gut mit Materialien mit geringer Ausdehnung wie Keramik und Glas kombinieren. Wolframlegierungsstäbe finden breite Anwendung in der Präzisionsfertigung.

In der Luft- und Raumfahrtindustrie eignet sich Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihres niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten ideal für Hochtemperaturkomponenten, beispielsweise in der Nähe von Triebwerksdüsen. Sie bleiben in Hochtemperaturgasumgebungen geometrisch stabil und verhindern so Strukturversagen durch unterschiedliche Ausdehnung. In der Elektronikindustrie werden Wolframlegierungsstäbe häufig als Kühlkörper oder Verpackungsmaterial in der Halbleiterfertigung eingesetzt. Ihr niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient entspricht den Wärmeausdehnungseigenschaften von Siliziumchips oder anderen Materialien mit geringer Ausdehnung und reduziert so Risse oder Verbindungsfehler durch thermische Spannungen. Während der Produktion wird der Wärmeausdehnungskoeffizient durch Optimierung der Legierungszusammensetzung und des Sinterprozesses gesteuert. Beispielsweise kann die Zugabe von Kupfer den Wärmeausdehnungskoeffizienten leicht erhöhen, um spezifischen Anforderungen gerecht zu werden, während eine Nickel-Eisen-Kombination die niedrigen Wärmeausdehnungseigenschaften beibehält. Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframlegierungsstäben unterstützt auch ihre Anwendung in Präzisionsinstrumenten, wie optischen Geräten oder Strukturkomponenten von Messgeräten, bei denen hochpräzise Abmessungen erforderlich sind. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit machen sie vorteilhaft für umweltsensible Anwendungen und erfüllen die Standards der grünen Fertigung.

#### 2.1.5 Wärmeleitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben

Die Wärmeleitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben spiegelt ihre physikalischen Eigenschaften wider und bezeichnet ihre Fähigkeit, Wärme zu leiten, die besonders bei Wolfram-Kupfer-Legierungen ausgeprägt ist. Wolfram selbst hat eine geringe Wärmeleitfähigkeit, wird jedoch durch die Zugabe von

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kupfer mit hoher Wärmeleitfähigkeit deutlich verbessert, was es zu einem bevorzugten Material für Wärmemanagementkomponenten in der Elektronik- und Halbleiterindustrie macht. Dank der Wärmeleitfähigkeit können Wolframlegierungsstäbe Wärme in Hochleistungsgeräten schnell ableiten, wodurch lokale Überhitzung verhindert und ein stabiler Gerätebetrieb gewährleistet wird. Die Wärmeleitfähigkeit hängt auch eng mit der Legierungszusammensetzung und der Mikrostruktur zusammen. Das pulvermetallurgische Verfahren wird genutzt, um die Partikelverteilung und die Bindungsphase zu optimieren und so eine effiziente Wärmeleitung zu gewährleisten. Die Wärmeleitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben bietet ihnen erhebliche Vorteile in Szenarien, die eine effiziente Wärmeableitung erfordern, und sie werden häufig in elektronischen Verpackungen, Wärmeableitungssubstraten und Hochleistungsgeräten eingesetzt.

In der Elektronikindustrie eignen sich Wolframlegierungsstreifen aufgrund ihrer Wärmeleitfähigkeit ideal für Chip-Kühlkörper oder Leistungsverstärkersubstrate. Sie leiten die im Betrieb entstehende Wärme schnell an den Kühlkörper ab, senken so die Gerätetemperatur und verlängern die Lebensdauer. In der Luft- und Raumfahrt unterstützt die Wärmeleitfähigkeit von Wolframlegierungsstreifen deren Einsatz in Hochtemperaturkomponenten, beispielsweise in Wärmemanagementkomponenten von Antriebssystemen. Dort leiten sie Wärme schnell ab, reduzieren thermische Spannungen und verbessern die Systemzuverlässigkeit. Während der Produktion wird die Wärmeleitfähigkeit durch Anpassung des Kupfergehalts und der Sinterbedingungen optimiert. So verbessert beispielsweise eine Erhöhung des Kupferanteils die Wärmeleitfähigkeit deutlich bei gleichzeitig ausreichender mechanischer Festigkeit. Die Verarbeitbarkeit ermöglicht die Herstellung dünner Streifen oder komplexer Formen, die den Anforderungen hochpräziser Wärmeableitungskomponenten gerecht werden. Die Wärmeleitfähigkeit von Wolframlegierungsstreifen, kombiniert mit ihrem niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten, gewährleistet eine gute thermische Anpassung an Materialien mit geringer Ausdehnung und reduziert so die Spannungsakkumulation bei Temperaturwechselbelastungen. Die Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit machen Wolframlegierungsstreifen in der Elektronikfertigung umweltfreundlich und reduzieren die Umweltbelastung durch Produktion und Entsorgung. Die Wärmeleitfähigkeit von Wolframlegierungsstreifen gewährleistet eine zuverlässige Anwendung in Umgebungen mit hoher Leistung und hoher Temperatur und treibt den technologischen Fortschritt in der Elektronik- und Luft- und Raumfahrtbranche voran.

### 2.1.6 Elektrische Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben

Die Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben ist ein weiteres wichtiges physikalisches Merkmal. Sie bezieht sich auf ihre Fähigkeit, elektrischen Strom zu leiten, die insbesondere bei Wolfram-Kupfer-Legierungen hervorragend ist. Reines Wolfram hat eine geringe Leitfähigkeit, aber durch die Zugabe von hochleitfähigem Kupfer wird die Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben deutlich verbessert, sodass sie häufig in Elektroden, Steckverbindern und leitfähigen Komponenten in der Elektronik- und Kommunikationsbranche eingesetzt werden. Dank ihrer Leitfähigkeit unterstützen Wolframlegierungsstäbe die Hochfrequenzsignalübertragung und effiziente Stromleitung, wodurch Widerstandsverluste reduziert werden. Sie eignen sich für hochpräzise und leistungsstarke elektronische Geräte. Ihre Leitfähigkeit hängt eng mit der Legierungszusammensetzung, der Mikrostruktur und der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verarbeitungstechnologie zusammen. Sie wird durch Pulvermetallurgie und Oberflächenbehandlung optimiert, um die Gleichmäßigkeit und Stabilität des Leiterbahnverlaufs zu gewährleisten. Die Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben verschafft ihnen einen Wettbewerbsvorteil in Szenarien, in denen eine effiziente elektrische Leitung erforderlich ist.

Aufgrund ihrer Leitfähigkeit sind Wolframlegierungsstäbe in der Elektronikindustrie ein bevorzugtes Material für Elektroden und Verbindungsstücke in Hochfrequenzgeräten wie Mikrowellenkommunikationsgeräten oder HF-Leistungsverstärkern, da sie eine stabile und verlustarme Signalübertragung gewährleisten. In der Luft- und Raumfahrt unterstützt die Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben deren Einsatz in elektrischen Systemen, beispielsweise als leitfähige Komponenten in Satellitenkommunikationsmodulen, und gewährleistet eine zuverlässige Stromübertragung. Während der Produktion wird die Leitfähigkeit durch Anpassung des Kupfergehalts und des Sinterprozesses optimiert. Durch die Erhöhung des Kupferanteils wird die Leitfähigkeit deutlich verbessert, während die hohe Dichte und Festigkeit der Wolframlegierung erhalten bleiben. Die Verarbeitbarkeit ermöglicht die Herstellung von Präzisionselektroden oder -verbindern, die den Anforderungen an eine hochpräzise Montage gerecht werden. Die Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben, kombiniert mit ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit und ihrem niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten, schafft einen umfassenden Leistungsvorteil und ermöglicht gleichzeitig Wärmemanagement und elektrische Leitung im Hochleistungsbetrieb. Dank ihrer Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit erfüllt sie die Umweltstandards in der Elektronikfertigung und reduziert so die Umweltbelastung. Die Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben bietet eine solide Grundlage für ihre weitverbreitete Anwendung in der Elektronik- und Kommunikationsbranche und treibt die Weiterentwicklung leistungsstarker elektronischer Geräte und Kommunikationstechnologien voran.

## 2.2 Mechanische Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Die mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben, darunter Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Härte, Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit, sind entscheidend für ihre Anwendung in Umgebungen mit hoher Belastung und komplexen Beanspruchungen. Diese Eigenschaften ermöglichen es ihnen, hohen Belastungen, Stößen und Verschleiß in Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Elektronik und der Präzisionsfertigung standzuhalten und gleichzeitig ihre strukturelle Integrität und Leistungsstabilität zu bewahren. Die mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben beruhen auf der hohen Festigkeit von Wolfram. Durch die Optimierung der Leistungsfähigkeit von Wolfram durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer wird die Sprödigkeit von reinem Wolfram deutlich verbessert, während gleichzeitig seine Zähigkeit und Verarbeitungseigenschaften verbessert werden. Im Vergleich zu anderen metallischen Werkstoffen bieten Wolframlegierungsstäbe deutliche Vorteile hinsichtlich Zugfestigkeit, Druckfestigkeit und Härte. Sie bleiben auch in Umgebungen mit hoher Belastung stabil und eignen sich daher für den Einsatz in Strukturbauteilen, Werkzeugmaterialien und verschleißfesten Teilen. Ihre mechanischen Eigenschaften werden durch Pulvermetallurgie und Präzisionsbearbeitung weiter optimiert, um eine gleichmäßige Mikrostruktur und konstante Leistung zu gewährleisten. Die folgende Analyse konzentriert sich auf

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zugfestigkeit, Druckfestigkeit und Härte und untersucht deren Rolle in der praktischen Anwendung.

### 2.2.1 Zugfestigkeit von Wolframlegierungsstäben

Die Zugfestigkeit von Wolframlegierungsstäben ist ein wichtiger Indikator für ihre mechanischen Eigenschaften und gibt die Bruchfestigkeit des Materials unter Zugbelastung an. Durch die Zugabe von Bindeelementen wie Nickel und Eisen wird die Zugfestigkeit von Wolframlegierungsstäben deutlich verbessert. Dadurch wird die hohe Sprödigkeit von reinem Wolfram überwunden und die strukturelle Integrität auch in hochbelasteten Umgebungen bewahrt. Aufgrund ihrer Zugfestigkeit eignen sich Wolframlegierungsstäbe für Anwendungen, die Zugbelastungen standhalten müssen, wie z. B. strukturelle Stützkomponenten in der Luft- und Raumfahrt oder hochfeste Verbindungselemente in der Präzisionsfertigung. Ihre Zugfestigkeit beruht auf der gleichmäßigen Verteilung der Wolframpartikel und der Bindephase. Die dichte Mikrostruktur entsteht durch Flüssigphasensintern im pulvermetallurgischen Verfahren, was die Zugfestigkeit des Materials erhöht. Die Zugfestigkeit von Wolframlegierungsstäben hängt auch eng mit dem Zusammensetzungsverhältnis und der Verarbeitungstechnologie zusammen. Beispielsweise kann die Optimierung des Nickel-Eisen-Verhältnisses Zähigkeit und Festigkeit weiter verbessern.

In der Luft- und Raumfahrt ist Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihrer Zugfestigkeit ein ideales Material für Lageregelungssysteme oder Antriebssystemkomponenten. Sie halten den Zugspannungen und Vibrationen im Orbit stand und gewährleisten so die Stabilität der Geräte. In der Elektronikindustrie ermöglicht ihre Zugfestigkeit den Einsatz in hochpräzisen Steckverbindern oder Elektrodenkomponenten, da sie Zugbelastungen bei Montage und Betrieb standhalten und die strukturelle Zuverlässigkeit erhalten. Während der Produktion wird die Zugfestigkeit durch strenge Kontrolle der Sintertemperaturen und Abkühlraten optimiert, um Mikrorisse zu vermeiden. Ihre Verarbeitbarkeit ermöglicht komplexe Formen und erfüllt die mechanischen Anforderungen hochpräziser Anwendungen. Die Zugfestigkeit von Wolframlegierungsstäben, kombiniert mit ihrer hohen Dichte und Hochtemperaturbeständigkeit, schafft einen umfassenden Leistungsvorteil und ermöglicht die Aufrechterhaltung einer stabilen Leistung in Umgebungen mit hoher Belastung und hohen Temperaturen. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit machen sie vorteilhaft für umweltsensible Anwendungen und erfüllen die Anforderungen an eine umweltfreundliche Fertigung. Die Zugfestigkeit von Wolframlegierungsstäben gewährleistet ihre Zuverlässigkeit bei Hochlastanwendungen und treibt den technologischen Fortschritt in der Luft- und Raumfahrt sowie der Präzisionsfertigung voran.

### 2.2.2 Druckfestigkeit von Wolframlegierungsstäben

Die Druckfestigkeit von Wolframlegierungsstäben ist ein weiterer wichtiger Indikator für ihre mechanischen Eigenschaften. Sie beschreibt die Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber Verformungen und Beschädigungen unter Druckbelastung. Die hohe Druckfestigkeit von Wolframlegierungsstäben beruht auf der hohen Härte und Dichte des Wolframs, die durch die Zugabe von Elementen wie Nickel und Eisen noch weiter verbessert wird, wodurch die Formstabilität und Leistung auch in Hochdruckumgebungen erhalten bleibt. Dank ihrer Druckfestigkeit eignen sich

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsstäbe für den Einsatz in Umgebungen, in denen sie hohen Belastungen oder Druckspannungen ausgesetzt sind, wie z. B. als Gegengewichtskomponenten in der Luft- und Raumfahrt oder als druckfeste Strukturteile in Industrieanlagen. Die Druckfestigkeit wird durch Pulvermetallurgie optimiert, bei der Wolframpartikel und die Bindephase eine dichte Mikrostruktur bilden, die Druckspannungen effektiv verteilt und Materialrisse oder Verformungen verhindert. Die Druckfestigkeit hängt auch eng mit der Legierungszusammensetzung und dem Sinterprozess zusammen. Ein geeignetes Nickel-Eisen-Verhältnis kann die Zähigkeit und Druckfestigkeit des Materials verbessern.

Aufgrund ihrer Druckfestigkeit eignen sich Wolframlegierungsstäbe in der Luft- und Raumfahrt bevorzugt für Satellitengegengewichte oder Antriebssystemkomponenten. Sie halten den hohen Druckbelastungen bei Start und Betrieb stand und gewährleisten so strukturelle Stabilität. In der Präzisionsfertigung ermöglicht diese Druckfestigkeit den Einsatz von Wolframlegierungsstäben in Formen oder Werkzeugmaterialien, da sie Verformungen bei der Hochdruckverarbeitung widerstehen und ihre Lebensdauer verlängern. Während der Produktion wird die Druckfestigkeit durch Optimierung der Sinterbedingungen und der Partikelverteilung erreicht, um sicherzustellen, dass das Material frei von Porosität oder Defekten ist. Die Verarbeitbarkeit ermöglicht die Herstellung hochpräziser stabförmiger Komponenten, die den hohen Anforderungen druckfester Anwendungen gerecht werden.

### 2.2.3 Härteeigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Die Härte von Stäben aus Wolframlegierungen ist ein wichtiger Indikator für ihre mechanischen Eigenschaften. Sie gibt die Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber Oberflächenkratzern und lokaler Verformung an und wird üblicherweise als Vickershärte (HV) oder Brinellhärte (HB) angegeben. Die hohe Härte von Stäben aus Wolframlegierungen beruht auf der inhärent hohen Härte von Wolfram. Durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer wird die Härte leicht reduziert, um die Bearbeitbarkeit zu verbessern, während gleichzeitig eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit und Verformungsbeständigkeit erhalten bleibt. Dank dieser Härte behalten Stäbe aus Wolframlegierungen ihre Oberflächenintegrität und stabile Leistung in Umgebungen mit hoher Reibung oder hoher Belastung bei, wodurch sie sich als Werkzeugwerkstoff oder verschleißfeste Komponente in der Präzisionsfertigung eignen. Die Härte wird durch pulvermetallurgische Verfahren optimiert. Die gleichmäßige Verteilung der Wolframpartikel und einer Bindephase erzeugt eine dichte Mikrostruktur, die die Kratzfestigkeit der Oberfläche erhöht. Die Härte hängt auch vom Zusammensetzungsverhältnis und den Oberflächenbehandlungsverfahren ab. Beispielsweise können Polieren oder Beschichten die Oberflächenhärte und Verschleißfestigkeit weiter verbessern.

In der Präzisionsfertigung eignen sich Stäbe aus Wolframlegierungen aufgrund ihrer hohen Härte ideal für Formen, Schneidwerkzeuge oder verschleißfeste Komponenten. Sie bewahren ihre Oberflächengüte und Formstabilität auch in Umgebungen mit hoher Reibung. In der Luft- und Raumfahrt unterstützt die Härte von Stäben aus Wolframlegierungen deren Einsatz in Strukturteilen oder Gegengewichten, da sie Verschleiß und Stößen im Betrieb standhalten und langfristige Zuverlässigkeit gewährleisten. Während des Produktionsprozesses wird die Härte durch Kontrolle der Sintertemperatur und der Abkühlrate optimiert, um Sprödigkeit durch Überhärtung zu vermeiden. Die Verarbeitungseigenschaften

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ermöglichen durch Präzisionsschleifen und -polieren eine hohe Oberflächenhärte und -güte und erfüllen so die Anforderungen hochpräziser Anwendungen. Die Härte von Stäben aus Wolframlegierungen kombiniert mit ihrer Zug- und Druckfestigkeit bietet umfassende mechanische Leistungsvorteile und ermöglicht eine stabile Leistung auch in komplexen Belastungsumgebungen. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit machen sie in umweltsensiblen Bereichen vorteilhaft und erfüllen die Standards der grünen Fertigung. Die Härte von Stäben aus Wolframlegierungen gewährleistet ihre Zuverlässigkeit in verschleißfesten und langlebigen Anwendungen und fördert den technologischen Fortschritt in der Präzisionsfertigung und der Luft- und Raumfahrt.

#### 2.2.4 Zähigkeit von Wolframlegierungsstäben

Die Zähigkeit von Wolframlegierungsstäben ist ein wichtiger Ausdruck ihrer mechanischen Eigenschaften. Sie beschreibt die Fähigkeit des Materials, Energie zu absorbieren und bei Stößen oder Belastungen bruchfest zu sein. Reines Wolfram weist aufgrund seiner hohen Härte eine hohe Sprödigkeit auf und neigt bei hoher Belastung zum Bruch. Durch die Zugabe von Bindeelementen wie Nickel und Eisen konnte die Zähigkeit von Wolframlegierungsstäben deutlich verbessert werden, sodass sie auch in Umgebungen mit hoher Belastung oder Vibration ihre strukturelle Integrität bewahren. Dank dieser Zähigkeit eignen sich Wolframlegierungsstäbe für Anwendungen, die Schlagfestigkeit erfordern, wie z. B. Gegengewichtskomponenten in der Luft- und Raumfahrt oder Werkzeugmaterialien in der Präzisionsfertigung. Ihre Zähigkeit beruht auf der synergistischen Wirkung von Wolframpartikeln und der Bindephase. Durch Flüssigphasensintern im pulvermetallurgischen Verfahren entsteht eine dichte Mikrostruktur. Die Bindephase verteilt Spannungen effektiv und verhindert Rissausbreitung. Die Optimierung der Zähigkeit hängt eng mit dem Zusammensetzungsverhältnis und dem Sinterprozess zusammen. Beispielsweise kann eine Erhöhung des Nickelgehalts die Zähigkeit weiter verbessern und Härte und Schlagfestigkeit in Einklang bringen.

Aufgrund ihrer Zähigkeit eignen sich Stäbe aus Wolframlegierungen in der Luft- und Raumfahrt ideal für Lageregelungssysteme oder Antriebssystemkomponenten. Sie halten den Stoßbelastungen bei Start und Betrieb stand und gewährleisten so die Stabilität der Geräte. In der Präzisionsfertigung ermöglicht diese Zähigkeit den Einsatz von Stäben aus Wolframlegierungen in hochbelasteten Werkzeugen oder Formen, schützt sie vor Stößen und Vibrationen während der Verarbeitung und verlängert ihre Lebensdauer. Während der Produktion wird die Zähigkeit durch präzise Steuerung der Sintertemperatur, der Abkühlrate und des Zusammensetzungsverhältnisses erreicht, um Sprödigkeit durch Überhärtung zu vermeiden. Die Verarbeitbarkeit ermöglicht die Herstellung komplexer Formen und erfüllt die mechanischen Anforderungen hochpräziser Anwendungen. Die Zähigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen, kombiniert mit ihrer hohen Dichte und Zugfestigkeit, bietet umfassende mechanische Leistungsvorteile und ermöglicht die Aufrechterhaltung einer stabilen Leistung in Umgebungen mit dynamischer Belastung. Aufgrund ihrer Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit eignen sie sich vorteilhaft für umweltsensible Anwendungen und erfüllen grüne Fertigungsstandards. Die Robustheit von Stäben aus Wolframlegierungen gewährleistet ihre Zuverlässigkeit bei Anwendungen mit hoher Stoßbelastung, treibt den technologischen Fortschritt in der Luft- und Raumfahrt sowie der Präzisionsfertigung voran und bietet entscheidende Unterstützung für die Konstruktion und den Betrieb

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von Hochleistungsgeräten.

### 2.2.5 Ermüdungsbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen

Die Ermüdungsbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben ist ein wichtiges Merkmal ihrer mechanischen Eigenschaften und beschreibt die Widerstandsfähigkeit des Materials gegen Ermüdungsschäden unter zyklischer oder wechselnder Belastung. Durch die Zugabe von Elementen wie Nickel und Eisen wird die Mikrostruktur von Wolframlegierungsstäben optimiert, was die Ermüdungsbeständigkeit deutlich verbessert und das Problem des Sprödebruchs von reinem Wolfram unter zyklischer Belastung überwindet. Dadurch bleibt die Leistung auch unter langfristiger dynamischer Belastung stabil. Dank ihrer Ermüdungsbeständigkeit eignen sich Wolframlegierungsstäbe für Anwendungen, die wiederholter Belastung standhalten müssen, wie z. B. rotierende Teile in der Luft- und Raumfahrt oder Schwingungsdämpfungscomponenten in elektronischen Geräten. Die Ermüdungsbeständigkeit beruht auf der gleichmäßigen Verteilung der Wolframpartikel und der Bindephase. Durch die Pulvermetallurgie entsteht eine dichte Mikrostruktur, die innere Defekte und Spannungskonzentrationen reduziert und so die Entstehung und Ausbreitung von Ermüdungsrissen verzögert. Die Optimierung der Ermüdungsbeständigkeit hängt auch von der Legierungszusammensetzung und dem Wärmebehandlungsprozess ab. Beispielsweise kann ein geeignetes Nickel-Eisen-Verhältnis die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit des Materials verbessern.

Aufgrund ihrer Ermüdungsbeständigkeit sind Stäbe aus Wolframlegierungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie ein bevorzugtes Material für Satellitengegengewichte oder Antriebssystemkomponenten. Sie halten den zyklischen Vibrationen und Spannungsschwankungen im Orbit stand und gewährleisten so langfristige Zuverlässigkeit. In der Elektronikindustrie ermöglicht diese Ermüdungsbeständigkeit ihren Einsatz in hochfrequenten Vibrationsverbindern oder Kühlkörpern, da sie dynamischen Belastungen im Betrieb standhalten und die Geräteleistung erhalten. Während der Produktion wird die Ermüdungsbeständigkeit durch optimierte Sinterbedingungen und Oberflächenbehandlungsverfahren erreicht. Beispielsweise reduziert Polieren Mikrorisse in der Oberfläche und verbessert die Lebensdauer. Die Bearbeitbarkeit ermöglicht die Herstellung hochpräziser Komponenten, die den hohen Anforderungen dynamischer Anwendungen gerecht werden. Die Ermüdungsbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen, kombiniert mit ihrer hohen Dichte und Zähigkeit, bietet einen umfassenden Leistungsvorteil und sorgt für Stabilität auch in komplexen Spannungsumgebungen. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit machen sie besonders vorteilhaft für umweltsensible Anwendungen und erfüllen die Anforderungen an eine umweltfreundliche Produktion. Die Ermüdungsbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen gewährleistet ihre Haltbarkeit bei dynamischen Belastungsanwendungen, treibt den technologischen Fortschritt in der Luft- und Raumfahrt sowie im Elektroniksektor voran und leistet wichtige Unterstützung für die Entwicklung hochzuverlässiger Geräte.

### 2.2.6 Verschleißfestigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen

Die Verschleißfestigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen spiegelt ihre mechanischen Eigenschaften

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wider und beschreibt die Fähigkeit des Materials, Oberflächenverlusten durch Reibung oder Verschleiß standzuhalten. Die hohe Härte und die optimierte Mikrostruktur verleihen Stäben aus Wolframlegierungen eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit, sodass ihre Oberflächenintegrität und ihre stabile Leistung auch unter hoher Reibung oder Belastung erhalten bleiben. Die Verschleißfestigkeit wird durch die Zugabe von Bindeelementen wie Nickel und Eisen erhöht, wodurch die Sprödigkeit von reinem Wolfram überwunden und die Wahrscheinlichkeit von Rissen oder Ablösungen in verschleißbedingten Umgebungen verringert wird. Dank ihrer Verschleißfestigkeit eignen sich Stäbe aus Wolframlegierungen für Anwendungen, die langfristige Verschleißfestigkeit erfordern, wie z. B. Werkzeugmaterialien in der Präzisionsfertigung oder verschleißfeste Teile in Industrieanlagen. Ihre Verschleißfestigkeit beruht auf der synergetischen Wirkung von Wolframpartikeln und der Bindephase, die durch Pulvermetallurgie eine dichte Mikrostruktur bildet und so die Reibungsbeständigkeit der Oberfläche verbessert. Die Optimierung der Verschleißfestigkeit hängt auch mit Oberflächenbehandlungsprozessen wie Polieren oder Beschichten zusammen, die die Oberflächenhärte und Verschleißfestigkeit weiter verbessern können.

In der Präzisionsfertigung ist Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihrer Verschleißfestigkeit ein ideales Material für Formen, Schneidwerkzeuge oder verschleißfeste Auskleidungen. Sie erhalten die Oberflächengüte und Formstabilität in reibungsintensiven Bearbeitungsbedingungen und verlängern so die Lebensdauer. In der Luft- und Raumfahrt unterstützt ihre Verschleißfestigkeit den Einsatz von Wolframlegierungsstäben in hochbelasteten Strukturkomponenten oder Gegengewichten. Sie schützen vor Reibung und Verschleiß während des Betriebs und gewährleisten langfristige Zuverlässigkeit. Während der Produktion wird die Verschleißfestigkeit durch Kontrolle der Sintertemperatur und der Partikelgrößenverteilung optimiert, um zu verhindern, dass innere Porosität oder Defekte die Oberflächeneigenschaften beeinträchtigen. Ihre Verarbeitungseigenschaften ermöglichen eine hohe Oberflächenqualität durch Präzisionsschleifen und -polieren und erfüllen die strengen Anforderungen verschleißfester Anwendungen. Die Verschleißfestigkeit von Wolframlegierungsstäben, kombiniert mit ihrer hohen Härte und Zähigkeit, bietet umfassende mechanische Leistungsvorteile und ermöglicht eine stabile Leistung in reibungsintensiven Umgebungen. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit machen sie vorteilhaft für umweltsensible Anwendungen und erfüllen die Standards der grünen Fertigung. Die Verschleißfestigkeit von Wolframlegierungsstäben gewährleistet ihre Zuverlässigkeit bei langlebigen Anwendungen, treibt den technologischen Fortschritt in der Präzisionsfertigung und der Luft- und Raumfahrt voran und bietet wichtige Unterstützung für die Entwicklung von Hochleistungskomponenten.

### 2.3 Funktionale Anpassungsfähigkeit von Wolframlegierungsstäben

Die funktionale Anpassungsfähigkeit von Wolframlegierungsstäben bezieht sich auf ihre Fähigkeit, durch Optimierung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften vielfältige funktionale Anforderungen in spezifischen Anwendungsszenarien zu erfüllen. Diese funktionale Anpassungsfähigkeit umfasst mehrere Aspekte, darunter hochdichte Gegengewichte, Strahlenschutz, Wärmemanagement und elektrische Leitfähigkeit. Dadurch können Wolframlegierungsstäbe flexibel an die komplexen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und Präzisionsfertigung angepasst werden. Ihre funktionale Anpassungsfähigkeit verdankt sie der hohen Dichte und dem hohen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schmelzpunkt von Wolfram. Diese Leistung wird durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen und Kupfer optimiert, wodurch ein Material entsteht, das hohe Dichte, Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit und mechanische Festigkeit vereint. Die funktionale Anpassungsfähigkeit von Wolframlegierungsstäben wird durch Pulvermetallurgie und Präzisionsbearbeitung weiter verbessert, sodass sie in Formen und Spezifikationen hergestellt werden können, die spezifischen funktionalen Anforderungen entsprechen. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit verschaffen ihnen einen Vorteil in umweltsensiblen Bereichen und erfüllen die Anforderungen an eine umweltfreundliche Fertigung.

Bei Gegengewichtsanwendungen ermöglicht die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben ein hohes Gewicht in einem kompakten Gehäuse. Dadurch eignen sie sich ideal für rotierende Komponenten in der Lageregelung in der Luft- und Raumfahrt oder in medizinischen Bildgebungsgeräten und verbessern die Gerätestabilität durch optimierte Gewichtsverteilung. In Strahlenschutzanwendungen blockieren Wolframlegierungsstäbe dank ihrer hohen Dichte und Ordnungszahl hochenergetische Strahlung effektiv. Sie werden häufig in medizinischen Strahlentherapiegeräten und Abschirmkomponenten der Nuklearindustrie zum Schutz von Personal und Ausrüstung eingesetzt. Im Wärmemanagement sind Wolframlegierungsstäbe (insbesondere Wolfram-Kupfer-Legierungen) aufgrund ihrer Wärmeleitfähigkeit ideal für elektronische Wärmeableitungssubstrate oder Wärmemanagementkomponenten für Hochleistungsgeräte geeignet, da sie Wärme schnell ableiten und die Gerätestabilität erhalten. In leitfähigen Anwendungen ermöglicht die Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben den Einsatz in Hochfrequenzelektroden oder -steckern und sorgt für geringe Signalübertragungsverluste. Ihre funktionale Anpassungsfähigkeit spiegelt sich auch in ihrer Verarbeitungsflexibilität wider. Durch Schneid-, Schleif- und Oberflächenbehandlungsverfahren können Wolframlegierungsstäbe zu hochpräzisen Komponenten verarbeitet werden, die die geometrischen und Leistungsanforderungen verschiedener Anwendungen erfüllen. Seine umfassenden Eigenschaften verschaffen ihm einzigartige Vorteile in zahlreichen Bereichen, bieten zuverlässige Unterstützung bei der Entwicklung und dem Betrieb von Hightech-Geräten und fördern Innovationen in der Luft- und Raumfahrt-, Medizin- und Elektronikbranche.

### 2.3.1 Korrosionsbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen

Die Korrosionsbeständigkeit eines Wolframlegierungsstabs ist ein wichtiger Indikator für seine funktionale Anpassungsfähigkeit. Sie beschreibt die Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber Korrosion, Oxidation und chemischen Angriffen in einer chemischen Umgebung oder bei Feuchtigkeit. Wolfram besitzt von Natur aus eine ausgezeichnete chemische Stabilität und behält seine Eigenschaften in einer Vielzahl chemischer Umgebungen. Die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer erhöht die Korrosionsbeständigkeit der Legierung weiter und ermöglicht es ihr, ihre strukturelle Integrität und Oberflächenqualität auch unter feuchten, sauren oder alkalischen Bedingungen zu bewahren. Diese Korrosionsbeständigkeit macht Wolframlegierungsstäbe für den Einsatz in Anwendungen geeignet, die langfristig komplexen chemischen Umgebungen ausgesetzt sind, wie z. B. Strukturkomponenten in der Luft- und Raumfahrt oder leitfähige Komponenten in elektronischen Geräten. Ihre Korrosionsbeständigkeit beruht auf der hohen chemischen Inertheit von Wolfram und der schützenden Wirkung der Bindephase. Das pulvermetallurgische Verfahren erzeugt eine dichte Mikrostruktur, die das

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eindringen korrosiver Medien reduziert. Oberflächenbehandlungsverfahren wie Polieren oder stromloses Plattieren erhöhen die Korrosionsbeständigkeit zusätzlich und verlängern die Lebensdauer.

In der Luft- und Raumfahrtindustrie eignen sich Stäbe aus Wolframlegierungen aufgrund ihrer Korrosionsbeständigkeit ideal für Antriebssysteme oder externe Strukturkomponenten. Sie widerstehen Korrosion durch hohe Luftfeuchtigkeit und chemische Gase und gewährleisten so Zuverlässigkeit in rauen Umgebungen. In der Elektronikindustrie unterstützt die Korrosionsbeständigkeit den Einsatz von Stäben aus Wolframlegierungen in Elektroden oder Steckverbindern. Sie verhindern Oxidation und Leistungseinbußen im Laufe der Zeit und gewährleisten eine effiziente Stromübertragung. Während der Produktion wird die Korrosionsbeständigkeit durch eine optimierte Legierungszusammensetzung und Oberflächenbehandlung erreicht. Beispielsweise verbessert die Zugabe von Kupfer die Oxidationsbeständigkeit, während die Nickel-Eisen-Kombination die chemische Stabilität insgesamt erhöht. Die Verarbeitbarkeit ermöglicht hochpräzise Komponenten, die den strengen Anforderungen korrosionsbeständiger Anwendungen gerecht werden. Die Korrosionsbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen, kombiniert mit ihrer hohen Dichte und ihren mechanischen Eigenschaften, bietet einen umfassenden Leistungsvorteil und gewährleistet Stabilität in komplexen Umgebungen. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit machen sie besonders vorteilhaft für umweltsensible Anwendungen und erfüllen umweltfreundliche Fertigungsstandards. Die Korrosionsbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen gewährleistet ihren zuverlässigen Einsatz in chemischen Umgebungen, treibt den technologischen Fortschritt in der Luft- und Raumfahrt sowie der Elektronikbranche voran und unterstützt entscheidend die Entwicklung von Hochleistungsgeräten.

### 2.3.2 Strahlungsbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen

Die Strahlungsresistenz von Stäben aus Wolframlegierungen ist ein wesentliches Merkmal ihrer funktionalen Anpassungsfähigkeit. Sie bezeichnet ihre Fähigkeit, hochenergetische Strahlung (wie Gammastrahlen oder Röntgenstrahlen) zu blockieren und so Geräte und Personal vor den Auswirkungen der Strahlung zu schützen. Die hohe Dichte und Ordnungszahl von Wolfram machen es zu einem hervorragenden Strahlenschutzmaterial. Durch die Optimierung mit Elementen wie Nickel und Eisen behalten Stäbe aus Wolframlegierungen ihre hohe Dichte bei verbesserter Zähigkeit und Verarbeitbarkeit und eignen sich daher für den Strahlenschutz in Medizin und Industrie. Ihre Strahlungsresistenz ermöglicht es ihnen, hochenergetische Strahlung effektiv zu absorbieren und zu streuen, wodurch die Strahlendurchdringung reduziert wird. Sie werden häufig in medizinischen Bildgebungsgeräten, Strahlentherapiegeräten und Komponenten der Nuklearindustrie eingesetzt. Diese Strahlungsresistenz rührt von der hohen Elektronendichte von Wolfram und der dichten Mikrostruktur der Legierung her. Die Pulvermetallurgie gewährleistet die Gleichmäßigkeit des Materials und verbessert die Abschirmwirkung.

Im medizinischen Bereich eignet sich Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihrer Strahlungsbeständigkeit ideal für Abschirmkomponenten in CT-Geräten, Röntgenanlagen und Strahlentherapiegeräten und schützt Patienten und medizinisches Personal vor Strahlungsgefahren. Die hohe Dichte ermöglicht eine effiziente Abschirmung in einem kompakten Gehäuse. Im industriellen Bereich unterstützt die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Strahlungsbeständigkeit den Einsatz in Abschirmkomponenten für Kernreaktoren oder Strahlungsdetektoren und gewährleistet so einen sicheren Betrieb. Während der Produktion wird die Strahlungsbeständigkeit durch Optimierung des Wolframgehalts und des Sinterprozesses erreicht. Dadurch wird sichergestellt, dass das Material frei von Porosität und Defekten ist und die Abschirmleistung verbessert wird. Die Verarbeitbarkeit ermöglicht komplexe Formen, um die geometrischen Anforderungen der Abschirmkomponenten zu erfüllen. Die Strahlungsbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben, kombiniert mit ihrer Korrosionsbeständigkeit und ihren mechanischen Eigenschaften, bietet einen umfassenden Leistungsvorteil und gewährleistet Stabilität in Umgebungen mit hoher Strahlung. Ihre Ungiftigkeit fördert den Einsatz im medizinischen Bereich zusätzlich und ermöglicht es, herkömmliche bleibasierte Materialien zu ersetzen und Umweltverschmutzung zu vermeiden. Die Strahlungsbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben gewährleistet ihre Zuverlässigkeit bei Strahlenschutzanwendungen, treibt den technologischen Fortschritt sowohl im medizinischen als auch im industriellen Bereich voran und leistet einen entscheidenden Beitrag für ein sicheres und effizientes Strahlenmanagement.

### 2.3.3 Elektromagnetische Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Die elektromagnetischen Eigenschaften von Stäben aus Wolframlegierungen sind ein wichtiger Indikator für ihre funktionale Anpassungsfähigkeit. Sie beziehen sich auf ihr Verhalten in elektromagnetischen Feldern, einschließlich Leitfähigkeit, magnetischer Eigenschaften und elektromagnetischer Abschirmung. Die Leitfähigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen (insbesondere Wolfram-Kupfer-Legierungen) wird durch die Zugabe von hochleitfähigem Kupfer deutlich erhöht, wodurch sie sich für den Einsatz als Elektroden oder Verbindungsstücke in der Elektronik und Kommunikation eignen. Ihre magnetischen Eigenschaften werden durch die Zugabe von Elementen wie Nickel und Eisen modifiziert und weisen typischerweise schwache oder nicht magnetische Eigenschaften auf, wodurch sie sich für Anwendungen eignen, die geringe magnetische Interferenzen erfordern. Ihre elektromagnetische Abschirmungsfähigkeit, die sich aus ihrer hohen Dichte und Leitfähigkeit ergibt, schirmt elektromagnetische Wellen wirksam ab und schützt Geräte vor elektromagnetischen Störungen. Diese elektromagnetischen Eigenschaften machen Stäbe aus Wolframlegierungen zu weit verbreiteten Einsatzgebieten in der Hochfrequenzkommunikation, elektronischen Verpackungen und elektromagnetisch verträglichen Geräten.

In der Elektronikindustrie unterstützen die elektromagnetischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben deren Einsatz in Hochfrequenzelektroden oder -steckverbindern und gewährleisten geringe Verluste und hohe Stabilität bei der Signalübertragung. Die elektromagnetische Abschirmung schützt zudem empfindliche elektronische Komponenten vor externen Störungen. In der Luft- und Raumfahrt machen seine elektromagnetischen Eigenschaften ihn zu einem idealen Material für Kommunikationsmodule oder Sensorkomponenten und gewährleisten eine stabile Leistung in komplexen elektromagnetischen Umgebungen. Während der Produktion wird die elektromagnetische Leistung durch optimierten Kupfergehalt und Oberflächenbehandlungsverfahren erreicht. Beispielsweise erhöht die stromlose Beschichtung die Oberflächenleitfähigkeit und verbessert die elektromagnetische Abschirmung. Die Verarbeitbarkeit ermöglicht die Herstellung von Präzisionskomponenten, die den

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

strengen Anforderungen elektromagnetischer Anwendungen gerecht werden. Die elektromagnetischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben, kombiniert mit ihrer Wärmeleitfähigkeit und ihren mechanischen Eigenschaften, bieten einen umfassenden Leistungsvorteil und gewährleisten Stabilität in Hochfrequenz- und störungsintensiven Umgebungen. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit gewährleisten die Einhaltung von Umweltstandards in der Elektronikfertigung. Die elektromagnetischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben gewährleisten ihren zuverlässigen Einsatz in der Elektronik- und Kommunikationsbranche und fördern die Weiterentwicklung leistungsstarker elektronischer Geräte und Kommunikationstechnologien.

## 2.4 Leistungsprüfung von Wolframlegierungsstäben

Die Leistungsprüfung von Wolframlegierungsstäben ist ein entscheidender Schritt zur Sicherstellung ihrer Qualität und Anwendungszuverlässigkeit. Dazu gehören umfassende Tests ihrer physikalischen, mechanischen und funktionalen Kompatibilität. Mithilfe standardisierter Geräte und Prozesse wird mithilfe von Testmethoden sichergestellt, dass Wolframlegierungsstäbe die strengen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt-, Medizin- und Elektronikindustrie erfüllen. Die Leistungsprüfung umfasst Dichte, Schmelzpunkt, Wärmeausdehnungskoeffizient, Leitfähigkeit, Festigkeit, Härte und weitere Aspekte, um eine gleichbleibende und stabile Materialleistung zu gewährleisten. Der Testprozess muss internationalen und nationalen Normen (wie ASTM B777 und GB/T 3875) entsprechen und hochpräzise Instrumente verwenden, um genaue Ergebnisse zu gewährleisten. Bei den Tests müssen auch Umweltaspekte berücksichtigt, Abfall minimiert und die Anforderungen an eine umweltfreundliche Herstellung eingehalten werden. Die folgende Analyse konzentriert sich auf Testmethoden für die physikalischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben, einschließlich Testmethoden für Dichte, Schmelzpunkt, Wärmeausdehnungskoeffizient und Leitfähigkeit.

### 2.4.1 Prüfmethoden für physikalische Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Prüfverfahren für physikalische Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben sind standardisierte Verfahren zur Überprüfung ihrer wichtigsten Eigenschaften wie hohe Dichte, hoher Schmelzpunkt, Wärmeausdehnungskoeffizient und elektrische Leitfähigkeit. Diese Verfahren sollen sicherstellen, dass das Material die strengen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, der Elektronik und der Medizintechnik erfüllt. Diese Eigenschaften stehen in direktem Zusammenhang mit der Leistung des Stabes in Anwendungen wie Gegengewicht, Wärmeableitung, Strahlenschutz und elektrischer Leitfähigkeit. Für diese Prüfverfahren kommen hochpräzise Instrumente wie Densitometer, Differenzial-Scanning-Kalorimeter, Wärmeausdehnungsmessgeräte und Leitfähigkeitsprüfer zum Einsatz. Durch strenge Betriebsverfahren und Datenanalyse wird die gleichbleibende Leistung der Wolframlegierungsstäbe sichergestellt. Die Prüfungen müssen in einer sauberen Umgebung mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit durchgeführt werden, um den Einfluss externer Faktoren (wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Verunreinigungen) auf die Ergebnisse zu minimieren. Eine detaillierte Dokumentation ist erforderlich, um die Rückverfolgbarkeit der Qualität zu gewährleisten und die Einhaltung von Industriestandards sicherzustellen. Bei der Entwicklung von Prüfverfahren für physikalische Eigenschaften müssen Prüfgenauigkeit, Betriebseffizienz und Umweltfreundlichkeit

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

umfassend berücksichtigt werden. Automatisierte Geräte und standardisierte Prozesse verbessern die Prüfeffizienz und reduzieren gleichzeitig den Abfall.

#### 2.4.1.1 Dichteprüfverfahren

Die Dichteprüfung ist ein zentraler Bestandteil der physikalischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben. Sie dient dazu, festzustellen, ob ihre hohe Dichte den Anforderungen von Gegengewichten oder Strahlenschutzanwendungen entspricht. Die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben ist ein wichtiger Vorteil in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Medizin und ermöglicht es, bei kleinerem Volumen erhebliches Gewicht zu erzielen oder hochenergetische Strahlung wirksam abzuschirmen. Bei der Dichteprüfung wird üblicherweise das Archimedes-Prinzip verwendet, um die Dichte zu berechnen. Dazu wird der Gewichtsunterschied der Probe in Luft und Flüssigkeit gemessen. So wird sichergestellt, dass das Ergebnis das Masse-Volumen-Verhältnis des Materials genau widerspiegelt. Der Prüfvorgang erfordert die Verwendung einer hochpräzisen elektronischen Waage und deionisiertes Wasser als Prüfmedium, um die Messgenauigkeit zu gewährleisten. Die Probenvorbereitung ist ein wichtiger Schritt des Tests. Um die Messergebnisse nicht zu beeinflussen, müssen Oberflächenöl, Staub oder Verarbeitungsrückstände mit Ultraschallreinigungsgeräten entfernt werden. Die Prüfumgebung muss bei konstanter Temperatur gehalten werden, um den Einfluss der Temperatur auf die Flüssigkeitsdichte zu reduzieren und die Datenzuverlässigkeit zu gewährleisten.

Der Prüfprozess umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird die Probe des Wolframlegierungsstabs auf eine elektronische Waage gelegt und ihr Trockengewicht in Luft gemessen. Anschließend wird die Probe vollständig in deionisiertes Wasser getaucht, das Nassgewicht gemessen und die Dichte nach dem Archimedisches Prinzip berechnet ( $\text{Dichte} = \text{Trockengewicht} / \text{Volumen}$ , wobei sich das Volumen aus der Gewichts Differenz und der Flüssigkeitsdichte ergibt). Während des Tests ist darauf zu achten, dass sich keine Blasen an der Probe bilden. Falls erforderlich, können diese mit einer Vakuumpumpe entfernt werden. Jeder Test wird mehrmals wiederholt und der Durchschnittswert ermittelt, um die Genauigkeit zu verbessern. Dieser wird anschließend mit einem Standarddichtebereich verglichen, um die Einhaltung der Anforderungen an Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt oder medizinische Abschirmungen zu überprüfen. Nach dem Test wird die Konsistenz der Ergebnisse mithilfe einer statistischen Analysesoftware überprüft. Die Testbedingungen (wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit) sowie die Probeninformationen werden zur Rückverfolgbarkeit aufgezeichnet. Die Vorteile dieser Dichteprüfmethode liegen in ihrer Einfachheit und Zuverlässigkeit, wodurch sie sich für Tests im großen Maßstab eignet. Um Fehler zu vermeiden, ist jedoch eine strenge Kontrolle der Umgebungsbedingungen und der Probenreinheit erforderlich. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Dichteprüfgeräte mit integrierten Online-Datenerfassungssystemen zur Verbesserung der Prüfeffizienz und Rückverfolgbarkeit sowie der Einsatz hochpräziser Waagen und regelmäßiger Kalibrierung zur Gewährleistung der Messgenauigkeit. Dichteprüfungen gewährleisten die zuverlässige Qualität von Wolframlegierungsstäben in Gegengewichts- und Abschirmanwendungen, gewährleisten deren Leistungsstabilität in der Lageregelung von Satelliten in der Luft- und Raumfahrt oder in Komponenten medizinischer CT-Geräte und legen den Grundstein für ihre Anwendung in Hochtechnologiebereichen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 2.4.1.2 Schmelzpunktprüfverfahren

Die Schmelzpunktprüfung ist eine wichtige Methode zur Überprüfung der Hochtemperaturbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben und bestätigt ihre Stabilität und Eignung in Hochtemperaturumgebungen. Der hohe Schmelzpunkt von Wolframlegierungsstäben wird hauptsächlich durch die hohen Schmelzpunkteigenschaften von Wolfram bestimmt, mit geringem Einfluss durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer. Dadurch eignen sie sich für Anwendungen wie Triebwerkskomponenten in der Luft- und Raumfahrt und Hochtemperatur-Elektronikelektroden. Die Schmelzpunktprüfung erfolgt typischerweise mittels Differenzial-Scanning-Kalorimetrie (DSC), die die Änderung des Wärmeflusses während des Erhitzens misst, um den Schmelzpunkt zu bestimmen. Der Test muss in einer inerten Atmosphäre (wie Argon oder Stickstoff) durchgeführt werden, um eine Oxidation der Probe zu verhindern und genaue Daten zu gewährleisten. Die Probenvorbereitung ist für die Prüfung von entscheidender Bedeutung. Die Proben müssen in kleine Stücke (normalerweise einige Milligramm) geschnitten und mit Ultraschall gereinigt werden, um Oberflächenverunreinigungen zu entfernen und Kontaminationen zu vermeiden, die die Ergebnisse beeinflussen könnten. Die Testumgebung muss auf einer konstanten Temperatur und Luftfeuchtigkeit gehalten werden, um externe Störungen zu minimieren.

Der Prüfvorgang umfasst das Einlegen einer gereinigten Wolframlegierungsstange in die Probenschale des DSC-Geräts. Die Temperatur wird unter Schutzgas mit einer festgelegten Heizrate (typischerweise 5–10 °C/min) schrittweise erhöht. Die endotherme Spitzentemperatur der Probe, der sogenannte Schmelzpunkt, wird aufgezeichnet. Um die Messgenauigkeit zu gewährleisten, wird das Gerät mit einer Standardprobe (z. B. reinem Aluminium oder reinem Wolfram) kalibriert. Nach dem Test wird die Wärmeflusskurve analysiert, um den Schmelzpunkt zu bestimmen. Dieser wird anschließend mit dem Standard verglichen, um sicherzustellen, dass er die Leistungsanforderungen für Hochtemperaturanwendungen erfüllt. Nach dem Test wird die Probe auf Oxidation oder Strukturveränderungen untersucht, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Die Schmelzpunkt-Prüfmethode bietet Vorteile wie hohe Genauigkeit und Wiederholbarkeit und spiegelt das Hochtemperaturverhalten der Wolframlegierungsstange präzise wider. Sie erfordert jedoch teure Geräte und eine komplexe Bedienung, was zu hohen Prüfkosten führt. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter DSC-Geräte mit integrierter Datenanalyse-Software zur Verbesserung der Prüfeffizienz, regelmäßige Gerätekalibrierung und die Verwendung von hochreinem Schutzgas zur Reduzierung des Oxidationsrisikos. Schmelzpunkttests liefern eine wissenschaftliche Grundlage für die Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsstäben in Hochtemperaturanwendungen, gewährleisten ihre stabile Leistung in Antriebssystemen für die Luft- und Raumfahrt oder elektronischen Hochtemperaturolektroden und bieten entscheidende Unterstützung für die Entwicklung von Hochtemperaturprozessgeräten.

#### 2.4.1.3 Prüfverfahren für den Wärmeausdehnungskoeffizienten

Die Prüfung des Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) ist eine wichtige Methode zur Überprüfung der Dimensionsstabilität von Wolframlegierungsstäben. Sie bestätigt ihr Ausdehnungsverhalten bei

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperaturschwankungen und gewährleistet ihre Stabilität in hochpräzisen Anwendungen. Aufgrund ihres niedrigen CTE eignen sich Wolframlegierungsstäbe gut für Materialien mit geringer Ausdehnung wie Keramik und Glas und damit für Strukturkomponenten in der Luft- und Raumfahrt oder für elektronische Verpackungen. Die CTE-Prüfung wird typischerweise mit einem Dilatometer durchgeführt, das die Längenänderung der Probe während des Erhitzens misst, um den linearen Ausdehnungskoeffizienten zu berechnen. Vor der Prüfung muss die Probe auf eine Standardgröße (z. B. einen langen Streifen von 10–50 mm Länge) gebracht und mit Ultraschall gereinigt werden, um Oberflächenverunreinigungen zu entfernen und sicherzustellen, dass keine Defekte die Messung beeinflussen. Die Prüfumgebung muss bei konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit (15–25 °C, Luftfeuchtigkeit  $\leq 40\%$ ) gehalten werden, um externe Störungen zu minimieren. Der Prüftemperaturbereich muss das Anwendungsszenario abdecken (typischerweise 20–1000 °C), um die tatsächlichen Einsatzbedingungen zu simulieren.

Der Testprozess umfasst die folgenden Schritte: Eine gereinigte Probe eines Wolframlegierungsstabs wird auf den Testtisch eines thermischen Dilatometers gelegt. Ein hochpräziser Wegsensor zeichnet die Längenänderung der Probe während des Erhitzens auf. Die Heizrate wird auf 2–5 °C/min geregelt, um zu verhindern, dass thermische Spannungen die Ergebnisse beeinflussen. Das Gerät zeichnet die Längenänderung der Probe in Abhängigkeit von der Temperatur auf, und der lineare Ausdehnungskoeffizient wird mit der Formel (Wärmeausdehnungskoeffizient =  $\Delta L / (L \cdot \Delta T)$ ) berechnet. Nach dem Test werden die Daten analysiert und mit dem Standardwert verglichen, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen der Luft- und Raumfahrt- bzw. Elektronikindustrie entsprechen. Jeder Test wird mehrmals wiederholt, und zur Verbesserung der Genauigkeit wird der Durchschnitt ermittelt. Testbedingungen und Probeninformationen werden aufgezeichnet, um die Rückverfolgbarkeit der Qualität zu unterstützen. Die Vorteile der Methode zur Messung des Wärmeausdehnungskoeffizienten liegen in ihrer hohen Genauigkeit und breiten Anwendbarkeit. Sie spiegelt die Dimensionsstabilität des Wolframlegierungsstabs genau wider, doch zur Vermeidung von Fehlern ist eine strenge Kontrolle der Temperatur und der Probenqualität erforderlich. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz eines automatisierten Thermodilatometers mit integriertem Mehrpunkt-Kalibriersystem zur Verbesserung der Prüffizienz sowie regelmäßige Gerätewartungen zur Sicherstellung der Sensorgenauigkeit. Die Prüfung des Wärmeausdehnungskoeffizienten gewährleistet die Stabilität von Wolframlegierungsstäben in hochpräzisen Anwendungen, stellt ihre Zuverlässigkeit in Luft- und Raumfahrtstrukturen oder elektronischen Verpackungen sicher und unterstützt die Designoptimierung in Hightech-Bereichen.

#### 2.4.1.4 Leitfähigkeitsprüfverfahren

Die Leitfähigkeitsprüfung ist eine wichtige Methode zur Überprüfung der elektromagnetischen Eigenschaften von Stäben aus Wolframlegierungen. Sie dient der Bestätigung ihrer Stromleitfähigkeit, wodurch sie sich besonders für Elektroden oder Steckverbinder in der Elektronik- und Kommunikationsbranche eignen. Die Leitfähigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen (insbesondere Wolfram-Kupfer-Legierungen) wird durch die Zugabe von hochleitfähigem Kupfer deutlich verbessert, was eine Hochfrequenzsignalübertragung und effiziente Stromleitung ermöglicht. Bei der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leitfähigkeitsprüfung wird typischerweise eine Vierpunktsondenmethode verwendet, bei der die Leitfähigkeit durch Messung des spezifischen Widerstands der Probenoberfläche berechnet wird, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse die elektrische Leitfähigkeit des Materials genau widerspiegeln. Vor der Prüfung wird die Probe poliert und mit Ultraschall gereinigt, um Oberflächenoxide und Verunreinigungen zu entfernen und so die Oberflächengüte und Kontaktkonsistenz sicherzustellen. Die Testumgebung muss auf einer konstanten Temperatur und Luftfeuchtigkeit gehalten werden, um den Einfluss von Umweltfaktoren auf die Widerstandsmessungen zu minimieren.

Der Testprozess umfasst die folgenden Schritte: Eine gereinigte Probe aus einem Wolframlegierungsstab wird auf einen Prüfstand mit Vierpunktsonden gelegt. Mithilfe eines hochpräzisen Leitfähigkeitsprüfers werden vier Sonden in gleichmäßigem Kontakt mit der Probenoberfläche platziert. Ein konstanter Strom (normalerweise 1–10 mA) wird angelegt und der Spannungsabfall gemessen. Die Leitfähigkeit wird mithilfe der Formel ( $\text{Leitfähigkeit} = 1/\text{spezifischer Widerstand}$ ,  $\text{spezifischer Widerstand} = \text{Spannung}/\text{Strom} \cdot \text{Geometriefaktor}$ ) berechnet. Während des Tests sind ein gleichbleibender Sondenabstand und ein gleichmäßiger Kontaktdruck erforderlich, um Messfehler zu vermeiden. Nach dem Test werden die Leitfähigkeitsdaten analysiert und mit Standardwerten verglichen, um sicherzustellen, dass die Leistungsanforderungen der Elektrode oder des Verbinders erfüllt werden. Jeder Test wird mehrmals wiederholt und zur Verbesserung der Genauigkeit wird der Durchschnitt ermittelt. Testbedingungen und Probeninformationen werden aufgezeichnet, um die Rückverfolgbarkeit der Qualität zu unterstützen. Das Leitfähigkeitsprüfverfahren bietet Vorteile wie hohe Präzision und einfache Handhabung und eignet sich daher für Tests im großen Maßstab. Allerdings müssen ein gleichbleibender Sondenkontakt und eine gleichbleibende Qualität der Probenoberfläche sichergestellt werden. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Vierpunkt-Sondengeräte mit integrierten Datenanalysesystemen zur Verbesserung der Testeffizienz und die regelmäßige Kalibrierung des Instruments anhand von Standardproben zur Gewährleistung der Messgenauigkeit. Leitfähigkeitsprüfungen gewährleisten die Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsstäben in elektronischen Anwendungen, gewährleisten eine stabile Leistung von Hochfrequenzelektroden oder -steckern und fördern die Weiterentwicklung leistungsstarker elektronischer Geräte und Kommunikationstechnologien.

#### 2.4.2 Prüfspezifikationen für mechanische Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Die mechanische Prüfspezifikation für Wolframlegierungsstäbe ist ein standardisiertes Verfahren zur Überprüfung wichtiger Eigenschaften wie Zugfestigkeit, Härte, Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit. Dadurch wird sichergestellt, dass das Material den Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, der Elektronik und der Präzisionsfertigung unter hoher Belastung, Stoß- oder zyklischer Beanspruchung entspricht. Für die mechanische Prüfung werden hochpräzise Geräte wie Universalprüfmaschinen, Härteprüfgeräte, Schlagprüfgeräte und Ermüdungsprüfgeräte verwendet. Strenge Betriebsverfahren und Datenanalysen werden verwendet, um die gleichbleibende Leistung der Wolframlegierungsstäbe zu überprüfen. Die Prüfung muss in einer sauberen Umgebung mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit durchgeführt werden, um zu verhindern, dass externe Faktoren (wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Verunreinigungen) die Ergebnisse beeinflussen. Detaillierte Aufzeichnungen werden geführt, um die Rückverfolgbarkeit der Qualität zu unterstützen und die Einhaltung von

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Industriestandards (wie ASTM E8 und GB/T 228.1) sicherzustellen. Bei der Gestaltung der mechanischen Prüfspezifikationen müssen Prüfgenauigkeit, Betriebseffizienz und Umweltaspekte umfassend berücksichtigt werden. Automatisierte Geräte und standardisierte Prozesse sollten verwendet werden, um die Prüfeffizienz zu verbessern und Abfall zu reduzieren. In der folgenden ausführlichen Diskussion werden die Spezifikationen für Zugprüfungen, Härteprüfungen, Schlagzähigkeitsprüfungen und Ermüdungsprüfungen untersucht und ihre Prinzipien, Prozesse und praktischen Auswirkungen analysiert.

#### 2.4.2.1 Zugversuchsspezifikationen

Die Zugprüfung ist eine zentrale Spezifikation für die Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Stäben aus Wolframlegierungen. Sie dient der Überprüfung von Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung sowie der Bewertung des Materialverhaltens unter Zugbelastung. Aufgrund ihrer hohen Zugfestigkeit eignen sich Stäbe aus Wolframlegierungen für den Einsatz in Luft- und Raumfahrtstrukturen oder hochbelasteten Bauteilen in der Präzisionsfertigung. Die Zugprüfung erfolgt nach internationalen Normen (wie ASTM E8 oder GB/T 228.1) und verwendet eine universelle Materialprüfmaschine, um die mechanischen Eigenschaften der Probe durch allmählich zunehmende Zugbelastung zu messen. Vor der Prüfung muss die Probe in eine Standardform gebracht (z. B. zylindrisch oder rechteckig) und mit Ultraschall gereinigt werden, um Oberflächenöl und Verunreinigungen zu entfernen und eine fehlerfreie Oberfläche zu gewährleisten. Die Prüfumgebung muss bei konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit geregelt sein, um den Einfluss von Umweltfaktoren auf die Ergebnisse zu minimieren.

Der Prüfprozess umfasst die folgenden Schritte: Eine gereinigte Wolframlegierungsstabprobe wird in der Vorrichtung einer Universalprüfmaschine fixiert. Um Spannungskonzentrationen zu vermeiden, ist auf eine korrekte Einspannung zu achten. Die Zugeschwindigkeit wird eingestellt, und Last- und Verformungsdaten werden mithilfe hochpräziser Kraftsensoren und Wegaufnehmer aufgezeichnet, um eine Spannungs-Dehnungs-Kurve zu erstellen. Während des Tests wird das Bruchverhalten der Probe überwacht und Zugfestigkeit (maximale Spannung), Streckgrenze und Bruchdehnung aufgezeichnet. Nach dem Test wird die Spannungs-Dehnungs-Kurve analysiert, die mechanischen Eigenschaften berechnet und mit Standardwerten verglichen, um die Einhaltung der Anforderungen der Luft- und Raumfahrt oder der Präzisionsfertigung zu gewährleisten. Jeder Test wird mehrfach wiederholt, und zur Verbesserung der Genauigkeit werden Durchschnittswerte ermittelt. Prüfbedingungen und Probeninformationen werden aufgezeichnet, um die Qualitätsrückverfolgbarkeit zu gewährleisten. Die Vorteile der Zugprüfspezifikation liegen in ihrer hohen Präzision und Wiederholbarkeit, die die Zugeigenschaften des Wolframlegierungsstabs genau widerspiegelt. Um Fehler zu vermeiden, ist jedoch die korrekte Ausrichtung der Vorrichtung und die Probenqualität wichtig. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Prüfmaschinen mit integrierter Datenanalyse-Software zur Verbesserung der Prüfeffizienz sowie eine regelmäßige Sensorkalibrierung zur Sicherstellung der Messgenauigkeit. Die Zugfestigkeitsprüfspezifikation bietet eine wissenschaftliche Grundlage für die Zuverlässigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen in Anwendungen mit hoher Beanspruchung und gewährleistet ihre gleichbleibende Leistung in Strukturkomponenten oder

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Präzisionswerkzeugen für die Luft- und Raumfahrt.

#### 2.4.2.2 Härteprüfvorschriften

Die Härteprüfung ist eine wichtige Methode, um die Oberflächenbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen gegen Kratzer und Verformung zu überprüfen. Sie wird verwendet, um ihre Verschleißfestigkeit und mechanische Festigkeit zu beurteilen, wodurch sie sich für Präzisionswerkzeuge in der Fertigung oder verschleißfeste Komponenten in der Luft- und Raumfahrt eignen. Dank ihrer hohen Härte bewahren Stäbe aus Wolframlegierungen ihre Oberflächenintegrität in Umgebungen mit hoher Reibung. Die Härteprüfung folgt internationalen Normen (wie ASTM E18 oder GB/T 230.1) und verwendet typischerweise die Härteprüfverfahren Vickers (HV) oder Brinell (HB). Die Härtewerte werden gemessen, indem ein Eindringkörper in die Probenoberfläche gedrückt wird. Vor der Prüfung wird die Probe poliert und mit Ultraschall gereinigt, um Oberflächenverunreinigungen zu entfernen und eine glatte Oberfläche zu gewährleisten. Die Prüfumgebung muss auf einer konstanten Temperatur gehalten werden, um die Auswirkungen der Temperatur auf den Eindringkörper und die Probe zu minimieren.

Der Prüfprozess umfasst die folgenden Schritte: Die gereinigte Wolframlegierungsprobe wird auf den Prüftisch des Härteprüfers gelegt, ein geeigneter Eindringkörper (z. B. ein Vickers-Diamant-Eindringkörper) ausgewählt und belastet, die Belastung aufgebracht und für eine bestimmte Zeit gehalten. Die diagonale Länge des Eindrucks wird mit einem Mikroskop gemessen und der Härtewert berechnet ( $HV = 1,8544 \times \text{Belastung} / \text{Quadrat der diagonalen Länge}$ ). Der Test wird an mehreren Stellen der Probenoberfläche wiederholt, und zur Verbesserung der Genauigkeit wird der Durchschnittswert ermittelt. Die Härte wird anschließend mit dem Standardhärtebereich verglichen, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen für verschleißfeste Anwendungen entspricht. Nach Abschluss des Tests wird der Eindruck auf Klarheit und Rissfreiheit geprüft. Die Testbedingungen und Probeninformationen werden zur Qualitätsrückverfolgbarkeit aufgezeichnet. Die Vorteile der Härteprüfspezifikation liegen in der einfachen Handhabung und den intuitiven Ergebnissen. Wichtig ist jedoch, dass die Qualität der Probenoberfläche und die Wahl der Belastung geeignet sind. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Härteprüfgeräte mit integrierten Bildanalysesystemen zur Verbesserung der Prüfeffizienz sowie die regelmäßige Kalibrierung von Eindringkörper und Mikroskop zur Gewährleistung der Messgenauigkeit. Die Härteprüfspezifikation gewährleistet die Zuverlässigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen in verschleißfesten Anwendungen und gewährleistet ihre stabile Leistung in präzisionsgefertigten Formen oder Luft- und Raumfahrtkomponenten.

#### 2.4.2.3 Spezifikationen für die Prüfung der Schlagzähigkeit

Die Prüfung der Schlagzähigkeit ist eine wichtige Spezifikation zur Überprüfung der Schlagfestigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen. Sie wird verwendet, um ihre Bruchfestigkeit unter dynamischen Belastungen zu beurteilen und eignet sich für Szenarien mit hoher Schlagzähigkeit, wie z. B. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt oder Präzisionswerkzeuge in der Fertigung. Stäbe aus Wolframlegierungen verbessern die Sprödigkeit von reinem Wolfram durch Zugabe von Elementen wie

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nickel und Eisen und erhöhen so ihre Schlagzähigkeit. Die Prüfung der Schlagzähigkeit entspricht internationalen Normen (wie ASTM E23 oder GB/T 229) und verwendet typischerweise Kerbschlagbiegeversuche nach Charpy oder Izod. Eine Schlagprüfmaschine wendet eine vorübergehende Last an und misst die absorbierte Energie der Probe. Vor der Prüfung muss die Probe zu einer Standardprobe (z. B. einem rechteckigen Stab mit V-Kerbe) verarbeitet und mit Ultraschall gereinigt werden, um Oberflächenverunreinigungen zu entfernen und eine fehlerfreie Umgebung zu gewährleisten. Die Prüfumgebung muss auf einer konstanten Temperatur gehalten werden, um den Einfluss der Temperatur auf die Ergebnisse zu minimieren.

Der Prüfprozess umfasst die folgenden Schritte: Die gereinigte Wolframlegierungsstabprobe wird in der Vorrichtung der Schlagprüfmaschine fixiert, wobei darauf zu achten ist, dass die Kerbe in Schlagrichtung zeigt. Die Pendelenergie wird eingestellt, das Pendel wird freigegeben, um auf die Probe zu treffen, und die beim Bruch der Probe absorbierte Energie wird aufgezeichnet. Während des Tests werden die Bruchoberflächeneigenschaften untersucht, um festzustellen, ob es sich um einen duktilen oder spröden Bruch handelt. Nach Abschluss des Tests wird der Schlagzähigkeitswert (absorbierte Energie/Bruchfläche) berechnet und mit dem Standardwert verglichen, um zu überprüfen, ob er den Anforderungen für Anwendungen mit hoher Schlagzähigkeit entspricht. Jeder Test wird mehrmals wiederholt, und zur Verbesserung der Genauigkeit wird der Durchschnittswert ermittelt. Die Prüfbedingungen und Probeninformationen werden aufgezeichnet, um die Qualitätsrückverfolgbarkeit zu gewährleisten. Der Vorteil der Schlagzähigkeitsprüfspezifikation besteht darin, dass sie die Schlagzähigkeit des Materials intuitiv wiedergibt. Die Genauigkeit der Kerbverarbeitung und die Stabilität der Vorrichtung müssen jedoch gewährleistet sein. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz einer automatisierten Schlagprüfmaschine mit integriertem Datenaufzeichnungssystem zur Verbesserung der Prüfeffizienz und die regelmäßige Kalibrierung der Pendelenergie zur Sicherstellung der Messgenauigkeit. Die Prüfspezifikation für die Schlagzähigkeit bietet eine wissenschaftliche Grundlage für die Zuverlässigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen bei Anwendungen mit hoher Schlagzähigkeit und gewährleistet ihre stabile Leistung in Gegengewichten oder Präzisionswerkzeugen in der Luft- und Raumfahrt.

#### 2.4.2.4 Spezifikationen für die Ermüdungsprüfung

Die Ermüdungsprüfung ist ein entscheidender Prozess zur Überprüfung der zyklischen Spannungsbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen. Sie wird verwendet, um ihre Widerstandsfähigkeit gegen Ermüdungsschäden unter wechselnden Belastungen zu beurteilen und eignet sich für rotierende Komponenten in der Luft- und Raumfahrt oder elektronische Komponenten zur Schwingungsdämpfung. Stäbe aus Wolframlegierungen erreichen eine verbesserte Ermüdungsbeständigkeit durch eine optimierte Mikrostruktur, wodurch sie unter langfristiger dynamischer Belastung stabil bleiben. Die Ermüdungsprüfung folgt internationalen Normen (wie ASTM E466 oder GB/T 3075) und umfasst typischerweise rotierende Biege- oder Zug-Druck-Ermüdungsprüfungen. Mithilfe einer Ermüdungsprüfmaschine werden zyklische Belastungen aufgebracht, um die Ermüdungslebensdauer der Probe zu messen. Vor der Prüfung muss die Probe maschinell in eine Standardform gebracht werden (z. B. eine zylindrische Probe) und Oberflächendefekte

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

müssen durch Polieren und Ultraschallreinigung entfernt werden, um die Oberflächengüte sicherzustellen. Die Prüfumgebung muss auf einer konstanten Temperatur und Luftfeuchtigkeit gehalten werden, um den Einfluss von Umweltfaktoren auf die Ergebnisse zu minimieren.

Der Prüfprozess umfasst die folgenden Schritte: Eine gereinigte Probe eines Wolframlegierungsstabs wird in der Vorrichtung einer Ermüdungsprüfmaschine befestigt. Die zyklische Belastung (Zug-, Druck- oder Biegespannung) und Frequenz werden eingestellt und die Anzahl der Zyklen, die die Probe benötigt, um Ermüdungsbruch zu erreichen, wird aufgezeichnet. Während des Tests werden Spannungsamplitude und Zyklenzahl überwacht, um das Entstehungs- und Ausbreitungsverhalten von Ermüdungsrissen zu analysieren. Nach dem Test wird eine Spannungs-Zyklus-Kurve (SN-Kurve) aufgezeichnet, um die Ermüdungsgrenze zu bestimmen und sie mit dem Standardwert zu vergleichen, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen für dynamische Anwendungen entspricht. Jeder Test wird mehrmals wiederholt, um die Datenkonsistenz zu analysieren, und Testbedingungen und Probeninformationen werden aufgezeichnet, um die Qualitätsrückverfolgbarkeit zu unterstützen. Der Vorteil von Spezifikationen für Ermüdungsleistungstests besteht darin, dass sie die langfristige Zuverlässigkeit von Materialien genau bewerten können, aber der Testzyklus ist lang und die Gerätekosten sind hoch. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz von Hochfrequenz- Ermüdungsprüfmaschinen mit integrierter Datenanalyse-Software zur Verbesserung der Testeffizienz und die regelmäßige Kalibrierung von Lastsensoren zur Sicherstellung der Messgenauigkeit. Spezifikationen für Ermüdungstests gewährleisten die Haltbarkeit von Stäben aus Wolframlegierungen bei dynamischen Belastungsanwendungen und gewährleisten ihre stabile Leistung in rotierenden Luft- und Raumfahrtkomponenten oder elektronischen Komponenten zur Schwingungsdämpfung.

#### 2.4.3 Vergleich nationaler und internationaler Leistungsstandards für Wolframlegierungsstäbe

Die Leistungsstandards von Wolframlegierungsstäben sind eine wichtige Richtlinie für deren Herstellung, Prüfung und Anwendung. Verschiedene Länder und Regionen haben je nach ihren industriellen Anforderungen und ihrem technologischen Niveau entsprechende Standards entwickelt. Diese Standards decken die chemische Zusammensetzung, die physikalischen und mechanischen Eigenschaften, die Verarbeitungsanforderungen und die Prüfmethoden von Wolframlegierungsstäben ab und gewährleisten die hohe Zuverlässigkeit des Materials in der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik, der Elektronik und der Präzisionsfertigung. Unterschiede zwischen nationalen und internationalen Standards liegen hauptsächlich in der Betonung der Zusammensetzungsanforderungen, der Leistungsindikatoren, der Prüfmethoden und der Anwendungsbereiche. Chinesische Standards konzentrieren sich auf Praktikabilität und Kosteneffizienz, um den lokalen industriellen Anforderungen gerecht zu werden, während internationale Standards globale Kompatibilität und hohe Präzision betonen. Standards in Europa, den USA, Japan und Südkorea beispielsweise kombinieren ihre technologischen Vorteile und Branchenmerkmale zu unterschiedlichen Anforderungen.

##### 2.4.3.1 Chinesische Normen

Chinas Leistungsstandards für Wolframlegierungsstäbe werden hauptsächlich von der chinesischen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standardisierungsbehörde und der Vereinigung der Nichteisenmetallindustrie entwickelt. Diese Standards sind auf die Bedürfnisse inländischer Branchen wie Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Medizin und Präzisionsfertigung zugeschnitten. Diese Standards konzentrieren sich auf Praktikabilität und Anpassungsfähigkeit und regeln die chemische Zusammensetzung, die physikalischen und mechanischen Eigenschaften sowie die Verarbeitungsanforderungen von Wolframlegierungsstäben, indem sie Chinas reichlich vorhandene Wolframressourcen und die ausgereifte Pulvermetallurgietechnologie nutzen. Chinesische Standards decken typischerweise wichtige Eigenschaften wie das Zusammensetzungsverhältnis (z. B. das Verhältnis von Wolfram zu Elementen wie Nickel, Eisen und Kupfer), die Dichte, Festigkeit, Härte und Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben ab und legen gleichzeitig Produktionsprozesse und Prüfmethode fest. Diese Standards werden unter Berücksichtigung praktischer inländischer Industrieanwendungen wie Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischer Strahlenschutzvorrichtungen und elektronischen Wärmeableitungssubstraten formuliert, um ein ausgewogenes Verhältnis von Leistung und Kosteneffizienz zu gewährleisten.

Chinesische Normen legen Wert auf einfache Handhabung und zuverlässige Prüfergebnisse. Sie spezifizieren standardisierte Verfahren für Dichte-, Zug-, Härte- und Schlagzähigkeitsprüfungen und eignen sich daher für die Massenproduktion und Qualitätskontrolle. Die Normen haben ein breites Anwendungsspektrum und decken eine Vielzahl von Szenarien ab, von hochdichten Gegengewichten bis hin zu Hochtemperatur-Strukturkomponenten. Besonderes Augenmerk legen sie auf die Umweltfreundlichkeit und Recyclingfähigkeit des Materials, um den Anforderungen einer umweltfreundlichen Fertigung gerecht zu werden. Chinesische Normen legen zudem Anforderungen an die Verarbeitungseigenschaften von Wolframlegierungsstäben fest, wie z. B. die Eignung zum Schneiden, Schleifen und zur Oberflächenbehandlung, um die Herstellung hochpräziser Bauteile zu gewährleisten. Darüber hinaus sind chinesische Normen bis zu einem gewissen Grad mit internationalen Normen kompatibel, was die Vermarktung von Wolframlegierungsstäben durch inländische Unternehmen auf dem internationalen Markt erleichtert. Der Normungsprozess legt Wert auf die Integration in die Branchenbedürfnisse und gewährleistet durch die Zusammenarbeit mit Unternehmen aus der Luft- und Raumfahrt, der Elektronik und der Medizinbranche Praktikabilität und Funktionalität. Chinesische Normen zeichnen sich durch ihre Lokalisierungsvorteile aus, unterstützen effektiv die Entwicklung inländischer Hightech-Industrien und bilden gleichzeitig die Grundlage für internationale Zusammenarbeit.

#### 2.4.3.2 Internationale Normen

Internationale Normen, die hauptsächlich von Organisationen wie der Internationalen Organisation für Normung (ISO) entwickelt werden, zielen darauf ab, einheitliche technische Spezifikationen für die weltweite Produktion und Anwendung von Wolframlegierungsstäben bereitzustellen. Diese auf Universalität und hohe Präzision ausgerichteten Normen decken die chemische Zusammensetzung, die physikalischen und mechanischen Eigenschaften, die Funktionskompatibilität und die Prüfmethode von Wolframlegierungsstäben ab und machen sie für internationale Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin, der Elektronik und der Präzisionsfertigung geeignet. Internationale Normen stellen strenge

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistungsanforderungen an Wolframlegierungsstäbe und betonen die Stabilität und Zuverlässigkeit des Materials in Umgebungen mit hoher Belastung, hohen Temperaturen und hoher Präzision. Beispielsweise legen die Normen klare Anforderungen an Eigenschaften wie Dichte, Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Strahlungsbeständigkeit fest und stellen sicher, dass das Material den vielfältigen Anwendungsanforderungen weltweit gerecht wird. Internationale Normen betonen auch die wissenschaftliche und einheitliche Natur der Prüfmethode und schreiben hochpräzise Prüfverfahren wie die Differenzkalorimetrie, die Prüfung des Wärmeausdehnungskoeffizienten und die Vierpunktsondenmethode vor, um die Vergleichbarkeit und Rückverfolgbarkeit der Prüfergebnisse zu gewährleisten.

Internationale Normen haben ein breites Anwendungsspektrum und decken eine Vielzahl von Szenarien ab, von Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt bis hin zu medizinischem Strahlenschutz. Sie eignen sich besonders gut für komplexe Projekte, die internationale Zusammenarbeit erfordern. Die Normen legen hohe Ansprüche an die Verarbeitungsleistung von Wolframlegierungsstäben, wie Maßgenauigkeit, Oberflächenqualität und die Fähigkeit, komplexe Formen zu verarbeiten, um den Anforderungen von Hightech-Bereichen gerecht zu werden. Internationale Normen betonen auch die Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit des Materials und schreiben Produktions- und Prüfprozesse vor, die das Abfallaufkommen reduzieren, im Einklang mit dem globalen Trend zur umweltfreundlichen Fertigung. Im Vergleich zu chinesischen Normen legen internationale Normen größeren Wert auf globale Anwendbarkeit und technologischen Fortschritt, wodurch sie für High-End-Märkte und internationale Anwendungen geeignet sind. Am Normungsprozess sind Experten aus mehreren Ländern und Branchen beteiligt, was seine Autorität und breite Anwendbarkeit sicherstellt.

#### **2.4.3.3 Standards für Wolframlegierungsstäbe in Europa, Amerika, Japan, Südkorea und anderen Ländern**

Die Normen für Wolframlegierungsstäbe in Europa, den USA, Japan und Südkorea werden von nationalen Normungsorganisationen entwickelt, wie z. B. ASTM in den USA, EN in Europa, JIS in Japan und KS in Südkorea. Diese Normen integrieren nationale technologische Vorteile und Branchenentwicklungsmerkmale vollständig und bilden ein System technischer Anforderungen mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Es bestehen erhebliche Unterschiede in wichtigen Dimensionen wie chemischer Zusammensetzung, physikalischen und mechanischen Eigenschaften sowie Prüfverfahren. Diese Unterschiede spiegeln die Kernanliegen verschiedener Länder hinsichtlich der industriellen Produktionsanforderungen und tatsächlichen Anwendungsszenarien wider.

Der Kern der US-Norm besteht darin, die hohen Leistungsanforderungen an Wolframlegierungsstäbe in der Luft- und Raumfahrt sowie der Medizin zu erfüllen, mit besonderem Fokus auf zwei Hauptanwendungen: hochdichte Gegengewichte und Strahlenschutz. Daher stellt sie strenge Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften und die Verarbeitungsgenauigkeit des Materials. In der Luft- und Raumfahrt werden Wolframlegierungsstäbe, die dieser Norm entsprechen, hauptsächlich verwendet, um das strukturelle Gleichgewicht von Flugzeugen und die Stabilität von Präzisionssteuerungssystemen zu gewährleisten und müssen den Leistungstests in extremen

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Flugumgebungen standhalten. In der Medizin werden Wolframlegierungsstäbe hauptsächlich als Strahlenschutzkomponenten in Strahlentherapiegeräten eingesetzt. Dabei ist eine strenge Kontrolle der Zusammensetzung erforderlich, um sekundäre Risiken durch schädliche Verunreinigungen zu vermeiden und gleichzeitig eine stabile und zuverlässige Abschirmwirkung zu gewährleisten.

Ein bemerkenswertes Merkmal der europäischen Norm ist ihre Betonung der Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit der Materialien mit klaren Anforderungen an Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit. Diese Ausrichtung verschafft ihr einen einzigartigen Vorteil bei hochpräzisen Anwendungen in der Medizin- und Elektronikbranche. Bei der Herstellung medizinischer Geräte müssen Wolframlegierungsstäbe, die dieser Norm entsprechen, dem entsprechenden EU-Umweltzertifizierungssystem entsprechen und während ihres gesamten Lebenszyklus – von der Produktion bis zum Recycling – die Umwelтанforderungen erfüllen. In elektronischen Anwendungen liegt ihr Kernwert in den Anforderungen an die Wärmeableitung von Präzisionskomponenten wie Chipgehäusen. Dabei ist ein Gleichgewicht zwischen Hochtemperaturbeständigkeit und Umwelteigenschaften erforderlich, um sicherzustellen, dass bei der Verarbeitung und Nutzung elektronischer Geräte keine schädlichen Auswirkungen auftreten.

Der japanische Standard ist auf die Anforderungen der Hightech-Fertigung ausgerichtet und legt den Schwerpunkt auf die thermische und elektrische Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben in der Elektronik- und Präzisionsfertigung. Dieser technische Ansatz macht ihn besonders geeignet für die Produktionsanforderungen von Halbleitergeräten und verschiedenen Wärmeableitungskomponenten. In der Halbleiterindustrie werden Wolframlegierungsstäbe, die diesem Standard entsprechen, in der Waferverarbeitung und in Kernausrüstungskomponenten eingesetzt. Sie müssen die strengen Anforderungen hochpräziser Prozesse an Materialeleistungsstabilität und Maßgenauigkeit erfüllen, um Leistungsschwankungen oder Maßabweichungen zu vermeiden, die die Qualität der Halbleiterprodukte beeinträchtigen. In der Präzisionsfertigung werden Wolframlegierungsstäbe häufig in Gegengewichtskomponenten von High-End-Maschinen verwendet. Sie erfordern eine gleichmäßige Leistung und sorgfältige Oberflächenbehandlung, um die Verarbeitungsgenauigkeit und Betriebsstabilität der mechanischen Geräte zu gewährleisten.

Der koreanische Standard vereint geschickt die Anforderungen der Luft- und Raumfahrt- sowie der Elektronikindustrie. Er legt den Schwerpunkt auf die umfassende Leistungsfähigkeit des Materials und berücksichtigt gleichzeitig die Kosteneffizienz. So entsteht ein technisches System, das sowohl praktisch als auch wirtschaftlich ist. In der Luft- und Raumfahrt werden Wolframlegierungsstäbe gemäß diesem Standard hauptsächlich in Ausgleichskomponenten und Leitsystemkomponenten kleiner und mittelgroßer Flugzeuge eingesetzt. Die Produktionskosten müssen durch optimierte Materialverhältnisse unter Berücksichtigung mechanischer Eigenschaften und Umweltverträglichkeit kontrolliert werden. In der Elektronik dienen Wolframlegierungsstäbe hauptsächlich als Schlüsselkomponenten von Kommunikationsgeräten. Sie erfordern eine hervorragende elektromagnetische Abschirmung und Umweltstabilität, um einen langfristig stabilen Betrieb der Kommunikationsgeräte unter verschiedenen Betriebsbedingungen zu gewährleisten und gleichzeitig die Gesamtanwendungskosten durch eine sinnvolle Prozessgestaltung zu senken.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Auf der Ebene der Prüfmethode basieren europäische, amerikanische, japanische und koreanische Normen allesamt auf hochpräzisen Prüfgeräten und standardisierten Betriebsabläufen, um ein strenges Qualitätssicherungssystem aufzubauen. So spezifiziert die US-Norm beispielsweise detailliert die Betriebsanforderungen für Zugprüfungen und Härteprüfungen und gibt klare Anweisungen von der Auswahl der Prüfgeräte bis hin zu den Betriebsabläufen. Die europäische Norm hat ein spezielles Verfahren zur Prüfung des Wärmeausdehnungskoeffizienten eingeführt, das sich auf die Veränderungen der Materialeigenschaften unter unterschiedlichen Temperaturbedingungen konzentriert. Die Leitfähigkeitsprüfmethode der japanischen Norm konzentriert sich auf die genaue Messung der Leitfähigkeitseigenschaften von Materialien und gewährleistet die Datengenauigkeit durch strenge Probenverarbeitung und Kontrolle der Prüfumgebung. Die koreanische Norm hat einen speziellen Standard für die Prüfung der Schlagzähigkeit eingeführt, um sicherzustellen, dass die Leistung von Materialien unter äußeren Einflüssen genau bewertet werden kann. Diese Normen enthalten allesamt detaillierte Bestimmungen zu den Bedingungen der Prüfumgebung, den Anforderungen an die Probenvorbereitung und den Datenanalysemethoden, mit dem letztendlichen Ziel, die Zuverlässigkeit der Prüfergebnisse und die Vergleichbarkeit der Daten zwischen verschiedenen Laboren sicherzustellen.

Die Anwendungsszenarien europäischer, amerikanischer, japanischer und koreanischer Normen sind klar definiert: Die US-Norm findet vor allem Anwendung auf Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt sowie auf medizinische Strahlenschutzanforderungen. Die europäische Norm eignet sich besser für die Produktion medizinischer Geräte und umweltfreundlicher elektronischer Komponenten im Rahmen der grünen Fertigung. Die japanische Norm bietet erhebliche Vorteile bei der Verwendung von Halbleiter-Präzisionskomponenten und hochwertigen mechanischen Präzisionsgegengewichten, und die koreanische Norm bietet eine Anpassungslösung für kostengünstige Luft- und Raumfahrtkomponenten sowie Schlüsselkomponenten von Kommunikationsgeräten. Die differenzierte Entwicklung nationaler Normen hat nicht nur die Spezialisierung der inländischen Wolframlegierungs-Materialtechnologie gefördert, sondern auch vielfältige Optionen für die globale Wolframlegierungs-Industriekette geschaffen. Unternehmen können das am besten geeignete Standardsystem für Materialforschung und -entwicklung sowie -produktion basierend auf den Leistungsanforderungen, Umweltstandards und Kostenbudgets spezifischer Anwendungsszenarien auswählen.

## 2.5 CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsstab MSDS

Das Sicherheitsdatenblatt (MSDS), heute allgemein als Sicherheitsdatenblatt (SDS) bekannt, ist ein wichtiges Dokument, das sichere Betriebsanweisungen und Risikobewertungen während der Herstellung und Verwendung von Wolframlegierungsstäben enthält. Als führender Anbieter von Wolframlegierungsstäben bietet das MSDS der CTIA GROUP LTD Sicherheitsinformationen für Wolframlegierungsstäbe für Arbeiter, Rettungskräfte und verwandte Fachkräfte, einschließlich chemischer Zusammensetzung, physikalischer und chemischer Eigenschaften, potenzieller Gefahren, Schutzmaßnahmen, Notfallmaßnahmen sowie Lagerungs- und Entsorgungsanforderungen. Das MSDS wird gemäß internationalen Standards (wie dem Global Harmonisierten System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (GHS)) und relevanten chinesischen Vorschriften (wie GB/T 16483) erstellt und gewährleistet umfassende Informationen und die Einhaltung sowohl globaler als auch lokaler

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anforderungen.

Das Sicherheitsdatenblatt für Wolframlegierungsstäbe enthält in der Regel die folgenden Kernabschnitte: Erstens die Produktidentifikation, die den Namen des Stabs, seine chemische Zusammensetzung (wie das Verhältnis von Wolfram, Nickel, Eisen oder Kupfer) und Lieferanteninformationen klar angibt. Zweitens die Gefahrenkennzeichnung, die die potenziellen Risiken von Wolframlegierungsstäben erläutert. Wolframlegierungsstäbe sind feste Materialien mit hoher chemischer Stabilität und stellen im Allgemeinen keine nennenswerten Gesundheitsgefahren dar. Drittens die Zusammensetzungsinformationen, die die Hauptbestandteile des Stabs und ihre Konzentrationen auflisten und seine Ungiftigkeit und sein geringes Umweltrisiko hervorheben.

Das Sicherheitsdatenblatt enthält außerdem Empfehlungen zur Handhabung und Lagerung. Es empfiehlt, Wolframlegierungsstäbe in einer trockenen, belüfteten Umgebung zu lagern und den Kontakt mit starken Säuren oder starken Oxidationsmitteln zu vermeiden, um Oberflächenkorrosion zu vermeiden. Das Sicherheitsdatenblatt enthält außerdem toxikologische und ökologische Informationen sowie Hinweise zur Entsorgung. Es betont die Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit von Wolframlegierungsstäben und unterstützt ihre umweltfreundlichen Anwendungen in der Medizin und Elektronik. In den Versandinformationen wird klar darauf hingewiesen, dass die Stäbe ungefährlich sind und den internationalen Versandvorschriften entsprechen.

## 2.6 Faktoren, die die Leistung von Wolframlegierungsstäben beeinflussen

Die Leistung von Wolframlegierungsstäben wird durch eine Kombination von Faktoren beeinflusst, darunter Zusammensetzung, Produktionsprozess, Weiterverarbeitung, Mikrostruktur und Einsatzumgebung. Diese Faktoren bestimmen zusammen die physikalischen und mechanischen Eigenschaften sowie die funktionale Anpassungsfähigkeit. Die Zusammensetzung bestimmt die grundlegenden Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben wie Dichte, Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit; der Produktionsprozess beeinflusst durch die Steuerung der Mikrostruktur und Materialdichte direkt die Leistungsstabilität; und die Weiterverarbeitung hat einen erheblichen Einfluss auf Oberflächenqualität, Maßgenauigkeit und funktionale Eigenschaften. Das Verständnis dieser Einflussfaktoren hilft bei der Optimierung von Materialdesign, Produktionsprozessen und Verarbeitungsverfahren und gewährleistet so die hohe Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsstäben in Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und Präzisionsfertigung. Die Optimierung dieser Faktoren erfordert eine umfassende Berücksichtigung von Leistungsanforderungen, Produktionskosten und Umweltfreundlichkeit, um durch wissenschaftliches Design und fortschrittliche Technologie ein Gleichgewicht zwischen Leistung und Funktionalität zu erreichen.

### 2.6.1 Einfluss des Zusammensetzungsverhältnisses auf die Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Das Zusammensetzungsverhältnis ist der wichtigste Faktor für die Leistung von Wolframlegierungsstäben und bestimmt direkt ihre physikalische, mechanische und funktionale Eignung.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsstäbe bestehen hauptsächlich aus Wolfram, ergänzt durch Bindeelemente wie Nickel, Eisen und Kupfer, die durch ein pulvermetallurgisches Verfahren zu einem Verbundwerkstoff geformt werden. Die hohe Dichte und der hohe Schmelzpunkt von Wolfram verleihen den Legierungsstäben ein ausgezeichnetes Masse-Volumen-Verhältnis und hohe Temperaturbeständigkeit, während Art und Verhältnis der zugesetzten Elemente Zähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Verarbeitbarkeit weiter optimieren. Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen sind beispielsweise für ihre hohe Dichte und Zugfestigkeit bekannt und eignen sich daher für Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt. Wolfram-Kupfer-Legierungen werden aufgrund ihrer hohen Wärme- und elektrischen Leitfähigkeit häufig in elektronischen Wärmeableitungssubstraten und Elektroden eingesetzt. Schon kleine Änderungen des Zusammensetzungsverhältnisses können die Leistung erheblich beeinflussen. So verbessert beispielsweise eine Erhöhung des Nickelgehalts Zähigkeit und Schlagfestigkeit, kann aber die Dichte leicht reduzieren. Durch eine Erhöhung des Kupfergehalts wird die Wärme- und Stromleitfähigkeit deutlich verbessert, allerdings kann dies zu Einbußen bei Härte und Festigkeit führen.

Das Zusammensetzungsverhältnis muss je nach Anwendungsszenario optimiert werden. Beispielsweise sind bei Gegengewichtsanwendungen in der Luft- und Raumfahrt hohe Dichte und Festigkeit entscheidend, was einen hohen Wolframgehalt und ein geeignetes Nickel-Eisen-Bindemittel erfordert. Bei Wärmeableitungsanwendungen in der Elektronik ist ein erhöhter Kupfergehalt erforderlich, um die Wärmeleitfähigkeit zu verbessern und gleichzeitig eine ausreichende mechanische Festigkeit aufrechtzuerhalten. Das Zusammensetzungsverhältnis beeinflusst auch die Mikrostruktur des Materials. Eine gleichmäßige Elementverteilung reduziert innere Defekte (wie Poren oder Einschlüsse) und verbessert die Leistungsstabilität. Während der Produktion wird das Zusammensetzungsverhältnis durch hochpräzise Pulvermischanlagen und strenge Chargenkontrolle erreicht, um ein präzises und gleichmäßiges Verhältnis der Elemente zu gewährleisten. Der Umweltschutz ist ein zentraler Aspekt bei der Gestaltung des Zusammensetzungsverhältnisses. Ungiftige Elemente wie Nickel und Kupfer werden bevorzugt anstelle herkömmlicher bleihaltiger Materialien verwendet, um potenzielle Schäden für Umwelt und Gesundheit zu reduzieren. Bei der Optimierung des Zusammensetzungsverhältnisses wird auch die Verarbeitbarkeit berücksichtigt. Ein geeignetes Bindemittelverhältnis kann die Härte verringern und die Schneid- und Schleifleistung verbessern. Der Einfluss des Zusammensetzungsverhältnisses auf die Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben durchdringt jede Phase des Materialdesigns, der Produktion und der Anwendung und bietet Flexibilität, um die vielfältigen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt-, Medizin- und Elektronikbranche zu erfüllen und eine entscheidende Unterstützung für die Entwicklung von Hochleistungsgeräten zu leisten.

## 2.6.2 Einfluss des Produktionsprozesses auf die Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Der Produktionsprozess ist ein entscheidender Faktor für die Leistung von Wolframlegierungsstäben. Er umfasst hauptsächlich Pulvermetallurgie, Sintern, Wärmebehandlung und Umformungsprozesse, die die Mikrostruktur, Dichte und Leistungsstabilität des Materials direkt bestimmen. Die Pulvermetallurgie ist das primäre Verfahren zur Herstellung von Wolframlegierungsstäben. Durch Mischen von Wolframpulver mit Elementpulvern wie Nickel, Eisen oder Kupfer, Pressen, Formen und Sintern entsteht ein dichtes Material. Jeder Schritt des Produktionsprozesses hat einen erheblichen Einfluss auf die

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistung. Beispielsweise bestimmt die Gleichmäßigkeit der Pulvermischung die Gleichmäßigkeit der Elementverteilung und der Mikrostruktur, was sich direkt auf Dichte, Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit auswirkt. Die Druckregelung beim Pressen beeinflusst die Anfangsdichte des Barrens, die wiederum den Sintereffekt beeinflusst. Der Sinterprozess (insbesondere das Flüssigphasensintern) optimiert die Bindung zwischen Wolframpartikeln und der Bindephase durch Kontrolle von Temperatur und Zeit, wodurch eine hochdichte Mikrostruktur entsteht und Zugfestigkeit und Zähigkeit verbessert werden.

Der Sinterprozess ist ein zentraler Schritt im Produktionsprozess. Die präzise Steuerung von Sintertemperatur und Haltezeit wirkt sich direkt auf die Materialeigenschaften aus. Zu hohe Sintertemperaturen können zu übermäßigem Kornwachstum führen und so die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit verringern. Zu niedrige Temperaturen können Porosität oder unvollständiges Sintern verursachen, was wiederum Dichte und Festigkeit beeinträchtigt. Wärmebehandlungsverfahren (wie Glühen oder Altern) können die Mikrostruktur weiter optimieren, innere Spannungen beseitigen und die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit verbessern. Beispielsweise kann geeignetes Glühen die Zähigkeit von Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen verbessern und sie so für hochbelastete Luft- und Raumfahrtkomponenten geeignet machen. Optimierte Sinterbedingungen können die Wärmeleitfähigkeit von Wolfram-Kupfer-Legierungen verbessern und sie so für elektronische Wärmeableitungssubstrate geeignet machen. Der Produktionsprozess muss auch Umweltfreundlichkeit und Kosteneffizienz berücksichtigen und die Prozessparameter optimieren, um Energieverbrauch und Abfallaufkommen zu reduzieren und die Anforderungen an eine umweltfreundliche Fertigung zu erfüllen. Moderne Produktionsanlagen (wie hochpräzise Pressen und Vakuumsinteröfen) können die Prozessstabilität verbessern und eine gleichbleibende Leistung gewährleisten. Der Einfluss des Produktionsprozesses auf die Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben spiegelt sich in der präzisen Kontrolle der Mikrostruktur wider, die hochzuverlässige Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der Elektronik gewährleistet und die Produktion und Anwendung von Hochleistungsmaterialien fördert.

### 2.6.3 Einfluss der Weiterverarbeitung auf die Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben

Der Einfluss der Weiterverarbeitung auf die Leistung von Wolframlegierungsstäben zeigt sich vor allem in der Oberflächenqualität, der Maßgenauigkeit und den funktionellen Eigenschaften, die wiederum direkt mit ihrer Leistung in hochpräzisen Anwendungen zusammenhängen. Durch Weiterverarbeitung, einschließlich Schneiden, Schleifen, Polieren, Oberflächenbehandlung (wie chemisches Plattieren oder physikalische Gasphasenabscheidung) und Präzisionsformen, können Geometrie, Oberflächenbeschaffenheit und funktionelle Leistung von Wolframlegierungsstäben optimiert werden. Aufgrund ihrer hohen Härte und Festigkeit sind Wolframlegierungsstäbe schwer zu verarbeiten. Die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer verbessert jedoch ihre Verarbeitungseigenschaften und ermöglicht die präzise Bearbeitung komplexer Formen, die den Anforderungen von Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten und elektronischen Steckverbindern entsprechen. Der Einfluss der Weiterverarbeitung auf die Leistung zeigt sich vor allem in den folgenden Aspekten: Oberflächenqualität, mechanische Eigenschaften und funktionelle Anpassungsfähigkeit.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Oberflächenqualität ist das zentrale Ziel der nachfolgenden Verarbeitung. Eine hochwertige Oberfläche kann die Verschleißfestigkeit und Leitfähigkeit verbessern und so Reibungsverluste und Kontaktwiderstände reduzieren. In der Elektronikindustrie beispielsweise kann die polierte Oberfläche von Wolfram-Kupfer-Legierungsstreifen die Leitfähigkeit verbessern und sie so für Hochfrequenzelektroden geeignet machen. Im medizinischen Bereich können Wolframlegierungsstreifen mit hoher Oberflächenqualität Oberflächendefekte in Strahlenschutzkomponenten reduzieren und die Abschirmwirkung verbessern. Schneid- und Schleifprozesse erfordern den Einsatz von Hochleistungswerkzeugen und Präzisionsgeräten, um Mikrorisse oder Oberflächenspannungen durch Überbearbeitung zu vermeiden, die die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit beeinträchtigen können. Oberflächenbehandlungsverfahren (wie chemische Vernickelung oder PVD-Beschichtung) können die Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit weiter verbessern und so die Lebensdauer von Wolframlegierungsstreifen in rauen Umgebungen verlängern, beispielsweise bei hoher Luftfeuchtigkeit oder chemischer Medienkorrosion in Luft- und Raumfahrtkomponenten. Präzisionsformverfahren gewährleisten Maßgenauigkeit und erfüllen hochpräzise Montageanforderungen, beispielsweise bei elektronischen Verpackungen oder medizinischen Bildgebungsgeräten.

Auch bei der Weiterverarbeitung muss der Umweltschutz berücksichtigt und der Prozessablauf optimiert werden, um die Entstehung von Metallspänen und Abfällen gemäß den Standards der umweltfreundlichen Fertigung zu reduzieren. Beispielsweise kann Trockenschneiden oder das Recycling von Verarbeitungsabfällen die Umweltbelastung reduzieren. Prozessparameter wie Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Kühlmethode müssen während der Verarbeitung streng kontrolliert werden, um eine stabile Leistung zu gewährleisten. Die Auswirkungen der Weiterverarbeitung auf die Leistung von Wolframlegierungsstäben gewährleisten deren Leistung in hochpräzisen und hochzuverlässigen Anwendungen durch Optimierung der Oberflächenqualität und der funktionalen Eigenschaften. Beispielsweise sorgt bei Gegengewichtskomponenten in der Luft- und Raumfahrt eine hochpräzise Verarbeitung für eine gleichmäßige Gewichtsverteilung; bei elektronischen Wärmeableitungssubstraten verbessern Polieren und Plattieren die Wärmeleitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Die Optimierung der Weiterverarbeitung erfordert moderne Verarbeitungsanlagen und strenge Qualitätskontrollen, um die beste Leistung von Wolframlegierungsstäben in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der Elektronik zu gewährleisten und die Entwicklung und Anwendung von Hightech-Geräten zu fördern.

## 2.7 Leistung und Anwendung von Wolframlegierungsstäben

Die Abstimmung der Leistung und Anwendung von Wolframlegierungsstäben erfolgt durch die präzise Abstimmung ihrer physikalischen, mechanischen und funktionalen Eigenschaften auf die Anforderungen spezifischer Anwendungsszenarien. Durch die Optimierung von Materialdesign und Produktionsprozessen gewährleisten wir ihren effizienten Einsatz in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der Industrie. Dank ihrer hohen Dichte, Festigkeit, Temperaturbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Strahlungsresistenz erfüllen Wolframlegierungsstäbe die vielfältigen Anforderungen an die Materialeistung in verschiedenen Bereichen. Ihre hohe Dichte und Festigkeit

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eignen sich beispielsweise für Gegengewichtskomponenten, die einen Gewichtsausgleich erfordern, ihre Korrosionsbeständigkeit und Strahlungsresistenz für den medizinischen Strahlenschutz und ihre hohe Temperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit erfüllen die Anforderungen industrieller Hochtemperaturprozesse und verschleißfester Komponenten.

### 2.7.1 Der Bedarf der Militärindustrie an hoher Dichte und hoher Festigkeit

Die Anwendung von Wolframlegierungsstäben in der Militärindustrie beruht hauptsächlich auf ihrer hohen Dichte und Festigkeit, wodurch sie strenge Anforderungen an Gewichtsausgleich, strukturelle Festigkeit und Haltbarkeit erfüllen. Militärische Ausrüstung, wie beispielsweise Komponenten für die Luft- und Raumfahrt, erfordert häufig eine präzise Gewichtsverteilung innerhalb eines begrenzten Volumens, um dynamisches Gleichgewicht und Betriebsstabilität zu gewährleisten. Die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben ermöglicht es ihnen, ein beträchtliches Gewicht innerhalb eines relativ kleinen Volumens bereitzustellen, wodurch sie sich für Gegengewichtskomponenten wie Satellitenlageregelungssysteme oder Flugzeugausgleichsvorrichtungen eignen. Diese hohe Dichte wird durch einen hohen Wolframgehalt erreicht, ergänzt durch optimierte Bindemittel wie Nickel und Eisen, wodurch sichergestellt wird, dass das Material in Umgebungen mit hoher Belastung seine strukturelle Integrität behält. Seine hohe Festigkeit ermöglicht es ihm, hohen Belastungen und Vibrationen standzuhalten, wodurch es sich für den Einsatz in Strukturstützen oder hochbelasteten Komponenten eignet.

In militärischen Anwendungen wird die hohe Festigkeit von Wolframlegierungsstäben durch die Zugabe von Elementen wie Nickel und Eisen deutlich gesteigert. Dadurch wird die Sprödigkeit von reinem Wolfram überwunden und die Zugfestigkeit und Zähigkeit verbessert. Wolfram-Nickel-Eisen beispielsweise behält dank seiner hervorragenden Zugfestigkeit und Schlagzähigkeit seine stabile Leistung unter dynamischen Belastungen bei und eignet sich daher für Gegengewichtskomponenten in der Luft- und Raumfahrt. Während der Produktion optimieren pulvermetallurgische Verfahren die Sinterbedingungen und die Partikelverteilung, um eine gleichmäßig hohe Dichte und Festigkeit zu gewährleisten und so zu verhindern, dass innere Defekte die Leistung beeinträchtigen. Bearbeitungsgenauigkeit ist für militärische Anwendungen von entscheidender Bedeutung. Hochpräzises Schneiden und Schleifen ermöglicht enge Maßtoleranzen, um komplexe Montageanforderungen zu erfüllen. Die Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit von Wolframlegierungsstäben machen sie im Militärsektor umweltfreundlich und reduzieren die Umweltbelastung durch Produktion und Entsorgung. Ihre hohe Dichte und Festigkeit, genau auf die Anforderungen des Militärs abgestimmt, gewährleisten hohe Zuverlässigkeit und Betriebsstabilität, treiben den Fortschritt in der Luft- und Raumfahrtstechnologie voran und leisten einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung von Hochleistungsgeräten.

### 2.7.2 Leistungsanforderungen an Strahlenbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit im medizinischen Bereich

Die Anwendung von Wolframlegierungsstäben im medizinischen Bereich beruht vor allem auf ihrer

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Strahlen- und Korrosionsbeständigkeit, die den Anforderungen an Strahlenschutz und Langzeitgebrauch gerecht wird. Medizinische Geräte (wie CT-Geräte und Strahlentherapiegeräte) benötigen eine wirksame Abschirmung vor energiereicher Strahlung (wie Röntgen- und Gammastrahlen), um die Sicherheit von Patienten und medizinischem Personal zu gewährleisten. Die hohe Dichte und Ordnungszahl von Wolframlegierungsstäben machen sie zu hervorragenden Strahlenschutzmaterialien, die Strahlung effektiv absorbieren und streuen und so das Eindringen reduzieren. Die Strahlenbeständigkeit wird durch einen hohen Wolframgehalt und eine dichte Mikrostruktur erreicht, und optimierte Pulvermetallurgieprozesse gewährleisten die Stabilität der Abschirmleistung. Im Vergleich zu herkömmlichen bleibasierten Materialien sind Wolframlegierungsstäbe aufgrund ihrer Ungiftigkeit im medizinischen Bereich vorteilhafter, da sie die potenziellen Umwelt- und Gesundheitsrisiken von Blei vermeiden und die Anforderungen an eine umweltfreundliche Herstellung erfüllen.

Korrosionsbeständigkeit ist eine weitere wichtige Anforderung an Wolframlegierungsstäbe im medizinischen Bereich. Medizinische Geräte sind häufig hoher Luftfeuchtigkeit oder chemischer Sterilisation ausgesetzt. Daher muss das Material korrosionsbeständig sein, um Leistung und Oberflächenqualität zu erhalten. Die Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben wird durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer erhöht. Die inhärente chemische Inertheit von Wolfram erhöht seine Beständigkeit gegen Oxidation und chemische Angriffe zusätzlich. Oberflächenbehandlungen wie Polieren oder galvanisches Beschichten können die Korrosionsbeständigkeit weiter verbessern und die Lebensdauer verlängern. Beispielsweise müssen Wolframlegierungsstäbe, die in medizinischen Bildgebungsgeräten als rotierende Komponenten oder Abschirmkomponenten verwendet werden, in Umgebungen mit hoher Luftfeuchtigkeit stabil bleiben, um eine leistungsmindernde Oberflächenzersetzung zu verhindern. Während der Produktion werden durch pulvermetallurgische Prozesse die Sinterbedingungen und Komponentenverhältnisse gesteuert, um eine gleichmäßige Mikrostruktur zu gewährleisten und Korrosionspunkte zu reduzieren. Präzision bei der Verarbeitung ist entscheidend für eine optimale Kompatibilität mit medizinischen Anwendungen. Hohe Oberflächengüte und Maßgenauigkeit verbessern die Abschirmwirkung und die Montagekompatibilität. Die Strahlungs- und Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben, die genau auf die Anforderungen im medizinischen Bereich abgestimmt sind, gewährleisten die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Geräte und fördern Fortschritte in der medizinischen Bildgebung und Strahlentherapie-technologie.

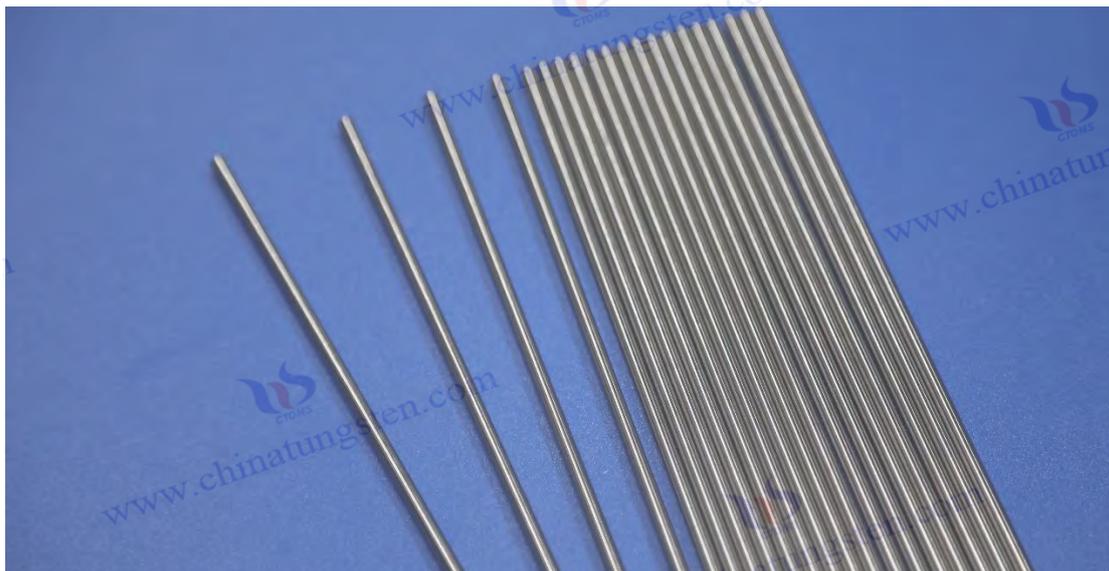
### 2.7.3 Industrielle Anpassungslogik für Hochtemperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit

Die industrielle Anwendung von Stäben aus Wolframlegierungen beruht hauptsächlich auf ihrer hohen Temperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit, wodurch sie den Anforderungen von Hochtemperaturprozessen und verschleißfesten Komponenten gerecht werden. Hochtemperaturumgebungen in der Industrie, wie beispielsweise Wärmebehandlungsöfen und industrielle Schneidegeräte, stellen strenge Anforderungen an die Hitzebeständigkeit des Materials. Der hohe Schmelzpunkt und die hohe Temperaturbeständigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen ermöglichen eine stabile Leistung bei extremen Temperaturen, ohne dass es zu Verformungen oder Leistungseinbußen kommt. Diese hohe Temperaturbeständigkeit rührt vom hohen Schmelzpunkt von

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolfram her. Durch die Optimierung der Mikrostruktur mit Elementen wie Nickel und Eisen wird die Beständigkeit gegen thermische Belastung und Oxidation verbessert. Beispielsweise behalten Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen ihre Festigkeit und Zähigkeit in Hochtemperaturumgebungen, wodurch sie sich für den Einsatz als Stützen in Hochtemperaturöfen oder als Strukturkomponenten in Wärmebehandlungsgeräten eignen.

Verschleißfestigkeit ist eine weitere wichtige Anforderung an Stäbe aus Wolframlegierungen im industriellen Bereich, insbesondere in Umgebungen mit hoher Reibung oder hoher Belastung, wie z. B. in Schneidwerkzeugen, Formen und verschleißfesten Auskleidungen. Die hohe Härte und die optimierte Mikrostruktur von Stäben aus Wolframlegierungen widerstehen Oberflächenverschleiß und Kratzern und verlängern so ihre Lebensdauer. Die Verschleißfestigkeit wird durch ein pulvermetallurgisches Verfahren erreicht, bei dem die gleichmäßige Verteilung von Wolframpartikeln und einer Bindephase eine dichte Mikrostruktur erzeugt, die die Reibungsfestigkeit der Oberfläche erhöht. Oberflächenbehandlungen wie PVD-Beschichtung oder Polieren erhöhen die Verschleißfestigkeit zusätzlich und reduzieren Reibungsverluste. Beispielsweise können Stäbe aus Wolframlegierungen in industriellen Schneidgeräten als Schneidwerkzeuge Schärfe und Oberflächenqualität bewahren und so die Bearbeitungseffizienz verbessern. Während der Produktion optimieren Sintern und Wärmebehandlung die Härte und Zähigkeit des Materials und minimieren den Einfluss innerer Defekte auf die Verschleißfestigkeit. Bearbeitungsgenauigkeit ist entscheidend für eine optimale industrielle Anwendung. Hochpräzise Bearbeitung ermöglicht die Herstellung komplexer Formen und Oberflächenbeschaffenheiten, die den hohen Anforderungen von Formen und Werkzeugen gerecht werden. Die Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit von Wolframlegierungsstäben machen sie im Industriesektor umweltfreundlich und reduzieren die Umweltbelastung durch Produktion und Entsorgung. Ihre hohe Temperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit sind genau auf die Anforderungen der Industrie abgestimmt. Sie gewährleisten die Zuverlässigkeit von Hochtemperaturprozessen und verschleißfesten Komponenten und fördern die Weiterentwicklung der Präzisionsfertigung und Industrietechnologie.



CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsstange

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Kapitel 3 Produktionstechnologie und -prozess von Wolframlegierungsstangen

Die physikalischen, mechanischen und funktionalen Anpassungseigenschaften von Stäben aus Wolframlegierungen werden direkt durch ihre Herstellungsverfahren bestimmt. Sie finden breite Anwendungsmöglichkeiten in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin, der Elektronik und der Präzisionsfertigung. Die Herstellung von Stäben aus Wolframlegierungen basiert auf der Pulvermetallurgie-Technologie. Durch Rohstoffaufbereitung, Pulvermischung, Pressen, Sintern und anschließende Verarbeitung werden die hohe Dichte und der hohe Schmelzpunkt von Wolfram mit den Vorteilen von Elementen wie Nickel, Eisen und Kupfer kombiniert, um ein Material mit Festigkeit, Zähigkeit und Funktionalität zu bilden. Der Produktionsprozess erfordert in jeder Phase eine strenge Kontrolle der Parameter, um die Stabilität und Konsistenz der Materialeigenschaften zu gewährleisten. Gleichzeitig wird Wert auf Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit gelegt, wodurch Abfall und Energieverbrauch während des Produktionsprozesses reduziert werden.

### 3.1 Herstellung von Wolframlegierungsstäben

Die Herstellung von Wolframlegierungsstäben umfasst mehrere Schritte, von der Rohstoffaufbereitung bis zur Verarbeitung des fertigen Produkts. Dazu gehören vor allem die Rohstoffaufbereitung, das Pulvermischen, das Pressen, Sintern, die Wärmebehandlung und die anschließende Verarbeitung. Diese Schritte werden durch die Pulvermetallurgietechnologie erreicht, bei der Wolframpulver mit anderen Metallelementen wie Nickel-, Eisen- und Kupferpulvern vermischt und anschließend bei hohen Temperaturen gepresst und gesintert wird, um einen dichten Verbundwerkstoff zu bilden. Jeder Schritt hat einen erheblichen Einfluss auf die endgültige Leistung. So bestimmt beispielsweise die Rohstoffaufbereitung die Reinheit und Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung, das Pressen beeinflusst die Ausgangsdichte des Rohlings und der Sinterprozess die Stabilität der Mikrostruktur und die gleichbleibende Leistung. Der Produktionsprozess erfordert den Einsatz hochpräziser Geräte und eine strenge Prozesskontrolle, um die hohe Dichte, Festigkeit und funktionale Anpassungsfähigkeit der Wolframlegierungsstäbe zu gewährleisten. Der Produktionsprozess muss auch Umweltaspekte berücksichtigen. Durch die Optimierung der Prozessparameter und das Recycling von Abfallstoffen können Energieverbrauch und Umweltbelastung reduziert und so die Anforderungen an eine umweltfreundliche Produktion erfüllt werden.

#### 3.1.1 Vorbereitung der Rohstoffe für Wolframlegierungsstäbe

Die Rohstoffaufbereitung ist ein grundlegender Schritt bei der Herstellung von Wolframlegierungsbarren und beeinflusst direkt die chemische Zusammensetzung, die Mikrostruktur und die endgültigen Eigenschaften des Materials. Die Rohstoffaufbereitung umfasst die Auswahl, Siebung und Vorbehandlung von Wolframpulver und anderen Metallelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer, um sicherzustellen, dass Reinheit, Partikelgröße und Gleichmäßigkeit des Rohstoffs den Produktionsanforderungen entsprechen. Wolframpulver als Hauptbestandteil sorgt für eine hohe Dichte und einen hohen Schmelzpunkt, während Bindeelemente wie Nickel, Eisen und Kupfer die Zähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Verarbeitungseigenschaften verbessern. Die Rohstoffaufbereitung erfordert

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hochpräzise Geräte (wie Siebmaschinen und Analysegeräte) und strenge Qualitätskontrollverfahren, um sicherzustellen, dass die Rohstoffe die strengen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt-, Medizin- und Elektronikindustrie erfüllen. Bei der Rohstoffauswahl und -verarbeitung müssen auch Umweltaspekte berücksichtigt werden, wobei ungiftige Rohstoffe bevorzugt und die Abfallerzeugung minimiert werden muss. Die Optimierung der Rohstoffaufbereitungsprozesse legt den Grundstein für das anschließende Mischen, Pressen und Sintern und gewährleistet die Stabilität und Konsistenz der Wolframlegierungsbarren.

### 3.1.1.1 Auswahlkriterien und Screening-Prozess für Wolframpulver

Die Auswahlkriterien und das Siebverfahren für Wolframpulver sind für die Rohstoffaufbereitung von zentraler Bedeutung, da sie die Dichte, Festigkeit und mikrostrukturelle Gleichmäßigkeit von Wolframlegierungsstäben direkt bestimmen. Als Hauptbestandteil von Wolframlegierungsstäben muss Wolframpulver hohe Reinheit, geeignete Partikelgröße und gleichmäßige Morphologie aufweisen, um die Stabilität der Materialeigenschaften zu gewährleisten. Die Auswahlkriterien umfassen im Wesentlichen die folgenden Aspekte: Erstens muss das Wolframpulver eine hohe Reinheit aufweisen, um den Einfluss von Verunreinigungen (wie Sauerstoff, Kohlenstoff oder anderen metallischen Elementen) auf die Leistung zu minimieren. Verunreinigungen können beim Sintern Poren oder Einschlüsse verursachen und so Dichte und Festigkeit verringern. Zweitens muss die Partikelgröße in einem angemessenen Bereich kontrolliert werden. Feine, gleichmäßige Partikel verbessern die Gleichmäßigkeit der Mischung und die Sinterdichte und verbessern dadurch die mechanischen Eigenschaften und die Wärmeleitfähigkeit. Darüber hinaus muss die Morphologie des Wolframpulvers (z. B. kugelförmig oder unregelmäßig) mit dem Produktionsprozess kompatibel sein. Kugelförmige Partikel weisen im Allgemeinen eine bessere Fließfähigkeit auf und erleichtern die Verdichtung.

Der Siebprozess ist ein entscheidender Schritt zur Sicherstellung der Qualität von Wolframpulver. Er umfasst typischerweise die folgenden Schritte: Zunächst werden Reinheit und Verunreinigungsgehalt des Pulvers durch chemische Analysen (wie ICP-MS oder XRF) geprüft, um sicherzustellen, dass es die strengen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt- sowie der Medizinindustrie erfüllt. Nach der Prüfung wird das Pulver mit einem hochpräzisen Vibrationssieb oder Luftstromklassierer gesiebt, um Pulver innerhalb des Zielgrößenbereichs zu trennen und zu große und zu kleine Partikel zu entfernen, um Gleichmäßigkeit zu gewährleisten. Der Siebprozess muss in einer sauberen Umgebung durchgeführt werden, um Staubkontamination und das Eindringen von Verunreinigungen zu vermeiden. Das gesiebte Wolframpulver wird einer Oberflächenbehandlung (wie Desoxidation) unterzogen, um den Sauerstoffgehalt an der Oberfläche zu reduzieren und die Sinteraktivität zu verbessern. Beim Siebprozess werden auch Umweltaspekte berücksichtigt, indem Energieverbrauch und Staubemissionen durch Recycling von Siebabfällen reduziert und der Anlagenbetrieb optimiert werden. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Siebanlagen und Online-Qualitätsüberwachungssysteme zur Verbesserung der Siebeffizienz und -genauigkeit. Die strikte Einhaltung der Auswahlkriterien und Screening-Prozesse für Wolframpulver gewährleistet die hohe Dichte und Festigkeit der Wolframlegierungsstäbe, sorgt für eine stabile Leistung in Gegengewichten für die Luft- und Raumfahrt und medizinischen Abschirmkomponenten und legt eine solide Grundlage für

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nachfolgende Produktionsprozesse.

### 3.1.1.2 Reinheitsanforderungen für andere Metallelemente (Nickel, Eisen, Kupfer usw.)

Die Reinheitsanforderungen anderer metallischer Elemente (wie Nickel, Eisen und Kupfer) sind bei der Herstellung von Rohstoffen für Wolframlegierungsstäbe von entscheidender Bedeutung und wirken sich direkt auf die Zähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit des Materials aus. Nickel, Eisen und Kupfer wirken als Bindeelemente und werden in einem pulvermetallurgischen Verfahren mit Wolframpulver zu einem dichten Verbundwerkstoff vermischt. Dadurch wird die Sprödigkeit von reinem Wolfram deutlich verbessert und seine funktionellen Eigenschaften optimiert. Die Reinheitsanforderungen umfassen im Wesentlichen folgende Aspekte: Erstens muss die Reinheit von Elementen wie Nickel, Eisen und Kupfer hoch sein, um den Einfluss von Verunreinigungen (wie Schwefel, Phosphor und Sauerstoff) auf die Leistung zu minimieren. Verunreinigungen können mikrostrukturelle Defekte verursachen und die Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit verringern. Zweitens muss die chemische Stabilität der Elemente den Anforderungen des Produktionsprozesses entsprechen. Beispielsweise muss Kupfer eine hohe Wärme- und elektrische Leitfähigkeit aufweisen, während Nickel und Eisen eine gute Bindung und Zähigkeit aufweisen müssen. Darüber hinaus müssen Partikelgröße und Morphologie der Elemente zum Wolframpulver passen, um eine gleichmäßige Mischung und optimale Sinterung zu gewährleisten.

Der Reinheitskontrollprozess umfasst die folgenden Schritte: Zunächst werden Reinheit und Verunreinigungsgehalt von Nickel-, Eisen-, Kupfer- und anderen Pulvern durch chemische Analysen (wie ICP-OES oder Atomabsorptionsspektroskopie) geprüft, um die Einhaltung von Industriestandards (wie ASTM B777 oder GB/T 3459) sicherzustellen. Nach der Prüfung werden die Pulver mit hochpräzisen Siebgeräten auf ihre Partikelgröße geprüft, um die Partikelgrößenverteilung zu kontrollieren und die Gleichmäßigkeit der Mischung zu verbessern. Der Siebvorgang muss unter Schutzgas oder in einer sauberen Umgebung durchgeführt werden, um Oxidation und Verunreinigungen zu vermeiden. Die gesiebten Pulver müssen vorbehandelt werden (wie Desoxidation oder Oberflächenaktivierung), um die Kompatibilität mit Wolframpulver und die Sinteraktivität zu verbessern. Die Durchsetzung der Reinheitsanforderungen erfordert auch Umweltaspekte. Das Recycling von Siebabfällen und die Optimierung von Verarbeitungsprozessen können Abfallaufkommen und Umweltbelastung reduzieren. Optimierungsmaßnahmen umfassen den Einsatz automatisierter Analyse- und Siebgeräte und die Integration von Online-Qualitätsüberwachungssystemen zur Verbesserung der Effizienz und Genauigkeit der Reinheitskontrolle.

### 3.1.1.3 Berechnungsmethode für das Verhältnis von Wolframpulver zu anderen Metallelementen

Die Berechnung des Verhältnisses von Wolframpulver zu anderen Metallelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer ist ein zentraler Schritt bei der Rohstoffaufbereitung und wirkt sich direkt auf Dichte, Festigkeit, Zähigkeit und Funktionseigenschaften des resultierenden Wolframlegierungsstabs aus. Diese Verhältnisberechnung bestimmt die Anteile der einzelnen Elemente basierend auf der Zielanwendung (z. B. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmungen oder elektronische

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kühlung), um die Leistung zu optimieren. Beispielsweise erfordern Gegengewichtsanwendungen mit hoher Dichte einen hohen Wolframgehalt, um ein hohes Gewicht-Volumen-Verhältnis zu gewährleisten, während elektronische Kühlanwendungen einen erhöhten Kupfergehalt erfordern, um die Wärmeleitfähigkeit zu verbessern. Methoden zur Verhältnisberechnung basieren typischerweise auf Massenprozenten oder Volumenprozenten und kombinieren Zielleistung und Produktionsprozessanforderungen, um das optimale Verhältnis durch theoretische Berechnungen und experimentelle Überprüfung zu bestimmen.

Der Prozess der Berechnung des Mischungsverhältnisses umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird die Zielleistung basierend auf den Anwendungsanforderungen bestimmt, wie z. B. hohe Dichte (Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt), hohe Wärmeleitfähigkeit (Kühlung von Elektronik) oder hohe Zähigkeit (Strukturteile). Als nächstes werden die Massenverhältnisse von Elementen wie Wolfram, Nickel, Eisen und Kupfer bestimmt, wobei auf Industrienormen (wie ASTM B777 oder GB/T 3459) oder Anwendungsanforderungen Bezug genommen wird. Beispielsweise werden Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen oft in Anwendungen mit hoher Dichte mit einem hohen Wolframgehalt verwendet, sodass das Nickel-Eisen-Verhältnis Zähigkeit und Festigkeit ausbalancieren muss. Wolfram-Kupfer-Legierungen werden wegen der Wärmeleitfähigkeit verwendet, daher muss der Kupfergehalt entsprechend erhöht werden. Die Berechnung berücksichtigt die Dichte und die chemischen Eigenschaften jedes Elements. Unter Verwendung des Prinzips der Massenerhaltung wird die Masse jeder Komponente mit der Formel (Gesamtmasse = Wolframmasse + Nickelmasse + Eisenmasse + Kupfermasse) berechnet. Die experimentelle Überprüfung ist für die Berechnung des Mischungsverhältnisses entscheidend. Um die Eignung des Mischungsverhältnisses zu überprüfen, werden kleine Probenchargen vorbereitet und auf Dichte, Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit geprüft. Bei der Anpassung des Mischungsverhältnisses müssen mikrostrukturelle Einflüsse berücksichtigt werden. Beispielsweise kann ein hoher Wolframgehalt die Härte erhöhen, aber die Zähigkeit verringern. Zur Leistungsoptimierung ist dann die Zugabe von Nickel oder Kupfer erforderlich.

Bei der Berechnung der Verhältnisse müssen auch Umweltfreundlichkeit und Kosteneffizienz berücksichtigt werden. Der Verwendung ungiftiger Elemente (wie Nickel und Kupfer) anstelle von gefährlichen Materialien wie Blei wird Vorrang eingeräumt, um die Umweltbelastung zu minimieren. Hochpräzise Analysesoftware (z. B. Software zur Simulation von Materialverhältnissen) unterstützt den Berechnungsprozess und gewährleistet genaue Verhältnisse und die Einhaltung der Zielleistung. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehört der Aufbau einer Verhältnisdatenbank, um schnell auf optimale Verhältnislösungen basierend auf Anwendungsszenarien zugreifen zu können. Außerdem werden die Verhältnisse auf Grundlage experimenteller Rückmeldungen kontinuierlich optimiert, um die Leistungsstabilität zu verbessern.

#### 3.1.1.4 Mischgeräte und Kontrolle der Mischgleichmäßigkeit

Mischgeräte und die Kontrolle der Mischgleichmäßigkeit sind wichtige Bestandteile der Rohstoffaufbereitung, die sich direkt auf die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur und die Leistungskonsistenz von Wolframlegierungsstäben auswirken. Wolframpulver und Pulver von

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Metallelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer müssen durch effizientes Mischen gleichmäßig verteilt werden, um die Bildung einer dichten Mikrostruktur nach dem Sintern zu gewährleisten und Leistungsschwankungen zu vermeiden. Die Gleichmäßigkeit der Mischung hat einen erheblichen Einfluss auf Eigenschaften wie Dichte, Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Zähigkeit. Gleichmäßiges Mischen kann Porosität und Einschlüsse reduzieren und die Materialeigenschaften verbessern. Mischgeräte müssen hochpräzise und effizient sein. Zu den gängigen Geräten gehören Planetenkugelmühlen, V-Mischer und Hochenergie-Vibrationsmischer. Die Auswahl der geeigneten Geräte muss auf Grundlage der Pulvereigenschaften und des Produktionsumfangs erfolgen.

Der Mischprozess umfasst die folgenden Schritte: Zunächst werden das gesiebte Wolframpulver sowie Nickel-, Eisen-, Kupfer- und andere Pulver entsprechend dem Verhältnis abgewogen und in ein Mischgerät gegeben. Die Mischanlage muss in einer sauberen Umgebung betrieben werden, um eine Kontamination durch Verunreinigungen zu vermeiden. Der Betrieb erfolgt üblicherweise unter Schutzgas (z. B. Argon), um Oxidation zu verhindern. Mischzeit und -geschwindigkeit müssen entsprechend der Pulverpartikelgröße und -fließfähigkeit optimiert werden. Beispielsweise benötigen feine Partikel eine längere Mischzeit, um eine gleichmäßige Mischung zu gewährleisten. Die Gleichmäßigkeit der Mischung wird durch Probenahme und Tests überprüft. Die Elementverteilung des Pulvers wird mittels Rasterelektronenmikroskop (REM) oder energiedispersiver Spektroskopie (EDS) analysiert, um eine gleichmäßige Verteilung der Komponenten sicherzustellen. Der Betriebszustand der Anlage muss während des Mischprozesses überwacht werden, um übermäßiges Mischen zu vermeiden, das zu Partikelbruch oder Überhitzung führen und die Aktivität des Pulvers beeinträchtigen kann. Nach Abschluss des Mischvorgangs muss das Pulver in einem verschlossenen Behälter aufbewahrt werden, um Feuchtigkeitsaufnahme oder Oxidation zu vermeiden.

Die Optimierung der Mischgleichmäßigkeitskontrolle umfasst den Einsatz hochpräziser Mischgeräte mit einem Online-Überwachungssystem zur Echtzeitüberwachung der Elementverteilung; einen mehrstufigen Mischprozess, beginnend mit einem langsamen Vormischen, gefolgt von einem schnellen Feinmischen zur Verbesserung der Gleichmäßigkeit; und die regelmäßige Wartung der Geräte, um die Sauberkeit von Rotor und Mischkammer zu gewährleisten. Umweltschutz ist ein zentraler Aspekt des Mischprozesses. Die Umweltbelastung wird durch das Recycling des beim Mischprozess anfallenden Abfallpulvers und die Optimierung des Energieverbrauchs der Geräte reduziert. Wissenschaftlich konzipierte und konsequent umgesetzte Mischgeräte und Gleichmäßigkeitskontrollen gewährleisten die mikrostrukturelle Gleichmäßigkeit und Leistungsstabilität von Wolframlegierungsstäben und gewährleisten so ihre hohe Zuverlässigkeit in Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmungen und elektronischen Wärmeableitungskomponenten.

### 3.1.2 Formgebungsprozess von Wolframlegierungsstäben

Der Formungsprozess von Wolframlegierungsstäben ist ein entscheidender Schritt im Produktionsprozess und beeinflusst direkt die Ausgangsdichte, die Formgenauigkeit und das anschließende Sinterergebnis des Rohlings. Beim Formungsprozess wird ein gleichmäßig gemischtes Pulver zu einem Rohling mit einer bestimmten Form gepresst und legt so die Grundlage für das Sintern

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und die anschließende Verarbeitung. Gängige Formungsverfahren sind Kaltpressen, Heißpressen und isostatisches Pressen. Kaltpressen wird aufgrund seiner Einfachheit und geringen Kosten häufig in der Produktion von Wolframlegierungsstäben eingesetzt. Der Formungsprozess erfordert den Einsatz hochpräziser Formen und Pressen, um die geometrische Genauigkeit und Dichte des Rohlings zu gewährleisten. Gleichzeitig müssen die Prozessparameter optimiert werden, um Defekte wie Risse oder Delamination zu reduzieren. Der Formungsprozess muss auch Umweltaspekte berücksichtigen und die Anforderungen an eine umweltfreundliche Produktion durch Abfallrecycling und Optimierung des Energieverbrauchs erfüllen.

### 3.1.2.1 Kaltpresswerkzeugdesign und Spezifikationsanpassung

Die Formgestaltung und die Anpassung der Kaltpressung an die Spezifikationen sind der Kern des Wolframlegierungsbarren-Formungsprozesses. Sie bestimmen direkt die Form, Maßhaltigkeit und Dichte des Rohlings und beeinflussen die Leistung der nachfolgenden Sinter- und Verarbeitungsschritte. Beim Kaltpressen wird das gemischte Pulver mit einer hydraulischen oder mechanischen Presse zu einem stabförmigen Rohling gepresst. Bei der Formgestaltung müssen die Anforderungen an Pulverfließfähigkeit, Pressdruck und Rohlingsform berücksichtigt werden. Die Formgestaltung umfasst folgende Schlüsselaspekte: Erstens muss das Formmaterial eine hohe Festigkeit und Verschleißfestigkeit aufweisen und besteht üblicherweise aus hochhartem Stahl oder Hartmetall, um hohem Druck standzuhalten und Verschleiß zu reduzieren. Zweitens muss die Geometrie des Formhohlraums den Spezifikationen des gewünschten Wolframlegierungsbarrens entsprechen, z. B. rund, rechteckig oder kundenspezifisch, um die Maßhaltigkeit des Rohlings zu gewährleisten. Darüber hinaus muss die Form gute Entformungseigenschaften aufweisen. Durch Oberflächenpolitur oder -beschichtung (z. B. Gleitbeschichtung) kann die Pulverhaftung reduziert und die Entformungseffizienz verbessert werden.

Die Spezifikationsanpassung ist ein entscheidender Schritt bei der Formkonstruktion. Größe und Form der Form müssen je nach Anwendungsszenario, z. B. für Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmungen oder elektronische Kühlung, bestimmt werden. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt erfordern beispielsweise Barren mit großem Durchmesser und hoher Dichte, was eine Formkonstruktion erfordert, die eine hohe Dichte gewährleistet. Substrate für die elektronische Kühlung erfordern dünne Streifenbarren, die eine optimierte Hohlraumtiefe und Oberflächengüte erfordern. Während des Pressvorgangs ist die Druckkontrolle (typischerweise 100–300 MPa) entscheidend für die Spezifikationsanpassung. Die Druckverteilung muss basierend auf den Pulvereigenschaften und der Formkonstruktion optimiert werden, um Delamination oder Rissbildung der Barren zu vermeiden. Die Form benötigt außerdem präzise Positionierungs- und Führungssysteme, um eine gleichmäßige Pulverfüllung und eine konsistente Barrenform während des Pressvorgangs zu gewährleisten. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz von CAD/CAM-Software zur Konstruktion der Form, die Simulation von Pulverfluss und Druckverteilung sowie die Verbesserung der Konstruktionsgenauigkeit. Automatisierte Pressen mit integrierten Drucksensoren und Online-Überwachungssystemen verbessern die Presseffizienz und die Barrenqualität. Umweltschutz wird durch das Recycling von Pressabfällen und die Optimierung der Formlebensdauer zur Reduzierung von Ressourcenverschwendung erreicht. Das Formendesign und die Spezifikationsanpassung der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kaltumformung werden wissenschaftlich entwickelt und streng kontrolliert, was die hohe Präzision und Leistung der Wolframlegierungsstäbe gewährleistet und ihre zuverlässige Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, Medizin und Elektronik sicherstellt.

### 3.1.2.2 Druckparameter und Haltezeit beim Kaltpressen

Die Druckparameter und die Haltezeit beim Kaltpressen sind Schlüsselfaktoren für Dichte und Qualität von Barren aus Wolframlegierungen und bestimmen direkt die Anfangsdichte, Festigkeit und den anschließenden Sintereffekt des Barrens. Beim Kaltpressen wird eine hydraulische oder mechanische Presse verwendet, um ein gleichmäßig gemischtes Wolframpulver mit Pulvern wie Nickel, Eisen und Kupfer zu einem Barren zu pressen. Die Druckparameter und die Haltezeit müssen basierend auf den Pulvereigenschaften, der Formgestaltung und der Zielleistung optimiert werden. Die Druckparameter werden typischerweise in einem Bereich von 100–300 MPa geregelt, wobei der genaue Wert von der Pulverpartikelgröße, der Fließfähigkeit und den Anforderungen an die Zieldichte des Barrens abhängt. Kleinere Partikelgrößen und eine bessere Fließfähigkeit erfordern niedrigere Drücke, während Pulver mit hohem Wolframgehalt möglicherweise höhere Drücke benötigen, um die Dichte zu gewährleisten. Zu hoher Druck kann zu Formverschleiß oder Barrenrissen führen, während zu niedriger Druck dazu führen kann, dass sich der Barren löst, was die Sinterqualität beeinträchtigt.

Die Verweilzeit ist ein weiterer wichtiger Parameter beim Kaltpressen. Sie beschreibt die Zeit, die der Druck nach dem Aufbringen des Drucks gehalten wird. Sie beträgt typischerweise 5 bis 30 Sekunden. Eine angemessene Verweilzeit fördert die enge Bindung der Pulverpartikel, reduziert die innere Porosität und erhöht die Ausgangsdichte des Rohlings. Die Verweilzeit sollte je nach Pulvereigenschaften und Formdesign optimiert werden. Beispielsweise benötigen hochfließende Pulver kürzere Verweilzeiten, während Pulver mit feinen Partikeln oder hohem Bindemittelgehalt längere Verweilzeiten benötigen, um eine gleichmäßige Verdichtung zu gewährleisten. Der Prozess umfasst das Einfüllen des gemischten Pulvers in die Formkavität, das Aufbringen eines festgelegten Drucks mithilfe der Presse, das Halten des Drucks für eine bestimmte Zeit und das langsame Ablassen des Drucks, um Risse im Rohling durch schnelles Ablassen des Drucks zu vermeiden. Während des Pressvorgangs müssen Druckverteilung und Rohlingsform mithilfe hochpräziser Drucksensoren und Steuerungssysteme überwacht werden, um die Konsistenz zu gewährleisten. Optimierungsmaßnahmen umfassen den Einsatz automatisierter Pressen mit integrierter Echtzeit-Drucküberwachung und Feedbacksystemen zur Verbesserung der Presseffizienz sowie den Einsatz von Simulationssoftware (z. B. Finite-Elemente-Analyse) zur Optimierung von Druck und Verweilzeit, um die Kosten für Versuch und Irrtum zu senken. Umweltschutz wird durch das Recycling von Pressabfällen und die Optimierung des Energieverbrauchs zur Reduzierung der Ressourcenverschwendung erreicht.

### 3.1.2.3 Unterschiede zwischen isostatischen Pressvorgängen mit nassen und trockenen Beuteln

Isostatisches Pressen ist ein fortschrittliches Verfahren zur Herstellung hochpräziser, hochdichter Barren aus Wolframlegierungen. Durch gleichmäßigen Druck in einem flüssigen oder gasförmigen Medium wird der Pulverbarren in alle Richtungen einer gleichmäßigen Kraft ausgesetzt, wodurch ein Barren mit

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hoher Dichte und gleichmäßiger Mikrostruktur entsteht. Beim isostatischen Pressen unterscheidet man zwischen Nass- und Trockenverfahren, die sich in Betriebsweise, Anwendungsszenarien und Prozesseigenschaften deutlich unterscheiden. Sowohl Nass- als auch Trockenverfahren eignen sich zur Formung von Barren aus Wolframlegierungen, insbesondere zur Herstellung hochpräziser Komponenten in der Luft- und Raumfahrt sowie der Elektronik. Ihre Betriebsabläufe und Anwendbarkeit unterscheiden sich jedoch.

Bei der Nassbeutelmethode wird das gleichmäßig gemischte Wolframpulver mit Nickel, Eisen, Kupfer und anderen Pulvern in eine flexible Form (z. B. einen Gummi- oder Polyurethanbeutel) gegeben, versiegelt und in ein flüssiges Hochdruckmedium (z. B. Wasser oder Öl) gelegt. Die isostatische Presse übt gleichmäßigen Druck aus, um den Pulverrohling in alle Richtungen zu verdichten. Die Merkmale der Nassbeutelmethode sind die hohe Formflexibilität, die sich für komplexe Formen und die Produktion kleiner Chargen eignet. Sie ermöglicht die Herstellung von Rohlingen mit hoher Dichte und Gleichmäßigkeit und eignet sich für Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt oder medizinische Abschirmkomponenten. Der Vorgang umfasst das Einsacken des Pulvers, das Versiegeln, das Einfüllen in einen Hochdruckbehälter, das Aufbringen von Druck, das Entlasten des Drucks und das Entformen. Druck und Versiegelung müssen streng kontrolliert werden, um ein Austreten von Flüssigkeit zu vermeiden. Die Vorteile der Nassbeutelmethode sind die Formflexibilität und die hohe Dichte, aber der Vorgang ist kompliziert, die Form muss häufig ausgetauscht werden und die Produktionseffizienz ist gering.

Beim Dry-Bag-Verfahren wird Pulver in eine vorgefertigte starre Form (mit flexibler Innenauskleidung) gefüllt. Eine isostatische Presse übt in trockener Umgebung gleichmäßigen Druck aus und fixiert die Form. Dieses Verfahren eignet sich für die Massenproduktion und die Herstellung standardisierter Barren. Das Dry-Bag-Verfahren zeichnet sich durch langlebige Formen und einfache Handhabung aus und eignet sich daher für die Herstellung von Streifen oder regelmäßig geformten Barren aus Wolframlegierungen, die häufig in elektronischen Wärmeableitungssubstraten und industriellen Strukturkomponenten verwendet werden. Der Prozess umfasst das Pulverfüllen, die Formfixierung, die Druckausübung, die Druckentlastung und das Entformen. Die Elastizität und Druckbeständigkeit der Formauskleidung muss gewährleistet sein. Das Dry-Bag-Verfahren bietet Vorteile wie eine hohe Produktionseffizienz und eine lange Lebensdauer der Form, ist jedoch weniger gut an komplexe Formen anpassbar. Die Hauptunterschiede zwischen den beiden Verfahren liegen im Formtyp (flexibel vs. starr), der Produktionseffizienz (kleine vs. große Chargen) und der Formanpassungsfähigkeit (komplex vs. regelmäßig). Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter isostatischer Pressen mit integrierten Druckregelsystemen zur Verbesserung der Produktionseffizienz und die Optimierung des Formdesigns, um Flexibilität und Haltbarkeit in Einklang zu bringen. Der Umweltschutz wird durch Altpulverrecycling und Energieoptimierung erreicht.

#### 3.1.2.4 Druckregelung und Anforderungen an die Gründichte beim isostatischen Pressen

Die Kontrolle des isostatischen Pressdrucks und der Anforderungen an die Gründichte sind entscheidend für die Qualität von Barrenrohlingen aus Wolframlegierungen und wirken sich direkt auf deren

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mikrostruktur, Leistungsstabilität und anschließende Sinterergebnisse aus. Beim isostatischen Pressen wird ein gleichmäßiger Druck (typischerweise 100–400 MPa) in einem flüssigen oder gasförmigen Medium angewendet, wodurch die Pulverpartikel omnidirektionalen Kräften ausgesetzt werden und so ein hochdichter und gleichmäßiger Rohling entsteht. Die Druckregelung muss basierend auf den Pulvereigenschaften (wie Partikelgröße und Fließfähigkeit) und der Zielanwendung optimiert werden. Beispielsweise benötigen Pulver mit hohem Wolframgehalt einen höheren Druck, um die Dichte zu gewährleisten, während Pulver mit hohem Bindemittelgehalt möglicherweise einen niedrigeren Druck benötigen, um Überverdichtung und Rissbildung zu vermeiden. Die Druckregelung erfolgt durch eine hochpräzise isostatische Presse, die mit Drucksensoren und einem automatischen Steuerungssystem ausgestattet ist, um einen gleichmäßigen und stabilen Druck zu gewährleisten.

Die Gründichte ist ein wichtiger Leistungsindikator für das isostatische Pressen. Typischerweise werden 60–80 % der theoretischen Dichte benötigt, um beim anschließenden Sintern eine dichte Mikrostruktur zu gewährleisten. Eine hohe Gründichte reduziert Sinterschrumpfung, Porosität und Defekte und verbessert so Dichte, Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit des Endprodukts. Die Steuerung der Gründichte erfolgt in den folgenden Schritten: Zunächst wird die Zieldichte anhand der Pulvermischung und der Anwendungsanforderungen (z. B. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt oder Elektronik Kühlung) bestimmt. Anschließend werden Druck und Presszeit (typischerweise 30–60 Sekunden) angepasst und die optimalen Parameter experimentell überprüft. Nach dem Pressen wird die Gründichte mit einem Densitometer (z. B. nach dem Archimedes-Prinzip) gemessen, um die Einhaltung der geforderten Spezifikationen sicherzustellen. Während der Prüfung wird der Grünkörper auf Risse oder Delamination untersucht, und Druck-, Zeit- und Dichtedaten werden aufgezeichnet, um die Qualitätsrückverfolgbarkeit zu gewährleisten. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören die Verwendung eines Echtzeit-Drucküberwachungssystems zur dynamischen Anpassung der Druckverteilung und der Einsatz von Simulationssoftware (z. B. Finite-Elemente-Analyse) zur Optimierung der Druckparameter und zur Reduzierung der Versuchs- und Irrtumskosten. Umweltschutz wird durch das Recycling von Pressabfallpulver und die Optimierung des Energieverbrauchs der Anlagen zur Minimierung von Ressourcenverschwendung erreicht. Die Anforderungen an Druckregelung und Rohdichte des isostatischen Pressens sind wissenschaftlich konzipiert und werden strikt umgesetzt. Dies garantiert die hohe Dichte und Leistungsstabilität von Wolframlegierungsstäben und gewährleistet deren zuverlässige Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, Medizin und Elektronik.

### 3.1.3 Sinterprozess von Wolframlegierungsstäben

Der Sinterprozess ist das Herzstück der Wolframlegierungsstangenproduktion. Durch Hochtemperaturbehandlung werden die gepressten Rohlinge einer Partikelbindung und -verdichtung unterzogen, um ein Material mit hoher Dichte, hoher Festigkeit und gleichmäßiger Mikrostruktur zu bilden. Der Sinterprozess erfolgt üblicherweise mittels Vakuumsintern oder Wasserstoffsintern, die sich für unterschiedliche Leistungsanforderungen und Anwendungsszenarien eignen. Vakuumsintern reduziert die Oxidation und fördert die Verdichtung durch Erhitzen in einer Niederdruckumgebung, was sich für die Herstellung hochpräziser und hochwertiger Wolframlegierungsstangen eignet; Wasserstoffsintern nutzt die reduzierende Wirkung von Wasserstoff, um den Oxidgehalt zu verringern,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und eignet sich für Legierungen, die eine hohe Zähigkeit und Leitfähigkeit erfordern. Der Sinterprozess erfordert eine strenge Kontrolle von Parametern wie Vakuumgrad, Heizkurve, Haltezeit, Wasserstoffreinheit und Taupunkt, um die Stabilität und Konsistenz der Materialeigenschaften zu gewährleisten. Der Sinterprozess muss auch den Umweltschutz berücksichtigen und die Umweltbelastung durch Optimierung des Energieverbrauchs und der Abgasbehandlung reduzieren.

### 3.1.3.1 Vakuumgradkontrolle und Temperaturanstiegskurve beim Vakuumsintern

Beim Vakuumsintern werden Vakuumniveau und Heizkurve kontrolliert, die für die Sinterqualität von Wolframlegierungsstäben entscheidend sind. Dies wirkt sich direkt auf die Dichte, Mikrostruktur und Leistungsstabilität des Materials aus. Beim Vakuumsintern wird in einer Niederdruckumgebung erhitzt, um Sauerstoff und andere Gase zu reduzieren, Oxidation zu verhindern und die Bindung von Wolframpartikeln mit Bindeelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer zu fördern, wodurch letztendlich eine dichte Mikrostruktur entsteht. Die Vakuumkontrolle erfordert typischerweise ein hohes Vakuumniveau, um den Einfluss von Restgasen auf den Sinterprozess zu minimieren. Diese Hochvakuumumgebung verhindert effektiv Oxidbildung und gewährleistet hohe Materialreinheit und Leistungsstabilität.

Der Vakuumregelungsprozess umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird das Vakuum im Sinterofen mit einer Hochleistungsvakuumpumpe (z. B. einer Turbomolekularpumpe) auf einen festgelegten Bereich abgesenkt. Anschließend wird ein Vakuummeter zur Echtzeitüberwachung eingesetzt, um die Stabilität des Vakuums sicherzustellen. Der Sinterofen muss regelmäßig gewartet werden, um die Dichtheit und die Leistung der Vakuumpumpe sicherzustellen. Die Heizkurve ist ein weiterer wichtiger Parameter für das Vakuumsintern. Eine stufenweise Heizkurve muss entsprechend der Zusammensetzung und den Zieleigenschaften der Wolframlegierung erstellt werden, um die Partikelbindung und -verdichtung zu steuern. Die Heizkurve umfasst üblicherweise folgende Stufen: eine Niedertemperaturstufe zum Entfernen flüchtiger Verunreinigungen und Feuchtigkeit aus dem Block; eine Mitteltemperaturstufe zur Aktivierung der Partikeloberfläche; und eine Hochtemperaturstufe zum Flüssigphasensintern, bei dem die Bindemittel schmelzen und die Lücken zwischen den Wolframpartikeln füllen. Die Heizrate muss in einem angemessenen Rahmen gehalten werden, um Risse oder ungleichmäßiges Schrumpfen des Blocks durch übermäßige Erwärmung zu vermeiden. Auch die Abkühlphase muss langsam erfolgen, um die thermische Belastung zu reduzieren.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehört der Einsatz automatisierter Vakuumsinteröfen mit integrierten Vakuum- und Temperaturkontrollsystemen zur Echtzeit-Parameterüberwachung und -anpassung. Simulationssoftware, wie z. B. die thermodynamische Simulation, optimiert die Heizkurve, um die Kosten für Versuch und Irrtum zu senken. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Energieverbrauchs der Vakuumpumpe und der Abgasbehandlung zur Reduzierung des Energieverbrauchs erreicht. Wissenschaftlich konzipierte und umgesetzte Vakuumkontroll- und Heizkurven während des Vakuumsinterns gewährleisten eine hohe Dichte und hohe Leistung der Wolframlegierungsstäbe, wodurch sie sich besonders für die Herstellung von Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt und medizinischen Abschirmkomponenten eignen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3.1.3.2 Verdichtungsprozess und Haltezeiteinstellung beim Vakuumsintern

Der Verdichtungsprozess und die Haltezeit beim Vakuumsintern sind zentral für den Sinterprozess und bestimmen direkt die Dichte, Festigkeit und mikrostrukturelle Gleichmäßigkeit des resultierenden Wolframlegierungsstabs. Die Verdichtung durch Partikelumlagerung und Diffusion bei hohen Temperaturen und den Flüssigkeitsfluss des Bindemittels beseitigt allmählich Poren im Barren, wodurch ein hochdichtes Material entsteht. Der Verdichtungsprozess gliedert sich in drei Phasen: Primärphase (Partikelumlagerung und Kontaktpunktbildung), Zwischenphase (Porenkontraktion und Partikelbindung) und Endphase (Flüssigphasenfüllung und mikrostrukturelle Stabilisierung). Eine Vakuumumgebung reduziert Oxidation und Gasinterferenzen, fördert die Verdichtung und verbessert Materialdichte und Leistungsstabilität.

Die Haltezeit muss entsprechend der Zusammensetzung, der Knüppelgröße und der Zielleistung der Wolframlegierung optimiert werden und wird üblicherweise mehrere Stunden lang in der Hochtemperaturphase warmgehalten. Eine längere Haltezeit kann das Flüssigphasensintern fördern, die Bindung zwischen Wolframpartikeln und Bindemittel verbessern sowie Dichte und Zähigkeit steigern. Eine zu lange Haltezeit kann jedoch zu übermäßigem Kornwachstum und verringerter Festigkeit führen; eine zu kurze Haltezeit kann Restporen verursachen, die Dichte und Leistung beeinträchtigen. Die Wahl der Haltezeit muss experimentell überprüft werden, und die optimalen Parameter werden durch eine Kombination aus Dichtepfung und Mikrostrukturanalyse (z. B. SEM) ermittelt. Der Prozessablauf umfasst das Platzieren des gepressten Knüppels in einem Vakuumsinterofen, das schrittweise Erhitzen auf die Zieltemperatur gemäß der Heizkurve und das langsame Abkühlen nach der eingestellten Haltezeit, um Risse durch thermische Spannung zu vermeiden. Während des Tests müssen die Schrumpfrate und die Dichteänderung des Knüppels überwacht und die Sinterparameter aufgezeichnet werden, um die Qualitätsrückverfolgbarkeit zu gewährleisten.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz eines hochpräzisen Temperaturkontrollsystems zur Gewährleistung einer genauen Haltezeit und der Einsatz von Online-Dichteüberwachungsgeräten zur Echtzeitauswertung der Verdichtungsergebnisse. Umweltfreundliche Leistung wird durch die Optimierung von Haltezeit und Energieverbrauch zur Reduzierung von Energieverschwendung erreicht. Wissenschaftlich kontrollierte Verdichtungs- und Haltezeiteinstellungen während des Vakuumsinterns gewährleisten eine hohe Dichte und Festigkeit der Wolframlegierungsstäbe und gewährleisten so eine stabile Leistung in Strukturkomponenten der Luft- und Raumfahrt sowie in elektronischen Wärmeableitungssubstraten.

### 3.1.3.3 Wasserstoffreinheit und Taupunktkontrolle beim Wasserstoffsintern

Die Reinheit des Wasserstoffs und die Kontrolle des Taupunkts beim Wasserstoffsintern sind entscheidende Faktoren für die Qualität des Sinterns von Wolframlegierungsstäben und wirken sich direkt auf den Oxidgehalt, die Mikrostruktur und die Leistungsstabilität des Materials aus. Beim Wasserstoffsintern wird die reduzierende Wirkung von Wasserstoff genutzt, um Oxide vom Barren zu entfernen und so die Partikelbindung und -verdichtung zu fördern. Es eignet sich für

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsstäbe, die eine hohe Zähigkeit und elektrische Leitfähigkeit erfordern (wie z. B. Wolfram-Kupfer-Legierungen). Eine hohe Wasserstoffreinheit ist erforderlich, um Störungen durch Verunreinigungen (wie Sauerstoff und Stickstoff) während des Sinterprozesses zu vermeiden. Hochreiner Wasserstoff reduziert effektiv Oberflächenoxide und verbessert so die Materialreinheit und -leistung.

Der Prozess zur Kontrolle der Wasserstoffreinheit umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird eine hochreine Wasserstoffquelle verwendet. Verunreinigungen werden anschließend durch einen Gasreiniger (z. B. ein Molekularsieb oder einen Palladiummembranreiniger) entfernt, um die Reinheit des Wasserstoffs sicherzustellen. Die Taupunktkontrolle ist ein weiterer wichtiger Parameter beim Wasserstoffsintern. Der Taupunkt muss niedrig gehalten werden, um den Wasserdampfgehalt zu reduzieren und Oxidation oder Wasserstoffversprödung zu vermeiden. Die Taupunktkontrolle wird durch Echtzeitüberwachung des Taupunktmessgeräts und den Einsatz eines Trocknungssystems (z. B. eines Kondensators oder Adsorbens) zur Aufrechterhaltung einer Umgebung mit niedrigem Taupunkt erreicht. Der Sinterofen muss mit einem Gaszirkulations- und -reinigungssystem ausgestattet sein, um die Stabilität und Gleichmäßigkeit des Wasserstoffflusses zu gewährleisten. Der Prozess umfasst das Platzieren des Blocks in einem Wasserstoffsinterofen, das Einleiten von hochreinem Wasserstoff, das Erhitzen gemäß einer Heizkurve, die Überwachung der Wasserstoffreinheit und des Taupunkts sowie die Gewährleistung einer stabilen Sinterumgebung.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehört der Einsatz eines automatisierten Gaskontrollsystems zur Echtzeitüberwachung und -anpassung der Wasserstoffreinheit und des Taupunkts. Regelmäßige Wartungen des Sinterofens und des Reinigungssystems gewährleisten die Leistungsfähigkeit der Anlage. Umweltschutz wird durch Wasserstoffrückgewinnung und optimierte Abgasbehandlung zur Emissionsreduzierung erreicht. Die strenge Kontrolle der Wasserstoffreinheit und des Taupunkts während des Wasserstoffsinterns gewährleistet einen niedrigen Oxidgehalt und eine hohe Leistung der Wolframlegierungsstäbe. Dadurch eignen sie sich besonders für die Herstellung von elektronischen Elektroden und Wärmeableitungssubstraten.

#### **3.1.3.4 Reduktions- und Oxidationskontrollmaßnahmen beim Wasserstoffsintern**

Der Reduktionseffekt und die Oxidationskontrollmaßnahmen beim Wasserstoffsintern sind entscheidend für die Sinterqualität von Wolframlegierungsstäben und wirken sich direkt auf die Reinheit, Mikrostruktur und Leistungsstabilität des Materials aus. Beim Wasserstoffsintern werden Oxide von den Oberflächen von Wolframpulver und anderen Metallelementen (wie Nickel, Eisen und Kupfer) durch die reduzierende Wirkung von Wasserstoff entfernt, was die Partikelbindung und -verdichtung fördert und die Zähigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit des Materials verbessert. Der Reduktionseffekt ist bei hohen Temperaturen am stärksten ausgeprägt, da Wasserstoff mit Oxiden reagiert und Wasserdampf erzeugt, wodurch der Sauerstoffgehalt des Materials reduziert und die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur verbessert wird.

Maßnahmen zur Oxidationsvermeidung und -kontrolle umfassen die folgenden Schritte: Erstens die Verwendung von hochreinem Wasserstoff und einer Umgebung mit niedrigem Taupunkt, um die

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Möglichkeit der Oxidbildung zu verringern ; zweitens muss der Sinterofen gut abgedichtet sein, um das Eindringen von Luft und Oxidation zu verhindern. Der Prozess umfasst das Platzieren des Blocks in einem Wasserstoff-Sinterofen, das Einleiten von hochreinem Wasserstoff, das Erhitzen gemäß einer Heizkurve und die Überwachung der Atmosphäre und Temperatur im Ofen, um eine ausreichende Reduktionsreaktion sicherzustellen. Nach dem Sintern ist eine langsame Abkühlung erforderlich, um Spannungskonzentrationen oder Oxidation durch schnelles Abkühlen zu vermeiden. Während des Prüfvorgangs ist ein Sauerstoffgehaltmessgerät erforderlich, um den Restsauerstoff im Material zu ermitteln und den Reduktionseffekt sicherzustellen. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz eines Online-Atmosphärenüberwachungssystems zur Echtzeitanpassung von Wasserstoffdurchflussrate und Taupunkt sowie die Verwendung einer Antioxidationsbeschichtung zum Schutz der Blockoberfläche und zur Verbesserung der Oxidationsvermeidung und -kontrolle. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Wasserstoffverbrauchs und der Abgasbehandlung zur Reduzierung von Emissionen und Energieverbrauch erreicht. Der Reduktionseffekt und die Maßnahmen zur Oxidationsverhinderung und -kontrolle beim Wasserstoffsintern gewährleisten durch wissenschaftliche Kontrolle die hohe Reinheit und Leistungsfähigkeit von Wolframlegierungsstäben und gewährleisten so ihre zuverlässige Anwendung in den Bereichen Elektronik und Präzisionsfertigung.

### 3.1.4 Weiterverarbeitung von Wolframlegierungsstäben

Die Weiterverarbeitung ist ein entscheidender Schritt im Herstellungsprozess von Wolframlegierungsstäben. Durch Verfahren wie Schneiden, Schleifen, Wärmebehandlung und Oberflächenbehandlung werden Oberflächenqualität, Maßgenauigkeit und mechanische Eigenschaften des Materials optimiert, um sicherzustellen, dass es den hohen Präzisionsanforderungen der Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und Präzisionsfertigung entspricht. Aufgrund ihrer hohen Härte und Festigkeit sind Stäbe aus Wolframlegierungen schwierig zu verarbeiten. Die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen und Kupfer verbessert jedoch ihre Verarbeitungseigenschaften und ermöglicht die präzise Fertigung komplexer Formen. Die Weiterverarbeitung erfordert leistungsstarke Geräte (wie CNC-Werkzeugmaschinen, Schleifmaschinen und Wärmebehandlungsöfen) und eine strenge Prozesskontrolle, um Präzision und Leistungsstabilität zu gewährleisten. Auch Umweltaspekte sind während des Verarbeitungsprozesses von entscheidender Bedeutung. Optimierte Prozessparameter und Abfallrecycling minimieren Ressourcenverschwendung und Umweltbelastung. Im Folgenden werden die Werkzeugauswahl, die Schneidparameter und die Präzisionskontrolle für das Schneiden, der Schleifscheibentyp und die Anforderungen an die Oberflächenrauheit für das Schleifen sowie die Wärmebehandlung zur Optimierung der mechanischen Eigenschaften detailliert beschrieben.

#### 3.1.4.1 Werkzeugauswahl zum Schneiden

Die Auswahl der Schneidwerkzeuge ist entscheidend für die Weiterverarbeitung von Wolframlegierungsstäben und wirkt sich direkt auf die Bearbeitungseffizienz, Oberflächenqualität und Maßgenauigkeit aus. Die hohe Härte und Festigkeit von Wolframlegierungsstäben erfordert Schneidwerkzeuge mit hoher Verschleißfestigkeit, hoher Festigkeit und guter Schneidleistung. Gängige Werkzeugmaterialien sind Hartmetall (z. B. Wolframstahl), polykristalliner Diamant (PKD) und

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kubisches Bornitrid (CBN). Hartmetallwerkzeuge werden aufgrund ihrer hohen Wirtschaftlichkeit und Vielseitigkeit häufig zum Schrappen und Vorschlichten von Wolframlegierungsstäben eingesetzt. PKD-Werkzeuge eignen sich aufgrund ihrer extrem hohen Härte und Verschleißfestigkeit für die hochpräzise Endbearbeitung, insbesondere bei der Bearbeitung von elektronischen Wärmeableitungssubstraten und medizinischen Abschirmkomponenten. CBN-Werkzeuge eignen sich für die Bearbeitung von Wolframlegierungsstäben mit hoher Härte und gewährleisten die Stabilität beim Hochgeschwindigkeitsschneiden.

Die Werkzeugauswahl muss basierend auf der Zusammensetzung und Anwendung des Wolframlegierungsstabs optimiert werden. Beispielsweise eignet sich Wolfram-Nickel-Eisen-Legierung aufgrund ihrer hohen Zähigkeit gut zum Drehen oder Fräsen mit Hartmetallwerkzeugen. Wolfram-Kupfer-Legierung erfordert aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit PKD-Werkzeuge, um die Auswirkungen der Schnittwärme auf das Material zu minimieren. Die Werkzeuggeometrie (wie Spanwinkel, Freiwinkel und Schneidenradius) muss entsprechend den Bearbeitungsanforderungen ausgelegt werden. Beispielsweise reduziert ein größerer Spanwinkel die Schnittkräfte und eignet sich für hochharte Wolframlegierungsstäbe, während ein kleinerer Schneidenradius die Oberflächengüte verbessert. Bei der Werkzeugauswahl muss auch die Leistung der Bearbeitungsmaschine berücksichtigt werden, wie z. B. die Steifigkeit der CNC-Werkzeugmaschine und die Spindeldrehzahl. Optimierungsmaßnahmen umfassen den Einsatz beschichteter Werkzeuge (z. B. TiAlN- oder AlCrN-Beschichtungen) zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit und Lebensdauer sowie regelmäßige Überprüfungen des Werkzeugverschleißes, um die Schnittstabilität zu gewährleisten. Umweltschutz wird durch das Recycling von Schnittabfällen und die Optimierung der Werkzeuglebensdauer zur Reduzierung der Ressourcenverschwendung erreicht. Eine wissenschaftlich konzipierte und konsequent umgesetzte Werkzeugauswahl für Schneidvorgänge gewährleistet eine hochpräzise Bearbeitung von Wolframlegierungsstäben und sorgt so für eine stabile Leistung bei Gegengewichten und elektronischen Steckverbindern in der Luft- und Raumfahrt.

#### 3.1.4.2 Schnittparameter und Kontrolle der Bearbeitungsgenauigkeit

Die Schnittparameter und die Kontrolle der Bearbeitungsgenauigkeit sind beim Schneiden von Wolframlegierungsstäben von zentraler Bedeutung und wirken sich direkt auf die Oberflächenqualität, Maßgenauigkeit und Bearbeitungseffizienz aus. Schnittparameter wie Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Schnitttiefe müssen je nach Zusammensetzung, Härte und Zielpräzision des Wolframlegierungsstabs optimiert werden. Die Schnittgeschwindigkeit wird normalerweise innerhalb eines vernünftigen Bereichs gesteuert: Niedrigere Geschwindigkeiten eignen sich für Wolframlegierungsstäbe mit hoher Härte, um den Werkzeugverschleiß zu verringern, während höhere Geschwindigkeiten für Wolfram-Kupfer-Legierungen geeignet sind, um die Effizienz zu verbessern. Die Vorschubgeschwindigkeit wird innerhalb eines vernünftigen Bereichs gesteuert. Kleinere Vorschübe können die Oberflächengüte verbessern und eignen sich für hochpräzise Komponenten. Die Schnitttiefe wird innerhalb eines vernünftigen Bereichs gesteuert und muss je nach Art der Bearbeitung (Schrappen oder Schlichten) angepasst werden, um eine zu große Tiefe zu vermeiden, die Vibrationen oder Werkzeugschäden verursachen kann.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Präzisionskontrolle bei der Bearbeitung erfordert den Einsatz hochpräziser CNC-Werkzeugmaschinen (wie CNC-Dreh- oder Fräsmaschinen), die mit hochpräzisen Vorrichtungen und Messsystemen (wie Laser-Entfernungsmessern) ausgestattet sind, um Maßtoleranzen und Oberflächengüte sicherzustellen. Der Prozess umfasst die folgenden Schritte: Festlegen von Schnittpfaden und -parametern anhand von Konstruktionszeichnungen, Einsatz von CAD/CAM-Software zur Schnittsimulation zur Optimierung der Bearbeitungseffizienz, Einsatz eines Online-Überwachungssystems zur Echtzeitüberwachung von Schnittkräften und Vibrationen während der Bearbeitung, Anpassen der Parameter zur Vermeidung von Defekten und Überprüfen der Maßgenauigkeit sowie der Form- und Lagetoleranzen nach der Bearbeitung mit einem Koordinatenmessgerät (KMG). Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz eines adaptiven Steuerungssystems zur dynamischen Anpassung der Schnittparameter an Schwankungen der Materialhärte sowie der Einsatz von Kühlmitteln (z. B. wasserbasierten Emulsionen) zur Senkung der Schnitttemperaturen, Verbesserung der Werkzeugstandzeit und Verbesserung der Oberflächengüte. Umweltschutz wird durch Spänerecycling und optimierten Kühlmiteleinsatz zur Minimierung der Umweltbelastung erreicht. Wissenschaftlich optimierte und streng durchgesetzte Schnittparameter und eine präzise Bearbeitungskontrolle gewährleisten die hohe Präzision und Qualität der Wolframlegierungsstäbe und erfüllen die strengen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt sowie der Medizinbranche.

#### 3.1.4.3 Schleifscheibentyp und Anforderungen an die Oberflächenrauheit

Die Art der Schleifscheibe und die Anforderungen an die Oberflächenrauheit beim Schleifen sind wichtige Faktoren bei der Weiterverarbeitung von Wolframlegierungsstäben, die sich direkt auf die Oberflächenqualität und die Funktionsfähigkeit auswirken. Beim Schleifen wird Material durch die Relativbewegung von Schleifscheibe und Werkstück abgetragen, wodurch die Oberflächengüte und Maßgenauigkeit des Wolframlegierungsstabs optimiert wird. Es eignet sich für die Bearbeitung von elektronischen Wärmeableitungssubstraten, medizinischen Abschirmkomponenten und Präzisionsformen. Die Art der Schleifscheibe muss entsprechend der Härte und Zusammensetzung des Wolframlegierungsstabs ausgewählt werden. Zu den häufig verwendeten Schleifscheiben gehören Diamantschleifscheiben, CBN-Schleifscheiben und Aluminiumoxid-Schleifscheiben. Diamantschleifscheiben eignen sich aufgrund ihrer extrem hohen Härte zum Feinschleifen von hochharten Wolframlegierungsstäben und ermöglichen eine hohe Oberflächengüte. CBN-Schleifscheiben eignen sich zum Hochgeschwindigkeitsschleifen und zur Bearbeitung von Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen. Aluminiumoxid-Schleifscheiben werden für kostensensitive Grobschleifenszenarien eingesetzt.

Die Anforderungen an die Oberflächenrauheit liegen typischerweise zwischen Ra 0,2 und 0,4  $\mu\text{m}$ , um den hohen Präzisionsanforderungen von Gegengewichten und elektronischen Steckverbindern in der Luft- und Raumfahrt gerecht zu werden. Der Schleifprozess umfasst die folgenden Schritte: Auswahl der Schleifscheibenkörnung und des Bindungstyps (z. B. Harz- oder Keramikbindung) basierend auf den Anforderungen des Werkstücks; Verwendung einer hochpräzisen Schleifmaschine (z. B. einer Flach- oder Rundschleifmaschine) zur Steuerung der Schleifgeschwindigkeit und des Vorschubs; und

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verwendung von Kühlmittel zur Reduzierung der Schleiftemperatur während der Bearbeitung, um thermische Schäden zu vermeiden. Die Oberflächenrauheit wird mit einem Oberflächenprofilometer gemessen, um die Einhaltung der Anforderungen sicherzustellen. Optimierungsmaßnahmen umfassen den Einsatz automatisierter Schleifmaschinen mit integrierten Online-Inspektionssystemen zur Echtzeitüberwachung der Oberflächenqualität und das regelmäßige Abrichten der Schleifscheibe zur Aufrechterhaltung der Schneidleistung. Umweltschutz wird durch das Recycling von Schleifabfällen und die Optimierung des Kühlmittelverbrauchs zur Reduzierung der Umweltbelastung erreicht. Wissenschaftlich ausgewählte und streng kontrollierte Schleifscheibentypen und Oberflächenrauheitsanforderungen gewährleisten die hohe Oberflächenqualität und Funktionsleistung von Wolframlegierungsstäben.

#### 3.1.4.4 Optimierung mechanischer Eigenschaften durch Wärmebehandlung

Die Optimierung der mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben durch Wärmebehandlung ist ein wichtiger Schritt in der Weiterverarbeitung. Durch die Steuerung von Temperatur und Abkühlgeschwindigkeit wird die Mikrostruktur verbessert und Zugfestigkeit, Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit erhöht. Aufgrund ihrer hohen Härte und Festigkeit neigen Wolframlegierungsstäbe bei hohen Temperaturen zu inneren Spannungen. Eine Wärmebehandlung kann Spannungen abbauen, die Kornstruktur optimieren und die Leistungsstabilität verbessern. Gängige Wärmebehandlungsverfahren sind Glühen, Lösungsglühen und Alterungsbehandlung, die je nach Zusammensetzung und Anwendungsszenarien der Wolframlegierung optimiert werden müssen. Beispielsweise verbessert eine Wolfram-Nickel-Eisen-Legierung durch Glühen die Zähigkeit und eignet sich für Strukturteile in der Luft- und Raumfahrt; eine Wolfram-Kupfer-Legierung optimiert durch Lösungsglühen die Wärmeleitfähigkeit und Festigkeit und eignet sich für elektronische Wärmeableitungssubstrate.

Der Wärmebehandlungsprozess umfasst die folgenden Schritte: Wolframlegierungsstäbe werden in einen Wärmebehandlungsofen gelegt und unter Schutzgas (z. B. Argon) oder Vakuum auf eine festgelegte Temperatur erhitzt. Die Temperatur wird dann 1–2 Stunden lang gehalten, um die Kornumlagerung und den Spannungsabbau zu fördern. Die Mikrostruktur wird anschließend durch kontrollierte Abkühlungsraten (z. B. Ofenkühlung oder Wasserkühlung) optimiert. Glühen beseitigt innere Spannungen und verbessert die Zähigkeit durch langsames Abkühlen, während Lösungsglühen durch schnelles Abkühlen die Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit erhöht. Nach der Wärmebehandlung werden die Leistungsverbesserungen durch Härteprüfungen, Zugversuche und Mikrostrukturanalysen (z. B. Rasterelektronenmikroskopie) überprüft. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz hochpräziser Wärmebehandlungsofen mit integrierten Temperaturregelsystemen für präzises Heizen und Abkühlen sowie der Einsatz von Simulationssoftware zur Optimierung der Wärmebehandlungsparameter und zur Reduzierung der Trial-and-Error-Kosten. Umweltschutz wird durch optimierten Energieverbrauch und Abgasbehandlung zur Minimierung der Umweltbelastung erreicht. Die Optimierung der mechanischen Eigenschaften während der Wärmebehandlung durch wissenschaftliches Design und rigorose Ausführung gewährleistet die Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsstäben bei Anwendungen mit hoher Beanspruchung und gewährleistet ihre stabile

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistung in der Luft- und Raumfahrt sowie in Elektronikanwendungen.

### 3.2 Kritische Kontrollpunkte des Wolframlegierungsstangenprozesses

Der Produktionsprozess von Wolframlegierungsstäben umfasst mehrere Schritte, von denen jeder kritische Kontrollpunkte aufweist, die sich direkt auf die Mikrostruktur, die Leistungsstabilität und die Endqualität des Materials auswirken. Zu den wichtigsten Prozesskontrollpunkten gehören die Genauigkeit der Rohstoffverhältnisse, die Gleichmäßigkeit der Pulvermischung, der Druck und die Dichte beim Pressen, die Temperatur- und Atmosphärenkontrolle des Sinterprozesses sowie die Genauigkeit und Oberflächenqualität der nachfolgenden Verarbeitung. Diese Kontrollpunkte erfordern hochpräzise Geräte und ein striktes Prozessparametermanagement, um die hohe Dichte, hohe Festigkeit und funktionale Anpassungsfähigkeit der Wolframlegierungsstäbe zu gewährleisten. Die Optimierung der wichtigsten Kontrollpunkte erfordert eine umfassende Berücksichtigung der Materialzusammensetzung, der Anwendungsanforderungen und der Produktionskosten. Gleichzeitig müssen Umweltschutz, die Reduzierung der Umweltbelastung durch Abfallrecycling und die Optimierung des Energieverbrauchs im Mittelpunkt stehen. Als zentrales Glied ist der Sinterprozess hinsichtlich der Temperatur- und Atmosphärenkontrolle besonders wichtig, da diese direkt die Verdichtung, die Mikrostruktur und die Leistungsstabilität des Materials bestimmt.

#### 3.2.1 Sintertemperatur und Atmosphärenkontrolle

Sintertemperatur und Atmosphärenkontrolle sind wichtige Kontrollpunkte im Herstellungsprozess von Wolframlegierungsbarren und wirken sich direkt auf Dichte, Mikrostruktur und mechanische Eigenschaften des Materials aus. Beim Sinterprozess werden die Wolframpartikel im gepressten Block durch Hochtemperaturbehandlung mit Bindeelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer verbunden, wodurch ein hochdichter Verbundwerkstoff entsteht. Die Sintertemperatur muss innerhalb eines angemessenen Bereichs präzise kontrolliert werden, um das Flüssigphasensintern und die Partikelbindung zu fördern und gleichzeitig übermäßiges Kornwachstum oder eine Verschlechterung der Materialeistung durch zu hohe Temperaturen zu vermeiden. Die Atmosphärenkontrolle mithilfe einer Vakuum- oder Wasserstoffumgebung reduziert die Auswirkungen von Oxidation und Verunreinigungen und gewährleistet so eine hohe Materialreinheit und stabile Leistung. Sintertemperatur und Atmosphärenkontrolle müssen basierend auf Zusammensetzung und Anwendung der Wolframlegierung optimiert werden. Beispielsweise erfordern Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen höhere Temperaturen, um eine hohe Festigkeit zu gewährleisten, während Wolfram-Kupfer-Legierungen moderate Temperaturen benötigen, um die Wärmeleitfähigkeit aufrechtzuerhalten. Der Prozess erfordert den Einsatz hochpräziser Sinteröfen (wie Vakuum- oder Wasserstoffsinteröfen), die mit Temperatur- und Atmosphärenüberwachungssystemen ausgestattet sind, um die Parameterstabilität zu gewährleisten.

##### 3.2.1.1 Grundlagen zur Bestimmung des Sintertemperaturbereichs

Die Festlegung des Sintertemperaturbereichs ist ein kritischer Kontrollpunkt beim Sinterprozess von Wolframlegierungsstäben, da er die Dichte, Festigkeit, Zähigkeit und Funktionseigenschaften des

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materials direkt beeinflusst. Die Sintertemperatur wird anhand der Zusammensetzung der Wolframlegierung, der Schmelzpunkte der Bindeelemente und der Zielleistung bestimmt und liegt typischerweise im Bereich von 1200–1500 °C. Die Auswahl dieses Temperaturbereichs basiert auf den folgenden Überlegungen: Erstens ist der Schmelzpunkt von Wolfram viel höher als die Sintertemperatur, und das Sintern beruht in erster Linie auf der Bildung einer flüssigen Phase von Bindeelementen (wie Nickel, Eisen und Kupfer), um die Bindung der Wolframpartikel zu fördern und Poren zu füllen. Beispielsweise muss die Sintertemperatur von Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen nahe am Schmelzpunkt von Nickel liegen, um eine flüssige Phase zu bilden und die Verdichtung zu verbessern; Wolfram-Kupfer-Legierungen erfordern niedrigere Temperaturen, um eine übermäßige Kupferverflüchtigung zu vermeiden. Zweitens muss der Temperaturbereich die mikrostrukturellen Anforderungen berücksichtigen. Höhere Temperaturen verbessern die Dichte, können aber zu Kornwachstum und verringerter Zähigkeit führen; niedrigere Temperaturen können zu Restporosität führen und die Festigkeit beeinträchtigen. Der Prozess zur Bestimmung des Temperaturbereichs umfasst die folgenden Schritte: Basierend auf der Zusammensetzung der Wolframlegierung und den Anwendungsanforderungen (z. B. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt oder elektronische Kühlkörper) wird der Sintertemperaturbereich vorab anhand von Phasendiagrammen und thermodynamischen Daten bestimmt. Der optimale Temperaturbereich wird durch Kleinserienversuche ermittelt, bei denen Dichte, Festigkeit und Mikrostruktur bei unterschiedlichen Temperaturen getestet werden (z. B. mittels SEM-Analyse). Temperaturanpassungen erfolgen gemäß Industriestandards (wie ASTM B777 oder GB/T 3459), um sicherzustellen, dass die Leistung den Anforderungen entspricht. Während des gesamten Prozesses ist ein hochpräzises Temperaturregelsystem erforderlich, das die Temperaturverteilung im Ofen in Echtzeit überwacht, um lokale Über- oder Unterhitzung zu vermeiden. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz thermodynamischer Simulationssoftware zur Vorhersage der Temperatureinflüsse auf die Mikrostruktur und die Anwendung einer mehrstufigen Temperaturkurve zur schrittweisen Erhöhung der Temperatur zur Optimierung des Verdichtungsprozesses. Umweltschutz wird durch die Optimierung der Temperaturregelung und des Energieverbrauchs zur Reduzierung von Energieverschwendung erreicht. Der auf wissenschaftlichem Design und experimenteller Überprüfung basierende Sintertemperaturbereich gewährleistet die hohe Dichte und Leistung von Wolframlegierungsstäben und gewährleistet so ihre Zuverlässigkeit in Strukturkomponenten für die Luft- und Raumfahrt sowie in elektronischen Kühlkörpersubstraten.

### 3.2.1.2 Einfluss der Heizrate auf das Kornwachstum

Die Heizrate ist ein weiterer wichtiger Kontrollpunkt im Sinterprozess und beeinflusst direkt das Kornwachstum, die Mikrostruktur und die mechanischen Eigenschaften des Wolframlegierungsstabs. Die Heizrate bezeichnet die Geschwindigkeit, mit der die Temperatur während des Sinterprozesses ansteigt. Sie muss basierend auf der Zusammensetzung der Wolframlegierung, der Blockgröße und der gewünschten Leistung optimiert werden. Eine geeignete Heizrate kann die Partikelbindung und -verdichtung fördern, das Kornwachstum kontrollieren und Leistungseinbußen vermeiden. Zu hohe Heizraten können zu thermischer Spannungskonzentration führen, die zu Rissen im Block oder ungleichmäßiger Schrumpfung führt. Zu niedrige Heizraten können den Sinterzyklus verlängern, den Energieverbrauch erhöhen und möglicherweise zur Verflüchtigung von Bindeelementen führen, was die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mikrostruktur beeinträchtigt.

Der Einfluss der Heizrate auf das Kornwachstum zeigt sich vor allem in folgenden Aspekten: Schnelles Erhitzen kann die Bildung einer flüssigen Phase von Bindeelementen beschleunigen und so die Bindung der Wolframpartikel fördern, eine kurze Dauer bei hoher Temperatur kann jedoch die Verdichtung begrenzen; langsames Erhitzen verlängert die Verweilzeit bei hoher Temperatur, was möglicherweise zu übermäßigem Kornwachstum und verringerter Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit führt. Beispielsweise benötigen Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen eine langsamere Heizrate, um die Korngröße zu kontrollieren und eine hohe Zähigkeit zu gewährleisten; Wolfram-Kupfer-Legierungen können eine etwas schnellere Heizrate annehmen, um die Wärmeleitfähigkeit zu verbessern und gleichzeitig die Kupferverflüchtigung zu vermeiden. Der Prozessablauf umfasst die folgenden Schritte: Entwicklung eines stufenweisen Heizprofils basierend auf der Legierungszusammensetzung und den Zieleigenschaften; Verwendung eines hochpräzisen Sinterofens zur Überwachung der Heizrate, um eine gleichmäßige Temperatur zu gewährleisten; und Analyse der Korngröße und -eigenschaften nach dem Sintern mittels SEM und Härteprüfung, um die Rationalität der Heizrate zu überprüfen. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehört der Einsatz eines automatisierten Temperaturkontrollsystems, um die Heizrate in Echtzeit an Änderungen der Knüpfeigenschaften anzupassen; und der Einsatz thermodynamischer Simulationssoftware zur Vorhersage des Einflusses der Heizrate auf das Kornwachstum, wodurch die Kosten für Versuch und Irrtum reduziert werden. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Heizzyklus und des Energieverbrauchs zur Reduzierung von Energieverschwendung erreicht. Der Einfluss der Heizrate auf das Kornwachstum wird wissenschaftlich kontrolliert und experimentell verifiziert. Dies garantiert die Optimierung der Mikrostruktur und Leistungsstabilität von Wolframlegierungsstäben und gewährleistet ihre hohe Zuverlässigkeit in Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten und elektronischen Wärmeableitungssubstraten.

### 3.2.1 Sintertemperatur und Atmosphärenkontrolle

Sintertemperatur und Atmosphärenkontrolle sind zentrale Kontrollpunkte im Herstellungsprozess von Wolframlegierungsbarren und beeinflussen direkt die Dichte, Mikrostruktur und mechanischen Eigenschaften des Materials. Beim Sinterprozess werden die Wolframpartikel im gepressten Block durch Hochtemperaturbehandlung mit Bindeelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer zu einem hochdichten Verbundwerkstoff verbunden. Die Sintertemperatur muss präzise in einem angemessenen Bereich kontrolliert werden, um das Flüssigphasensintern und die Partikelbindung zu fördern und gleichzeitig übermäßiges Kornwachstum oder eine Verschlechterung der Materialeistung durch zu hohe Temperaturen zu vermeiden. Die Atmosphärenkontrolle erfolgt in einer Vakuum- oder Wasserstoffumgebung, um Oxidation und Verunreinigungen zu reduzieren und so die hohe Reinheit und Leistungsstabilität des Materials zu gewährleisten. Sintertemperatur und Atmosphärenkontrolle müssen entsprechend der Zusammensetzung und den Anwendungsszenarien der Wolframlegierung optimiert werden. Beispielsweise benötigen Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen höhere Temperaturen, um eine hohe Festigkeit zu gewährleisten, während Wolfram-Kupfer-Legierungen moderate Temperaturen benötigen, um die Wärmeleitfähigkeit aufrechtzuerhalten. Der Prozess erfordert die Verwendung eines

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hochpräzisen Sinterofens, der mit einem Temperatur- und Atmosphärenüberwachungssystem ausgestattet ist, um die Parameterstabilität zu gewährleisten.

### 3.2.1.3 Leckageerkennung und Gewährleistung der Atmosphärenstabilität beim Vakuumsintern

Die Lecksuche und die Gewährleistung der Atmosphärenstabilität beim Vakuumsintern sind kritische Kontrollpunkte für die Sinterqualität von Wolframlegierungsstäben und wirken sich direkt auf die Reinheit, Dichte und Leistungsstabilität des Materials aus. Beim Vakuumsintern wird in einer Niederdruckumgebung erhitzt, um Störungen durch Sauerstoff und andere Gase zu reduzieren, Oxidation zu verhindern und die Bindung von Wolframpartikeln mit Bindemitteln zu fördern, was zu einer hochdichten Mikrostruktur führt. Durch Lecks können Sauerstoff oder andere Verunreinigungen in den Sinterofen gelangen, was Oxidationsreaktionen auslöst und Oxiddefekte verursacht, die die Festigkeit, Zähigkeit und Leitfähigkeit des Materials verringern können. Daher sind die Lecksuche und die Gewährleistung der Atmosphärenstabilität zentrale Aspekte des Vakuumsinterns.

Der Lecksuchprozess umfasst die folgenden Schritte: Vor Beginn des Sinterns wird zunächst das Vakuumniveau im Sinterofen mit einem hochpräzisen Vakuummeter überprüft, um sicherzustellen, dass das Zielvakuumniveau erreicht wird. Während des Inspektionsprozesses wird die Integrität des Ofens, der Dichtungen und der Rohrleitungen geprüft. Ein Helium-Massenspektrometer-Lecksucher wird eingesetzt, um nach potenziellen Lecks zu suchen und kleine Lecks zu lokalisieren. Während des Sinterprozesses werden Änderungen des Vakuumniveaus in Echtzeit überwacht, und der Betrieb der Vakuumpumpe wird über ein automatisiertes Steuerungssystem angepasst, um eine stabile Atmosphäre aufrechtzuerhalten. Um die Stabilität der Atmosphäre zu gewährleisten, ist außerdem eine regelmäßige Kalibrierung des Vakuumsystems erforderlich, um die Pumpeneffizienz und die Dichtungsleistung sicherzustellen. Der Prozess umfasst das Einlegen des gepressten Blocks in den Vakuumsinterofen, das Evakuieren des Vakuums und das Aufheizen gemäß einer Heizkurve. Das Vakuumniveau und die Ofenatmosphäre werden kontinuierlich überwacht, um zu verhindern, dass Lecks Oxidation verursachen. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz eines automatisierten Vakuumüberwachungssystems, das Echtzeitalarme bei abnormalen Bedingungen ausgibt, und die regelmäßige Wartung der Ofendichtungen, um die Lebensdauer der Geräte zu verlängern. Der Umweltschutz wird durch die Optimierung des Energieverbrauchs der Vakuumpumpe und die Reduzierung der Abgasemissionen erreicht. Streng kontrollierte Lecksuche und Atmosphärenstabilität beim Vakuumsintern gewährleisten die hohe Reinheit und stabile Leistung von Wolframlegierungsstäben, wodurch sie sich besonders für die Herstellung von Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt und medizinischen Abschirmkomponenten eignen.

### 3.2.1.4 Luftgeschwindigkeitsregelung und Abgasbehandlung beim Wasserstoffsintern

Die Kontrolle der Luftströmungsgeschwindigkeit und die Abgasbehandlung beim Wasserstoffsintern sind entscheidend für die Sinterqualität von Wolframlegierungsstäben und wirken sich direkt auf Reduktionseffekt, Mikrostruktur und Umweltverträglichkeit aus. Beim Wasserstoffsintern wird die reduzierende Wirkung von Wasserstoff genutzt, um Oxide aus dem Block zu entfernen und so die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Partikelbindung und -verdichtung zu fördern. Es eignet sich für Wolframlegierungsstäbe, die eine hohe Zähigkeit und elektrische Leitfähigkeit erfordern (wie z. B. Wolfram-Kupfer-Legierungen). Die Luftströmungsgeschwindigkeit muss präzise kontrolliert werden, um eine gleichmäßige Wasserstoffverteilung und ausreichenden Kontakt mit der Blockoberfläche zu gewährleisten und so die Reduktionseffizienz zu verbessern. Die Abgasbehandlung ist entscheidend für die Umweltverträglichkeit und reduziert die Umweltverschmutzung durch die Behandlung von Wasserdampf und Verunreinigungen, die während des Sinterprozesses entstehen.

Der Prozess zur Regelung der Luftdurchflussrate umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird der Wasserstoffdurchflussbereich anhand der Blockgröße und der Kapazität des Sinterofens bestimmt. Anschließend wird die Luftdurchflussrate mithilfe eines Durchflussreglers angepasst, um eine gleichmäßige Atmosphäre im Ofen zu gewährleisten. Die Luftdurchflussrate muss basierend auf der Legierungszusammensetzung optimiert werden. Beispielsweise benötigen Wolfram-Kupfer-Legierungen eine schnellere Durchflussrate, um die Wärmeleitfähigkeit zu verbessern, während Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen eine moderate Durchflussrate benötigen, um Reduktion und Verdichtung auszugleichen. Während des Sinterprozesses überwacht ein Gasanalysator die Ofenatmosphäre und passt die Durchflussrate in Echtzeit an, um eine reduzierende Umgebung aufrechtzuerhalten. Bei der Abgasbehandlung wird Wasserdampf über einen Kondensator aus dem Abgas des Sinterofens entfernt. Restverunreinigungen werden anschließend mithilfe von Filtern und Katalysatoren behandelt, um sicherzustellen, dass die Emissionen den Umweltstandards (wie GB/T 30509) entsprechen. Der Prozess umfasst das Platzieren des Blocks in einem Wasserstoff-Sinterofen, die Zufuhr von hochreinem Wasserstoff und das Erhitzen gemäß einer Heizkurve. Um die Reduktionswirkung und die Einhaltung der Umweltvorschriften sicherzustellen, werden Luftdurchsatz und Abgaszusammensetzung überwacht.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz eines automatisierten Gasregelsystems zur Anpassung der Luftströmungsgeschwindigkeit und zur Echtzeitüberwachung der Abgaszusammensetzung sowie der Einsatz effizienter Abgasbehandlungsanlagen zur Wasserstoffrückgewinnung und Kostensenkung. Umweltschutz wird durch die Optimierung der Wasserstoffnutzung und Abgasbehandlung sowie die Reduzierung von Emissionen und Energieverbrauch erreicht. Eine wissenschaftlich konzipierte und konsequent umgesetzte Luftströmungsgeschwindigkeitsregelung und Abgasbehandlung während des Wasserstoffsinterns gewährleisten einen niedrigen Oxidgehalt und eine hohe Leistung der Wolframlegierungsstäbe, wodurch diese sich besonders für die Herstellung von elektronischen Elektroden und Wärmeableitungssubstraten eignen.

### **3.2.2 Präzision bei der Verarbeitung von Wolframlegierungsstäben und Qualitätssicherung der Oberfläche**

Bearbeitungsgenauigkeit und Oberflächenqualität sind wichtige Kontrollpunkte bei der Weiterverarbeitung von Wolframlegierungsstäben, die sich direkt auf deren Maßgenauigkeit, Oberflächengüte und Funktionsfähigkeit auswirken. Sie eignen sich für hochpräzise Anwendungen wie

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmkomponenten und elektronische Steckverbinder. Aufgrund ihrer hohen Härte und Festigkeit sind Wolframlegierungsstäbe schwer zu bearbeiten. Durch optimierte Schneid-, Schleif- und Oberflächenbehandlungsprozesse lassen sich jedoch hohe Präzision und Qualität erzielen. Die Bearbeitungsgenauigkeit muss sicherstellen, dass Maßtoleranzen sowie Form- und Lagetoleranzen den Konstruktionsanforderungen entsprechen. Die Oberflächenqualität muss eine geringe Rauheit aufweisen, um die Verschleißfestigkeit und Leitfähigkeit zu verbessern. Der Bearbeitungsprozess erfordert den Einsatz hochpräziser Geräte wie CNC-Werkzeugmaschinen und Schleifmaschinen. Strenge Prüf- und Kontrollmaßnahmen gewährleisten die Konsistenz. Umweltschutz wird durch das Recycling von Bearbeitungsabfällen und die Optimierung des Energieverbrauchs im Einklang mit den Anforderungen einer umweltfreundlichen Fertigung erreicht.

### 3.2.2.1 Messmittel für Maßtoleranzen und Prüfhäufigkeit

Die Messwerkzeuge und die Prüfhäufigkeit für Maßtoleranzen sind für die Kontrolle der Bearbeitungspräzision von Wolframlegierungsstäben von zentraler Bedeutung und wirken sich direkt auf ihre geometrische Genauigkeit und Montageleistung aus. Sie eignen sich für hochpräzise Anwendungen wie Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmkomponenten und elektronische Wärmeableitungssubstrate. Maßtoleranzen müssen typischerweise  $\pm 0,01$  mm oder mehr erreichen, um komplexe Montage- und Funktionsanforderungen zu erfüllen. Zu den häufig verwendeten Messwerkzeugen gehören Koordinatenmessgeräte (KMGs), Laser-Entfernungsmesser, hochpräzise Mikrometer und Profilometer, mit denen Länge, Durchmesser, Geradheit sowie Form- und Positionstoleranzen von Wolframlegierungsstäben genau gemessen werden können. KMGs bieten hochpräzise Messungen durch dreidimensionales Scannen, geeignet für komplexe Formen; Laser-Entfernungsmesser eignen sich für schnelle, berührungslose Messungen; und Mikrometer und Profilometer werden zur Oberflächenabmessung und -formerkennung verwendet.

Die Prüfhäufigkeit richtet sich nach Produktionsumfang und Qualitätsanforderungen. In der Massenproduktion werden üblicherweise Stichprobenprüfungen durchgeführt, bei denen ein bestimmter Prozentsatz an Proben aus jeder Charge zur Messung in Originalgröße entnommen wird, um sicherzustellen, dass die Toleranzen den Konstruktionsanforderungen entsprechen. Schlüsselkomponenten (wie z. B. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt) erfordern eine 100%ige Prüfung mit automatisierten Messgeräten zur Effizienzsteigerung. Der Prüfprozess umfasst die folgenden Schritte: Nach der Bearbeitung wird Oberflächenöl mit einem Reinigungsmittel entfernt und die Messgenauigkeit sichergestellt; wichtige Abmessungen werden mit einem Koordinatenmessgerät oder Mikrometer gemessen, die Daten aufgezeichnet und mit den Konstruktionstoleranzen verglichen; die statistische Prozesskontrolle (SPC) wird zur Analyse der Messergebnisse und zur Überwachung der Verarbeitungsstabilität eingesetzt. Optimierungsmaßnahmen umfassen den Einsatz automatisierter Messsysteme, integrierter Online-Prüfgeräte für Echtzeit-Feedback zu Maßabweichungen und die regelmäßige Kalibrierung der Messwerkzeuge zur Sicherstellung der Genauigkeit. Umweltschutz wird durch die Reduzierung von Prüfabfällen und die Optimierung des Energieverbrauchs der Geräte erreicht. Wissenschaftlich ausgewählte und streng implementierte Messwerkzeuge für Maßtoleranzen und eine hohe Prüfhäufigkeit garantieren die hohe Präzision und Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsstäben

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und sichern ihre Anwendungsleistung in der Luft- und Raumfahrt sowie der Elektronik.

### 3.2.2.2 Kontrollmethoden für geometrische und Lagetoleranzen

Die Kontrolle geometrischer Toleranzen ist ein entscheidender Schritt zur Gewährleistung der Bearbeitungsgenauigkeit von Wolframlegierungsstäben und wirkt sich direkt auf deren Geometrie und Montageleistung aus. Diese Toleranzen eignen sich für hochpräzise Anwendungen wie Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmkomponenten und elektronische Wärmeableitungssubstrate. Geometrische Toleranzen, einschließlich Parallelität, Rechtwinkligkeit, Rundheit, Koaxialität und Position, müssen strenge Standards (wie ISO 1101 oder GB/T 1182) erfüllen, um die Genauigkeit der Komponentenmontage und funktionale Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Die hohe Härte und die komplexe Form von Wolframlegierungsstäben machen die Kontrolle der geometrischen Toleranzen zu einer Herausforderung und erfordern hochpräzise Bearbeitungsmaschinen und eine strenge Prozesskontrolle.

Die Methode zur Kontrolle der geometrischen Toleranzen umfasst die folgenden Schritte: Zunächst werden die Anforderungen an die geometrischen Toleranzen anhand der Konstruktionszeichnungen ermittelt, die Bearbeitungspfade mithilfe von CAD/CAM-Software geplant und die Schneid- und Schleifprozesse optimiert, um geometrische Abweichungen zu reduzieren. Während der Bearbeitung kommen hochpräzise CNC-Werkzeugmaschinen (z. B. 5-Achs-CNC-Werkzeugmaschinen) zum Einsatz, die mit hochsteifen Vorrichtungen und präzisen Positionierungssystemen ausgestattet sind, um die Stabilität des Werkstücks während der Bearbeitung zu gewährleisten. Die Schneidparameter müssen optimiert werden, z. B. durch niedrige Vorschübe und moderate Schnittgeschwindigkeiten, um die Auswirkungen von Vibrationen und thermischer Verformung auf die geometrischen Toleranzen zu reduzieren. Nach Abschluss der Bearbeitung werden die geometrischen Toleranzen mit einem dreidimensionalen Koordinatenmessgerät (KMG) oder einem Laserscanner gemessen, die Daten aufgezeichnet und mit den Konstruktionsstandards verglichen. Während des Prüfungsvorgangs ist darauf zu achten, dass die Werkstückoberfläche sauber ist, damit Öl oder Partikel die Messgenauigkeit nicht beeinträchtigen.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehört der Einsatz adaptiver Bearbeitungstechnologie, die Parameter dynamisch anpasst, um geometrische Abweichungen durch Echtzeitüberwachung von Bearbeitungskräften und Vibrationen zu kontrollieren. Hochpräzise Vorrichtungskonstruktionen, kombiniert mit einer Finite-Elemente-Analyse zur Simulation der Werkstückkräfte, reduzieren Spannerformungen. Die Qualitätskontrolle nutzt statistische Prozesskontrolle (SPC), um geometrische Toleranzdaten zu analysieren und die Bearbeitungsstabilität zu überwachen. Umweltschutz wird durch Spänerrecycling und optimierten Energieverbrauch bei der Bearbeitung erreicht, wodurch Ressourcenverschwendung reduziert wird. Wissenschaftlich konzipierte und konsequent umgesetzte Methoden zur geometrischen Toleranzkontrolle garantieren die hohe geometrische Genauigkeit und Montageleistung von Wolframlegierungsstäben und gewährleisten deren zuverlässigen Einsatz in der Luft- und Raumfahrt sowie der Elektronik.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3.2.2.3 Oberflächendefekterkennung und Reparaturprozess

Die Erkennung und Reparatur von Oberflächendefekten ist ein entscheidender Aspekt zur Sicherstellung der Oberflächenqualität von Wolframlegierungsstäben und wirkt sich direkt auf deren Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Funktionserfüllung aus. Oberflächendefekte wie Kratzer, Risse, Poren und Einschlüsse können durch Schneiden, Schleifen oder innere Materialfehler entstehen. Diese Defekte erfordern hochpräzise Prüf- und Reparaturprozesse, um die strengen Anforderungen von Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt und medizinischen Abschirmkomponenten zu erfüllen. Diese Prüf- und Reparaturprozesse kombinieren modernste Ausrüstung und wissenschaftliche Methoden, um sicherzustellen, dass die Oberflächenqualität dem Rauheitsstandard von Ra 0,2–0,4 µm entspricht.

Der Prozess zur Erkennung von Oberflächendefekten umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird die Oberfläche des Wolframlegierungsstabs mit einem optischen Mikroskop oder Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht, um mikroskopische Defekte wie Kratzer und Risse zu identifizieren. Dabei wird üblicherweise eine 50- bis 500-fache Vergrößerung verwendet. Bei inneren Defekten werden Poren und Einschlüsse mit Ultraschall oder Röntgenprüfgeräten erkannt. Die Prüfung muss in einer sauberen Umgebung durchgeführt werden, um zu vermeiden, dass Staub oder Öl die Ergebnisse beeinflussen. Die Prüfhäufigkeit richtet sich nach dem Produktionsumfang. Schlüsselkomponenten erfordern eine 100%-Prüfung. Bei der Massenproduktion kann eine Stichprobenprüfung durchgeführt werden. Das Reparaturverfahren wird je nach Art des Defekts ausgewählt: Bei oberflächlichen Kratzern erfolgt die Reparatur durch Feinschleifen oder Polieren mit einer Diamantschleifscheibe oder Polierflüssigkeit, um die Oberflächenbeschaffenheit wiederherzustellen. Kleine Risse können durch Laserauftragschweißen oder Mikroschweißen repariert werden, um die Risse zu füllen und die Materialeigenschaften zu erhalten. Bei Poren oder Einschlüssen muss bewertet werden, ob sie die Leistung beeinträchtigen. Kleinere Mängel können durch Polieren kaschiert werden, während schwerwiegende Mängel eine Nacharbeit oder Verschrottung erfordern.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Prüfgeräte, wie z. B. optischer Online-Scansysteme, zur Verbesserung der Prüfeffizienz und -genauigkeit sowie der Einsatz zerstörungsfreier Reparaturtechnologien, wie z. B. Plasmaspritzen, zur Reduzierung von Materialabfällen. Umweltschutz wird durch das Recycling von Reparaturabfällen und die Optimierung des Prozessenergieverbrauchs erreicht, um den Anforderungen einer umweltfreundlichen Fertigung gerecht zu werden. Bei der Erkennung und Reparatur von Oberflächendefekten kommen wissenschaftliche Methoden und strenge Kontrollen zum Einsatz, um die hohe Oberflächenqualität und Funktionsleistung von Wolframlegierungsstäben sicherzustellen und so deren Zuverlässigkeit in elektronischen Steckverbindern und medizinischen Abschirmkomponenten zu gewährleisten.

### 3.2.2.4 Oberflächenbehandlung und Qualitätsabnahmestandards

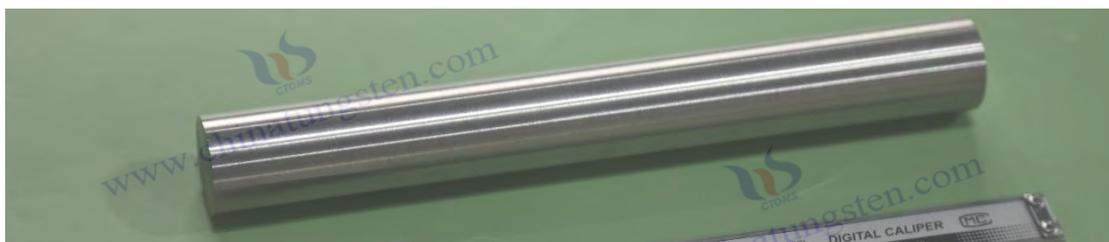
Oberflächenbehandlung und Qualitätsabnahmestandards sind die letzten Schritte zur Sicherstellung der Verarbeitungsqualität von Wolframlegierungsstäben und wirken sich direkt auf deren

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit und funktionale Anpassungsfähigkeit aus. Die Oberflächenbehandlung, die sich für Strukturkomponenten in der Luft- und Raumfahrt, elektronische Wärmeableitungssubstrate und medizinische Abschirmkomponenten eignet, optimiert die Oberflächeneigenschaften von Wolframlegierungsstäben durch chemische oder physikalische Methoden. Gängige Verfahren sind Polieren, stromloses Beschichten (z. B. Vernickeln), physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) und Sandstrahlen. Qualitätsabnahmestandards stellen durch ein strenges Testverfahren sicher, dass die Oberflächenbehandlung und die Gesamtqualität den Designanforderungen und Industriestandards (wie ASTM B777 oder GB/T 3459) entsprechen.

Der Oberflächenbehandlungsprozess umfasst die folgenden Schritte: Wählen Sie ein Behandlungsverfahren basierend auf den Anwendungsanforderungen. Polieren verbessert beispielsweise die Oberflächengüte und eignet sich für elektronische Steckverbinder; chemisches Vernickeln erhöht die Korrosionsbeständigkeit und eignet sich für medizinische Abschirmkomponenten; und PVD-Beschichtungen (wie TiAlN) verbessern die Verschleißfestigkeit und eignen sich für Industrieformen. Um die Wirksamkeit der Behandlung zu gewährleisten, ist vor der Behandlung eine Ultraschallreinigung erforderlich, um Oberflächenöl und Partikel zu entfernen. Während der Behandlung müssen Prozessparameter wie Konzentration der Polierlösung, Schichtdicke oder Schichtabscheidungsrate kontrolliert werden, um Gleichmäßigkeit und Haftung sicherzustellen. Zu den Qualitätsakzeptanzkriterien gehören Oberflächenrauheit, Beschichtungshaftung (überprüft durch Gitterschnittprüfung), Korrosionsbeständigkeit (bewertet durch Salzsprühnebelprüfung) und einheitliches Erscheinungsbild (Fehlen von Farbunterschieden oder Defekten). Im Abnahmeprozess wird die Rauheit mit einem Oberflächenprofilometer gemessen, die Korrosionsbeständigkeit mit einem Salzsprühnebelprüfer geprüft und Oberflächendefekte unter einem Mikroskop untersucht. Die Daten werden aufgezeichnet, um die Qualitätsrückverfolgbarkeit zu unterstützen.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Oberflächenbehandlungsanlagen, wie z. B. Roboterpoliersysteme, zur Verbesserung von Konsistenz und Effizienz sowie die Implementierung eines Online-Qualitätsüberwachungssystems, das Echtzeit-Feedback zu den Ergebnissen der Oberflächenbehandlung liefert. Umweltschutz wird durch das Recycling und die Behandlung von Abfallflüssigkeiten und -materialien sowie die Optimierung des Chemikalieneinsatzes zur Reduzierung der Umweltbelastung erreicht. Wissenschaftlich entwickelte und strikt durchgesetzte Standards für Oberflächenbehandlung und Qualitätsabnahme gewährleisten die hohe Korrosionsbeständigkeit und Funktionsleistung von Wolframlegierungsstäben und gewährleisten so ihren zuverlässigen Einsatz in der Luft- und Raumfahrt, Medizin und Elektronik.



CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsstange

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

**Core advantages:** 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

**Precision customization:** support high density (17-19 g/cm<sup>3</sup>), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

**Quality cost:** optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

**Advanced capabilities:** advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

#### 100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

#### Service commitment

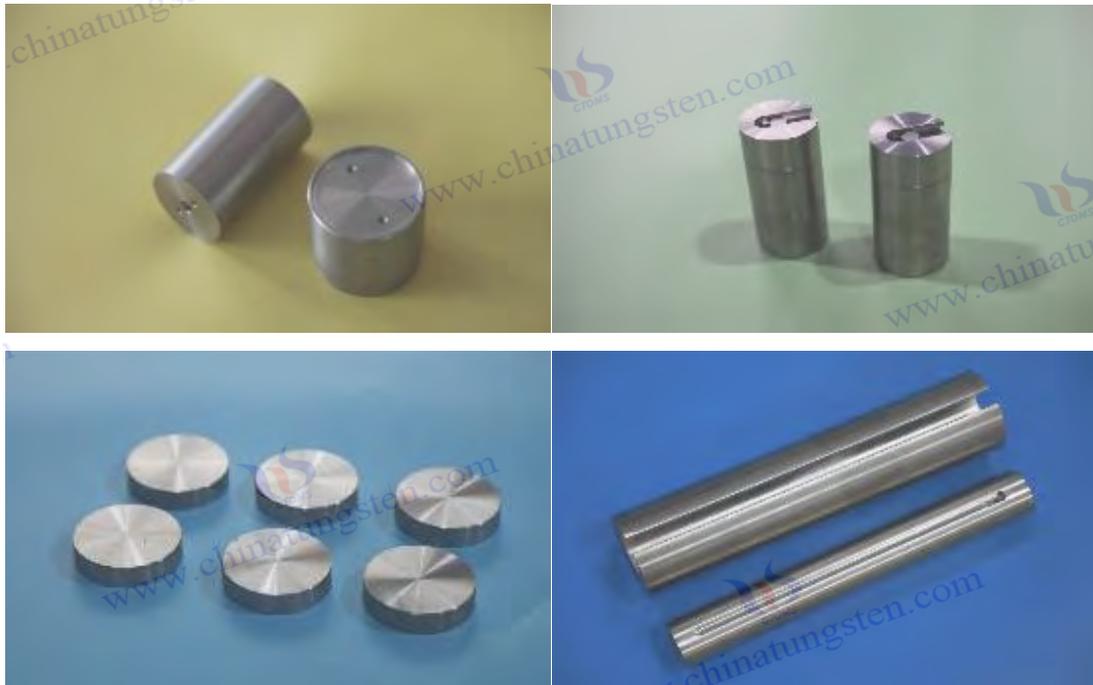
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Kapitel 4 Anwendungsbereiche von Wolframlegierungsstäben

Stäbe aus Wolframlegierungen haben mit ihrer außergewöhnlich hohen Dichte, hohen Festigkeit, hohen Temperaturbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit einen breiten Anwendungswert in zahlreichen Hightech-Bereichen bewiesen. Dank ihrer einzigartigen Kombination von Eigenschaften erfüllen sie die strengen Materialeleistungsanforderungen von Branchen wie der Luft- und Raumfahrt, der Medizin, der Elektronik und der industriellen Fertigung. Stäbe aus Wolframlegierungen werden durch pulvermetallurgische Prozesse optimiert, wobei der hohe Schmelzpunkt und die hohe Dichte von Wolfram mit der Zähigkeit und Funktionalität von Elementen wie Nickel, Eisen und Kupfer kombiniert werden, um einen Verbundwerkstoff mit sowohl mechanischen Eigenschaften als auch funktionaler Anpassungsfähigkeit zu bilden. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit verbessern ihre Anwendbarkeit in Szenarien mit strengen Umweltauflagen weiter und erfüllen die Anforderungen der modernen Industrie an eine nachhaltige Entwicklung. Stäbe aus Wolframlegierungen haben vielfältige Anwendungen, die von hochpräzisen Gegengewichten bis hin zu hochtemperaturbeständigen Komponenten reichen, und erfordern strenge Produktionsprozesse und Leistungstests, um eine stabile Qualität zu gewährleisten.

### 4.1 Anwendung von Wolframlegierungsstäben im Militär- und Luft- und Raumfahrtbereich

Wolframlegierungsstäbe werden aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit und hervorragenden mechanischen Eigenschaften in der Militär- und Luftfahrtindustrie eingesetzt. Sie erfüllen damit hohe Belastungs-, Dynamik- und Präzisionsanforderungen. Die Luft- und Raumfahrtindustrie stellt extrem hohe Anforderungen an Materialstabilität, Zuverlässigkeit und Umweltverträglichkeit. Dank optimierter Zusammensetzung und Produktionsprozesse behalten Wolframlegierungsstäbe auch unter extremen Bedingungen ihre stabile Leistung und finden daher breite Anwendung in Gegengewichten, Strukturkomponenten und Funktionsteilen. Ihre hohe Dichte sorgt für ein hervorragendes Gewichts-Volumen-Verhältnis und eignet sich daher für Geräte, die eine präzise Auswuchtung erfordern. Ihre hohe Festigkeit und Zähigkeit gewährleisten die strukturelle Integrität in hochbelasteten Umgebungen. Die Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit von Wolframlegierungsstäben verschaffen ihnen Vorteile in der Luft- und Raumfahrtindustrie, wo strenge Anforderungen an umweltfreundliche Produktion und Umweltschutz gestellt werden. Während der Produktion werden durch pulvermetallurgische Prozesse das Rohstoffverhältnis, die Sinterbedingungen und die Weiterverarbeitung präzise gesteuert, um eine gleichbleibend hohe Leistung zu gewährleisten. Anwendungen erfordern die strikte Einhaltung von Industriestandards und hochpräzise Prüfungen, um ihre Leistung zu überprüfen und die hohen Zuverlässigkeitsanforderungen von Luft- und Raumfahrtgeräten zu erfüllen.

#### 4.1.1 Dichteanforderungen für Wolframlegierungsstäbe, die in panzerbrechenden Projektilkernen verwendet werden

Die Dichteanforderung an Wolframlegierungsstäbe, die in panzerbrechenden Projektilkernen verwendet werden, ist ein zentraler Leistungsindikator für ihre Anwendung in der Militärindustrie und bestimmt direkt ihre Funktionsleistung in Hochleistungsanwendungen. Die hohe Dichte von

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsstäben ermöglicht es ihnen, ein beträchtliches Gewicht innerhalb eines begrenzten Volumens bereitzustellen, was entscheidend für Komponenten ist, die eine effiziente kinetische Energieübertragung erfordern. Die Dichteanforderung ergibt sich hauptsächlich aus der Notwendigkeit, dass Wolframlegierungsstäbe in bestimmten Szenarien ausreichend Masse bereitstellen, um ihre Stabilität und Funktionalität in dynamischen Umgebungen sicherzustellen. Die hohe Dichte von Wolfram ist sein natürlicher Vorteil. Durch Zugabe von Bindeelementen wie Nickel und Eisen zur Bildung eines Verbundwerkstoffs ist es möglich, eine hohe Dichte beizubehalten und gleichzeitig andere Eigenschaften wie Zähigkeit und Verarbeitbarkeit zu optimieren. Die Dichte wirkt sich direkt auf das Gewicht-Volumen-Verhältnis des Wolframlegierungsstabs aus, was wiederum seine Anwendbarkeit in hochpräzisen Geräten beeinflusst.

Während des Produktionsprozesses werden die Dichteanforderungen durch strenge Rohstoffauswahl und Prozesskontrolle erreicht. Die Auswahl des Wolframpulvers muss hohe Reinheit und geeignete Partikelgröße gewährleisten. Die Anfangsdichte wird durch Mischen und Pressen im pulvermetallurgischen Verfahren optimiert. Der Sinterprozess ist entscheidend für das Erreichen einer hohen Dichte. Durch die Kontrolle von Sintertemperatur und -atmosphäre wird die Bindung der Wolframpartikel mit den Bindeelementen gefördert, wodurch eine dichte Mikrostruktur entsteht. Vakuum- oder Wasserstoffsintern reduziert Porosität und Oxide und gewährleistet so eine hohe Dichte und stabile Leistung des Materials. Nachfolgende Bearbeitungsschritte wie Schneiden und Schleifen optimieren Größe und Oberflächenqualität weiter, um eine gleichmäßige Dichteverteilung zu gewährleisten. Bei der Prüfung wird die Materialdichte mit einem hochpräzisen Densitometer (z. B. nach dem Archimedes-Prinzip) überprüft. In Kombination mit einer Mikrostrukturanalyse (z. B. Rasterelektronenmikroskop, REM) wird die Abwesenheit innerer Defekte sichergestellt. Die Dichteanforderungen müssen auch Umweltaspekte berücksichtigen. Durch Optimierung des Produktionsprozesses können Abfallmengen reduziert und umweltfreundliche Produktionsstandards eingehalten werden.

Die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben, die präzise auf die Anwendungsanforderungen abgestimmt ist, unterstützt zuverlässig ihren Einsatz in der Militärindustrie. Die stabile Dichte verbessert nicht nur die Leistung der Komponenten, sondern optimiert auch das Gerätedesign durch reduzierten Volumenbedarf. Qualitätskontrolle und -prüfung während der Produktion gewährleisten eine gleichmäßige und konsistente Dichte und legen damit den Grundstein für Hochleistungsanwendungen. Wissenschaftlich konzipierte und konsequent durchgesetzte Dichteanforderungen gewährleisten eine breite Anwendung in Hightech-Bereichen und führen zu Leistungsverbesserungen der entsprechenden Geräte.

#### **4.1.2 Zugfestigkeitsnormen für Wolframlegierungsstreifen in panzerbrechenden Projektilkernen**

Der Zugfestigkeitsstandard ist ein entscheidender Leistungsindikator für Wolframlegierungsstäbe, die in panzerbrechenden Projektilkernen in militärischen Anwendungen verwendet werden, und wirkt sich direkt auf ihre strukturelle Integrität und Zuverlässigkeit in Umgebungen mit hoher Belastung aus. Wolframlegierungsstäbe müssen dynamischen Belastungen und Spannungen unter extremen

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Bedingungen standhalten, und ihre hohe Zugfestigkeit stellt sicher, dass das Material in komplexen Umgebungen stabil bleibt und Bruch oder Verformung verhindert. Wolfram selbst hat eine hohe Härte, aber die Zugabe von Bindeelementen wie Nickel und Eisen verbessert seine Zähigkeit und Zugfestigkeit deutlich und macht es für Szenarien mit hoher Belastung geeignet. Die Entwicklung von Zugfestigkeitsstandards erfordert die Bezugnahme auf Industriespezifikationen, um sicherzustellen, dass die Materialeigenschaften den Anforderungen spezifischer Anwendungen entsprechen und gleichzeitig Verarbeitbarkeit und Kosteneffizienz in Einklang gebracht werden.

Während des Produktionsprozesses hängt das Erreichen der Zugfestigkeit von der Optimierung des Rohstoffverhältnisses, des Sinterprozesses und der Wärmebehandlung ab. Hochpräzise Mischgeräte werden verwendet, um Wolframpulver und Bindemittel gleichmäßig zu vermischen und so eine gleichmäßige Mikrostruktur zu gewährleisten. Der Sinterprozess kontrolliert Temperatur und Atmosphäre, um das Flüssigphasensintern zu fördern, eine dichte Partikelbindung zu bilden und die Zugfestigkeit zu erhöhen. Wärmebehandlungsprozesse (wie Glühen oder Lösungsglühen) beseitigen innere Spannungen weiter, optimieren die Kornstruktur und verbessern Zähigkeit und Zugfestigkeit. Nachfolgende Verarbeitungsschritte steuern Schnittparameter und Oberflächenbehandlung präzise, um die Entstehung von Mikrorissen oder Spannungskonzentrationen zu vermeiden und so die Stabilität der Zugfestigkeit zu gewährleisten. Während der Prüfung wird eine Universalprüfmaschine verwendet, um Zugversuche durchzuführen, Spannungs-Dehnungs-Kurven aufzuzeichnen und zu überprüfen, ob die Zugfestigkeit den Standardanforderungen entspricht. Mikrostrukturanalysen (wie SEM) werden verwendet, um Korngröße und Defekte zu untersuchen und so eine gleichbleibende Leistung sicherzustellen.

Die Optimierung der Zugfestigkeitsstandards erfordert eine umfassende Berücksichtigung der Materialzusammensetzung und der Prozessparameter. So kann beispielsweise eine Erhöhung des Nickelgehalts die Zähigkeit und Zugfestigkeit verbessern, die Dichte jedoch leicht verringern. Die Leistung muss je nach Anwendungsszenario angepasst werden. Automatisierte Anlagen und Online-Überwachungssysteme im Produktionsprozess können die Prozesssteuerungsgenauigkeit verbessern und Leistungsschwankungen reduzieren. Umweltschutz wird durch das Recycling von Prozessabfällen und die Optimierung des Energieverbrauchs erreicht, wodurch die Anforderungen an eine umweltfreundliche Produktion erfüllt werden. Die Zugfestigkeit von Wolframlegierungsstäben wird wissenschaftlich entwickelt und streng kontrolliert, um ihre Zuverlässigkeit in hochbelasteten Umgebungen zu gewährleisten. Ihre hervorragenden mechanischen Eigenschaften unterstützen Hochleistungsanwendungen in der Militärindustrie, tragen maßgeblich zur Sicherheit und Stabilität von Geräten bei und spiegeln die präzise Abstimmung von Materialien und Anwendungen wider.

#### **4.1.3 Kontrolle der Maßgenauigkeit von Wolframlegierungsstäben für Gegengewichte von Raumfahrzeugen**

Die Kontrolle der Maßgenauigkeit ist eine wichtige Leistungsanforderung für Wolframlegierungsstäbe, die als Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden. Sie wirkt sich direkt auf ihre Leistung bei komplexen Montagen und beim dynamischen Auswuchten aus. Komponenten von

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Raumfahrzeug-Gegengewichten erfordern präzise Geometrie und Abmessungen, um eine gleichmäßige Gewichtsverteilung zu gewährleisten und die Stabilität bei hochpräzisem Betrieb aufrechtzuerhalten. Die hohe Dichte von Wolframlegierungsstäben ermöglicht es ihnen, ein erhebliches Gewicht auf kleinem Raum zu liefern, während die hohe Maßgenauigkeit ihre Kompatibilität mit komplexen Systembaugruppen gewährleistet. Die Kontrolle der Maßgenauigkeit umfasst eine strikte Kontrolle von Länge, Durchmesser, Geradheit und geometrischen Toleranzen, um die strengen Standards der Luft- und Raumfahrtindustrie zu erfüllen.

Die Maßhaltigkeitskontrolle beginnt im Produktionsprozess mit dem Pressformen. Dabei gewährleistet eine hochpräzise Formgestaltung die anfängliche Formgenauigkeit des Rohlings. Kaltpressen oder isostatisches Pressen erzielen eine hohe Dichte und eine gleichmäßige Form und legen damit die Grundlage für die nachfolgende Verarbeitung. Der Sinterprozess reduziert die Verformung des Rohlings und gewährleistet Maßhaltigkeit durch Kontrolle von Schrumpfung und Temperaturgleichmäßigkeit. Nachfolgende Bearbeitungsschritte wie Schneiden und Schleifen erfolgen mit hochpräzisen CNC-Maschinen und Spezialwerkzeugen (z. B. PKD- oder CBN-Werkzeugen) zur Endbearbeitung. Oberflächenbehandlungen wie Polieren optimieren die Oberflächenbeschaffenheit weiter und reduzieren Reibung und Montagefehler. Bei der Prüfung werden Koordinatenmessgeräte (KMGs) und Laserscanner eingesetzt, um Maß- und geometrische Toleranzen zu messen. Die statistische Prozesskontrolle (SPC) analysiert die Prozessstabilität und stellt sicher, dass jede Charge die Produktspezifikationen erfüllt. Die Optimierung der Maßhaltigkeitskontrolle erfordert eine umfassende Betrachtung der Verarbeitungsanlagen, Prozessparameter und Prüfmethode. Automatisierte Verarbeitungsanlagen und Online-Überwachungssysteme liefern Echtzeit-Feedback zu Maßabweichungen und ermöglichen dynamische Parameteranpassungen zur Verbesserung der Genauigkeit. Die Vorrichtungskonstruktion wird durch Finite-Elemente-Analyse optimiert, um die Stabilität des Werkstücks zu gewährleisten und Verformungen während der Verarbeitung zu minimieren. Umweltschutz wird durch das Recycling von Prozessabfällen und die Optimierung des Energieverbrauchs erreicht, wodurch umweltfreundliche Fertigungsstandards eingehalten werden. Die durch wissenschaftliches Design und konsequente Ausführung erreichte Maßgenauigkeitskontrolle von Wolframlegierungsstäben gewährleistet die hochpräzise Montage und dynamische Auswuchtung von Gegengewichtskomponenten für Raumfahrzeuge. Ihre hochpräzisen Eigenschaften unterstützen die Zuverlässigkeit und Leistungsoptimierung von Luft- und Raumfahrtausrüstung, leisten einen entscheidenden Beitrag zur Konstruktion und zum Betrieb komplexer Systeme und verdeutlichen den hohen Stellenwert von Wolframlegierungsstäben im Hightech-Bereich.

#### **4.1.4 Betriebstemperaturschwelle von Wolframlegierungsstäben für hochtemperaturbeständige Raumfahrzeugkomponenten**

Der Einsatz von Wolframlegierungsstäben in hochtemperaturbeständigen Komponenten von Raumfahrzeugen beruht auf ihrer hervorragenden Temperaturbeständigkeit, die es ermöglicht, die strukturelle Integrität und Funktionsstabilität in extremen thermischen Umgebungen aufrechtzuerhalten. Komponenten von Raumfahrzeugen wie Antriebssysteme oder Hochtemperaturstrukturen müssen extremen Temperaturen standhalten. Dank ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer optimierten

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Mikrostruktur können Wolframlegierungsstäbe ihre mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen beibehalten und thermische Zersetzung oder Verformung vermeiden. Der hohe Schmelzpunkt von Wolfram ist der Kern seiner Hochtemperaturbeständigkeit. Die Zähigkeit und Wärmestabilität des Materials werden durch die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer weiter optimiert, sodass es sich an komplexe Arbeitsbedingungen wie zyklische Wärmebelastungen und langfristige Hochtemperaturbelastung anpassen kann. Die Bestimmung der Betriebstemperaturschwelle erfordert eine umfassende Betrachtung der Wärmestabilität, der mechanischen Eigenschaften und der spezifischen Anwendungsszenarien des Materials, um seine Zuverlässigkeit im Raumfahrzeugbetrieb sicherzustellen.

Das Erreichen hoher Temperaturbeständigkeit beginnt im Produktionsprozess mit der Auswahl und Dosierung der Rohstoffe. Hochreines Wolframpulver wird mit Bindeelementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer in geeigneten Anteilen vermischt und mittels Pulvermetallurgieverfahren eine gleichmäßige Mikrostruktur erzeugt. Der Sinterprozess ist ein entscheidender Schritt. Durch die präzise Steuerung von Temperatur und Atmosphäre (z. B. Vakuum- oder Wasserstoffsintern) wird die Bindung der Wolframpartikel mit dem Binder gefördert, wodurch ein hochdichtes Material entsteht, Porosität und Defekte reduziert und die thermische Stabilität verbessert werden. Wärmebehandlungsverfahren (z. B. Glühen) optimieren die Mikrostruktur weiter, beseitigen innere Spannungen und erhöhen die Wärmeermüdungsbeständigkeit. Beispielsweise kann die Zugabe von Nickel und Eisen die Zähigkeit des Materials erhöhen und es weniger anfällig für Risse bei zyklischer Hochtemperaturbelastung machen; die Zugabe von Kupfer verbessert die Wärmeleitfähigkeit und unterstützt die Wärmeableitung. Hochpräzises Schneiden und Oberflächenbehandlung während der Verarbeitung gewährleisten die Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität der Komponenten und reduzieren die thermische Spannungskonzentration.

Die Qualitätskontrolle erstreckt sich über den gesamten Produktionsprozess, und die Temperaturbeständigkeit des Materials wird durch Hochtemperaturtests der mechanischen Eigenschaften und thermische Zyklustests überprüft. Diese Tests simulieren die Hochtemperaturumgebung im Raumfahrzeugbetrieb und bewerten die Leistungsstabilität des Materials bei langfristiger Hitzeeinwirkung. Oberflächenbehandlungsverfahren wie Antioxidationsbeschichtungen können die Haltbarkeit des Materials in Hochtemperaturumgebungen weiter verbessern und Oxidation oder thermische Korrosion verhindern. Umweltschutz ist ein wichtiger Aspekt im Produktionsprozess. Durch Optimierung des Energieverbrauchs beim Sintern und bei der Wärmebehandlung sowie durch Recycling von Prozessabfällen wird die Ressourcenverschwendung reduziert und umweltfreundliche Fertigungsstandards eingehalten. Die Hochtemperaturbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben ist genau auf die Anforderungen von Hochtemperaturkomponenten in Raumfahrzeugen abgestimmt und unterstützt ihren zuverlässigen Einsatz in extremen Umgebungen.

#### 4.2 Anwendung von Wolframlegierungsstäben im medizinischen Bereich

Wolframlegierungsstäbe werden in der Medizin vor allem aufgrund ihrer hohen Dichte, Strahlenbeständigkeit und Ungiftigkeit eingesetzt und erfüllen die strengen Anforderungen an

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Strahlenschutz, Komponenten medizinischer Geräte und Präzisionswerkzeuge. Die Medizinbranche stellt extrem hohe Ansprüche an Materialsicherheit, Zuverlässigkeit und Funktionalität. Wolframlegierungsstäbe mit ihrer hohen Ordnungszahl und ihrem hervorragenden Strahlungsabsorptionsvermögen eignen sich ideal für den Einsatz in Strahlentherapie- und Bildgebungsgeräten. Im Vergleich zu herkömmlichen bleibasierten Materialien sind sie aufgrund ihrer Ungiftigkeit im medizinischen Umfeld sicherer und reduzieren Gesundheitsrisiken für Patienten und medizinisches Personal. Ihre hohe Dichte ermöglicht einen effektiven Strahlenschutz in kompakter Bauweise und eignet sich daher für kompakte Medizingeräte. Während der Produktion optimieren pulvermetallurgische Prozesse die Rohstoffverhältnisse und Sinterbedingungen, um eine hohe Materialdichte und stabile Leistung zu gewährleisten. Die anschließende Verarbeitung durch hochpräzises Schneiden und Oberflächenbehandlung verbessert die Korrosionsbeständigkeit und Oberflächengüte und erfüllt die Hygiene- und Präzisionsanforderungen der Medizin. Die strikte Einhaltung von Industriestandards und hochpräzise Tests gewährleisten die Leistung während der Anwendung und gewährleisten die Zuverlässigkeit in Strahlentherapie- und Bildgebungsgeräten.

#### 4.2.1 Anforderungen an das Bleiäquivalent von Wolframlegierungsstäben zur Strahlentherapie-Abschirmung

Der Bleiäquivalentbedarf von Wolframlegierungsstreifen zur Strahlentherapie-Abschirmung ist ein zentraler Leistungsindikator für deren Anwendung im medizinischen Bereich und bestimmt direkt deren Wirksamkeit im Strahlenschutz. Strahlentherapiegeräte wie Linearbeschleuniger oder Gammastrahlengeräte benötigen eine effiziente Abschirmung vor hochenergetischer Strahlung, um die Sicherheit von Patienten, medizinischem Personal und umliegenden Geräten zu gewährleisten. Dank ihrer hohen Dichte und Ordnungszahl absorbieren und streuen Wolframlegierungsstreifen Strahlung hervorragend und erzielen bei kleinerem Volumen eine Abschirmwirkung, die der von Blei entspricht. Der Bleiäquivalentbedarf definiert die Strahlungsdämpfungsfähigkeit von Wolframlegierungsstreifen bei einer bestimmten Dicke, die der von Blei entspricht. Dadurch wird sichergestellt, dass sie die Sicherheitsstandards im medizinischen Bereich erfüllen und gleichzeitig ein kompaktes Gerätedesign ermöglichen.

Während des Produktionsprozesses hängt das Erreichen der Bleiäquivalentanforderungen von der Bildung einer hochdichten und gleichmäßigen Mikrostruktur ab. Hochreines Wolframpulver wird ausgewählt und mit Bindeelementen wie Nickel und Kupfer kombiniert, um durch Pulvermetallurgie hochdichte Legierungen herzustellen. Der Sinterprozess ist entscheidend. Durch die Kontrolle von Temperatur und Atmosphäre (z. B. Vakuum oder Wasserstoffsintern) wird die Bindung von Wolframpartikeln und Bindemittel gefördert und die Porosität reduziert, um Dichte und Strahlenschutzleistung zu verbessern. Der Präzisionsbearbeitungsprozess nutzt hochpräzises Schneiden und Schleifen, um sicherzustellen, dass Größe und Oberflächenqualität der Wolframlegierungsstäbe den Konstruktionsanforderungen entsprechen, was die Montage und den Einsatz in Strahlentherapiegeräten erleichtert. Die Qualitätskontrolle verwendet Strahlendämpfungstests, um die Strahlenbelastung in einer klinischen Umgebung zu simulieren und zu überprüfen, ob die Bleiäquivalentleistung des Materials den Standards entspricht. Während des Tests werden hochpräzise Instrumente wie Strahlendosimeter benötigt,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

um die Abschirmwirkung aufzuzeichnen und mit den Konstruktionsanforderungen zu vergleichen.

Umweltschutz ist in der Produktion von entscheidender Bedeutung. Durch Optimierung des Energieverbrauchs und Reduzierung des Abfallaufkommens beim Sintern und Verarbeiten erfüllen wir die Anforderungen einer umweltfreundlichen Fertigung. Die Ungiftigkeit von Wolframlegierungsstäben macht sie besonders vorteilhaft für medizinische Anwendungen und vermeidet die potenziellen Gesundheits- und Umweltrisiken bleihaltiger Materialien. Die Einhaltung der Bleiäquivalenzanforderungen durch wissenschaftliches Design und strenge Kontrolle gewährleistet, dass Wolframlegierungsstäbe einen wirksamen Strahlenschutz in Strahlentherapiegeräten bieten. Diese hervorragende Abschirmleistung unterstützt die Entwicklung kompakter medizinischer Geräte, verbessert die Sicherheit und Präzision der Strahlentherapie und leistet wichtige Beiträge zur Patientenversorgung und zum Fortschritt der Medizintechnik.

#### **4.2.2 Strahlungsdämpfungskoeffizient von Wolframlegierungsstreifen zur Strahlentherapieabschirmung**

Der Strahlungsdämpfungskoeffizient (RAC) von Wolframlegierungsstreifen, die in der Strahlentherapie-Abschirmung verwendet werden, ist ein wichtiger Leistungsindikator für medizinische Anwendungen. Er spiegelt die Fähigkeit des Materials wider, die Intensität hochenergetischer Strahlung wie Röntgen- oder Gammastrahlen zu dämpfen. Dieser Koeffizient bestimmt die Wirksamkeit der Streifen bei der Abschirmung von Strahlung in Strahlentherapiegeräten und gewährleistet die Sicherheit von Patienten und medizinischem Personal. Die hohe Ordnungszahl und Dichte von Wolfram ermöglichen eine effektive Streuung und Absorption von Strahlung, wodurch die Strahlungsdurchdringung reduziert wird und es sich für kompakte Abschirmkomponenten eignet. Der RAC wird von Materialzusammensetzung, Dichte und Mikrostruktur beeinflusst. Um die strengen Anforderungen der Medizin zu erfüllen, sind präzise Produktionsprozesse und strenge Qualitätsprüfungen erforderlich.

Die Optimierung des Strahlungsdämpfungskoeffizienten beginnt im Produktionsprozess mit der Auswahl und Dosierung der Rohstoffe. Hochreines Wolframpulver wird in geeigneten Proportionen mit Nickel, Kupfer und anderen Elementen vermischt und durch ein pulvermetallurgisches Verfahren zu einer hochdichten Legierung geformt. Der Sinterprozess gewährleistet durch die Kontrolle hoher Temperatur- und Atmosphärenbedingungen die hohe Dichte und geringe Porosität des Materials und verbessert so die Strahlungsabsorptionskapazität. Die Präzisionsbearbeitung optimiert die Maßgenauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Komponenten durch hochpräzises Schneiden und Oberflächenbehandlung und stellt so die Kompatibilität mit Strahlentherapiegeräten sicher. Die Qualitätskontrolle nutzt Strahlungsdämpfungstests. Dabei wird eine hochenergetische Strahlungsquelle verwendet, um eine klinische Umgebung zu simulieren, den Dämpfungskoeffizienten des Materials zu messen und seine Leistung zu überprüfen. Die Testdaten werden mit Industriestandards verglichen, um sicherzustellen, dass das Material die Abschirmungsanforderungen erfüllt.

Umweltschutz ist ein zentrales Anliegen im Produktionsprozess. Die Umweltbelastung wird durch optimierten Sinter- und Verarbeitungsenergieverbrauch sowie das Recycling von Abfallstoffen reduziert.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Die Ungiftigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen macht sie zu einer idealen Alternative zu bleihaltigen Materialien und reduziert die mit der Herstellung und Verwendung von Medizinprodukten verbundenen Umweltrisiken. Der durch wissenschaftliche Verfahren und strenge Tests erreichte hervorragende Strahlungsdämpfungskoeffizient bietet hochwirksamen Strahlenschutz für Strahlentherapie-Abschirmkomponenten. Diese Leistung unterstützt die hohe Sicherheit und Präzision medizinischer Geräte, fördert den Fortschritt in der Strahlentherapietechnologie und bietet eine sicherere Behandlungsumgebung für Patienten.

#### 4.2.3 Reinheitsstandards für Wolframlegierungsstäbe für CT-Wolframtargets

Der Reinheitsstandard der in CT-Wolframtargets verwendeten Wolframlegierungsstäbe ist ein wichtiger Leistungsindikator für deren Verwendung in medizinischen Bildgebungsgeräten und wirkt sich direkt auf die Effizienz der Röntgenerzeugung und die Langzeitstabilität der Geräte aus. Wolframtargets in CT-Scannern müssen unter hochenergetischem Elektronenbeschuss stabile Röntgenstrahlen erzeugen. Dazu ist eine hohe Materialreinheit erforderlich, um eine gleichmäßige Strahlungsleistung und einen zuverlässigen Gerätebetrieb zu gewährleisten. Die hohe Reinheit von Wolframlegierungsstäben verringert den Einfluss von Verunreinigungen auf die Röntgenerzeugung und verhindert so Materialzersetzung oder Geräteausfälle. Seine hohe Dichte und hohe Ordnungszahl machen es zu einem hervorragenden Material für die Röntgenerzeugung, während die strenge Kontrolle der Reinheitsstandards die Stabilität des Materials in hochintensiven Betriebsumgebungen sicherstellt. Reinheitsanforderungen wirken sich nicht nur auf die Materialeistung aus, sondern auch auf die Sicherheit der medizinischen Geräte und die Gesundheit der Patienten und erfordern zu deren Erreichung hochpräzise Produktions- und Testmethoden.

Die Einhaltung der Reinheitsstandards beginnt im Produktionsprozess mit der Auswahl der Rohstoffe. Hochreines Wolframpulver bildet die Grundlage für die Herstellung von CT-Wolframtargets. Es muss chemische Reinigungs- und Siebprozesse durchlaufen, um Verunreinigungen wie Sauerstoff, Kohlenstoff und Schwefel zu entfernen und so die hohe Reinheit und Stabilität des Materials zu gewährleisten. Auch die Reinheit von Bindeelementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer muss streng kontrolliert werden, um das Eindringen zusätzlicher Verunreinigungen zu vermeiden. Der pulvermetallurgische Prozess gewährleistet durch präzise Dosierung und Mischung die Gleichmäßigkeit und Reinheit der Rohstoffe. Der Sinterprozess ist ein wichtiges Bindeglied. Durch das Vakuum oder die Wasserstoffsinterung wird die Oxidbildung reduziert und die gleichmäßige Bindung von Wolframpartikeln und Binder gefördert, wodurch eine hochdichte Mikrostruktur entsteht. Temperatur und Atmosphäre müssen während des Sinterprozesses kontrolliert werden, um das Eindringen von Verunreinigungen oder Schwankungen der Materialeigenschaften zu vermeiden. In den nachfolgenden Verarbeitungsschritten werden hochpräzises Schneiden und Polieren eingesetzt, um die Oberflächenbeschaffenheit und Maßgenauigkeit des Wolframtargets sicherzustellen und die Beeinträchtigung der Röntgenstrahlung durch Restverunreinigungen zu verringern.

Die Qualitätskontrolle nutzt hochpräzise Analysetechniken wie die induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie oder die Röntgenfluoreszenzspektroskopie (XRF), um Verunreinigungsgrade in

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsstäben zu erkennen und die Einhaltung der Standards der Medizinbranche sicherzustellen. Bei Leistungstests wird die Betriebsumgebung von CT-Scans simuliert, um die Stabilität der Röntgenausgabe und die Materialbeständigkeit zu bewerten und die Einhaltung der Reinheitsstandards zu überprüfen. Umweltschutz hat bei der Produktion höchste Priorität, und die Umweltbelastung wird durch Optimierung des Energieverbrauchs bei Sintern und Verarbeitung, Abfallrecycling und Abgasbehandlung minimiert. Die Ungiftigkeit von Wolframlegierungsstäben macht sie zu einer idealen Alternative zu bleihaltigen Materialien und reduziert Gesundheitsrisiken bei der Herstellung und Verwendung von Medizinprodukten. Durch wissenschaftliches Design und strenge Kontrolle gewährleisten die Reinheitsstandards von Wolframlegierungsstäben für CT-Wolframtargets eine effiziente Röntgenerzeugung und Gerätezuverlässigkeit. Dies unterstützt die hochpräzise Diagnostik in CT-Bildgebungsgeräten, fördert den Fortschritt in der Medizintechnik und bietet Patienten eine sicherere und zuverlässigere Diagnoseerfahrung.

#### 4.2.4 Hohe Temperaturschlagfestigkeit von CT-Wolfram-Target-Wolframlegierungsstäben

Die Hochtemperatur-Schlagfestigkeit von Wolframlegierungsstäben, die in CT-Wolframtargets verwendet werden, ist ein entscheidender Leistungsindikator für ihren Einsatz in medizinischen Bildgebungsgeräten und wirkt sich direkt auf ihre Stabilität und Lebensdauer unter hochenergetischem Elektronenbeschuss aus. Wolframtargets in CT-Scangeräten müssen dem plötzlichen Aufprall und den hohen thermischen Belastungen hochintensiver Elektronenstrahlen standhalten, sodass das Material seine strukturelle Integrität und Leistungsstabilität auch bei hohen Temperaturen und schnellen Temperaturwechseln beibehalten muss. Der hohe Schmelzpunkt und die ausgezeichnete thermische Stabilität von Wolfram machen es zu einem idealen Material für CT-Wolframtargets. Die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer optimiert die Zähigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit des Materials weiter. Das Erreichen der Hochtemperatur-Schlagfestigkeit erfordert präzise Produktionsprozesse und strenge Qualitätsprüfungen, um die Zuverlässigkeit der Wolframlegierungsstäbe in extremen Betriebsumgebungen sicherzustellen.

Die Optimierung der Schlagzähigkeit bei hohen Temperaturen beginnt im Produktionsprozess mit der Wahl des Rohstoffverhältnisses. Hochreines Wolframpulver wird in geeigneten Anteilen mit Bindern vermischt, und durch Pulvermetallurgie wird eine gleichmäßige Mikrostruktur erzeugt. Der Sinterprozess fördert durch die Kontrolle der hohen Temperatur und Atmosphäre (z. B. Vakuum- oder Wasserstoffsintern) die Bindung der Wolframpartikel mit dem Binder, wodurch ein hochdichtes, porenarmes Material mit verbesserter Thermoschockbeständigkeit entsteht. Wärmebehandlungsprozesse (wie Glühen oder Lösungsglühen) optimieren die Mikrostruktur weiter, beseitigen innere Spannungen und verbessern die Zähigkeit und Wärmeermüdungsbeständigkeit des Materials. Beispielsweise kann die Zugabe von Nickel und Eisen die Rissbeständigkeit des Materials erhöhen und es weniger anfällig für Risse bei hohen Temperaturen machen; die Zugabe von Kupfer erhöht die Wärmeleitfähigkeit, erleichtert die schnelle Wärmeableitung und reduziert die thermische Spannung. Während der Verarbeitungsphase werden hochpräzise Schnitte und Oberflächenpolituren eingesetzt, um die Oberflächenqualität des Wolframtargets zu optimieren, Konzentrationspunkte thermischer Spannungen zu reduzieren und die Schlagfestigkeit bei hohen Temperaturen zu verbessern.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Qualitätskontrolle nutzt Hochtemperatur-Schocktests und Temperaturwechselprüfungen, um die hochenergetische Elektronenbeschussumgebung im Betrieb von CT-Geräten zu simulieren und die Leistungsstabilität des Materials zu bewerten. Während der Prüfung werden Oberflächentemperaturänderungen mit Infrarotthermometern überwacht und Mikrostrukturen mit Mikroskopen untersucht, um die Integrität des Materials unter Hochtemperaturschock zu überprüfen. Oberflächenbehandlungen, wie z. B. Antioxidationsbeschichtungen, erhöhen die Haltbarkeit des Materials in Hochtemperaturumgebungen zusätzlich und verhindern Oxidation oder thermische Korrosion. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Energieverbrauchs bei Sintern und Wärmebehandlung sowie das Recycling von Prozessabfällen erreicht, wodurch die Anforderungen an eine umweltfreundliche Produktion erfüllt werden. Die Hochtemperatur-Schockbeständigkeit von Wolframlegierungsstäben, die durch wissenschaftliche Verfahren und strenge Tests nachgewiesen wurde, gewährleistet die Zuverlässigkeit von CT-Wolframtargets in hochintensiven Betriebsumgebungen.

#### 4.3 Anwendung von Wolframlegierungsstäben in der industriellen Fertigung

Wolframlegierungsstäbe werden aufgrund ihrer hohen Dichte, Festigkeit, Temperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit in der industriellen Fertigung eingesetzt und erfüllen die vielfältigen Anforderungen an die Materialleistung von Industrieanlagen. Die industrielle Fertigung umfasst Hochtemperaturprozesse, verschleißfeste Komponenten und Präzisionswerkzeuge. Dank ihrer hervorragenden mechanischen und funktionellen Eigenschaften werden Wolframlegierungsstäbe häufig in Komponenten wie Formen, Schneidwerkzeugen, Kühlkörpern und verschleißfesten Auskleidungen eingesetzt. Ihre hohe Dichte macht sie für Industrieanlagen geeignet, die einen Gewichtsausgleich erfordern, wie z. B. Schwingungsdämpfungsvorrichtungen. Gleichzeitig ermöglichen ihre hohe Temperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit eine stabile Leistung in Hochtemperaturprozessen und Umgebungen mit hoher Belastung. Die Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit von Wolframlegierungsstäben verschaffen ihnen Vorteile in Industriebereichen mit strengen Umweltauflagen und entsprechen dem Trend zur umweltfreundlichen Fertigung. Während der Produktion optimieren pulvermetallurgische Prozesse das Rohstoffverhältnis, die Sinterbedingungen und die Weiterverarbeitung, um die hohe Dichte und stabile Leistung des Materials zu gewährleisten. Hochpräzise Tests sind erforderlich, um die Leistung während der Anwendung zu überprüfen und die Anforderungen an Zuverlässigkeit und Haltbarkeit in der industriellen Fertigung zu erfüllen.

Typische Anwendungen von Stäben aus Wolframlegierungen in der industriellen Fertigung sind hochpräzise Formen und Schneidwerkzeuge. Dank ihrer hohen Härte und Verschleißfestigkeit halten Stäbe aus Wolframlegierungen hochbelasteten Schneid- und Umformprozessen stand und verlängern so die Lebensdauer von Formen und Schneidwerkzeugen. Beispielsweise sind Formen aus Wolframlegierungen bei der Metallumformung oder beim Kunststoffspritzguss verschleiß- und verformungsbeständig und gewährleisten so die Bearbeitungsgenauigkeit. Dank ihrer hohen Temperaturbeständigkeit eignen sie sich für Hochtemperaturprozesse, beispielsweise als Träger in Wärmebehandlungsöfen oder als Strukturkomponenten in Hochtemperatur-Verarbeitungsanlagen. Dank ihrer hohen Dichte eignen sich Stäbe aus Wolframlegierungen zudem hervorragend für industrielle Schwingungsdämpfungsvorrichtungen. Sie reduzieren Gerätevibrationen und verbessern die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Betriebsstabilität durch präzise Gewichtsverteilung. Bei der Produktion müssen Rohstoffauswahl und -dosierung entsprechend den Anwendungsanforderungen optimiert werden. Beispielsweise eignet sich eine Wolfram-Nickel-Eisen-Legierung für hochfeste Formen, während eine Wolfram-Kupfer-Legierung für hochwärmeleitfähige Wärmeableitungssubstrate geeignet ist. Der Sinterprozess gewährleistet durch die Kontrolle von Temperatur und Atmosphäre eine hohe Materialdichte und eine gleichmäßige Mikrostruktur. Durch die anschließende Verarbeitung mittels hochpräzise Schneiden, Schleifen und Oberflächenbehandlung werden Maßgenauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit optimiert, um die Montageanforderungen von Industrieanlagen zu erfüllen.

Die Qualitätskontrolle nutzt verschiedene Prüfmethode wie Härteprüfung, Zugfestigkeitsprüfung und Oberflächenrauheitsmessung, um die mechanischen Eigenschaften und die Bearbeitungsgenauigkeit des Materials zu überprüfen. Hochtemperatur-Leistungstests und Verschleißfestigkeitsprüfungen simulieren industrielle Betriebsumgebungen, um die Zuverlässigkeit des Materials in realen Anwendungen sicherzustellen. Umweltschutz wird durch optimierten Energieverbrauch in der Produktion und Abfallrecycling erreicht, wodurch Ressourcenverschwendung und Umweltbelastung reduziert werden. Der Einsatz von Stäben aus Wolframlegierungen in der industriellen Fertigung unterstützt dank ihrer hervorragenden Leistung und wissenschaftlichen Prozesskontrolle die Entwicklung hochpräziser und langlebiger Geräte.

#### 4.3.1 Betriebstemperatur von Wolframlegierungsstreifen für Hochtemperaturofen-Heizelemente

Die Betriebstemperatur von Wolframlegierungsstäben, die als Heizelemente in Hochtemperaturofen eingesetzt werden, ist ein zentraler Leistungsindikator für ihren Einsatz in der industriellen Fertigung und bestimmt direkt ihre Zuverlässigkeit und Haltbarkeit in Hochtemperaturprozessumgebungen. Hochtemperaturofen werden häufig in Prozessen wie der Metallwärmebehandlung, dem Keramiksintern und der Materialsynthese eingesetzt, wobei Heizelemente benötigt werden, die auch bei extrem hohen Temperaturen ihre strukturelle Stabilität und Funktionsintegrität bewahren. Wolframlegierungsstäbe mit ihrem hohen Schmelzpunkt und ihrer ausgezeichneten thermischen Stabilität sind ideale Materialien für Heizelemente in Hochtemperaturofen. Der hohe Schmelzpunkt von Wolfram stellt sicher, dass es in Hochtemperaturumgebungen nicht leicht schmilzt oder sich verformt. Die Zugabe von Elementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer optimiert die Zähigkeit und Beständigkeit des Materials gegen thermische Ermüdung weiter und ermöglicht es ihm, langfristiger Hochtemperaturbelastung und Temperaturwechselbeanspruchung standzuhalten. Die Bestimmung der Betriebstemperatur erfordert eine umfassende Berücksichtigung der thermischen Stabilität, der mechanischen Eigenschaften und der spezifischen Prozessanforderungen des Materials, um seine Zuverlässigkeit im Hochtemperaturofenbetrieb zu gewährleisten.

Das Erreichen von Hochtemperaturleistung beginnt im Produktionsprozess mit der Auswahl der Rohstoffe. Hochreines Wolframpulver wird in geeigneten Anteilen mit Bindeelementen wie Nickel, Eisen oder Kupfer vermischt und mittels Pulvermetallurgieverfahren eine gleichmäßige Mikrostruktur erzeugt. Der Sinterprozess ist ein wichtiger Schritt. Durch Vakuum- oder Wasserstoffsintern werden Temperatur und Atmosphäre so kontrolliert, dass die Bindung von Wolframpartikeln und Binder

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gefördert wird. Dadurch entsteht ein hochdichtes Material und die Porosität wird reduziert, was die thermische Stabilität verbessert. Wärmebehandlungsverfahren (wie Glühen) optimieren die Mikrostruktur, beseitigen innere Spannungen und erhöhen die Wärmeermüdungsbeständigkeit. Beispielsweise kann die Zugabe von Nickel und Eisen die Zähigkeit des Materials erhöhen und es weniger anfällig für Risse bei hohen Temperaturen machen; die Zugabe von Kupfer verbessert die Wärmeleitfähigkeit, unterstützt die Wärmeableitung und reduziert thermische Spannungen. Hochpräzises Schneiden und Polieren der Oberflächen während der Verarbeitung gewährleisten die Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität des Heizelements, reduzieren thermische Spannungskonzentrationen und verbessern die Hochtemperaturstabilität.

Die Qualitätskontrolle nutzt Hochtemperatur-Leistungstests und Temperaturwechselprüfungen, um die Betriebsumgebung eines Hochtemperaturofens zu simulieren und die Leistungsstabilität des Materials bei längerer Hochtemperaturbelastung zu bewerten. Während der Prüfung werden Oberflächentemperaturänderungen mit Infrarotthermometern überwacht und Mikrostrukturen mit Mikroskopen untersucht, um die Integrität des Materials bei hohen Temperaturen zu überprüfen. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Energieverbrauchs bei Sintern und Wärmebehandlung sowie das Recycling von Prozessabfällen erreicht, wodurch umweltfreundliche Fertigungsstandards eingehalten werden. Die durch wissenschaftliche Verfahren und strenge Tests nachgewiesene Hochtemperaturleistung von Stäben aus Wolframlegierungen ist eine zuverlässige Unterstützung für Heizelemente in Hochtemperaturofen. Ihre ausgezeichnete thermische Stabilität fördert die Effizienz und Zuverlässigkeit industrieller Hochtemperaturprozesse, ist ein wichtiger Wegbereiter für Fortschritte in der Materialverarbeitung und Fertigungstechnologie und demonstriert die außergewöhnliche Eignung von Stäben aus Wolframlegierungen für den Einsatz in extremen Umgebungen.

#### **4.3.2 Anforderungen an Antioxidationsbeschichtungen auf Wolframlegierungsstäben für Hochtemperaturkomponenten**

Die Anforderungen an die Antioxidationsbeschichtung von Wolframlegierungsstäben für Hochtemperaturkomponenten sind wichtige Leistungsindikatoren für deren Anwendung in der industriellen Fertigung und wirken sich direkt auf ihre Haltbarkeit und Leistungsstabilität in oxidierenden Hochtemperaturumgebungen aus. Beim Betrieb von Hochtemperaturofen und anderen Industrieanlagen sind die Heizelemente häufig sauerstoffhaltigen Atmosphären ausgesetzt, die anfällig für Oxidationsreaktionen sind und zu Oberflächen- oder Leistungseinbußen des Materials führen. Durch das Auftragen einer Antioxidationsbeschichtung können Wolframlegierungsstäbe oxidative Korrosion wirksam verhindern und ihre Lebensdauer verlängern, während ihre mechanischen Eigenschaften und Funktionsmerkmale bei hohen Temperaturen erhalten bleiben. Die Auswahl und Anwendung von Antioxidationsbeschichtungen muss entsprechend der Betriebstemperatur, den atmosphärischen Bedingungen und den Anwendungsszenarien optimiert werden, um Haftung und thermische Stabilität zwischen der Beschichtung und dem Substrat zu gewährleisten und den langfristigen Betriebsanforderungen von Geräten wie Hochtemperaturofen gerecht zu werden.

Die Herstellung einer Antioxidationsbeschichtung umfasst im Produktionsprozess die Auswahl der

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Beschichtungsmaterialien und das Auftragsverfahren. Häufig verwendete Beschichtungsmaterialien sind Aluminiumoxid, Siliziumnitrid oder Beschichtungen auf Siliziumbasis. Diese Materialien weisen eine hohe thermische Stabilität und Oxidationsbeständigkeit auf und können bei hohen Temperaturen eine Schutzschicht bilden, die die Reaktion von Sauerstoff mit dem Wolframlegierungssubstrat verhindert. Das Auftragsverfahren umfasst physikalische Gasphasenabscheidung (PVD), chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder thermisches Spritzen. Es muss sichergestellt werden, dass die Beschichtung gleichmäßig, dicht und fest mit dem Substrat verbunden ist. Die Substratvorbereitung ist entscheidend. Der Wolframlegierungsstab wird durch ein pulvermetallurgisches Verfahren zu einer hochdichten Struktur geformt und die Oberfläche poliert oder sandgestrahlt, um die Haftung der Beschichtung zu verbessern. Die Sinter- und Wärmebehandlungsprozesse optimieren die Mikrostruktur des Substrats, reduzieren Oberflächendefekte und gewährleisten die Stabilität der Beschichtung. Vor dem Auftragen der Beschichtung ist eine Ultraschallreinigung erforderlich, um Oberflächenöl und Partikel zu entfernen und so die Qualität der Beschichtung zu gewährleisten.

Die Qualitätskontrolle nutzt Hochtemperatur-Oxidationstests und Haftfestigkeitsprüfungen der Beschichtung, um die Betriebsumgebung eines Hochtemperaturofens zu simulieren und die Oxidationsbeständigkeit und Haltbarkeit der Beschichtung zu bewerten. Während der Prüfung werden die Oberfläche und die Grenzfläche der Beschichtung mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht, um Integrität und Haftung zu überprüfen. Die Schichtdicke muss präzise kontrolliert werden; eine zu hohe Dicke kann zu Rissen führen, während eine zu geringe Schichtdicke möglicherweise keinen ausreichenden Schutz bietet. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Energieverbrauchs und das Recycling von Abfallstoffen während des Beschichtungsprozesses erreicht, wodurch chemische Abfälle und Abgasemissionen reduziert werden. Antioxidationsbeschichtungen erfordern eine wissenschaftliche Entwicklung und strenge Kontrolle, um die Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsstäben in oxidierenden Hochtemperaturumgebungen zu gewährleisten. Diese ausgezeichnete Oxidationsbeständigkeit unterstützt den Langzeitbetrieb von Heizelementen in Hochtemperaturofen, fördert die Stabilität und Effizienz industrieller Hochtemperaturprozesse und ist eine wichtige Unterstützung für die Entwicklung leistungsstarker Industrieanlagen.

### 4.3.3 Härteindex von Wolframlegierungsstäben für Formeinsätze

Die Härte von Wolframlegierungsstäben, die in Formeinsätzen verwendet werden, ist eine zentrale Leistungsanforderung für ihren Einsatz in der industriellen Fertigung und bestimmt direkt ihre Haltbarkeit und Bearbeitungsgenauigkeit bei hochbelasteten Form- und Schneidprozessen. Formeinsätze werden häufig in Prozessen wie Metallstanzen, Kunststoffspritzguss und Präzisionsformen verwendet. Diese Materialien benötigen eine hohe Härte, um Verschleiß und Verformung zu widerstehen und so eine langfristige Verwendung der Form und eine gleichbleibende Bearbeitungskonsistenz zu gewährleisten. Die hohe Härte von Wolframlegierungsstäben beruht auf den natürlichen Eigenschaften von Wolfram. Die Zugabe von Elementen wie Nickel und Eisen optimiert die Zähigkeit, gleicht Härte und Rissbeständigkeit aus und ermöglicht es ihnen, hohen Belastungen und wiederholten Belastungen standzuhalten. Das Erreichen dieser Härte erfordert präzise Produktionsprozesse und strenge Qualitätsprüfungen, um sicherzustellen, dass das Material die strengen Anforderungen der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Formenherstellung erfüllt.

Das Erreichen der Härtewerte beginnt im Produktionsprozess mit der Abstimmung der Rohstoffverhältnisse und der Prozessoptimierung. Hochreines Wolframpulver wird in geeigneten Anteilen mit Bindeelementen wie Nickel und Eisen vermischt, wodurch durch Pulvermetallurgie eine hochdichte Mikrostruktur entsteht. Der Sinterprozess fördert die Bindung von Wolframpartikeln und Binder durch die Kontrolle von Temperatur und Atmosphäre, reduziert die Porosität und erhöht die Härte. Wärmebehandlungsprozesse (wie Abschrecken oder Altern) optimieren die Kornstruktur weiter und erhöhen Härte und Ermüdungsbeständigkeit. Beispielsweise kann die Zugabe von Nickel die Zähigkeit verbessern und Sprödbbruch durch übermäßige Härte verhindern. In der Verarbeitungsphase kommen hochpräzise Schneid- und Schleifverfahren mit Diamant- oder CBN-Werkzeugen zum Einsatz, um die Maßgenauigkeit und Oberflächengüte der Formeinsätze zu gewährleisten und den Einfluss von Oberflächenfehlern auf die Härte zu reduzieren.

Die Qualitätskontrolle nutzt Härteprüfungen wie Vickers (HV) oder Rockwell (HRC), um sicherzustellen, dass das Material die Härteanforderungen für Formeinsätze erfüllt. Während der Prüfung wird die Mikrostruktur mikroskopisch untersucht, um Korngröße und Defektverteilung zu bestimmen und so eine gleichmäßige Härte sicherzustellen. Die Prüfhäufigkeit richtet sich nach dem Produktionsumfang. Für Schlüsselkomponenten ist eine 100-%-Prüfung erforderlich, während bei der Massenproduktion Stichprobenprüfungen durchgeführt werden können. Umweltschutz wird durch das Recycling von Prozessabfällen und die Optimierung des Energieverbrauchs erreicht, wodurch umweltfreundliche Produktionsstandards eingehalten werden. Die Härte der Wolframlegierungsstäbe für Formeinsätze wird durch wissenschaftliche Verfahren und strenge Tests erreicht, was Haltbarkeit und Präzision beim Hochlastformen gewährleistet. Diese hervorragende Härteleistung unterstützt die Effizienz und Zuverlässigkeit des Formenbaus und trägt wesentlich zur Verbesserung der Qualität und Effizienz der industriellen Produktion bei.

#### 4.3.4 Verschleißfestigkeitsparameter von Wolframlegierungsstäben für Formeinsätze

Die Verschleißfestigkeit von Wolframlegierungsstäben für Formeinsätze ist ein wichtiger Leistungsindikator für deren Anwendung in der industriellen Fertigung und wirkt sich direkt auf ihre Lebensdauer und Verarbeitungsstabilität in Umgebungen mit hoher Reibung und hoher Belastung aus. Formeinsätze müssen hochfrequenter Reibung und mechanischen Einflüssen in Prozessen wie Metallstanzen und Kunststoffspritzguss standhalten. Daher muss das Material eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit aufweisen, um Oberflächenverschleiß und Verformung zu reduzieren und die Genauigkeit und Konsistenz der Formverarbeitung zu gewährleisten. Die hohe Härte und die optimierte Mikrostruktur von Wolframlegierungsstäben ermöglichen eine effektive Verschleißfestigkeit. Die Zugabe von Elementen wie Nickel und Eisen verbessert die Zähigkeit zusätzlich und verhindert die Entstehung von Rissen während des Verschleißes. Das Erreichen der Verschleißfestigkeit erfordert eine wissenschaftlich fundierte Prozessgestaltung und strenge Qualitätskontrollen, um die Zuverlässigkeit des Materials unter rauen Arbeitsbedingungen zu gewährleisten. Die Optimierung der Verschleißfestigkeit beginnt im Produktionsprozess mit der Auswahl der Rohstoffe. Hochreines Wolframpulver wird in

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

geeigneten Anteilen mit Bindeelementen wie Nickel und Eisen vermischt, und ein pulvermetallurgisches Verfahren erzeugt eine dichte Mikrostruktur. Der Sinterprozess kontrolliert Temperatur und Atmosphäre, um eine gleichmäßige Bindung zwischen den Wolframpartikeln und dem Binder zu gewährleisten. Dadurch werden Porosität und Defekte reduziert und die Verschleißfestigkeit verbessert. Eine Wärmebehandlung optimiert die Korngröße, erhöht Härte und Ermüdungsbeständigkeit und verhindert die Bildung von Mikrorissen beim Verschleiß. Hochpräzises Schleifen und Polieren der Oberflächen mit Diamantscheiben oder Polierflüssigkeiten optimieren die Oberflächengüte, reduzieren die Reibung und erhöhen die Verschleißfestigkeit zusätzlich. Oberflächenbehandlungen wie PVD-Beschichtungen (z. B. TiAlN ) erzeugen eine verschleißfeste Schutzschicht und verlängern so die Lebensdauer von Formeinsätzen.

Die Qualitätskontrolle nutzt Verschleißfestigkeitstests, beispielsweise mit Verschleißprüfmaschinen, die Umgebungen mit hoher Reibung simulieren, um die Verschleißrate und Oberflächenstabilität des Materials zu beurteilen. Während der Prüfung werden Oberflächenprofilometer verwendet, um Verschleißtiefe und Rauheitsänderungen zu messen und so sicherzustellen, dass die Verschleißfestigkeit den Anforderungen entspricht. Mittels mikrostruktureller Analyse (z. B. SEM) wird die abgenutzte Oberfläche untersucht, um Defekte und die Integrität der Beschichtung zu beurteilen. Umweltfreundlichkeit wird durch das Recycling von Prozessabfällen und die Optimierung des Energieverbrauchs im Beschichtungsprozess zur Reduzierung der Umweltbelastung erreicht. Die Verschleißfestigkeit von Wolframlegierungsstäben für Formeinsätze wird wissenschaftlich entwickelt und strengen Tests unterzogen, um ihre Haltbarkeit und Stabilität in Umgebungen mit hoher Reibung sicherzustellen. Diese hervorragende Verschleißfestigkeit unterstützt eine effiziente Produktion und den langfristigen Einsatz im Formenbau, leistet einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Präzision und Effizienz der industriellen Fertigung und demonstriert die breite Anwendbarkeit von Wolframlegierungsstäben im industriellen Bereich.

#### **4.4 Anwendung von Wolframlegierungsstäben in der Elektronik und im Bereich der neuen Energien**

Wolframlegierungsstäbe werden aufgrund ihrer hohen Dichte, hervorragenden Leitfähigkeit und hohen Temperaturbeständigkeit in der Elektronik- und Erneuerbare-Energien-Branche eingesetzt und erfüllen die hohen Zuverlässigkeitsanforderungen elektronischer Geräte und Erneuerbare-Energien-Systeme. Die Elektronikindustrie benötigt hochleitfähige und langlebige Materialien für Elektroden, Steckverbinder und Kühlkörper, während im Erneuerbare-Energien-Sektor Stabilität unter hohen Belastungen und in extremen Umgebungen gefordert ist, beispielsweise bei leitfähigen Komponenten von Solarzellen oder Steckverbindern für Batterien von Elektrofahrzeugen. Wolframlegierungsstäbe verbessern ihre Leitfähigkeit durch die Zugabe hochleitfähiger Elemente wie Kupfer deutlich, während die hohe Dichte und die hohe Temperaturbeständigkeit von Wolfram erhalten bleiben. Dadurch eignen sie sich für leistungsstarke elektronische Geräte und Erneuerbare-Energien-Systeme. Ihre Ungiftigkeit und Recyclingfähigkeit verschaffen ihnen Vorteile in der umweltverträglichen Elektronik- und Erneuerbare-Energien-Branche und entsprechen dem Trend zu umweltfreundlicher Produktion. Während der Produktion optimieren pulvermetallurgische Prozesse die Rohstoffverhältnisse, Sinterbedingungen und

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

die Weiterverarbeitung, um die hohe Dichte, Leitfähigkeit und stabile Leistung des Materials zu gewährleisten. Hochpräzise Tests sind erforderlich, um die Leistung während der Anwendung zu überprüfen und die Zuverlässigkeits- und Effizienzanforderungen von Elektronik- und Erneuerbare-Energien-Geräten zu erfüllen.

#### 4.4.1 Elektrische Leitfähigkeitsstandards für Wolframlegierungsstreifen, die als elektronische Elektroden verwendet werden

Der Leitfähigkeitsstandard von Wolframlegierungsstäben für elektronische Elektroden ist ein zentraler Leistungsindikator für deren Anwendung in der Elektronik und der erneuerbaren Energien und bestimmt direkt deren Stromübertragungseffizienz und Betriebsstabilität in Hochleistungsschaltungen. Elektronische Elektroden werden häufig in Halbleitern, Vakuumröhren und Batteriesystemen für erneuerbare Energien eingesetzt. Sie erfordern Materialien mit hoher Leitfähigkeit, um Energieverluste zu reduzieren und gleichzeitig strukturelle Stabilität und Haltbarkeit zu gewährleisten. Wolframlegierungsstäbe verbessern ihre Leitfähigkeit durch die Zugabe von hochleitfähigen Elementen wie Kupfer oder Nickel deutlich, während die hohe Dichte und Temperaturbeständigkeit von Wolfram erhalten bleiben. Dies ermöglicht ihnen einen effizienten Betrieb in Umgebungen mit hohen Strömen und hohen Temperaturen. Die Formulierung von Leitfähigkeitsstandards erfordert eine umfassende Berücksichtigung der Zusammensetzung, Mikrostruktur und Anwendungsszenarien des Materials, um sicherzustellen, dass sie die Anforderungen elektronischer Geräte an geringen Widerstand und hohe Effizienz erfüllen.

Das Erreichen der Leitfähigkeitsstandards beginnt im Produktionsprozess mit der Auswahl und Dosierung der Rohstoffe. Hochreines Wolframpulver wird in geeigneten Anteilen mit hochleitfähigen Bindeelementen wie Kupfer oder Nickel vermischt, wodurch durch ein pulvermetallurgisches Verfahren eine gleichmäßige Mikrostruktur entsteht. Die Zugabe von Kupfer verbessert die Leitfähigkeit deutlich und macht die Elektrode für Hochleistungselektrodenanwendungen geeignet. Nickel erhöht die Zähigkeit und verbessert gleichzeitig die Leitfähigkeit, wodurch die Elektrode vor Rissen unter hoher Belastung geschützt wird. Der Sinterprozess ist ein wichtiger Schritt. Durch die Kontrolle der hohen Temperatur und Atmosphäre in einer Vakuum- oder Wasserstoffsinterumgebung wird die Bindung von Wolframpartikeln und Bindemittel gefördert, wodurch ein hochdichtes leitfähiges Netzwerk entsteht. Porosität und Defekte werden reduziert, um die Stromübertragungseffizienz zu optimieren. In der Verarbeitungsphase werden hochpräzises Schneiden und Oberflächenpolieren mit Diamant- oder CBN-Werkzeugen eingesetzt, um die Oberflächengüte und Maßgenauigkeit der Elektrode zu gewährleisten und den Kontaktwiderstand zu reduzieren. Oberflächenbehandlungen wie chemisches Vernickeln oder Versilbern können die Oberflächenleitfähigkeit weiter verbessern und den Energieverlust an der Verbindung zwischen Elektrode und Schaltkreis reduzieren.

Die Qualitätskontrolle nutzt Leitfähigkeitstests, wie beispielsweise die Vier-Sonden-Methode, um den spezifischen Widerstand des Materials genau zu messen und zu prüfen, ob es die Standardanforderungen für elektronische Elektroden erfüllt. Während des Tests wird die Mikrostruktur mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) untersucht, um die Gleichmäßigkeit der Verteilung der leitfähigen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Phase zu bewerten und eine gleichbleibende Leistung sicherzustellen. Die Prüfhäufigkeit richtet sich nach dem Produktionsumfang. Wichtige Elektrodenkomponenten erfordern eine 100%-Prüfung, bei der Massenproduktion können Stichprobenprüfungen durchgeführt werden. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Sinter- und Verarbeitungsenergieverbrauchs sowie das Recycling von Abfallstoffen unter Einhaltung umweltfreundlicher Produktionsstandards erreicht. Die Leitfähigkeit von Wolframlegierungsstäben wird durch wissenschaftliche Prozesse und strenge Tests erreicht, was eine effiziente Stromübertragung und Gerätezuverlässigkeit elektronischer Elektroden gewährleistet. Diese hervorragende Leitfähigkeit unterstützt den effizienten Betrieb von Halbleiterbauelementen und Batteriesystemen für neue Energien, leistet einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von Elektronik- und neuen Energietechnologien und spiegelt die breite Anwendbarkeit von Wolframlegierungsstäben in Hightech-Bereichen wider.

#### 4.4.2 Anforderungen an die Lichtbogenrosionsbeständigkeit von Elektrodenstreifen aus Wolframlegierungen

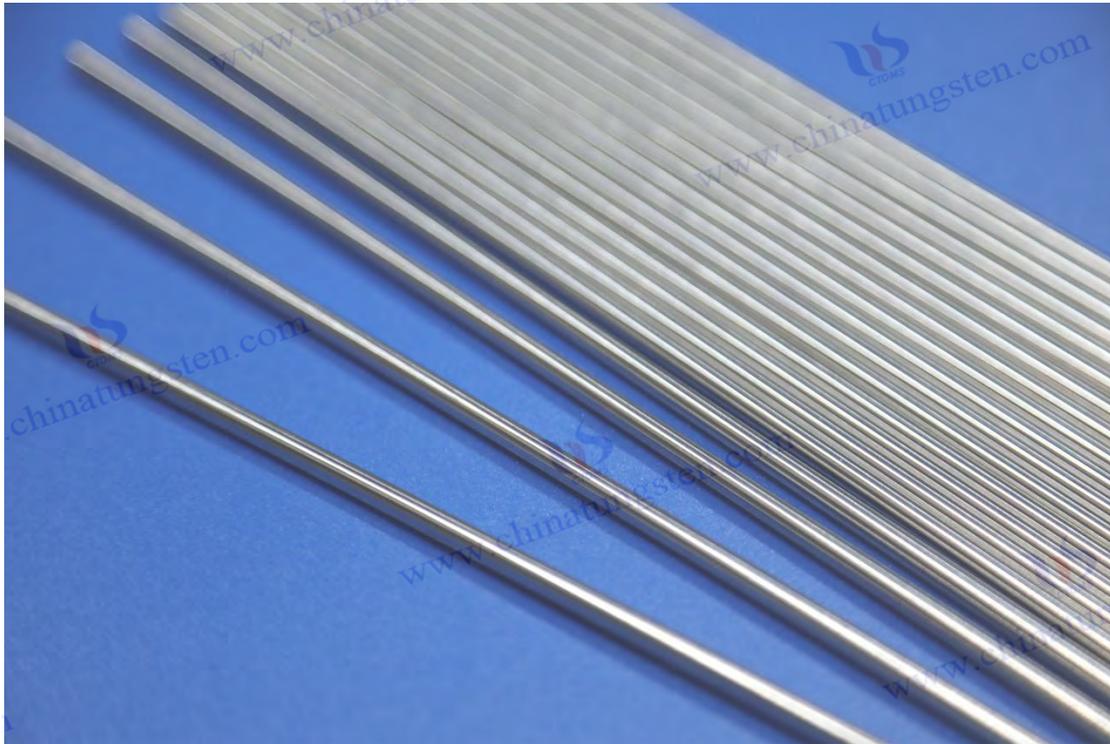
Die Anforderungen an die Lichtbogenrosionsbeständigkeit von Elektrodenstäben aus Wolframlegierungen sind ein wichtiger Leistungsindikator für ihre Anwendung in den Bereichen Elektronik und Neue Energien und wirken sich direkt auf ihre Haltbarkeit und Stabilität in Hochspannungs- und Hochstromumgebungen aus. Elektronische Elektroden in Schaltern, Plasmageräten oder Batteriesystemen für Neue Energien müssen häufig den Auswirkungen von Lichtbogenentladungen standhalten. Die hohe Temperatur und Energie des Lichtbogens können zu Oberflächenerosion, Verschleiß oder Leistungseinbußen des Materials führen. Stäbe aus Wolframlegierungen sind aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer ausgezeichneten thermischen Stabilität wirksam beständig gegen Lichtbogenrosion. Die Zugabe von Elementen wie Nickel und Kupfer verbessert die Zähigkeit und Thermoschockbeständigkeit weiter, sodass die strukturelle Integrität in Lichtbogenumgebungen erhalten bleibt. Die Erosionsbeständigkeit erfordert eine wissenschaftlich fundierte Prozessgestaltung und strenge Qualitätskontrolle, um die Zuverlässigkeit der Elektrode unter rauen Arbeitsbedingungen zu gewährleisten.

Die Optimierung der Lichtbogenrosionsbeständigkeit beginnt im Produktionsprozess mit der Rohstoffmischung. Hochreines Wolframpulver wird in geeigneten Anteilen mit Bindeelementen wie Nickel und Kupfer vermischt, und ein pulvermetallurgisches Verfahren erzeugt eine dichte Mikrostruktur. Der Sinterprozess fördert durch die Kontrolle von Temperatur und Atmosphäre (z. B. Vakuum- oder Wasserstoffsintern) eine gleichmäßige Bindung zwischen Wolframpartikeln und Binder, reduziert Porosität und Defekte und verbessert die Thermoschockbeständigkeit. Wärmebehandlungsverfahren (wie Glühen oder Lösungsglühen) optimieren die Kornstruktur, erhöhen Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit und verhindern Rissbildung bei Lichtbogenrosion. Beispielsweise verbessert die Zugabe von Kupfer die Wärmeleitfähigkeit, erleichtert die schnelle Wärmeableitung und mildert die Auswirkungen hoher Lichtbogentemperaturen. Die Zugabe von Nickel erhöht die Zähigkeit und verhindert Rissbildung bei Lichtbogenschock. Während der Verarbeitung optimieren hochpräzises Schleifen und Polieren die Oberflächengüte, reduzieren Ansatzpunkte für Lichtbogenrosion und erhöhen die Haltbarkeit. Oberflächenbehandlungen wie PVD-Beschichtungen (z. B. TiN oder CrN )

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

erzeugen eine Erosionsschutzschicht und verlängern so die Lebensdauer der Elektrode weiter.

Die Qualitätskontrolle nutzt Lichtbogenerosionstests, um eine Hochspannungsentladungsumgebung zu simulieren und die Oberflächenablationsrate und Leistungsstabilität des Materials zu bewerten. Während des Tests wird die abgetragene Oberfläche mikroskopisch untersucht und Verschleißtiefe sowie mikrostrukturelle Veränderungen analysiert, um festzustellen, ob die Lichtbogenbeständigkeit den Anforderungen entspricht. Umweltfreundlichkeit wird durch Optimierung des Energieverbrauchs bei Sinter- und Oberflächenbehandlungsprozessen sowie Recycling von Prozessabfällen zur Reduzierung der Umweltbelastung erreicht. Die Lichtbogenerosionsbeständigkeit der Elektrodenstäbe aus Wolframlegierung wurde wissenschaftlich entwickelt und strengen Tests unterzogen, um ihre Haltbarkeit und Stabilität in Hochspannungs- und Hochstromumgebungen sicherzustellen. Diese hervorragende Ablationsbeständigkeit unterstützt den effizienten Betrieb von Vakuumschaltern und Batteriesystemen für neue Energien, leistet wichtige Unterstützung für den technologischen Fortschritt in den Bereichen Elektronik und neue Energien und demonstriert die außergewöhnliche Leistung von Stäben aus Wolframlegierung in Hochlastumgebungen.



CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsstange

## Kapitel 5 Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsstäben

Wolframlegierungsstäbe erfordern eine Qualitätskontrolle während des gesamten Produktionsprozesses, von der Rohstoffauswahl bis zur Prüfung des fertigen Produkts. Diese bestimmt direkt ihre Leistung, Stabilität, Zuverlässigkeit und ihren Anwendungswert. Wolframlegierungsstäbe werden in einem pulvermetallurgischen Verfahren hergestellt, das die hohe Dichte und den hohen Schmelzpunkt von Wolfram mit der Zähigkeit und Funktionalität von Elementen wie Nickel, Eisen und Kupfer kombiniert. Sie finden breite Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik, der Elektronik und der industriellen Fertigung. Die Qualitätskontrolle erfordert den Einsatz hochpräziser Geräte und strenger Prüfmethoden, um die hohe Dichte, die mechanischen Eigenschaften und die funktionale Anpassungsfähigkeit des Materials sicherzustellen. Gleichzeitig werden Umweltschutz und Nachhaltigkeit berücksichtigt sowie Abfall und Energieverbrauch im Produktionsprozess reduziert. Die Qualitätskontrolle umfasst die Endprüfung der Rohstoffe, die Prozessüberwachung und die Leistungsüberprüfung des fertigen Produkts. Industriestandards müssen eingehalten werden, um sicherzustellen, dass das Produkt den Anforderungen anspruchsvoller Szenarien wie Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmteilen und elektronischen Elektroden entspricht.

### 5.1 Wichtige Punkte zur Rohstoffprüfung

Die Prüfung der Rohstoffe ist ein grundlegender Schritt in der Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsstäben und wirkt sich direkt auf die Leistungsstabilität nachfolgender Misch-, Press-, Sintern- und Verarbeitungsschritte aus. Die Rohstoffe für Wolframlegierungsstäbe bestehen hauptsächlich aus Wolframpulver und Bindemitteln wie Nickel, Eisen und Kupfer. Sie müssen strengen Tests unterzogen werden, um sicherzustellen, dass ihre Reinheit, Zusammensetzung und Partikelgrößenverteilung den Produktionsanforderungen entsprechen. Die Stabilität der Rohstoffqualität bestimmt die Mikrostruktur, Dichte und mechanischen Eigenschaften des Wolframlegierungsstabs, was wiederum direkt mit seiner Zuverlässigkeit in hochpräzisen Anwendungen zusammenhängt. Die Rohstoffprüfung erfordert den Einsatz hochpräziser Analysegeräte wie Spektrometer, Partikelgrößenanalytoren und Mikroskope, um die chemische Zusammensetzung und die physikalischen Eigenschaften der Rohstoffe mit wissenschaftlichen Methoden zu überprüfen. Der Prüfprozess muss den Industriestandards entsprechen, um die Genauigkeit und Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Gleichzeitig muss der Umweltschutz im Mittelpunkt stehen und die Ressourcenverschwendung durch Optimierung des Prüfprozesses und Abfallrecycling reduziert werden.

#### 5.1.1 Prüfung der Reinheit von Wolframpulver

Die Prüfung der Reinheit von Wolframpulver ist ein zentraler Bestandteil der Qualitätskontrolle von Rohstoffen und wirkt sich direkt auf die Leistungsstabilität und Anwendungszuverlässigkeit von Wolframlegierungsstäben aus. Als Hauptbestandteil von Wolframlegierungsstäben reduziert hochreines Wolframpulver die Auswirkungen von Verunreinigungen auf Mikrostruktur und mechanische Eigenschaften und gewährleistet so eine hohe Leistung in Anwendungen wie Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten und elektronischen Elektroden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verunreinigungen wie Sauerstoff, Kohlenstoff, Schwefel oder metallische Elemente können Sinterfehler, verringerte Festigkeit oder verminderte Leitfähigkeit verursachen. Daher muss die Reinheit von Wolframpulver durch hochpräzise Prüfmethode streng kontrolliert werden. Die Reinheitsprüfung wirkt sich nicht nur auf die Materialeistung aus, sondern auch auf die Umwelt- und Sicherheitsaspekte des Produktionsprozesses und verhindert die Auswirkungen schädlicher Verunreinigungen auf nachfolgende Prozesse und Anwendungen. Der Prozess der Prüfung der Reinheit von Wolframpulver umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird eine Wolframpulverprobe entnommen und chemisch gereinigt, um Oberflächenverunreinigungen zu entfernen und genaue Testergebnisse zu gewährleisten. Die Prüfung erfolgt hauptsächlich mittels induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) oder Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF), um den Gehalt der Hauptelemente und Verunreinigungen im Wolframpulver, wie Sauerstoff, Kohlenstoff, Eisen und Aluminium, genau zu bestimmen. Während der Prüfung ist eine Gerätekalibrierung erforderlich, um eine Genauigkeit im ppm-Bereich (parts per million) zu gewährleisten. Die Probenvorbereitung muss in einer sauberen Umgebung erfolgen, um externe Kontamination zu vermeiden. Die Testergebnisse werden mit Industriestandards verglichen, um zu beurteilen, ob das Wolframpulver den Produktionsanforderungen entspricht. Die Prüfhäufigkeit richtet sich nach der Rohstoffcharge. In der Regel werden für jede Charge Proben entnommen und geprüft, und wichtige Anwendungen erfordern eine vollständige Prüfung, um die Konsistenz zu gewährleisten. Optimierungsmaßnahmen umfassen den Einsatz automatisierter Prüfgeräte zur Verbesserung der Prüfeffizienz und -genauigkeit sowie die Einrichtung einer Rohstoffdatenbank zur Erfassung der Reinheitsdaten jeder Wolframpulvercharge zur Unterstützung der Qualitätsrückverfolgbarkeit. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Prüfprozesses und die Reduzierung des Einsatzes chemischer Reagenzien und der Abwasseremissionen erreicht. Die Reinheitsprüfung von Wolframpulver nutzt wissenschaftliche Methoden und strenge Kontrollen, um die Grundlage für die mikrostrukturelle Gleichmäßigkeit und Leistungsstabilität von Wolframlegierungsstäben zu legen. Diese Garantie für hohe Reinheit unterstützt die Zuverlässigkeit des Materials bei hochpräzisen Anwendungen, fördert den technologischen Fortschritt in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der Elektronik und bietet wichtige Unterstützung für die Herstellung hochwertiger Wolframlegierungsstäbe.

### 5.1.2 Überprüfung des Zusammensetzungsverhältnisses der Metallelemente (Ni/Fe/Cu)

Die Überprüfung des Zusammensetzungsverhältnisses metallischer Elemente (Nickel, Eisen und Kupfer) ist ein entscheidender Schritt in der Qualitätskontrolle von Rohstoffen und wirkt sich direkt auf die mechanischen Eigenschaften, die elektrische Leitfähigkeit und die Funktionskompatibilität von Wolframlegierungsstäben aus. Bindeelemente wie Nickel, Eisen und Kupfer verbessern die Zähigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Verarbeitungseigenschaften von Wolframlegierungen. Ihr Zusammensetzungsverhältnis muss präzise kontrolliert werden, um spezifische Anwendungsanforderungen zu erfüllen, wie z. B. die hohe Dichte von Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, die hohe Leitfähigkeit elektronischer Elektroden oder die Strahlungsresistenz von medizinischen Abschirmkomponenten. Ungenaue Zusammensetzungsverhältnisse können zu Leistungsschwankungen wie unzureichender Zähigkeit, verringerter Leitfähigkeit oder minderwertiger Dichte führen. Daher sind hochpräzise Tests erforderlich, um die Genauigkeit des Zusammensetzungsverhältnisses zu überprüfen. Bei der Überprüfung des

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zusammensetzungsverhältnisses werden auch Umweltaspekte berücksichtigt, um sicherzustellen, dass die Rohstoffe frei von schädlichen Verunreinigungen sind und die Umweltauswirkungen des Produktionsprozesses minimiert werden.

Der Prozess zur Überprüfung des Zusammensetzungsverhältnisses umfasst die folgenden Schritte: Zunächst werden Wolframpulver und Metallpulver wie Nickel, Eisen und Kupfer entsprechend dem vorgesehenen Verhältnis gewogen und die Masse jeder Komponente erfasst. Der Elementgehalt des gemischten Pulvers wird mittels Röntgenfluoreszenzspektroskopie (XRF) oder Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) analysiert, um zu überprüfen, ob die Komponentenverhältnisse dem Zielverhältnis entsprechen. Während der Prüfung muss die Homogenität der Proben sichergestellt werden, und zur Erhöhung der Repräsentativität der Ergebnisse werden Mehrfachproben (z. B. Zufalls- oder Schichtproben) verwendet. Die Testergebnisse werden mit dem vorgesehenen Verhältnis verglichen, und Abweichungen müssen auf ein Minimum beschränkt werden, um eine gleichbleibende Leistung zu gewährleisten. Die Testhäufigkeit wird durch den Produktionsumfang bestimmt; bei der Chargenproduktion können Zufallsproben verwendet werden, und zur Sicherstellung einer gleichbleibenden Qualität ist eine vollständige Prüfung der Schlüsselkomponenten erforderlich. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Dosiersysteme zur präzisen Steuerung des Wiegens und Mischens der Rohstoffe sowie die Implementierung von Geräten zur Online-Spektralanalyse, um Verhältnisabweichungen in Echtzeit zu überwachen und die Testeffizienz zu verbessern. Umweltschutz wird durch das Recycling von Testabfällen und die Optimierung des Einsatzes analytischer Reagenzien zur Reduzierung von Ressourcenverschwendung erreicht. Die Überprüfung des Metallelement-Zusammensetzungsverhältnisses durch wissenschaftliche Methoden und strenge Kontrolle gewährleistet die optimale Leistung von Wolframlegierungsstäben. Diese präzise Verhältniskontrolle unterstützt die hohe Leistung des Materials in Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten und elektronischen Elektroden. Sie bietet eine zuverlässige Grundlage für Anwendungen in Hightech-Bereichen und unterstreicht die Schlüsselrolle der Qualitätskontrolle in der Produktion.

### 5.1.3 Prüfung der Partikelgrößenverteilung des Rohmaterials

Die Prüfung der Partikelgrößenverteilung von Rohstoffen ist ein entscheidender Schritt in der Qualitätskontrolle von Rohstoffen und wirkt sich direkt auf die Mischgleichmäßigkeit, Verdichtungsdichte und Sintereigenschaften von Wolframlegierungsstäben aus. Die Partikelgrößenverteilung von Wolframpulver und Bindemitteln wie Nickel, Eisen und Kupfer bestimmt die Fließfähigkeit, Fülleigenschaften und Partikelbindung des Pulvers während des Sinterns. Die richtige Partikelgrößenverteilung verbessert die Mischgleichmäßigkeit und die Knüppeldichte, reduziert Porosität und Defekte und gewährleistet die mechanischen Eigenschaften und die Funktionsstabilität des Endprodukts. Eine ungleichmäßige Partikelgrößenverteilung kann zu ungleichmäßiger Mischung, Verdichtungsfehlern oder ungleichmäßiger Sinterschrumpfung führen und so die Qualität von Wolframlegierungsstäben beeinträchtigen. Daher ist eine strenge Kontrolle der Partikelgrößenverteilung durch hochpräzise Tests unerlässlich, um sicherzustellen, dass die Rohstoffe die Produktionsanforderungen erfüllen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Prüfprozess zur Partikelgrößenverteilung umfasst die folgenden Schritte: Zunächst werden Proben von Wolframpulver und Bindemitteln entnommen und die Partikelgrößenverteilung durch Sieben oder mit einem Laser-Partikelgrößenmessgerät gemessen. Der Partikelgrößenbereich und die Verteilungseigenschaften werden aufgezeichnet. Laser-Partikelgrößenmessgeräte liefern hochpräzise Daten zur Partikelgrößenverteilung, typischerweise im Submikrometer- bis Zehntel-Mikrometer-Bereich. Um die Messgenauigkeit zu gewährleisten, ist während des Prüfprozesses eine Kalibrierung des Geräts erforderlich. Um die Repräsentativität der Ergebnisse zu erhöhen, werden mehrere Probenahmen durchgeführt. Die Prüfergebnisse werden mit den Prozessanforderungen verglichen, um festzustellen, ob die Partikelgrößenverteilung den Misch- und Pressanforderungen entspricht. Die Prüfhäufigkeit richtet sich nach der Rohstoffcharge. In der Regel wird jede Charge beprobt. Bei kritischen Anwendungen ist eine höhere Prüfhäufigkeit erforderlich, um die Konsistenz zu gewährleisten. Optimierungsmaßnahmen umfassen den Einsatz automatisierter Geräte zur Partikelgrößenanalyse zur Verbesserung der Prüfeffizienz und Datengenauigkeit sowie die Einrichtung einer Datenbank zur Partikelgrößenverteilung, um die PartikelgröÙeneigenschaften jeder Rohstoffcharge zu erfassen und so die Prozessoptimierung und Qualitätsrückverfolgbarkeit zu unterstützen. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Prüfprozesses zur Reduzierung von Abfallaufkommen und Energieverbrauch erreicht. Durch die Prüfung der Partikelgrößenverteilung des Rohmaterials mittels wissenschaftlicher Methoden und strenger Kontrolle wird die Gleichmäßigkeit der Mischung und Sinterleistung der Wolframlegierungsstäbe sichergestellt.

## 5.2 Wichtige Punkte für die Prüfung fertiger Produkte

Die Prüfung des fertigen Produkts ist der letzte Schritt in der Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsstäben. Sie überprüft direkt, ob seine Leistung den Anwendungsanforderungen in Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und industrieller Fertigung entspricht. Die Prüfung des fertigen Produkts umfasst Schlüsselindikatoren wie Dichte, mechanische Eigenschaften, Aussehen und Abmessungen. Hochpräzise Prüfgeräte und wissenschaftliche Prüfmethoden sind erforderlich, um sicherzustellen, dass Dichte, Festigkeit, Oberflächenqualität und geometrische Genauigkeit des Produkts den Designstandards entsprechen. Dank ihrer hohen Dichte und Festigkeit sind Wolframlegierungsstäbe in der Lage, hohen Belastungen und extremen Umgebungen standzuhalten. Dies stellt jedoch auch höhere Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Prüfung. Der Prüfprozess erfordert den Einsatz modernster Geräte wie Densitometer, Universalprüfmaschinen und dreidimensionale Koordinatenmessgeräte, um die Leistungskonstanz durch einen systematischen Prüfprozess zu überprüfen. Bei der Prüfung müssen auch Umweltaspekte berücksichtigt werden, um die Ressourcenverschwendung durch Optimierung des Prüfprozesses und Recycling von Abfällen zu reduzieren.

### 5.2.1 Dichteproofung des fertigen Produkts

Die Prüfung der Dichte fertiger Produkte ist ein zentraler Bestandteil der Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsstäben und wirkt sich direkt auf deren Leistung in Anwendungen wie Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten und elektronischen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Elektroden aus. Die Dichte ist ein Schlüsselmerkmal von Wolframlegierungsstäben und bestimmt ihr Gewicht-Volumen-Verhältnis und ihre funktionale Eignung, beispielsweise für eine präzise Balance in Gegengewichtskomponenten oder eine effiziente Strahlungsabsorption in Abschirmkomponenten. Eine unzureichende Dichte kann zu Leistungseinbußen führen, beispielsweise durch unzureichende Gegengewichte oder eine geschwächte Abschirmung. Ungleichmäßige Dichte kann Spannungskonzentrationen oder mikroskopische Defekte verursachen und so die Materialzuverlässigkeit beeinträchtigen. Daher erfordert die Prüfung der Dichte fertiger Produkte hochpräzise Methoden zur Überprüfung der Dichte und Gleichmäßigkeit des Materials, um sicherzustellen, dass es die spezifischen Anwendungsanforderungen erfüllt.

Der Prozess zur Prüfung der Dichte des fertigen Produkts umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird eine Probe der fertigen Wolframlegierungsstäbe mit Ultraschall gereinigt, um Oberflächenöl und Partikel zu entfernen und so die Genauigkeit zu gewährleisten. Der Test nutzt hauptsächlich das archimedische Prinzip und verwendet ein hochpräzises Densitometer, um Masse und Volumen der Probe zu messen und die Dichte zu berechnen. Während des Testvorgangs wird das Instrument kalibriert, um eine Genauigkeit von  $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$  zu gewährleisten, und es werden mehrere Messungen durchgeführt, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu verbessern. Bei großen oder komplex geformten Wolframlegierungsstäben kann die interne Dichteverteilung mithilfe der Röntgen-Computertomographie (CT) untersucht und Defekte wie Porosität und Einschlüsse identifiziert werden. Die Testergebnisse werden mit den Konstruktionspezifikationen verglichen, um zu beurteilen, ob die Dichte den Anforderungen entspricht. Die Prüfhäufigkeit richtet sich nach Produktionsumfang und Anwendungsszenarien. Schlüsselkomponenten erfordern eine 100%-Prüfung, während für die Massenproduktion Stichprobenprüfungen (z. B. 5–10 % pro Charge) durchgeführt werden können.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehört der Einsatz automatisierter Dichteprüfgeräte zur Verbesserung von Prüfeffizienz und -genauigkeit sowie die Einrichtung einer Dichtedatenbank zur Erfassung der Dichtedaten für jede Fertigproduktcharge, um die Qualitätsrückverfolgbarkeit und Prozessoptimierung zu unterstützen. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Prüfprozesses zur Reduzierung des Reinigungsflüssigkeitsverbrauchs und der Abfallerzeugung erreicht. Die Dichteprüfung des Fertigprodukts mittels wissenschaftlicher Methoden und strenger Kontrolle gewährleistet die hohe Dichte und Leistungsstabilität von Wolframlegierungsstäben. Diese hohe Dichte unterstützt den effizienten Einsatz des Materials in Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt sowie in medizinischen Abschirmkomponenten, trägt entscheidend zur Zuverlässigkeit in Hightech-Bereichen bei und unterstreicht die Bedeutung der Qualitätskontrolle bei der Prüfung des Fertigprodukts.

### 5.2.2 Stichprobenprüfung der mechanischen Eigenschaften

Stichprobenprüfungen der mechanischen Eigenschaften sind ein entscheidender Schritt in der Qualitätskontrolle fertiger Wolframlegierungsstäbe. Sie überprüfen direkt deren Festigkeit, Zähigkeit und Zuverlässigkeit in hochbelasteten Umgebungen und machen sie so für Anwendungen wie Strukturkomponenten in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmkomponenten und Industrieformen geeignet. Wolframlegierungsstäbe müssen hohen Belastungen, Stößen oder zyklischen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Belastungen standhalten, und ihre mechanischen Eigenschaften wie Zugfestigkeit, Härte und Zähigkeit wirken sich direkt auf ihre Lebensdauer und Sicherheit aus. Schwankungen der mechanischen Eigenschaften können zu Komponentenausfällen oder Leistungseinbußen führen. Daher sind Stichprobenprüfungen notwendig, um sicherzustellen, dass die mechanischen Eigenschaften fertiger Produkte den Konstruktionsanforderungen entsprechen. Stichprobenprüfungen gleichen Prüfkosten und Qualitätssicherung aus, machen sie für die Massenproduktion geeignet und gewährleisten gleichzeitig die Leistungsstabilität wichtiger Komponenten.

Der Probenahmeprozess für mechanische Eigenschaften umfasst die folgenden Schritte: Zunächst werden Proben (z. B. 5–10 % jeder Charge) nach dem Zufallsprinzip ausgewählt, basierend auf der Produktionscharge und den Anwendungsanforderungen. Mithilfe einer Ultraschallreinigung werden Oberflächenverunreinigungen entfernt, um die Prüfgenaugigkeit zu gewährleisten. Die Prüfung umfasst hauptsächlich Zugfestigkeits-, Härte- und Schlagzähigkeitstests. Zugfestigkeit und Dehnung werden mit einer Universalprüfmaschine gemessen, die Härte mit einem Vickers-Härteprüfer (HV) oder Rockwell-Härteprüfer (HRC) und die Schlagzähigkeit des Materials mit einer Schlagprüfmaschine. Während der Prüfung muss das Gerät kalibriert werden, um die Genauigkeit zu gewährleisten. Spannungs-Dehnungs-Kurve und Härtewert werden aufgezeichnet, um die Leistungskonsistenz zu bewerten. Bei kritischen Anwendungen kann ein Rasterelektronenmikroskop (REM) verwendet werden, um die Bruchmorphologie zu analysieren und auf mikrostrukturelle Defekte zu prüfen. Die Prüfergebnisse werden mit Industriestandards verglichen, um zu überprüfen, ob sie den Anwendungsanforderungen entsprechen.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehört der Einsatz automatisierter Prüfgeräte zur Verbesserung der Probenahmeeffizienz und Datengenauigkeit. Die statistische Prozesskontrolle (SPC) dient der Analyse der Probenahmeergebnisse und der Überwachung von Leistungsschwankungen. Umweltschutz wird durch das Recycling von Testabfällen und die Optimierung des Energieverbrauchs der Geräte zur Reduzierung von Ressourcenverschwendung erreicht. Die Beprobung mechanischer Eigenschaften durch wissenschaftliche Probenahme und strenge Tests gewährleistet die Festigkeit und Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsstäben. Diese präzise Kontrolle der mechanischen Eigenschaften unterstützt die stabile Leistung des Materials in hochbelasteten Umgebungen, bietet eine zuverlässige Grundlage für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, Medizin und Industrie und fördert die Entwicklung und den Einsatz von Hochleistungskomponenten.

### 5.2.3 Aussehens- und Maßprüfung

Die Prüfung von Aussehen und Abmessungen ist ein wichtiger Aspekt der Qualitätskontrolle für fertige Wolframlegierungsstäbe und hat direkten Einfluss auf deren Montageeigenschaften, Oberflächenqualität und Funktionskompatibilität. Sie eignen sich für hochpräzise Anwendungen wie Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmkomponenten und elektronische Elektroden. Wolframlegierungsstäbe müssen präzise geometrische Abmessungen und eine hervorragende Oberflächenbeschaffenheit aufweisen, um die Kompatibilität mit komplexen Systemen und langfristige Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Optische Mängel wie Kratzer, Risse oder Farbabweichungen können

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die Korrosionsbeständigkeit und Ästhetik beeinträchtigen, während Maßabweichungen zu Montageschwierigkeiten oder Funktionsausfällen führen können. Daher ist eine hochpräzise Prüfung erforderlich, um sicherzustellen, dass Aussehen und Abmessungen des fertigen Produkts den Designstandards entsprechen.

Der Prozess der Aussehens- und Maßprüfung umfasst die folgenden Schritte: Führen Sie zunächst eine Sichtprüfung des fertigen Produkts durch, um Oberflächendefekte wie Kratzer, Risse, Oxidation oder Farbunterschiede zu identifizieren. Verwenden Sie ein optisches Mikroskop zur Vergrößerung und Beobachtung und bewerten Sie die Oberflächenqualität. Bei der Maßprüfung werden Länge, Durchmesser, Geradheit sowie Form- und Lagetoleranzen mit einem Drei-Koordinaten-Messgerät (KMG) oder einem Laserscanner gemessen. Die Oberflächenrauheit wird mit einem Profilometer gemessen, um sicherzustellen, dass der Ra-Wert den Anwendungsanforderungen entspricht. Der Prüfprozess muss in einer sauberen Umgebung durchgeführt werden, um zu vermeiden, dass Staub oder Öl die Ergebnisse beeinflussen. Die Prüfergebnisse werden mit den Konstruktionszeichnungen und Industriestandards verglichen, Abweichungen werden aufgezeichnet und die Konformität wird bewertet. Die Prüfhäufigkeit richtet sich nach Produktionsumfang und Anwendungsszenarien. Schlüsselkomponenten erfordern eine 100-%-Prüfung, und bei der Massenproduktion können Stichprobenprüfungen durchgeführt werden.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Prüfgeräte, wie z. B. optische Online-Scansysteme, zur Verbesserung der Prüfeffizienz und -genauigkeit sowie die Einrichtung einer Dimensions- und Erscheinungsbilddatenbank zur Erfassung von Prüfdaten und zur Unterstützung der Qualitätsrückverfolgbarkeit. Umweltschutz wird durch optimierte Reinigungs- und Prüfprozesse sowie die Reduzierung von chemischen Reagenzien und Energieverbrauch erreicht. Die Erscheinungsbild- und Maßprüfung mit wissenschaftlichen Methoden und strenger Kontrolle gewährleistet die geometrische Genauigkeit und Oberflächenqualität von Wolframlegierungsstäben. Diese hochpräzise Erscheinungsbild- und Maßkontrolle unterstützt die Zuverlässigkeit des Materials bei hochpräzisen Montage- und Funktionsanwendungen, leistet wichtige Unterstützung für den technologischen Fortschritt in der Luft- und Raumfahrt, Medizin und Elektronik und unterstreicht die entscheidende Rolle der Endproduktprüfung in der Qualitätskontrolle.

### 5.3 Lösungen für häufige Qualitätsprobleme

Die Behebung häufiger Qualitätsprobleme ist ein entscheidender Schritt in der Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsstäben. Durch Prozessoptimierung und Parameteranpassung sollen Probleme wie Formrisse, ungleichmäßige Dichte und Oberflächendefekte, die während der Produktion auftreten können, vermieden und so eine stabile und gleichbleibende Leistung des Endprodukts sichergestellt werden. Diese Probleme können auf eine unsachgemäße Kontrolle der Rohstoffqualität, der Prozessparameter oder der Geräteleistung zurückzuführen sein und sich direkt auf die mechanischen Eigenschaften, die geometrische Genauigkeit und die Oberflächenqualität des Wolframlegierungsstabs und damit auf seine Zuverlässigkeit in Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik und der Elektronik auswirken. Die Behebung dieser Probleme erfordert wissenschaftliche Analysen,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

experimentelle Überprüfungen und Prozessverbesserungen in Kombination mit hochpräzisen Prüfgeräten, um die Ursachen zu identifizieren und gezielte Maßnahmen zu entwickeln. Auch Umweltaspekte müssen bei der Problemlösung berücksichtigt werden, um Ressourcenverschwendung und Umweltbelastung durch Optimierung der Prozessparameter und Recycling von Abfallstoffen zu reduzieren. Die folgende Analyse konzentriert sich auf Lösungen für Formrisse, ungleichmäßige Dichte und Oberflächendefekte.

### 5.3.1 Formrisse: Pressdruck und Formschmierung anpassen

Formrisse sind ein häufiges Qualitätsproblem bei der Herstellung von Wolframlegierungsbarren und treten vor allem während des Press- und Formgebungsprozesses auf. Sie können zu unzureichender Festigkeit des Blocks oder sogar zu Ausschuss führen und sich direkt auf die Qualität des nachfolgenden Sinterns und der Weiterverarbeitung auswirken. Rissbildung wird typischerweise durch falschen Pressdruck, unzureichende Matrizenschmierung oder schlechte Pulverfließfähigkeit verursacht. Zu hoher Pressdruck kann zu Spannungskonzentrationen im Block führen und so Risse verursachen; zu niedriger Druck kann zu unzureichender Dichte führen und so die Festigkeit des Blocks beeinträchtigen. Unzureichende Matrizenschmierung erhöht die Reibung zwischen Pulver und Matrizenwand, was zu Entformungsschwierigkeiten oder Oberflächenrissen führt. Um Formrisse zu beheben, müssen der Pressdruck angepasst und die Matrizenschmierung optimiert werden, um die Formqualität des Blocks zu verbessern und seine Leistungsstabilität in nachfolgenden Prozessen sicherzustellen.

Maßnahmen zur Behebung von Formrissen umfassen die folgenden Schritte: Zunächst wird die Ursache der Rissbildung analysiert, die Rissmorphologie unter dem Mikroskop beobachtet und die aufgezeichneten Pressparameter ausgewertet, um festzustellen, ob Druck- oder Schmierungsprobleme die Ursache sind. Der Pressdruck muss entsprechend den Pulvereigenschaften und der Formkonstruktion optimiert werden. Der Druckbereich wird mit einer Präzisionspresse gesteuert, um eine gleichmäßige Dichte des Blocks zu gewährleisten und Spannungskonzentrationen zu vermeiden. Formschmierung reduziert die Reibung und verbessert die Entformungsleistung durch Zugabe einer geeigneten Menge Schmiermittel (z. B. Zinkstearat) oder durch Verwendung einer Oberflächenbeschichtung (z. B. PTFE-Beschichtung). Bei der Auswahl des Schmiermittels muss der Umweltschutz berücksichtigt werden, um zu verhindern, dass Schadstoffe nachfolgende Prozesse oder die Umwelt beeinträchtigen. Der Prozessablauf umfasst die Neugestaltung der Pressparameter, die stufenweise Druckausübung (z. B. progressives Pressen) sowie das Vorwärmen und Schmieren der Form vor dem Pressen. Die experimentelle Überprüfung erfolgt durch Probepressen kleiner Chargen, um die Integrität und Dichte des Blocks zu prüfen. Nach Optimierung der Parameter wird das Verfahren in die Massenproduktion überführt.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Pressanlagen zur Echtzeitüberwachung von Druck und Matrizenbedingungen, die Verbesserung der Parametersteuerungsgenauigkeit sowie der Einsatz von Simulationssoftware (z. B. Finite-Elemente-Analyse) zur Vorhersage der Spannungsverteilung im Pressblock und zur Optimierung des Pressprozesses. Umweltschutz wird durch das Recycling von Schrottblöcken und die Optimierung des

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schmiermittelverbrauchs erreicht, wodurch Ressourcenverschwendung reduziert wird. Umformungsrisiken werden durch Anpassung des Pressdrucks und der Matrizenschmierung entgegengewirkt, um die Qualität der Wolframlegierungsstangen sicherzustellen. Diese Prozessverbesserung verbessert die Integrität und Dichte der Blöcke und legt damit die Grundlage für das anschließende Sintern und die Weiterverarbeitung. Sie unterstützt die Zuverlässigkeit hochpräziser Anwendungen wie Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt und medizinischer Abschirmkomponenten und verdeutlicht die entscheidende Rolle der Qualitätskontrolle in der Produktion.

### 5.3.2 Ungleichmäßige Dichte: Optimierung der Sinterheizrate und Haltezeit

Ungleichmäßige Dichte ist ein häufiges Qualitätsproblem bei der Herstellung von Wolframlegierungsstäben. Sie tritt hauptsächlich während des Sinterns auf und kann zu Schwankungen der Materialeigenschaften führen und die Funktionsfähigkeit in Anwendungen wie Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten und elektronischen Elektroden beeinträchtigen. Ungleichmäßige Dichte wird in der Regel durch eine falsche Sinterheizrate oder eine unzureichende Haltezeit verursacht. Eine zu schnelle Heizrate kann zu übermäßigen Temperaturgradienten im Barren führen, was zu ungleichmäßiger Schrumpfung und Restporosität führt; eine zu langsame Heizrate kann den Sinterzyklus verlängern, den Energieverbrauch erhöhen und übermäßiges Kornwachstum verursachen. Eine unzureichende Haltezeit kann den vollständigen Ablauf des Flüssigphasensinterns behindern und zu unzureichender Dichte führen. Um das Problem der ungleichmäßigen Dichte zu lösen, müssen Sinterheizrate und Haltezeit optimiert werden, um eine hohe Materialdichte und gleichmäßige Leistung zu gewährleisten.

Maßnahmen zur Behebung von Dichteungleichmäßigkeiten umfassen Folgendes: Zunächst wird die Ursache der Dichteungleichmäßigkeit analysiert. Mittels Röntgen-CT wird die innere Porositätsverteilung des Blocks untersucht. In Kombination mit Aufzeichnungen der Sinterparameter werden Heizrate oder Haltezeit als beitragende Faktoren identifiziert. Die Optimierung der Heizrate erfordert die Entwicklung einer stufenweisen Heizkurve basierend auf der Legierungszusammensetzung und Blockgröße, die Steuerung der Rate und die Sicherstellung der Temperaturgleichmäßigkeit. Die Haltezeit wird basierend auf der Zieldichte angepasst, normalerweise während der Hochtemperaturphase, um die Flüssigkeitsfüllung und Partikelbindung zu fördern. Der Prozess umfasst die Verwendung eines hochpräzisen Sinterofens, die Überwachung der Temperaturverteilung im Ofen in Echtzeit und die Aufzeichnung von Schrumpfung und Dichteänderungen. Die experimentelle Validierung wird durch Sintertests mit kleinen Chargen erreicht, bei denen ein Densitometer und SEM zur Analyse von Dichte und Mikrostruktur verwendet werden. Die Parameter werden dann für die Massenproduktion optimiert. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz eines automatisierten Temperatursystems zur Echtzeitanpassung von Heizrate und Haltezeit sowie thermodynamische Simulationssoftware zur Vorhersage des Sinterverhaltens und zur Reduzierung der Trial-and-Error-Kosten. Umweltfreundlichkeit wird durch die Optimierung des Sinterenergieverbrauchs und die Wiederverwertung von Abgasen zur Minimierung der Umweltbelastung erreicht. Die Behebung von Dichteungleichmäßigkeiten durch optimierte Sinterheizrate und Haltezeit gewährleistet eine hohe Dichte und gleichmäßige Leistung der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsstäbe. Diese Prozessverbesserungsmaßnahme verbessert die Leistungsstabilität des Materials, unterstützt die Zuverlässigkeit anspruchsvoller Anwendungen wie Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt und elektronischer Elektroden und leistet einen wichtigen Beitrag zur Produktion hochwertiger Wolframlegierungsstäbe.

### 5.3.3 Oberflächendefekte: Verbesserung von Schleif- und Polierprozessen

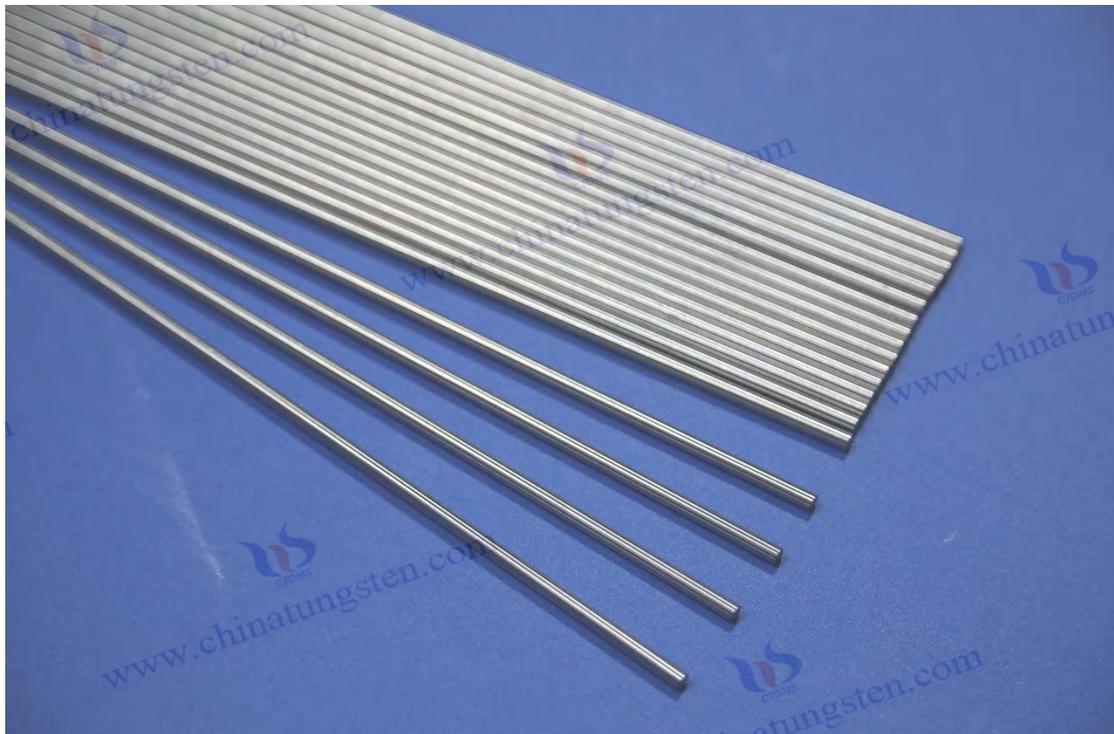
Oberflächenfehler sind häufige Qualitätsprobleme bei der Herstellung von Wolframlegierungsstäben und treten vor allem während der Verarbeitungsphase auf. Zu diesen Fehlern können Kratzer, Risse oder übermäßige Rauheit gehören, die sich direkt auf das Aussehen und die Leistung des Stabes in Anwendungen wie der Luft- und Raumfahrt, Medizin und Elektronik auswirken. Diese Fehler werden oft durch unsachgemäße Schleif- oder Polierprozesse verursacht, z. B. durch die falsche Wahl der Schleifscheibe, ungeeignete Schleifparameter oder eine unzureichende Konzentration der Polierflüssigkeit. Kratzer und Risse können die Korrosions- und Verschleißfestigkeit verringern, während übermäßige Rauheit die Montagegenauigkeit oder die elektrische Leitfähigkeit beeinträchtigen kann. Die Behebung von Oberflächenfehlern erfordert eine Verbesserung der Schleif- und Polierprozesse, um die Oberflächenbeschaffenheit und -qualität zu optimieren und sicherzustellen, dass der Stab den Anforderungen hochpräziser Anwendungen entspricht.

Maßnahmen zur Behebung von Oberflächendefekten umfassen die folgenden Schritte: Zunächst wird die Ursache des Defekts analysiert, die Oberflächenmorphologie mit einem optischen Mikroskop oder Profilometer überprüft und Probleme beim Schleif- oder Polierprozess in Kombination mit Aufzeichnungen der Verarbeitungsparameter ermittelt. Die Verbesserung des Schleifprozesses erfordert eine optimale Auswahl der Schleifscheiben (z. B. Diamantschleifscheiben für Feinschliff mit einer Körnung von 200–400 Mesh), die Kontrolle von Schleifgeschwindigkeit und Vorschub sowie die Reduzierung von Oberflächenkratzen und thermischen Schäden. Der Polierprozess stellt durch die Auswahl einer geeigneten Polierflüssigkeit (z. B. Aluminiumoxid- oder Diamantsuspension) und eines Polierpads sowie die Optimierung von Polierdruck und -zeit sicher, dass die Oberflächenrauheit dem Standard entspricht. Der Prozess umfasst den Einsatz hochpräziser Schleifmaschinen und Poliergeräte, die Echtzeitüberwachung der Oberflächenqualität und die Aufzeichnung der Verarbeitungsparameter. Die experimentelle Überprüfung erfolgt durch Verarbeitungstests in kleinen Chargen, den Einsatz von Profilometern und Mikroskopen zur Überprüfung von Oberflächendefekten und die Optimierung des Prozesses für die Anwendung in der Massenproduktion.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz automatisierter Schleif- und Polieranlagen, integriert in Online-Inspektionssysteme zur Verbesserung der Präzision der Oberflächenqualitätskontrolle sowie das regelmäßige Abrichten der Schleifscheiben und Wechseln der Polierpads zur Gewährleistung der Prozessstabilität. Umweltschutz wird durch das Recycling von Schleifabfällen und die Optimierung des Polierflüssigkeitsverbrauchs zur Reduzierung der Umweltbelastung erreicht. Oberflächendefekte werden durch verbesserte Schleif- und Polierprozesse behoben, um die hohe Oberflächenqualität und Funktionsfähigkeit von Wolframlegierungsstäben sicherzustellen. Diese Prozessverbesserung verbessert die Montagegenauigkeit und Haltbarkeit des

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materials und unterstützt die Zuverlässigkeit hochpräziser Anwendungen wie Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmkomponenten und elektronische Elektroden. Sie leistet einen wichtigen Beitrag zur Produktion hochwertiger Wolframlegierungsstäbe.



CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsstange

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

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

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

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

**Core advantages:** 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

**Precision customization:** support high density (17-19 g/cm<sup>3</sup>), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

**Quality cost:** optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

**Advanced capabilities:** advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

#### 100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

#### Service commitment

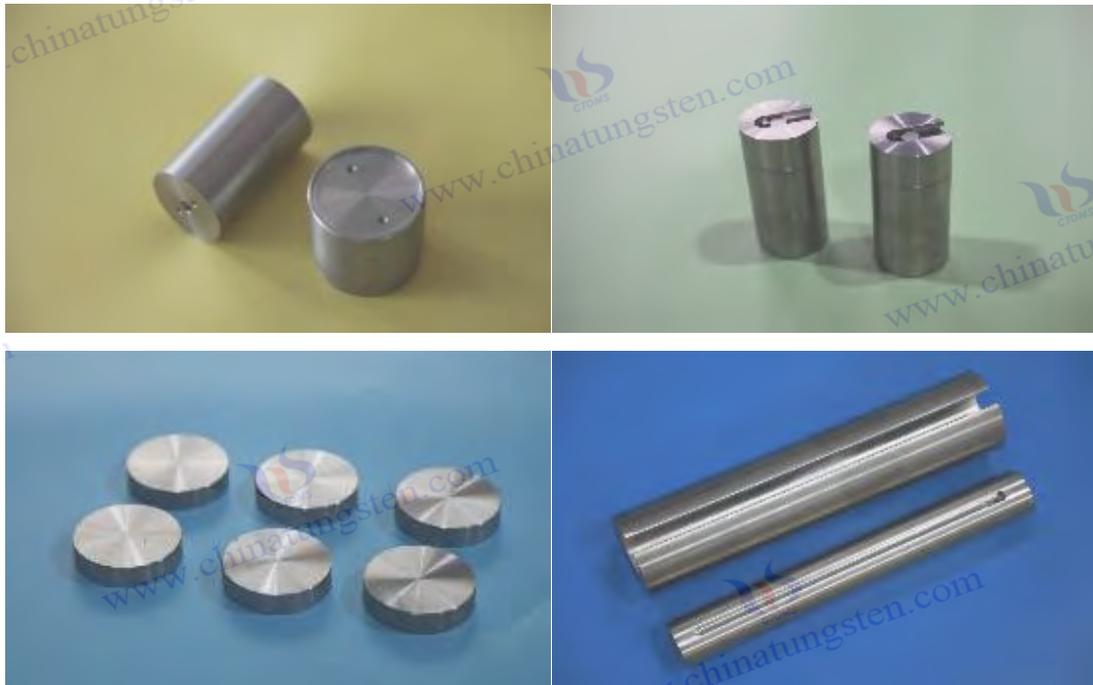
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Kapitel 6 Technologische Innovation und zukünftige Trends bei Wolframlegierungsstäben

Wolframlegierungsstäbe bieten aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit, hohen Temperaturbeständigkeit und hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit breite Anwendungsmöglichkeiten in der Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und industriellen Fertigung. Mit dem kontinuierlichen Fortschritt von Wissenschaft und Technologie und der steigenden Nachfrage der Industrie ist die technologische Innovation von Wolframlegierungsstäben zum Schlüssel für deren Leistungsoptimierung und Anwendungserweiterung geworden. Technologische Innovationen umfassen die Forschung und Entwicklung neuer Legierungszusammensetzungen, die Anwendung fortschrittlicher Fertigungstechnologien und die Einführung intelligenter Produktionsprozesse. Ziel ist es, die mechanischen Eigenschaften, die funktionale Anpassungsfähigkeit und die Produktionseffizienz von Materialien zu verbessern und gleichzeitig Umweltschutz und Nachhaltigkeit zu berücksichtigen. Durch die Kombination neuer Materialdesigns und fortschrittlicher Fertigungsprozesse können Wolframlegierungsstäbe hochpräzise und multifunktionale Anforderungen unter anspruchsvolleren Arbeitsbedingungen erfüllen und so die Entwicklung von Hightech-Bereichen unterstützen. Zukünftige Trends konzentrieren sich auf umweltfreundliche Fertigung, intelligente Produktion und den Ausbau domänenübergreifender Anwendungen, um die Wettbewerbsfähigkeit von Wolframlegierungsstäben in der globalen Industrie zu fördern.

### 6.1 Technologie-F&E-Richtung

Die technische Forschung und Entwicklung von Wolframlegierungsstäben konzentriert sich auf die Optimierung von Materialeigenschaften, die Innovation von Produktionsprozessen und die Erweiterung von Anwendungsszenarien, um der wachsenden Nachfrage nach Hochleistungsmaterialien in Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und erneuerbare Energien gerecht zu werden. Zu den Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten gehören die Entwicklung neuer Legierungszusammensetzungen, die Anwendung fortschrittlicher Fertigungstechnologien und die Entwicklung intelligenter Produktionsprozesse. Neue Legierungszusammensetzungen verbessern die mechanischen Eigenschaften, die Hochtemperaturbeständigkeit und die funktionellen Merkmale von Materialien durch die Zugabe von Seltenerdmetallen oder anderen funktionalen Additiven. Fortschrittliche Fertigungstechnologien wie der 3D-Druck ermöglichen komplexe Formen und hochpräzise Fertigung, indem sie die Grenzen traditioneller Verfahren überwinden. Und intelligente Produktion verbessert die Produktionseffizienz und Qualitätskonsistenz durch datengesteuerte und automatisierte Technologien. Diese Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte müssen mit hochpräzisen Versuchsgeräten und Simulationsanalysetechnologien kombiniert werden, um die Machbarkeit und Zuverlässigkeit technologischer Innovationen sicherzustellen. Gleichzeitig steht der Umweltschutz im Mittelpunkt, indem Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung durch Prozessoptimierung und Abfallrecycling reduziert werden.

#### 6.1.1 Forschung und Entwicklung neuer Legierungskomponenten (Seltenerd-dotierung)

Die Forschung und Entwicklung neuartiger Legierungszusammensetzungen, insbesondere der Dotierung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mit Seltenen Erden, ist ein Kernbereich der technologischen Innovation für Wolframlegierungsstäbe. Ziel dieser Forschung ist es, die mechanischen Eigenschaften, die Hochtemperaturbeständigkeit und die funktionellen Merkmale des Materials deutlich zu verbessern, um den Anforderungen anspruchsvoller Anwendungen wie Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten und elektronischen Elektroden gerecht zu werden. Seltene Erden (wie Lanthan, Cer und Yttrium) können aufgrund ihrer einzigartigen elektronischen Struktur und chemischen Aktivität die Mikrostruktur von Wolframlegierungen optimieren, die Korngrenzenfestigkeit erhöhen, die Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit verbessern und die mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen verbessern. Die Dotierung mit Seltenen Erden, bei der Spuren von Seltenen Erden in die Wolframmatrix eingebracht werden, reguliert die Korngröße, reduziert Defekte und verbessert die Zähigkeit und Wärmeermüdungsbeständigkeit des Materials. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die Anwendung von Wolframlegierungsstäben in extremen Umgebungen.

Die F&E-Umsetzung zur Dotierung mit Seltenen Erden umfasst die folgenden Schritte: Zunächst werden die Zielleistung und die Anwendungsszenarien bestimmt und die geeigneten Seltenerdelemente und deren Dotierungsverhältnisse ausgewählt. Während des F&E-Prozesses wird ein hochpräzises Dosiersystem verwendet, um die Seltenerdelemente gleichmäßig mit Wolframpulver und Bindeelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer zu mischen und so eine gleichmäßige Dotierung zu gewährleisten. Die Pulvermetallurgie ist von entscheidender Bedeutung. Durch Optimierung der Sintertemperatur und -atmosphäre (z. B. Vakuum- oder Wasserstoffsintern) werden die Seltenerdelemente mit der Wolframmatrix verbunden und bilden eine stabile Mikrostruktur. Während des Sinterns muss die Verteilung der Seltenerdelemente kontrolliert werden, um Agglomeration oder Entmischung zu vermeiden und so eine gleichmäßige Leistung zu gewährleisten. Eine Wärmebehandlung optimiert die Kornstruktur weiter und verbessert die Festigkeit und Zähigkeit des Materials. Die experimentelle Verifizierung erfolgt durch Probeproduktion in kleinen Chargen, kombiniert mit Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Röntgenbeugung (XRD) zur mikrostrukturellen Analyse, um die Leistungsverbesserungen durch die Dotierung mit Seltenen Erden zu bewerten. Die Leistungstests umfassen Zugfestigkeit, Härte, Hochtemperaturbeständigkeit und Oxidationsbeständigkeit, um sicherzustellen, dass das Material die Anwendungsanforderungen erfüllt.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören computergestützte Materialsimulationen (z. B. First-Principles-Berechnungen), um die Auswirkungen der Dotierung mit Seltenen Erden auf Mikrostruktur und Eigenschaften vorherzusagen und so die Kosten für experimentelles Ausprobieren zu senken. Außerdem werden automatisierte Dosier- und Sinteranlagen eingesetzt, um die Dotierungspräzision und Prozesskonsistenz zu verbessern. Umweltfreundlichkeit wird durch die Optimierung des Sinterenergieverbrauchs und des Abfallrecyclings erreicht, wodurch Abfall durch Seltene Erden und die Umweltbelastung reduziert werden. Die Entwicklung der Technologie zur Dotierung mit Seltenen Erden hat neue Wege zur Leistungsoptimierung von Wolframlegierungsstäben eröffnet. Die verbesserten mechanischen Eigenschaften und die hohe Temperaturbeständigkeit ermöglichen anspruchsvolle Anwendungen wie Hochtemperaturkomponenten für die Luft- und Raumfahrt sowie elektronische Elektroden. Diese technologische Innovation hat das Potenzial von Wolframlegierungsstäben für den Einsatz in extremen Umgebungen gesteigert, wichtige Unterstützung für Materialverbesserungen in

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hightech-Bereichen geleistet und die Zukunftsorientierung und den Anwendungswert der Forschung und Entwicklung neuer Legierungszusammensetzungen unter Beweis gestellt.

### 6.1.2 Anwendung fortschrittlicher Fertigungstechnologie (3D-Druck)

Der Einsatz fortschrittlicher Fertigungstechnologien, insbesondere des 3D-Drucks (Additive Fertigung), ist ein Schlüsselbereich technologischer Innovationen bei Wolframlegierungsstäben. Ziel ist es, die Einschränkungen traditioneller Pulvermetallurgieverfahren zu überwinden und die Herstellung komplexer, hochpräziser und leistungsstarker Komponenten zu ermöglichen. Durch schichtweises Ablagern von Material können im 3D-Druck Wolframlegierungskomponenten mit komplexen Geometrien direkt hergestellt werden, wodurch Materialabfall und Bearbeitungsschritte reduziert werden. Diese Technologie eignet sich für hochpräzise Anwendungen wie Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmkomponenten und elektronische Elektroden. 3D-Druck ermöglicht zudem eine kundenspezifische Produktion, die schnell auf unterschiedliche Anforderungen reagiert und gleichzeitig die Umweltfreundlichkeit und Produktionseffizienz durch Optimierung der Materialnutzung und der Produktionsprozesse verbessert. Beim 3D-Druck von Wolframlegierungsstäben müssen die technischen Herausforderungen des hohen Schmelzpunkts und der Härte von Wolfram überwunden werden, um die Dichte, die mechanischen Eigenschaften und die Oberflächenqualität der gedruckten Teile sicherzustellen.

Die Implementierung von 3D-Druckanwendungen umfasst die folgenden Schritte: Zunächst muss ein für Wolframlegierungen geeignetes 3D-Druckverfahren entwickelt werden. Anschließend muss eine geeignete Drucktechnologie wie selektives Laserschmelzen (SLM) oder Elektronenstrahlschmelzen (EBM) ausgewählt und die Geräteparameter anhand der hohen Schmelzpunkte von Wolframlegierungen optimiert werden. Die Vorbereitung des Rohmaterials erfordert die Verwendung eines Mischpulvers aus hochreinem Wolframpulver und Bindeelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer. Sphärische Pulver werden durch Aerosolisierung oder Plasmasphäroidisierung hergestellt, um die Fließfähigkeit zu verbessern und den Druckanforderungen zu entsprechen. Während des Druckvorgangs müssen Laser- oder Elektronenstrahlleistung, Scangeschwindigkeit und Schichtdicke präzise gesteuert werden, um ein gleichmäßiges Schmelzen des Materials zu gewährleisten und die Porosität zu minimieren. Nach dem Drucken wird durch heißisostatisches Pressen (HIP) oder eine Wärmebehandlung die Mikrostruktur optimiert, Eigenspannungen eliminiert und Dichte sowie mechanische Eigenschaften verbessert. Die Oberflächenbehandlung umfasst Schleifen oder Polieren, um die Oberflächenbeschaffenheit zu optimieren und sicherzustellen, dass sie den Anwendungsanforderungen entspricht.

Die Qualitätskontrolle nutzt Röntgen-CT-Scans, um gedruckte Teile auf innere Defekte zu prüfen. In Kombination mit einer SEM-Analyse der Mikrostruktur werden Dichte und Leistungskonsistenz überprüft. Leistungstests umfassen Zugfestigkeits-, Härte- und Hochtemperaturbeständigkeitstests, um sicherzustellen, dass die gedruckten Teile den Anforderungen der Luft- und Raumfahrt sowie der Elektronikbranche entsprechen. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören die Verwendung digitaler Zwillingstechnologie zur Simulation des Druckprozesses, zur Vorhersage von Defekten und zur Optimierung der Parameter sowie der Einsatz automatisierter Druckanlagen zur Verbesserung der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produktionseffizienz und -konsistenz. Umweltschutz wird durch das Recycling ungenutzten Pulvers und die Optimierung des Energieverbrauchs zur Reduzierung von Ressourcenverschwendung erreicht. Der Einsatz der 3D-Drucktechnologie eröffnet neue Möglichkeiten für die Herstellung komplexer Formen und die kundenspezifische Produktion von Wolframlegierungsstäben. Ihre hohe Präzision und Effizienz unterstützen anspruchsvolle Anwendungen wie Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt und medizinische Abschirmteile. Die Einführung dieser fortschrittlichen Fertigungstechnologie hat die Innovation von Produktionsverfahren für Wolframlegierungsstäbe gefördert, wichtige Unterstützung für die rasante Entwicklung von Hightech-Bereichen und umweltfreundlicher Fertigung geleistet und das zukünftige Potenzial technologischer Innovationen aufgezeigt.

## 6.2 Branchenentwicklungstrends

Die Entwicklungstrends der Wolframlegierungsbarrenindustrie folgen eng der globalen industriellen Nachfrage nach hoher Leistung, Nachhaltigkeit und Kosteneffizienz. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung leichter, kostengünstiger Produkte sowie der Weiterentwicklung umweltfreundlicher Produktions- und Recyclingtechnologien. Diese Trends zielen darauf ab, den doppelten Anforderungen an Materialeistung und Umweltfreundlichkeit in Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und erneuerbare Energien gerecht zu werden. Leichte, kostengünstige Produkte reduzieren Materialdichte und Produktionskosten bei gleichzeitig hoher Leistung durch Optimierung der Legierungszusammensetzung und der Herstellungsverfahren. Umweltfreundliche Produktions- und Recyclingtechnologien reduzieren Energieverbrauch und Umweltbelastung durch verbesserte Produktionsprozesse und Abfallrecycling und folgen damit dem globalen Trend zur umweltfreundlichen Fertigung. Zu den Branchenentwicklungstrends gehören außerdem intelligente Produktion und datengesteuerte Qualitätskontrolle, die durch die Einführung automatisierter Anlagen und Big-Data-Analysen die Produktionseffizienz und Produktkonsistenz verbessern. Diese Entwicklungstrends erfordern die Kombination aus hochpräzisen Experimenten, Simulationstechnologie und strenger Qualitätskontrolle, um die Machbarkeit technologischer Innovationen und die Wettbewerbsfähigkeit am Markt sicherzustellen.

### 6.2.1 Entwicklung leichter und kostengünstiger Produkte

Die Entwicklung leichter, kostengünstiger Produkte ist ein wichtiger Entwicklungstrend in der Wolframlegierungsbarrenindustrie. Dieser Trend zielt darauf ab, Materialdichte und -kosten durch Optimierung von Materialdesign und Produktionsprozessen zu reduzieren und gleichzeitig hohe Festigkeit, Temperaturbeständigkeit und funktionale Anpassungsfähigkeit beizubehalten, um die Nachfrage nach effizienten und wirtschaftlichen Materialien in Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Elektronik und neue Energien zu decken. Die hohe Dichte von Wolframlegierungsbarren eignet sich hervorragend für Gegengewichts- und Abschirmanwendungen, erhöht jedoch auch Gewicht und Kosten, was ihre Anwendung in bestimmten Leichtbausanwendungen einschränkt. Leichtbauprodukte reduzieren die Dichte und optimieren die Leistung durch Anpassung der Legierungszusammensetzung und der Herstellungsverfahren; Kosteneffizienz senkt die Herstellungskosten durch Vereinfachung des Produktionsprozesses und verbesserte Materialausnutzung. Dieser Trend steigert nicht nur die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wettbewerbsfähigkeit von Wolframlegierungsstangen auf dem Markt, sondern unterstützt auch die Leichtbauweise von Luft- und Raumfahrttausrüstung und neuen Energiesystemen.

Die Entwicklung von Leichtbauprodukten umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird die Legierungszusammensetzung optimiert, indem das Verhältnis von Wolfram zu Bindeelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer angepasst und Leichtbauelemente (wie Aluminium oder Seltene Erden) hinzugefügt werden, um die Dichte zu reduzieren und gleichzeitig Festigkeit und Zähigkeit zu erhalten. So kann beispielsweise eine Erhöhung des Nickel- oder Kupferanteils die Zähigkeit verbessern, während eine Reduzierung des Wolframgehalts die Dichte verringern kann. Die Optimierung des Produktionsprozesses nutzt pulvermetallurgische Verfahren, wobei die Misch- und Pressvorgänge präzise gesteuert werden, um die Gleichmäßigkeit des Pulvers und die Dichte der Barren zu gewährleisten. Sinterprozesse, beispielsweise Vakuumsintern, reduzieren durch optimierte Temperatur und Atmosphäre die Porosität und verbessern die Materialeigenschaften bei gleichzeitig geringerem Energieverbrauch und damit kostengünstiger. Moderne Fertigungstechnologien wie 3D-Druck oder isostatisches Pressen ermöglichen Leichtbaukonstruktionen mit komplexen Formen und reduzieren Materialabfall. Die experimentelle Verifizierung umfasst die Probeproduktion kleiner Chargen in Kombination mit Dichte- und mechanischen Eigenschaftsprüfungen, um zu beurteilen, ob die Eigenschaften der Leichtbaulegierungen den Anwendungsanforderungen entsprechen, wie z. B. der Gewichtsbalance von Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt oder der Leitfähigkeit elektronischer Elektroden.

Bei der Entwicklung kostengünstiger Produkte stehen Prozessoptimierung und Kostenkontrolle im Vordergrund. Automatisierte Produktionsanlagen und Online-Überwachungssysteme können die Produktionseffizienz steigern, manuelle Eingriffe und Ausschuss reduzieren. Prozesssimulationssoftware (z. B. die Finite-Elemente-Analyse) prognostiziert das Materialverhalten und optimiert Parameter, um die Kosten für Versuch und Irrtum zu senken. Die Qualitätskontrolle gewährleistet die stabile Leistung von Leichtbauprodukten durch Härte-, Zugfestigkeits- und Mikrostrukturanalysen (z. B. SEM). Umweltschutz wird durch Abfallrecycling und Energieoptimierung erreicht, wodurch die Anforderungen an eine umweltfreundliche Produktion erfüllt werden. Die Entwicklung leichter, kostengünstiger Produkte durch wissenschaftliches Design und Prozessverbesserungen eröffnet neue Möglichkeiten für die Anwendung von Wolframlegierungsstäben in der Luft- und Raumfahrt sowie in der erneuerbaren Energie. Dieser Trend fördert das Gleichgewicht zwischen Materialeistung und Kosten, unterstützt die Leichtbauweise und Marktförderung von Hochleistungsgeräten und demonstriert die Wettbewerbsfähigkeit von Wolframlegierungsstäben in der modernen Industrie.

### 6.2.2 Grüne Produktions- und Recyclingtechnologie

Grüne Produktions- und Recyclingtechnologien sind wichtige Entwicklungstrends in der Wolframlegierungsbarrenindustrie. Diese Technologien zielen darauf ab, die Umweltbelastung zu reduzieren und die globalen Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung zu erfüllen, indem sie Produktionsprozesse optimieren, den Energieverbrauch senken und die Abfallverwertungsquoten

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

erhöhen. Die Herstellung von Wolframlegierungsbarren umfasst energieintensive Prozesse wie Pulvermetallurgie, Sintern und Verarbeitung. Herkömmliche Verfahren können Abfall, Abgase und Abfallflüssigkeiten erzeugen und die Umwelt belasten. Grüne Produktionstechnologien reduzieren Energieverbrauch und Emissionen durch verbesserte Prozesse und Anlagen; Recyclingtechnologien maximieren die Ressourcennutzung durch die effiziente Rückgewinnung von Wolframpulver, Verarbeitungsabfällen und chemischen Reagenzien. Diese Technologien senken nicht nur die Produktionskosten, sondern verbessern auch die Anwendbarkeit von Wolframlegierungsbarren in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der Elektronik, wo strenge Umweltauflagen gelten, und treiben den Übergang der Branche zur grünen Fertigung voran.

Die Implementierung umweltfreundlicher Produktionstechnologien umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird der Pulvermetallurgieprozess durch den Einsatz effizienter Mischanlagen und energiesparender Presstechnik optimiert, um Pulverabfall und Energieverbrauch zu reduzieren. Der Sinterprozess senkt Energieverbrauch und Abgasemissionen durch den Einsatz hochpräziser Sinteröfen und optimierter Heizprofile (z. B. stufenweises Heizen). Eine Vakuum- oder Wasserstoff-Sinterumgebung kann die Oxidbildung verringern und so die Materialreinheit und Leistungsstabilität verbessern. Im Bearbeitungsprozess kommen hochpräzise Schneid- und Schleifverfahren zum Einsatz, um Abfall zu reduzieren, während bei der Oberflächenbehandlung umweltfreundliche Polierflüssigkeiten und Beschichtungsverfahren zum Einsatz kommen, um den Einsatz schädlicher Chemikalien zu reduzieren. Intelligente Produktionssysteme überwachen Energieverbrauch und Emissionen in Echtzeit und passen Prozessparameter dynamisch an, um die Energieeffizienz weiter zu verbessern. Die experimentelle Verifizierung bewertet die Wirksamkeit umweltfreundlicher Produktionsprozesse durch Energieverbrauchsanalysen und Emissionsprüfungen, um die Einhaltung von Umweltstandards sicherzustellen.

Die Implementierung der Recyclingtechnologie umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird ein Abfallrecyclingsystem eingerichtet, um Sinterabfälle, Schneidspäne und Polierabfälle zu sammeln und Wolframpulver und andere Metallelemente durch physikalische Trennung und chemische Reinigung zurückzugewinnen. Der Recyclingprozess erfordert den Einsatz hocheffizienter Trenngeräte wie Magnetabscheider oder Flotationsmaschinen, um die Reinheit der recycelten Materialien sicherzustellen. Bei der Rückgewinnung chemischer Reagenzien werden Filtrations- und Destillationstechnologien eingesetzt, um die Emissionen von Abfallflüssigkeiten zu reduzieren. Die Zusammensetzung der recycelten Materialien muss durch Spektralanalyse (z. B. XRF) überprüft und in der Produktion wiederverwendet werden, um die Rohstoffkosten zu senken. Die Qualitätskontrolle erfolgt durch Dichte-, mechanische Eigenschafts- und Mikrostrukturtests, um sicherzustellen, dass die recycelten Materialien die Produktionsanforderungen erfüllen. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Recyclingprozesses und die Reduzierung der Sekundärverschmutzung gemäß den Standards für umweltfreundliche Fertigung erreicht. Grüne Produktions- und Recyclingtechnologien unterstützen die nachhaltige Entwicklung von Wolframlegierungsstäben durch wissenschaftliche Prozesse und effizientes Recycling. Dieser Trend reduziert die Umweltbelastung des Produktionsprozesses, verbessert die Ressourcennutzung und unterstützt die umweltfreundliche Entwicklung anspruchsvoller Anwendungen wie Gegengewichte für die Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmkomponenten und elektronische

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Elektroden. Fortschritte bei grünen Produktionstechnologien treiben die ökologische Transformation der Wolframlegierungsstabindustrie voran, leisten einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der globalen Industrie und verkörpern die tiefe Integration von technologischer Innovation und Umweltbewusstsein.



CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsstange

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Kapitel 7: Auswahl und Anwendung von Wolframlegierungsstäben

Stäbe aus Wolframlegierungen bieten aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit, hohen Temperaturbeständigkeit und hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und der industriellen Fertigung. Ihre Auswahl und Anwendung erfordern eine umfassende Berücksichtigung der Materialeigenschaften, der Verarbeitungstechnologie und der Anforderungen spezifischer Anwendungsszenarien, um optimale Leistung und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Stäbe aus Wolframlegierungen werden in einem pulvermetallurgischen Verfahren hergestellt. Dabei werden der hohe Schmelzpunkt und die hohe Dichte von Wolfram mit der Zähigkeit und Funktionalität von Elementen wie Nickel, Eisen und Kupfer kombiniert, um die hohen Präzisionsanforderungen unter komplexen Arbeitsbedingungen zu erfüllen. Der Auswahl- und Verarbeitungsprozess muss streng den Industriestandards entsprechen. Durch wissenschaftliches Design und Prozesskontrolle können potenzielle Probleme gelöst werden, um die Leistungsstabilität des Materials in Szenarien wie Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten, elektronischen Elektroden und Industrieformen sicherzustellen. Gleichzeitig muss bei Auswahl und Verarbeitung auf Umweltfreundlichkeit geachtet werden, um Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung durch Prozessoptimierung und Abfallrecycling zu reduzieren.

### 7.1 Auswahl und Verarbeitung von Wolframlegierungsstäben

Die Auswahl und Verarbeitung von Wolframlegierungsstäben ist ein entscheidender Schritt, um ihre optimale Leistung in spezifischen Anwendungen sicherzustellen und wirkt sich direkt auf ihre funktionale Anpassungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Lebensdauer aus. Die Auswahl erfordert die Wahl der geeigneten Legierungszusammensetzung und -spezifikation basierend auf den Leistungsanforderungen des Anwendungsszenarios, wie Dichte, Festigkeit, Leitfähigkeit oder Hochtemperaturbeständigkeit. Die Verarbeitung erfordert hochpräzise Prozesse, um Maßgenauigkeit, Oberflächenqualität und Leistungsstabilität zu gewährleisten. Die hohe Härte und Dichte von Wolframlegierungsstäben erschweren deren Verarbeitung und erfordern den Einsatz von Spezialgeräten und optimierten Prozessparametern, um Verarbeitungsfehler zu vermeiden. Der Auswahl- und Verarbeitungsprozess muss Materialeigenschaften, Gerätekapazitäten und Kosteneffizienz umfassend berücksichtigen und gleichzeitig den Umweltschutz und eine umweltfreundliche Produktion durch Reduzierung von Abfall und Energieverbrauch im Auge behalten.

#### 7.1.1 Auswahlmethoden für verschiedene Szenarien

Die Auswahlmethode für unterschiedliche Anwendungsszenarien bildet die Grundlage für die Anwendung von Wolframlegierungsstäben und bestimmt direkt deren Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit in Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und industrieller Fertigung. Die Leistung von Wolframlegierungsstäben variiert je nach Legierungszusammensetzung, Dichte und Mikrostruktur. Der geeignete Materialtyp und die entsprechende Spezifikation müssen entsprechend den Anforderungen des jeweiligen Anwendungsszenarios ausgewählt werden. Beispielsweise erfordern

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt eine hohe Dichte und Maßgenauigkeit, medizinische Abschirmteile legen Wert auf Strahlungsbeständigkeit und Ungiftigkeit, elektronische Elektroden legen Wert auf Leitfähigkeit und Lichtbogenablationsbeständigkeit und Industrieformen erfordern eine hohe Härte und Verschleißfestigkeit. Die Auswahlmethode muss Leistungsanforderungen, Prozessdurchführbarkeit und Kosteneffizienz kombinieren und durch wissenschaftliche Analyse und experimentelle Überprüfung sicherstellen, dass das Material den Anwendungsanforderungen entspricht. Die Implementierung der Auswahlmethode umfasst die folgenden Schritte: Zunächst werden die Leistungsanforderungen des Anwendungsszenarios geklärt, z. B. Dichte und mechanische Eigenschaften von Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, der Bleigehalt medizinischer Abschirmkomponenten oder die Leitfähigkeit elektronischer Elektroden. Je nach Bedarf wird die geeignete Legierungszusammensetzung ausgewählt, z. B. Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungen für hochfeste Gegengewichte und Wolfram-Kupfer-Legierungen für hochleitfähige Elektroden. Dichte, Festigkeit und Größenspezifikationen werden anhand von Industrienormen (z. B. ASTM B777 oder GB/T 3459) ermittelt. Verarbeitbarkeit und Kosten müssen bei der Auswahl berücksichtigt werden. Beispielsweise sind Legierungen mit hohem Kupfergehalt leicht zu verarbeiten, haben aber eine geringere Dichte. Leistung und Kosten müssen daher gegeneinander abgewogen werden. Die experimentelle Überprüfung erfolgt durch Probeproduktion kleiner Chargen, um Dichte, mechanische Eigenschaften und Funktionsmerkmale des Materials zu prüfen und festzustellen, ob es den Anwendungsanforderungen entspricht. Die Auswahlresultate werden aufgezeichnet und in einer Datenbank gespeichert, um die anschließende Optimierung und Qualitätsrückverfolgbarkeit zu unterstützen.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehören der Einsatz von Materialsimulationssoftware zur Vorhersage der Leistung verschiedener Legierungszusammensetzungen, die Reduzierung von Versuchs- und Irrtumskosten sowie die Zusammenarbeit mit Lieferanten, um die Spezifikationen von Wolframlegierungsstäben an spezifische Anforderungen anzupassen. Umweltschutz wird durch die Auswahl ungiftiger Legierungskomponenten und die Optimierung des Auswahlprozesses zur Reduzierung des Abfallaufkommens erreicht. Die Auswahlmethoden für verschiedene Szenarien werden durch wissenschaftliche Analysen und Experimente verifiziert, um die Leistungsanpassung der Wolframlegierungsstäbe sicherzustellen. Diese präzise Auswahl unterstützt die Zuverlässigkeit anspruchsvoller Anwendungen wie Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, medizinische Abschirmkomponenten und elektronische Elektroden, fördert den effektiven Einsatz von Materialien in verschiedenen Bereichen und verdeutlicht die Schlüsselrolle der Auswahl bei der Verwendung von Wolframlegierungsstäben.

### 7.1.2 Häufige Probleme und Lösungen während der Verarbeitung

Häufige Probleme bei der Verarbeitung und deren Lösungen sind entscheidende Aspekte bei der Anwendung von Wolframlegierungsstäben, da sie sich direkt auf deren Maßgenauigkeit, Oberflächenqualität und Leistungsstabilität auswirken. Die hohe Härte und Dichte von Wolframlegierungsstäben erschweren deren Verarbeitung. Häufige Probleme sind Schnittrisse, Oberflächenkratzer, Maßabweichungen und Werkzeugverschleiß, die zu Leistungseinbußen oder Komponentenausfällen führen können. Um diese Probleme zu beheben und sicherzustellen, dass die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Qualitätsanforderungen an Wolframlegierungsstäbe in Anwendungen wie Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten und elektronischen Elektroden erfüllt werden, sind während der Verarbeitung hochpräzise Geräte und optimierte Prozessparameter erforderlich. Lösungen erfordern wissenschaftliche Analysen und Prozessverbesserungen in Kombination mit hochpräzisen Prüfmethoden, um Verarbeitungsfehler zu vermeiden und die Produktionseffizienz und -zuverlässigkeit zu verbessern.

Die Lösung von Bearbeitungsproblemen umfasst die folgenden Schritte: Analysieren Sie zunächst die Ursache des Problems. Untersuchen Sie die bearbeitete Oberfläche unter dem Mikroskop und bestimmen Sie anhand der Aufzeichnungen der Bearbeitungsparameter die Quelle von Rissen, Kratzern oder Abweichungen. Zum Schneiden von Rissen ist es notwendig, die Schnittparameter zu optimieren, hochsteife CNC-Werkzeugmaschinen und Diamant- oder CBN-Werkzeuge zu verwenden, Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe zu kontrollieren und thermische Spannungen und mechanische Schäden zu reduzieren. Oberflächenkratzer können durch eine Verbesserung des Schleifprozesses behoben werden. Wählen Sie geeignete Schleifscheiben (z. B. Diamantschleifscheiben mit einer Körnung von 200–400 Mesh) und Schleifflüssigkeiten, optimieren Sie Schleifgeschwindigkeiten und -drücke und stellen Sie sicher, dass die Oberflächenrauheit den Normen entspricht. Maßabweichungen werden auf  $\pm 0,01$  mm begrenzt, indem die Werkzeugmaschine und die Vorrichtung kalibriert werden und ein Online-Erkennungssystem die Bearbeitungsgenauigkeit in Echtzeit überwacht. Werkzeugverschleiß kann durch regelmäßiges Abrichten des Werkzeugs und die Verwendung verschleißfester beschichteter Werkzeuge (z. B. TiAlN -Beschichtungen) verringert werden, um die Werkzeuglebensdauer zu verlängern.

Die experimentelle Überprüfung erfolgte durch Bearbeitungstests in kleinen Chargen. Dabei kamen Koordinatenmessgeräte (KMGs) und Profilometer zum Einsatz, um Abmessungen und Oberflächenqualität zu prüfen. Nach der Optimierung der Prozessparameter wurden diese in der Massenproduktion eingesetzt. Zu den Optimierungsmaßnahmen gehörten der Einsatz automatisierter Bearbeitungsmaschinen und integrierter Online-Überwachungssysteme zur Verbesserung von Präzision und Effizienz; mithilfe der Finite-Elemente-Analyse wurde der Bearbeitungsprozess simuliert, Spannung und Verformung vorhergesagt und die Parameter optimiert. Umweltfreundlichkeit wurde durch das Recycling von Schnittabfällen und die Optimierung des Schleifflüssigkeitsverbrauchs erreicht, wodurch Ressourcenverschwendung und Umweltbelastung reduziert wurden. Die während der Bearbeitung durch wissenschaftliche Prozesse und strenge Kontrollen gelösten Probleme stellten die hohe Präzision und Qualität der Wolframlegierungsstäbe sicher. Diese Prozessverbesserung unterstützt die hochzuverlässige Anwendung des Materials in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der Elektronik, leistet wichtige Hilfestellung für eine effiziente Produktion und Leistungsoptimierung und unterstreicht die Bedeutung der Bearbeitungskontrolle bei Anwendungen mit Wolframlegierungsstäben.

## 7.2 Wartung und Sicherheit von Wolframlegierungsstäben

Wartung und Sicherheitsmanagement von Wolframlegierungsstäben sind entscheidend für deren langfristigen, stabilen Betrieb in Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik und

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

industriellen Fertigung und wirken sich direkt auf die Lebensdauer, Leistungszuverlässigkeit und Betriebssicherheit des Materials aus. Die Wartung umfasst die Kontrolle der Lagerumgebung und regelmäßige Inspektionen, um eine Verschlechterung der Materialleistung zu verhindern; das Sicherheitsmanagement umfasst Schutzmaßnahmen während des Betriebs und Abfallentsorgungsvorschriften, um die Sicherheit des Personals und die Umweltverträglichkeit zu gewährleisten. Die hohe Dichte und Härte von Wolframlegierungsstäben erfordern besondere Aufmerksamkeit hinsichtlich Feuchtigkeit, Korrosion und mechanischer Beschädigung während der Lagerung und des Betriebs. Die Abfallentsorgung muss den Umweltvorschriften entsprechen, um eine Verschmutzung durch gefährliche Stoffe zu vermeiden. Wartung und Sicherheitsmanagement müssen mit hochpräzisen Prüfgeräten und wissenschaftlicher Prozessgestaltung kombiniert werden, um die Stabilität der Materialleistung und die Anwendungssicherheit zu gewährleisten. Gleichzeitig sollte dem Umweltschutz Rechnung getragen werden, und Ressourcenverschwendung und Umweltbelastung können durch optimierte Managementprozesse und Recycling reduziert werden.

### 7.2.1 Kernanforderungen an Lagerung und Instandhaltung

Die wichtigsten Anforderungen an Lagerung und Wartung sind entscheidende Aspekte bei der Wartung und Handhabung von Wolframlegierungsstäben. Durch wissenschaftliche Kontrolle der Lagerumgebung und regelmäßige Wartungsmaßnahmen sollen Leistungseinbußen des Materials verhindert, die Lebensdauer verlängert und die Zuverlässigkeit in anspruchsvollen Anwendungen wie Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmkomponenten, elektronischen Elektroden und Industrieformen sichergestellt werden. Aufgrund ihrer hohen Dichte und Härte reagieren Wolframlegierungsstäbe empfindlich auf die Lagerumgebung. Feuchtigkeit, korrosive Gase oder mechanische Einwirkungen können zu Oberflächenoxidation, Korrosion oder Schäden führen und so ihre mechanischen Eigenschaften und Funktionsmerkmale beeinträchtigen. Wartungsmaßnahmen wie regelmäßige Inspektion und Oberflächenbehandlung erhalten die Leistungsstabilität und die optische Qualität des Materials. Lagerung und Wartung müssen mit wissenschaftlicher Prozessgestaltung und Umweltkontrolle kombiniert werden, um die Zuverlässigkeit des Materials bei langfristiger Lagerung und Verwendung zu gewährleisten.

Die wichtigsten Lagerungsanforderungen sind: Wolframlegierungsstäbe sollten trocken und gut belüftet gelagert werden, um feuchtigkeitsbedingte Oberflächenoxidation zu vermeiden. Der Lagerbereich sollte frei von sauren, alkalischen oder korrosiven Gasen sein. Um das Material vor Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit zu schützen, sollten versiegelte Verpackungen (z. B. Vakuum-Plastikbeutel oder feuchtigkeitsdichte Kartons) verwendet werden. Bei längerer Lagerung sollten stoßfeste Verpackungsmaterialien (z. B. Schaumstoffpolster oder Holzkisten) verwendet werden, um die Wolframlegierungsstäbe zu sichern und mechanische Stöße zu vermeiden, die zu Kratzern oder Rissen auf der Oberfläche führen können. Zu den Wartungsmaßnahmen gehören regelmäßige Inspektionen, optische Prüfungen und Funktionstests alle 3–6 Monate. Dabei wird die Oberfläche mit einem optischen Mikroskop auf Anzeichen von Oxidation, Kratzern oder Korrosion geprüft. Die Leistungsstabilität wird bei Bedarf mit einem Dichtemessgerät oder Härteprüfer überprüft. Leichte Oberflächenoxidationen können durch Polieren behoben werden. Schwere Schäden sollten dokumentiert und auf ihre weitere

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verwendungsfähigkeit geprüft werden.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehört die Einführung eines digitalen Lagerverwaltungssystems zur Erfassung von Lagerumgebungsparametern (wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit) und Inspektionsdaten zur Unterstützung der Qualitätsrückverfolgbarkeit. Der Einsatz automatisierter Überwachungsgeräte überwacht die Lagerumgebung in Echtzeit und warnt Benutzer bei abnormalen Bedingungen. Umweltschutz wird durch die Optimierung des Energieverbrauchs der Lagerung und die Verwendung recycelbarer Verpackungsmaterialien zur Reduzierung von Ressourcenverschwendung erreicht. Die wichtigsten Lager- und Wartungsanforderungen gewährleisten die Leistungsstabilität und den langfristigen Einsatz von Wolframlegierungsstäben durch wissenschaftliche Prozessgestaltung und Umweltkontrolle. Dieser Managementansatz unterstützt die hochzuverlässigen Anwendungen des Materials in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der Elektronik, trägt entscheidend zur Verlängerung der Materiallebensdauer und zur Sicherstellung einer gleichbleibenden Leistung bei und unterstreicht die Bedeutung des Wartungsmanagements bei Anwendungen mit Wolframlegierungsstäben.

### 7.2.2 Sicherheitsvorschriften für Betrieb und Entsorgung

Sicherheitsvorschriften für Betrieb und Abfallentsorgung bilden den Kern des Sicherheitsmanagements für Wolframlegierungsstäbe. Sie zielen darauf ab, die Sicherheit des Bedieners, den Betrieb der Geräte und die Umweltfreundlichkeit durch wissenschaftlich fundierte Schutzmaßnahmen und umweltfreundliche Behandlungsverfahren zu gewährleisten. Bei der Verarbeitung, Montage und Verwendung von Wolframlegierungsstäben können Schneid-, Schleif- oder Hochtemperaturvorgänge erforderlich sein, die Verletzungsrisiken durch Staub, scharfe Kanten oder hohe Temperaturen bergen. Die Abfallentsorgung erfordert eine ordnungsgemäße Abfallbehandlung, um Umweltverschmutzung zu vermeiden. Die Sicherheitsvorschriften müssen Schutzanforderungen während des Betriebs, das klassifizierte Recycling und die konforme Entsorgung von Abfällen abdecken und den hohen Sicherheits- und Umweltauflagen der Luft- und Raumfahrt-, Medizin- und Elektronikindustrie gerecht werden. Betrieb und Abfallentsorgung müssen die Sicherheit des Personals und die ökologische Nachhaltigkeit durch Schulungen, Geräteschutz und ein Abfallrecyclingsystem gewährleisten.

Die Betriebssicherheitsvorschriften umfassen folgende Maßnahmen: Während des Verarbeitungsprozesses müssen Bediener Schutzausrüstung wie Staubmasken, Schutzbrillen und verschleißfeste Handschuhe tragen, um das Einatmen von Wolframlegierungsstaub oder Kratzer durch scharfe Kanten zu vermeiden. Die Verarbeitungsgeräte müssen mit einem effizienten Staubabsaugsystem ausgestattet sein, um den beim Schneiden und Schleifen entstehenden Staub aufzufangen und so die Ausbreitung von Staub und Gesundheitsrisiken zu verhindern. Hochtemperaturvorgänge (wie Schweißen oder Wärmebehandlung) erfordern das Tragen von wärmeisolierender Schutzkleidung und Hochtemperaturgeräten, um die Sicherheit des Personals zu gewährleisten. Die Betriebsumgebung muss gut belüftet und mit Luftreinigungsgeräten ausgestattet sein, um die Konzentration von Staub und schädlichen Gasen zu reduzieren. Vor der Inbetriebnahme muss das Personal eine professionelle Schulung erhalten und mit den physikalischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben und den Verarbeitungsvorgehens vertraut sein, um Geräteschäden oder Verletzungen durch unsachgemäße

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bedienung zu vermeiden. Die Wartung der Geräte erfordert regelmäßige Inspektionen, um die Stabilität und Sicherheit der Verarbeitungsgeräte zu gewährleisten.

Die Sicherheitsvorschriften zur Abfallentsorgung umfassen die folgenden Schritte: Zunächst werden Abfälle aus Wolframlegierungsstangen wie Bohrspäne, Schleifabfälle und nicht qualifizierte Fertigprodukte gesammelt und in speziellen, versiegelten Behältern gelagert, um eine Streuung und Umweltverschmutzung zu verhindern. Das Abfallrecycling umfasst eine physikalische Trennung (z. B. Magnetscheidung oder Siebung) und eine chemische Reinigung, um Elemente wie Wolfram, Nickel, Eisen und Kupfer zur Wiederverwendung in der Produktion zu extrahieren. Bei der chemischen Behandlung müssen umweltfreundliche Reagenzien verwendet werden, und Abfallflüssigkeiten müssen durch Filtration und Destillation zurückgewonnen werden, um die Emissionen zu reduzieren. Die Abfallentsorgung muss den Umweltvorschriften (z. B. GB/T 30509) entsprechen und von konformen Recyclingunternehmen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass Abfälle nicht in den allgemeinen Abfallstrom gelangen. Die Qualitätskontrolle überprüft die Zusammensetzung der recycelten Materialien durch Spektralanalyse (z. B. XRF), um ihre Eignung für die Wiederverwendung sicherzustellen. Aufzeichnungen zur Abfallentsorgung müssen archiviert werden, um Umweltprüfungen und die Rückverfolgbarkeit der Qualität zu unterstützen.

Zu den Optimierungsmaßnahmen gehört die Einführung eines automatisierten Abfallrecyclingsystems zur Verbesserung der Recyclingeffizienz und Materialausnutzung sowie die Nutzung eines digitalen Managementsystems zur Erfassung von Abfallentsorgungsprozessen und Recyclingdaten zur Gewährleistung der Einhaltung gesetzlicher Vorschriften. Umweltschutz wird durch die Reduzierung des Einsatzes chemischer Reagenzien und die Optimierung des Energieverbrauchs bei der Abfallbehandlung sowie die Einhaltung umweltfreundlicher Produktionsanforderungen erreicht. Sicherheitsvorschriften für Betrieb und Abfallentsorgung gewährleisten durch wissenschaftlich fundierte Schutzmaßnahmen und umweltfreundliche Verfahren die sichere Verwendung und Umweltfreundlichkeit von Wolframlegierungsstäben. Dieser Managementansatz unterstützt die hochsichere Anwendung des Materials in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der Elektronik, leistet einen wichtigen Beitrag zum Personenschutz und zur nachhaltigen Entwicklung und verdeutlicht den hohen Stellenwert des Sicherheitsmanagements bei der Anwendung von Wolframlegierungsstäben.



CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsstange

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

**Anhang:**

Terminologie für Wolframlegierungsstäbe

der Begriff	Definition
Wolframlegierungsstange	Ein stabförmiges Material mit Wolfram als Hauptbestandteil, das im Pulvermetallurgieverfahren hergestellt und mit Bindeelementen wie Nickel, Eisen und Kupfer vermischt wird. Es zeichnet sich durch hohe Dichte, hohe Festigkeit, hohe Temperaturbeständigkeit und hervorragende Leitfähigkeit aus. Es wird häufig in Gegengewichten in der Luft- und Raumfahrt, medizinischen Abschirmteilen, elektronischen Elektroden und Industrieformen verwendet.
Pulvermetallurgie	Ein Verfahren zur Herstellung von metallischen Werkstoffen oder Komponenten durch Mischen, Pressen und Sintern von Metallpulvern bei hohen Temperaturen. Es wird zur Herstellung von Wolframlegierungsstäben verwendet, um eine hohe Dichte und eine gleichmäßige Mikrostruktur zu gewährleisten.
Hohe Dichte	Das Hauptmerkmal von Wolframlegierungsstäben ist ihre hohe Masse pro Volumeneinheit. Sie werden häufig in Anwendungen eingesetzt, die ein hohes Gewicht-Volumen-Verhältnis erfordern, wie z. B. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt und medizinische Strahlenschutzvorrichtungen.
Sintern	Der Prozess des Erhitzens des verdichteten Pulverblocs auf hohe Temperaturen, um die Partikel zu einem dichten Material zu verbinden. Das Sintern von Wolframlegierungsstäben wird üblicherweise in einer Vakuum- oder Wasserstoffumgebung durchgeführt, um die Dichte und Leistungsstabilität zu verbessern.
Flüssigphasensintern	Während des Sinterprozesses bilden Bindeelemente (wie Nickel und Kupfer) bei hohen Temperaturen eine flüssige Phase, die die Bindung der Wolframpartikel und das Füllen der Poren fördert, wodurch die Dichte und die mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben verbessert werden.
Dichte	Das Verhältnis der Dichte von Wolframlegierungsstäben zur theoretischen Dichte spiegelt den Grad der Porosität und Defekte im Material wider und ist ein wichtiger Indikator zur Bewertung der Sinterqualität und Leistungsstabilität.
Mikrostruktur	Zur Bewertung der Materialeigenschaften werden Korngröße, Phasenverteilung und Defekteigenschaften in Wolframlegierungsstäben üblicherweise mittels

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

	Rasterelektronenmikroskopie (REM) oder Röntgenbeugung (XRD) analysiert.
Zugfestigkeit	Die Fähigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen, unter Zugbelastung einem Bruch zu widerstehen, ist ein wichtiger Indikator für die Bewertung ihrer mechanischen Eigenschaften und eignet sich für Szenarien mit hoher Belastung, wie etwa Strukturteile in der Luft- und Raumfahrt und Industrieformen.
Härte	Die Widerstandsfähigkeit von Wolframlegierungsstäben gegenüber Oberflächenverformungen oder Kratzern wird üblicherweise durch Vickers-Härteprüfungen (HV) oder Rockwell-Härteprüfungen (HRC) gemessen und eignet sich für Industrieformen und verschleißfeste Teile.
Zähigkeit	Die Fähigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen, Energie zu absorbieren und Brüchen bei Stößen oder hoher Belastung zu widerstehen, wird durch die Zugabe von Elementen wie Nickel und Eisen optimiert, wodurch sie für Umgebungen mit dynamischer Belastung geeignet sind.
Elektrische Leitfähigkeit	Die Fähigkeit von Stäben aus Wolframlegierungen, elektrischen Strom zu übertragen, wird üblicherweise durch die Zugabe hochleitfähiger Elemente wie Kupfer optimiert, wodurch sie sich für elektronische Elektroden und neue Energiebatterieanschlüsse eignen.
Lichtbogenresistenz	Stäbe aus Wolframlegierung eignen sich aufgrund ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber Oberflächenerosion und Verschleiß bei Hochspannungslichtbogenentladungen für Elektroden in Vakuumschaltern und Plasmageräten.
Bleiäquivalent	Die Dicke von Wolframlegierungsstreifen entspricht der von Blei in Strahlenschutzvorrichtungen, was ihre Strahlungsbeständigkeit widerspiegelt. Sie werden häufig zur Abschirmung von Komponenten medizinischer Strahlentherapie- und Bildgebungsgeräte eingesetzt.
Strahlungsabsorptionseffizient	Die Fähigkeit von Wolframlegierungsstreifen, die Intensität hochenergetischer Strahlung (wie Röntgen- oder Gammastrahlen) zu reduzieren, spiegelt ihre Abschirmeigenschaften wider und eignet sich für den medizinischen und industriellen Strahlenschutz.
Dotierung mit seltenen Erden	Bei dieser Technologie werden Spuren seltener Erden (wie Lanthan, Cer und Yttrium) zu Wolframlegierungen hinzugefügt, um die Mikrostruktur zu optimieren, die Festigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit zu erhöhen und die Materialeistung zu verbessern.
3D-Druck	Eine additive Fertigungstechnologie, die durch schichtweises

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

	Abscheiden von Material komplex geformte Komponenten aus Wolframlegierungen herstellt und so eine hochpräzise und kundenspezifische Produktion ermöglicht, die für die Luft- und Raumfahrt sowie die Medizin geeignet ist.
Heißisostatisches Pressen	Die Technologie der Verdichtung von Wolframlegierungsblöcken bei hohen Temperaturen und hohem Druck wird verwendet, um Porosität und Defekte zu beseitigen und die Materialdichte und -leistung zu verbessern.
Antioxidationsbeschichtung	Eine Schutzschicht (wie Aluminiumoxid oder Siliziumnitrid), die auf die Oberfläche von Stäben aus Wolframlegierungen aufgetragen wird, dient dazu, Oxidation und Korrosion bei hohen Temperaturen zu verhindern und so die Lebensdauer des Materials in Hochtemperaturumgebungen zu verlängern .
Oberflächenrauheit	eines Wolframlegierungsstabs, die üblicherweise durch den Ra-Wert gemessen wird (z. B. Ra 0,2 - 0,4 $\mu\text{m}$ ) , beeinflusst seine Korrosionsbeständigkeit und Montageleistung.
Geometrische Toleranzen	Die zulässigen Abweichungen in Größe, Form und Position von Wolframlegierungsstäben spiegeln ihre geometrische Genauigkeit wider und sind für die Montageanforderungen von Gegengewichten und medizinischen Abschirmteilen in der Luft- und Raumfahrt geeignet.
Grüne Fertigung	Bei der Herstellung von Wolframlegierungsstäben erreichen wir durch die Optimierung des Energieverbrauchs, das Recycling von Abfällen und die Reduzierung von Emissionen eine umweltfreundliche und nachhaltige Produktionsmethode, die den modernen Industrietrends entspricht.
Qualitätsrückverfolgbarkeit	Durch die Aufzeichnung von Rohstoffen, Prozess- und Testdaten wird ein Rückverfolgbarkeitssystem für den gesamten Produktionsprozess von Wolframlegierungsstäben eingerichtet, um die gleichbleibende Qualität und Konformität sicherzustellen.
Pressformen	Der Prozess des Pressens von Wolframlegierungspulver unter hohem Druck zu Barren in der Pulvermetallurgie, um die ursprüngliche Form zu erhalten und die Dichte zu erhöhen.
Wärmebehandlung	Der Prozess des Erhitzens und Abkühlens von Wolframlegierungsstäben zur Optimierung der Mikrostruktur, Beseitigung innerer Spannungen und Erhöhung der Festigkeit und Zähigkeit.
Recycling	Abfallmaterialien (wie Schneidspäne und Schleifabfälle) aus der Produktion von Wolframlegierungsstäben werden gesammelt, getrennt und gereinigt und in der Produktion wiederverwendet, um Kosten und Umweltbelastung zu reduzieren.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Verweise

### Chinesische Referenzen

- [1] Li Qiang, Zhang Wei, Wang Zhigang. Forschungsfortschritt und Anwendung von Wolframlegierungen[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2020, 38 (5) : 723-730.
- [2] Chen Minghua, Liu Yang, Zhang Li. Prozessoptimierung von hochdichter Wolframlegierung, hergestellt durch Pulvermetallurgie[J]. Wärmebehandlung von Metallen, 2019, 44 (3) : 88-94.
- [3] Wang Jianguo, Zhao Ming, Li Xiaodong. Anwendung und Leistungsanalyse von Wolframlegierungen im Luft- und Raumfahrtbereich[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2021, 41 (2) : 56-63.
- [4] Zhang Hua, Sun Feng, Yang Lina. Studie zur Mikrostruktur und den mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsstäben[J]. Journal of Inorganic Materials, 2018, 33 (6) : 645-652.
- [5] Liu Zhiqiang, Xu Feng, Wang Xiaohong. Forschung zur Anwendung von Wolframlegierungen im medizinischen Strahlenschutz[J]. Nuclear Technology, 2022, 45 (4) : 112-119.
- [6] Yang Jun, Li Ming, Zhang Qiang. Leistungsoptimierung und Anwendungsaussichten von mit Seltenen Erden dotierten Wolframlegierungen[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2020, 49 (7) : 2345-2352.
- [7] Zhou Ping, Zhang Lihua, Chen Gang. Forschungsfortschritt der grünen Fertigungstechnologie von Wolframlegierungsstäben[J]. Materials Review, 2021, 35 (9) : 9012-9018.
- [8] Wang Tao, Li Na, Liu Yang. Anwendung der 3D-Drucktechnologie bei der Herstellung von Wolframlegierungen[J]. Additive Manufacturing Technology, 2023, 12 (2) : 45-52.

### Englische Referenzen

- [1] Deutsch, RM Pulvermetallurgie und Partikelwerkstoffverarbeitung[M]. Metal Powder Industries Federation, 2016.
- [2] Lassner, E., Schubert, WD Wolfram: Eigenschaften, Chemie, Technologie des Elements, Legierungen und chemische Verbindungen[M]. Springer, 2019.
- [3] Zhang, J., Zhou, Y., Wang, X. Hochdichte Wolframlegierungen: Herstellung und Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2020, 29(4): 2156-2164.
- [4] Smith, AJ, Johnson, PR Fortschritte bei Wolframlegierungen für den medizinischen Strahlenschutz[J]. Strahlenschutzdosimetrie, 2018, 182(3): 321-329.
- [5] Liu, W., Ma, Y., Huang, Z. Mikrostruktur und mechanische Eigenschaften von mit Seltenen Erden dotierten Wolframlegierungen[J]. Materialwissenschaft und -technik: A, 2021, 805: 140567.
- [6] Chen, L., Zhang, T., Li, H. Additive Fertigung von Wolframlegierungen mittels selektivem Laserschmelzen[J]. Additive Manufacturing, 2022, 49: 102456.
- [7] Wang, Q., Yang, F., Li, J. Grüne Fertigungstechnologien für Wolfram-basierte Materialien[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 265: 121789.
- [8] Brown, DR, Clark, SM Wolframlegierungen in Hochtemperaturanwendungen: Eigenschaften und Leistung[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2019, 83: 104972.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT