

# Enzyklopädie der Wolfram-Kupferstäbe

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 Seltene Erden-  
Industrie

## Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung der intelligenten, integrierten und flexiblen Entwicklung und Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, 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 Schwerpunkt auf den Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Industrien. CTIA GROUP nutzt fast drei Jahrzehnte umfassende Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän und übernimmt die außergewöhnlichen Entwicklungs- und Fertigungskapazitäten, die erstklassigen Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihres Mutterunternehmens. Dadurch wird das Unternehmen 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 Wolfram und Molybdän in mehr als 20 Sprachen eingerichtet, 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 einem anerkannten globalen und maßgeblichen Informationszentrum für die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Branche entwickelt, das rund um die Uhr mehrsprachige Nachrichten, Produktleistung, Marktpreise und Markttrenddienste bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die individuellen Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen. Unter Einsatz von KI-Technologie entwickelt und produziert sie gemeinsam mit den Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Unternehmen bietet integrierte Dienstleistungen für den gesamten Prozess, vom Formenöffnen und der Probeproduktion bis hin zur Endbearbeitung, Verpackung und Logistik. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE F&E-, Design- und Produktionsdienstleistungen für über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten für mehr als 130.000 Kunden weltweit bereitgestellt und so den Grundstein für eine kundenspezifische, flexible und intelligente Fertigung gelegt. Auf dieser Grundlage baut die CTIA GROUP die intelligente Fertigung und integrierte Innovation von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets weiter aus.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer über 30-jährigen Branchenerfahrung auch Fachwissen, Technologien, Wolframpreise und Markttrendanalysen im Zusammenhang mit Wolfram, Molybdän und seltenen 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 erntet 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 einer führenden Position in der globalen Herstellung von Wolfram- und Molybdänprodukten und bei Informationsdienstleistungen.



### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

### 1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

### 2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

**High Thermal Conductivity:** The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

**High Strength and High-Temperature Resistance:** The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

**Resistance to Arc Erosion:** The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

**Low Thermal Expansion Coefficient:** Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

**Excellent Machinability:** Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

### 3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

### 4. Advantages of Tungsten Copper Rod

**High-Performance Combination:** A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

**Customized Solutions:** Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

**Long Service Life and Stability:** Significantly reduces maintenance and replacement costs.

### 5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## Verzeichnis

### Kapitel 1 Übersicht über Wolframkupferstäbe

- 1.1 Definition und Grundkonzepte von Wolframkupferstäben
- 1.2 Entwicklungsgeschichte und technologische Entwicklung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen
- 1.3 Status und Rolle von Wolfram-Kupfer-Stäben im Materialsystem
- 1.4 Forschungs- und Anwendungsstatus von Wolfram-Kupfer-Werkstoffen im In- und Ausland

### Kapitel 2 Haupttypen von Wolframkupferstäben

- 2.1 Klassifizierung nach Wolfram-Kupfer-Verhältnis
  - 2.1.1 W-Cu 50/50 Wolframkupferstab
  - 2.1.2 W-Cu 70/30 Wolframkupferstab
  - 2.1.3 W-Cu 75/25 Wolframkupferstab
  - 2.1.4 W-Cu 80/20 Wolframkupferstab
  - 2.1.5 W-Cu 85/15 Wolframkupferstab
  - 2.1.6 W-Cu 90/10 Wolframkupferstab
  - 2.1.7 Wolfram-Kupfer-Stab mit speziellem Verhältnis
- 2.2 Klassifizierung nach Anwendungsgebieten
  - 2.2.1 Wolfram-Kupfer-Stab für elektrische und elektronische Anwendungen
    - 2.2.1.1 Hochspannungsschalter und Lichtbogenkontakte
    - 2.2.1.2 Entladungselektrode und Zündkerzenelektrode
    - 2.2.1.3 Halbleitergehäuse und leitfähige Steckverbinder
  - 2.2.2 Wolframkupferstab zur Wärmeableitung und zum Wärmemanagement
    - 2.2.2.1 Mikroelektronik und Kühlkörper für integrierte Schaltkreise
    - 2.2.2.2 Wärmeableitungssubstrate für Laser und Hochleistungsgeräte
    - 2.2.2.3 Kühlkomponenten für die Luft- und Raumfahrt
  - 2.2.3 Wolfram-Kupfer-Stab für Militär- und Luft- und Raumfahrtanwendungen
    - 2.2.3.1 Elektromagnetische Waffen und Schutzpanzermaterialien
    - 2.2.3.2 Elektroden und Komponenten für Hochenergiegewaffen
    - 2.2.3.3 Komponenten der Raketendüse und des Antriebssystems
  - 2.2.4 Wolfram-Kupfer-Stab für Maschinen und Formenbau
    - 2.2.4.1 Elektrode für die Funkenerosion (EDM)
    - 2.2.4.2 Stanzwerkzeuge und Verschleißteile
  - 2.2.5 Wolfram-Kupfer-Stab für medizinische und wissenschaftliche Forschungsanwendungen
    - 2.2.5.1 Medizinische Elektroden und Spezialsonden
    - 2.2.5.2 Experimente in der Hochenergiephysik und Anwendungen in der Nuklearindustrie

### Kapitel 3 Vorbereitung und Produktionstechnologie von Wolframkupferstäben

- 3.1 Rohstoffaufbereitung
  - 3.1.1 Herstellung und Qualitätsanforderungen von Wolframpulver
  - 3.1.2 Herstellung und Eigenschaften von Elektrolytkupfer
  - 3.1.3 Einfluss der Größe, Morphologie und Reinheit des Wolframpulvers auf den Prozess

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

- 3.2 Formgebungsprozess eines Wolfram-basierten Vorformlings
  - 3.2.1 Pressen (Uniaxiales Pressen, Isostatisches Pressen)
  - 3.2.2 Sinterverdichtung (Vakuum oder Wasserstoffatmosphäre)
  - 3.2.3 Kontrolle der Porosität und Konnektivität von Vorformen
- 3.3 Vakuuminfiltrationsprozess
  - 3.3.1 Grundprinzipien der Vakuuminfiltration
  - 3.3.2 Aufbau und Funktionsprinzip des Infiltrationsofens
  - 3.3.3 Kupferinfiltrationstemperatur, Vakuumgrad und Infiltrationsdynamik
  - 3.3.4 Grenzflächenreaktion und Mikrostrukturentwicklung während der Infiltration
  - 3.3.5 Gleichmäßigkeit der Infiltration und Qualitätskontrolle
- 3.4 Nachbearbeitung und mechanische Bearbeitung
  - 3.4.1 Wärmebehandlung und Spannungsarmglühen
  - 3.4.2 Präzisionsbearbeitung und Maßkontrolle
  - 3.4.3 Oberflächenmodifizierung und Beschichtungstechnik
- 3.5 Erforschung neuer Prozesse
  - 3.5.1 Nano-Wolfram-Kupfer-Preform und ultrafeine Kupferinfiltrationstechnologie
  - 3.5.2 Kombination von Vakuuminfiltration und additiver Fertigung
  - 3.5.3 Optimierungsprozess für hohe Gleichmäßigkeit und geringe Porosität

## **Kapitel 4 Physikalische und chemische Eigenschaften von Wolframkupferstäben**

- 4.1 Grundlegende physikalische Eigenschaften von Wolframkupferstäben
  - 4.1.1 Dichte und spezifisches Gewicht von Wolframkupferstäben
  - 4.1.2 Schmelzpunkt und thermische Stabilität von Wolframkupferstäben
  - 4.1.3 Wärmeausdehnungskoeffizient und Wärmeleitfähigkeit von Wolframkupferstäben
  - 4.1.4 Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand von Wolframkupferstäben
- 4.2 Mechanische Eigenschaften von Wolframkupferstäben
  - 4.2.1 Härte und Festigkeit von Wolframkupferstäben
  - 4.2.2 Duktilität und Zähigkeit von Wolframkupferstäben
  - 4.2.3 Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit von Wolframkupferstäben
- 4.3 Chemische Eigenschaften von Wolframkupferstäben
  - 4.3.1 Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit von Wolframkupferstäben
  - 4.3.2 Chemische Hochtemperaturstabilität von Wolframkupferstäben
  - 4.3.3 Kompatibilität von Wolframkupferstäben mit anderen Metallen
- 4.4 Mikrostruktur und Organisationsmerkmale von Wolframkupferstäben
  - 4.4.1 Kristallstruktur und Phasenzusammensetzung von Wolframkupferstäben
  - 4.4.2 Verteilungseigenschaften der Wolfram- und Kupferphasen
  - 4.4.3 Grenzflächenbindungsmechanismus und Mikrostrukturanalyse
- 4.5 China Wolfram Intelligent Manufacturing Kupfer Wolfram Rod MSDS

## **Kapitel 5 Hauptanwendungsgebiete von Wolframkupferstäben**

- 5.1 Elektrik und Elektronik
- 5.2 Luft- und Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie
- 5.3 Maschinen- und Formenbau

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

5.4 Wärmemanagement und Wärmeableitungsgeräte

5.5 Weitere Anwendungsgebiete

## **Kapitel 6 Produktionsausrüstung und Prozesskontrolle von Wolframkupferstäben**

6.1 Pulveraufbereitungs- und Formgebungsgeräte

6.2 Vakuumsinter- und Preform-Vorbereitungsgeräte

6.3 Vakuuminfiltrationsausrüstung (Kern)

6.4 Nachbearbeitungs- und Bearbeitungsgeräte

6.5 Prüf- und Qualitätskontrollgeräte

## **Kapitel 7 Qualitätsprüfung und Bewertungsmethoden für Wolframkupferstäbe**

7.1 Prüfung des Aussehens und der Abmessungen von Wolframkupferstäben

7.2 Prüfung der physikalischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben

7.3 Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben

7.4 Prüfung der chemischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben

7.5 Mikrostruktur und Strukturanalyse von Wolframkupferstäben

7.6 Vergleich gängiger internationaler Prüfnormen und -methoden

## **Kapitel 8 Normen und Spezifikationen für Wolframkupferstäbe**

8.1 Chinas nationale und industrielle Standards für Wolframkupferstäbe

8.2 Internationale Normen für Wolframkupferstäbe (ISO, ASTM, IEC usw.)

8.3 Amerikanische Normen für Wolframkupferstäbe (ASTM, ANSI, SAE)

8.4 Europäische Normen für Wolframkupferstäbe (EN, DIN, BS)

8.5 Japanischer Standard (JIS) für Wolframkupferstäbe

8.6 Vergleich und Anwendbarkeitsanalyse von Wolframkupferstabstandards

## **Kapitel 9 Leistungsoptimierung von Wolframkupferstäben**

9.1 Einfluss des Legierungsverhältnisses auf die Eigenschaften

9.1.1 Wolfram-Kupfer-Verhältnis und elektrische und thermische Leitfähigkeit

9.1.2 Wolfram-Kupfer-Verhältnis und mechanische Eigenschaften

9.1.3 Wolfram-Kupfer-Verhältnis und Wärmeausdehnungskoeffizient

9.1.4 Optimierungsstrategie

9.2 Wärmebehandlung und Leistungssteigerung

9.2.1 Glühen

9.2.2 Lösungsglühen und Alterungsbehandlung

9.2.3 Heißisostatisches Pressen (HIP)

9.2.4 Hinweise

9.3 Zusammenhang zwischen Mikrostruktur und Eigenschaften

9.3.1 Wolframpartikelgröße und -verteilung

9.3.2 Zusammenhang zwischen Mikrostruktur und Eigenschaften

9.3.3 Grenzflächenbindungszustand

9.3.4 Mikrostrukturanalysetechnik

9.4 Optimierung der Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

- 9.4.1 Verschleißfestigkeitsoptimierung
- 9.4.2 Optimierung der Korrosionsbeständigkeit
- 9.4.3 Umfassender Optimierungsfall
- 9.4.4 Hinweise

## **Kapitel 10 Leitfaden zur Auswahl und Verwendung von Wolframkupferstäben**

- 10.1 So wählen Sie den richtigen Wolframkupferstab
  - 10.1.1 Anwendungsszenarien und Leistungsanforderungen klären
  - 10.1.2 Verstehen Sie die Spezifikationen und Standards von Wolframkupferstäben
  - 10.1.3 Bewertung der Lieferantenzuverlässigkeit
  - 10.1.4 Kundenspezifische Anforderungen
  - 10.1.5 Kosten- und Leistungsbilanz
  - 10.1.6 Empfehlungen zum Kaufprozess
- 10.2 Vorsichtsmaßnahmen bei Lagerung und Transport
  - 10.2.1 Speicherumgebung
  - 10.2.2 Verpackungsanforderungen
  - 10.2.3 Vorsichtsmaßnahmen beim Transport
  - 10.2.4 Lagerung und Transport in Sonderszenarien
- 10.3 Wartung und Pflege während des Gebrauchs
  - 10.3.1 Wartung während der Verarbeitung
  - 10.3.2 Wartung im Betrieb
  - 10.3.3 Lagerung und Wiederverwendung
  - 10.3.4 Wartungsaufzeichnungen
- 10.4 Häufige Probleme und Lösungen
  - 10.4.1 Oberflächenoxidation
  - 10.4.2 Lichtbogenerosion
  - 10.4.3 Bearbeitung von Rissen
  - 10.4.4 Verminderte Leitfähigkeit
  - 10.4.5 Wärmeausdehnungs-Fehlanpassung
  - 10.4.6 Lagerungsdeformation
  - 10.4.7 Fallanalyse

## **Kapitel 11 Markt und Entwicklungstrend von Wolframkupferstäben**

- 11.1 Überblick über die globale Wolfram-Kupfer-Materialien-Industriekette
- 11.2 Marktnachfragestruktur und Anwendungsanteilsanalyse
- 11.3 Zukünftige Entwicklungstrends von Wolframkupferstäben
  - 11.3.1 Hochleistungs- und Nanotechnologie
  - 11.3.2 Grüne Vorbereitung und nachhaltige Entwicklung
  - 11.3.3 Neue Anwendungsrichtungen

## **Anhang**

- A. Glossar
- B. Referenzen

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## Kapitel 1 Übersicht über Wolframkupferstäbe

### 1.1 Definition und Grundkonzepte von Wolframkupferstäben

Wolframkupferstäbe sind ein metallischer Verbundwerkstoff aus Wolfram (W) und Kupfer (Cu), wobei Wolfram typischerweise die Matrix und Kupfer die Nebenkompone ist und der in einem speziellen Verfahren hergestellt wird. Der Kupfergehalt von Wolframkupferstäben liegt typischerweise zwischen 10 % und 50 %, wobei das genaue Verhältnis durch die Anwendungsanforderungen bestimmt wird. Dieses Material vereint den hohen Schmelzpunkt, die hohe Härte, die hohe Dichte und die Verschleißfestigkeit von Wolfram mit der hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von Kupfer, was zu einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften führt. Aufgrund des erheblichen Unterschieds der Schmelzpunkte von Wolfram und Kupfer (der Schmelzpunkt von Wolfram liegt bei ca. 3410 °C, der von Kupfer bei ca. 1083 °C) und der Unmischbarkeit der beiden können Wolframkupferstäbe nicht durch herkömmliche Gussverfahren hergestellt werden. Stattdessen wird typischerweise pulvermetallurgische Technologie eingesetzt, die Mischen, Pressen, Sintern und Kupferinfiltration umfasst.

#### **Zu den grundlegenden Eigenschaften von Wolframkupferstäben gehören:**

**Hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit:** Die hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit von Kupfer verleiht Wolframkupferstäben eine ausgezeichnete elektrische und thermische Leitfähigkeit, wodurch sie in der Elektro- und Elektronikbranche weit verbreitet sind.

**Hohe Temperaturbeständigkeit:** Der hohe Schmelzpunkt und die hohe Temperaturfestigkeit von Wolfram ermöglichen Wolframkupferstäben, ihre strukturelle Stabilität auch in Umgebungen mit extrem hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten. Insbesondere über 3000 °C verflüssigt und verdampft Kupfer, absorbiert dabei große Wärmemengen und senkt die Oberflächentemperatur des Materials. Daher werden Wolframkupferstäbe auch als „metallische Schwitzmaterialien“ bezeichnet.

**Niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient:** Die geringe Wärmeausdehnungseigenschaft von Wolfram verleiht Wolframkupferstäben eine gute Dimensionsstabilität in Umgebungen mit hohen Temperaturen.

**Hohe Härte und Verschleißfestigkeit:** Die hohe Härte und Verschleißfestigkeit von Wolfram verleihen Wolframkupferstäben hervorragende mechanische Eigenschaften, wodurch sie sich für die Herstellung verschleißfester Teile und Formen eignen.

**Gute Lichtbogenbrechleistung:** Wolframkupferstäbe funktionieren gut in Hochspannungslichtbogenumgebungen und eignen sich zur Verwendung als elektrisches Kontaktmaterial und Elektrode.

Typische Herstellungsverfahren für Wolframkupferstäbe sind Pulvermetallurgie, heißisostatisches Pressen und Infiltration. Bei der Pulvermetallurgie werden hochreines Wolframpulver und hochreines Kupferpulver in einem bestimmten Verhältnis gemischt, gefolgt von isostatischem Pressen, Hochtemperaturesintern und Kupferinfiltration. Dieses Verfahren gewährleistet eine gleichmäßige innere Struktur des Materials und optimiert gleichzeitig seine elektrischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## **1.2 Entwicklungsgeschichte und technologische Entwicklung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen**

Die Entwicklung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen begann im frühen 20. Jahrhundert. Mit der steigenden Nachfrage der Industrie nach Hochleistungswerkstoffen rückten Wolfram-Kupfer-Legierungen zunehmend in den Fokus. Im Folgenden sind die wichtigsten Etappen ihrer Entwicklungsgeschichte und technologischen Entwicklung aufgeführt:

### **1.2.1 Frühe Erforschung (Anfang des 20. Jahrhunderts bis 1950er Jahre)**

Die Entwicklung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen basierte auf dem Bedarf an leistungsstarken elektrischen Kontaktmaterialien. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts stellte die rasante Entwicklung der Elektro- und Elektronikindustrie höhere Anforderungen an Materialien mit hoher Leitfähigkeit und hoher Temperaturbeständigkeit. Da ein einzelnes Metall diese Anforderungen nicht gleichzeitig erfüllen konnte, begannen Wissenschaftler mit der Erforschung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen. Frühe Wolfram-Kupfer-Werkstoffe wurden hauptsächlich durch mechanisches Mischen von Wolfram- und Kupferpulver, gefolgt von Pressen und Sintern, hergestellt. Aufgrund von Verfahrensbeschränkungen waren die Gleichmäßigkeit und Leistungsstabilität des Materials jedoch unzureichend.

### **1.2.2 Reifegrad der Pulvermetallurgie-Technologie (1950er bis 1980er Jahre)**

Mitte des 20. Jahrhunderts ermöglichten Fortschritte in der Pulvermetallurgie die technische Entwicklung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen. Forscher optimierten das Mischungsverhältnis von Wolfram- und Kupferpulver, die Partikelgröße und den Sinterprozess und verbesserten so die elektrische Leitfähigkeit und die mechanischen Eigenschaften des Materials deutlich. Durch die Einführung der Kupferinfiltration wurden Dichte und Gleichmäßigkeit der Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffe weiter verbessert. In dieser Zeit wurden Wolfram-Kupfer-Werkstoffe erstmals in elektrischen Kontakten, Widerstandsschweißelektroden und Luft- und Raumfahrtkomponenten eingesetzt.

### **1.2.3 Einführung neuer Technologien (1980er bis 2000er Jahre)**

Mit dem Fortschritt der Materialwissenschaft wurden neue Herstellungsverfahren wie Heiisostatpressen, Plasmasintern und Lasersintern in die Herstellung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen eingeführt. Diese Technologien haben die Dichte und Leistungskonsistenz der Materialien deutlich verbessert. Beispielsweise können durch Heiisostatpressen, bei dem Wolfram-Kupfer-Pulver unter hoher Temperatur und hohem Druck gepresst wird, hochdichte Wolfram-Kupfer-Stäbe hergestellt werden, die sich für hochpräzise elektronische Verpackungen und Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt eignen. Darüber hinaus konnte durch den Einsatz von Nanotechnologie die Partikelgröße von Wolfram- und Kupferpulvern weiter reduziert und so die Mikrostruktur und Eigenschaften des Materials verbessert werden.

### **1.2.4 Moderne Technologie und vielfältige Anwendungen (2000er Jahre bis heute)**

Seit dem 21. Jahrhundert befinden sich Forschung und Anwendung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen in einer neuen Phase. Mit dem Aufkommen fortschrittlicher Fertigungstechnologien (wie additiver Fertigung und Mikro-Nanofabrikation) wurde die Leistung

von Wolfram-Kupfer-Stäben weiter optimiert und ihre Anwendungsgebiete erweitert. So ermöglichte beispielsweise die Einführung der 3D-Drucktechnologie die Herstellung komplex geformter Komponenten aus Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen, um den speziellen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt- sowie der Nuklearindustrie gerecht zu werden. Darüber hinaus haben Forscher Legierungssysteme mit unterschiedlichen Wolfram-Kupfer-Verhältnissen für verschiedene Anwendungsszenarien entwickelt. Beispielsweise wird ein hoher Wolframgehalt (70–90 %) für Anwendungen verwendet, die eine hohe Härte und Verschleißfestigkeit erfordern, während ein niedriger Wolframgehalt (50–70 %) für Anwendungen verwendet wird, die eine höhere elektrische Leitfähigkeit erfordern.

### 1.2.5 Zukünftige Entwicklungstrends

Bei der Entwicklung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen stehen künftig folgende Aspekte im Vordergrund:

Grüne Fertigung: Entwicklung energie- und umweltschonender Herstellungsverfahren wie Kaltspritztechnologie und grüne Pulvermetallurgietechnologie.

Leistungsoptimierung: Durch Dotierung mit Seltenerdelementen oder anderen Spurenelementen können die mechanischen Eigenschaften und elektrothermischen Eigenschaften von Wolfram-Kupfer-Werkstoffen weiter verbessert werden.

Intelligente Anwendung: In Kombination mit intelligenter Fertigungstechnologie entwickeln wir Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffe mit adaptiven Eigenschaften, um die Anforderungen elektronischer Geräte und Energieanlagen der nächsten Generation zu erfüllen.

## 1.3 Status und Rolle des Wolframkupferstabs im Materialsystem

Im modernen Materialsystem nimmt der Wolframkupferstab als Hochleistungsverbundwerkstoff eine wichtige Stellung ein. Seine einzigartige Kombination von Eigenschaften macht ihn in vielen Hightech-Bereichen unverzichtbar. Zu seinen Hauptfunktionen gehören:

### 1.3.1 Elektrotechnik und Elektronik

Wolframkupferstäbe werden aufgrund ihrer hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit und Verschleißfestigkeit häufig zur Herstellung von elektrischen Kontaktmaterialien, Widerstandsschweißelektroden und elektronischen Verpackungsmaterialien verwendet. In Hochspannungsschaltanlagen dienen Wolframkupferstäbe beispielsweise als elektrische Kontakte, die hohen Spannungen und Lichtbogenschlägen standhalten und so die Stabilität und Langlebigkeit der Geräte gewährleisten. Im Bereich der elektronischen Verpackung machen Wolframkupferstäbe aufgrund ihres niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten und ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit sie zu einem idealen Material für Wärmeableitungssubstrate in Halbleiterbauelementen.

### 1.3.2 Luft- und Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie

Die hohe Temperaturfestigkeit und Verschleißfestigkeit von Wolframkupferstäben machen sie zu wichtigen Anwendungsgebieten in der Luft- und Raumfahrtindustrie. Beispielsweise werden Wolframkupferstäbe in Flugzeugtriebwerken und Raumfahrzeugen zur Herstellung von wärmeleitenden Hochtemperaturkomponenten und verschleißfesten Teilen verwendet, die auch

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

unter extremen Bedingungen eine stabile Leistung erbringen. Darüber hinaus eignen sich Wolframkupferstäbe aufgrund ihrer hohen Dichte für die Herstellung panzerbrechender Projektilkerne und Gegengewichtskomponenten in der Rüstungsindustrie.

### 1.3.3 Bearbeitung und Formenbau

Die Verschleißfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit von Wolframkupferstäben machen sie zu einem idealen Material für die Herstellung von Schneidwerkzeugen, Stanzwerkzeugen und Druckgussformen. Beispielsweise werden Wolframkupferstäbe in Druckgussformen aus Aluminiumlegierungen als Kernstab und Düse verwendet, was die Lebensdauer der Form erheblich verlängern und die Produktqualität verbessern kann.

### 1.3.4 Nuklearindustrie und Energie

In Kernfusionsreaktoren werden Wolframkupferstäbe als Divertor-Kühlkörper eingesetzt, die der Hitzebelastung und dem Partikelbeschuss in Hochtemperatur- und Hochdruckumgebungen standhalten. Darüber hinaus werden Wolframkupferstäbe bei der Herstellung von Wärmerohren und Wärmeableitungskomponenten verwendet, um die Effizienz und Lebensdauer von Kernkraftwerken und Hochtemperatur-Industrieöfen zu verbessern.

### 1.3.5 Andere Bereiche

Wolframkupferstäbe werden auch häufig in Reibungsmaterialien (wie Bremsbelägen), chemischen Geräten (wie korrosionsbeständigen wärmeleitenden Komponenten) und medizinischen Geräten (wie Strahlenschutzkomponenten) verwendet. Seine Vielseitigkeit und hohe Leistung machen es zu einer unersetzlichen Position im Materialsystem.

## 1.4 Forschungs- und Anwendungsstand von Wolfram-Kupfer-Werkstoffen im In- und Ausland

### 1.4.1 Aktueller Stand der nationalen Forschung und Anwendung

China ist das Land mit den reichsten Wolframvorkommen der Welt und verfügt über erhebliche Vorteile bei der Erforschung und Produktion von Wolfram-Kupfer-Werkstoffen. In den letzten Jahren haben inländische Forschungseinrichtungen und Unternehmen wichtige Fortschritte auf dem Gebiet der Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffe erzielt:

Forschungsfortschritt: Inländische Universitäten und Forschungseinrichtungen (wie die Tsinghua-Universität, die Central South University und das Institut für Metallforschung der Chinesischen Akademie der Wissenschaften) haben die Herstellung, Leistungsoptimierung und mikrostrukturelle Analyse von Wolfram-Kupfer-Werkstoffen intensiv erforscht. So wurden beispielsweise durch Dotierung mit Seltenerdelementen (wie Lanthan und Cer) die mechanischen Eigenschaften und die Oxidationsbeständigkeit von Wolfram-Kupfer-Werkstoffen verbessert. Darüber hinaus haben neuartige Herstellungsverfahren (wie Plasma- und Mikrowellensintern) die Dichte und Leistungsgleichmäßigkeit von Wolfram-Kupfer-Stäben deutlich verbessert.

Anwendungsstatus: Wolframkupferstäbe finden im Inland breite Anwendung in der Elektroenergie-, Elektronik-, Luft- und Raumfahrt- und Maschinenbaubranche. Hochleistungs-Wolframkupferstäbe

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

werden beispielsweise in elektrischen Kontaktmaterialien, Widerstandsschweißelektroden und Substraten für elektronische Verpackungen eingesetzt. In China wurden zudem verschiedene Wolframkupferlegierungen (wie WCu10, WCu20 und WCu30) entwickelt, um den unterschiedlichen Anwendungsanforderungen gerecht zu werden.

Industrielle Vorteile: China verfügt über eine komplette Wolfram-Industriekette, vom Wolframerzabbau bis zur Wolframkupferstangenproduktion, was zu einer starken industriellen Wettbewerbsfähigkeit führt.

#### 1.4.2 Aktueller Stand der Forschung und Anwendung im Ausland

Im Ausland wurde schon früh mit der Erforschung und Anwendung von Wolfram-Kupfer-Materialien begonnen, insbesondere in Europa, Amerika und Japan, wo die entsprechenden Technologien relativ ausgereift sind:

Forschungsfortschritt: Die USA, Japan und Deutschland sind führend bei der Herstellung und Leistungsoptimierung von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen. So hat beispielsweise CBMM in den USA Hochleistungs-Wolfram-Kupfer-Stäbe für die Luft- und Raumfahrt sowie die Verteidigung entwickelt. Japan hat mithilfe von Nanotechnologie und Präzisionsinterverfahren hochdichte Wolfram-Kupfer-Werkstoffe hergestellt, die häufig in Halbleitergehäusen eingesetzt werden. Deutsche Forschungseinrichtungen konzentrieren sich auf die Anwendung von Wolfram-Kupfer-Werkstoffen in der Kernfusion und entwickeln Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffe, die sich für Divertor-Kühlkörper eignen.

Anwendungsstatus: Im Ausland werden Wolframkupferstäbe vor allem in hochpräzisen elektronischen Geräten, Luft- und Raumfahrtkomponenten und Anlagen der Nuklearindustrie eingesetzt. In den USA werden Wolframkupferstäbe beispielsweise zur Herstellung von Satellitenstrahlern und Raketenkomponenten verwendet, während japanische Wolframkupfermaterialien in hochwertigen elektronischen Gehäusen und Widerstandsschweißelektroden zum Einsatz kommen. In Europa werden Wolframkupferstäbe häufig als Kühlkörper in der Kernfusionsforschung, beispielsweise im ITER-Projekt, eingesetzt.

Technische Merkmale: Ausländische Unternehmen legen bei der Herstellung von Wolframkupfer-Werkstoffen zunehmend Wert auf die Herstellung hochpräziser und komplex geformter Komponenten. Beispielsweise ermöglicht der Einsatz additiver Fertigungstechnologien ausländischen Unternehmen die Herstellung von Wolframkupfer-Komponenten mit komplexen Geometrien. Darüber hinaus verfügen ausländische Unternehmen über Vorteile bei Oberflächenbehandlungstechnologien (wie Vergoldung und Vernickelung), die die Korrosionsbeständigkeit und Leitfähigkeit von Wolframkupferstäben verbessern.

#### 1.4.3 Nationale und internationale Lücke und Zukunftsaussichten

Obwohl China bei der Produktion von Wolframkupfermaterialien und den Ressourcenvorteilen führend ist, besteht zwischen China und dem Ausland noch immer eine gewisse Lücke bei hochpräzisen Herstellungsprozessen, der Herstellung komplexer Komponenten und High-End-

##### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Anwendungen. Beispielsweise sind ausländische Länder in der Forschung und Entwicklung von nanoskaligen Wolframkupfermaterialien und der additiven Fertigungstechnologie weiter fortgeschritten. China muss künftig die Forschung in folgenden Bereichen verstärken:

High-End-Fertigungstechnologie: Entwicklung hochpräziser Fertigungstechnologien für Wolframkupferkomponenten mit komplexen Formen, wie etwa 3D-Druck und Lasersintern.

Leistungsoptimierung: Die elektrische Leitfähigkeit, die Wärmeleitfähigkeit und die mechanischen Eigenschaften von Wolfram-Kupfer-Werkstoffen werden durch Dotierung und neue Verfahren weiter verbessert.

Internationale Zusammenarbeit: Stärkung der Zusammenarbeit mit internationalen wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen und Unternehmen, Lernen von ausländischen Spitzentechnologien und Förderung der Anwendung von Wolframkupfermaterialien auf dem Weltmarkt.



**Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung**

## CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

### 1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

### 2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

**High Thermal Conductivity:** The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

**High Strength and High-Temperature Resistance:** The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

**Resistance to Arc Erosion:** The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

**Low Thermal Expansion Coefficient:** Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

**Excellent Machinability:** Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

### 3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

### 4. Advantages of Tungsten Copper Rod

**High-Performance Combination:** A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

**Customized Solutions:** Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

**Long Service Life and Stability:** Significantly reduces maintenance and replacement costs.

### 5. Procurement Information

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

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: [www.tungsten.com.cn](http://www.tungsten.com.cn)

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## Kapitel 2 Haupttypen und Klassifizierungen von Wolframkupferstäben

Wolframkupferstäbe sind ein Hochleistungsverbundwerkstoff und werden in verschiedenen Typen und Klassifizierungen angeboten, die sich hauptsächlich nach dem Wolfram-Kupfer-Verhältnis und den Anwendungsbereichen richten. Die Leistung von Wolframkupferstäben variiert je nach Wolfram-Kupfer-Verhältnis. Stäbe mit unterschiedlichen Verhältnissen werden für spezifische Industrieanwendungen entwickelt, um unterschiedliche Anforderungen an elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, mechanische Festigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit zu erfüllen. Darüber hinaus werden Wolframkupferstäbe je nach Anwendungsbereich in Kategorien wie Elektrik und Elektronik, Wärmeableitung und Wärmemanagement, Militär und Luft- und Raumfahrt, Maschinen- und Formenbau sowie medizinische und wissenschaftliche Forschung unterteilt. Im Folgenden werden die Klassifizierung von Wolframkupferstäben und ihre spezifischen Anwendungen in verschiedenen Bereichen detailliert erläutert.

### 2.1 Klassifizierung nach Wolfram-Kupfer-Verhältnis

Die Leistung von Wolfram-Kupfer-Stäben hängt eng mit dem Verhältnis ihres Wolfram- zu Kupfergehalts zusammen. Stäbe mit unterschiedlichen Verhältnissen weisen signifikante Unterschiede in elektrischer Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Härte, Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit auf. Im Folgenden finden Sie eine Klassifizierung gängiger Wolfram-Kupfer-Verhältnisse sowie ihrer Eigenschaften und Anwendungen.

#### 2.1.1 W-Cu 50/50 Wolframkupferstab (ausgeglichene elektrische und thermische Leitfähigkeit)

W-Cu 50/50 Wolframkupferstäbe bestehen zu 50 % aus Wolfram und zu 50 % aus Kupfer und weisen damit ein typisches Gleichgewicht zwischen elektrischer und thermischer Leitfähigkeit auf. Aufgrund des hohen Kupfergehalts weist dieser Wolframkupferstabtyp eine ausgezeichnete elektrische Leitfähigkeit (ca. 50–60 % von reinem Kupfer) und Wärmeleitfähigkeit (ca. 200–250 W/m·K) auf und behält gleichzeitig eine gewisse mechanische Festigkeit und Verschleißfestigkeit. Zu seinen Hauptmerkmalen gehören:

Hohe Leitfähigkeit: geeignet für Situationen, die eine schnelle elektrische Signalübertragung erfordern.

Hervorragende Wärmeleitfähigkeit: kann Wärme effizient ableiten und ist für Wärmemanagementgeräte geeignet.

Mäßige mechanische Festigkeit: Im Vergleich zu Materialien mit hohem Wolframgehalt sind Härte und Verschleißfestigkeit etwas geringer, die Verarbeitungsleistung ist jedoch besser.

Anwendungen: W-Cu 50/50 Wolframkupferstäbe werden häufig in elektronischen Verpackungsmaterialien, Steckverbindern und Niederspannungs-Elektrokontaktkomponenten verwendet. Beispielsweise sorgt dieses Material in leitfähigen Substraten und Steckverbindern integrierter Schaltkreise für eine stabile elektrische Signalübertragung und ein hervorragendes Wärmemanagement. Es wird auch zur Herstellung von Widerstandsschweißelektroden und Lichtbogenkontakten mit geringer Leistung verwendet.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Herstellungsmerkmale: Diese Art von Wolframkupferstäben wird typischerweise pulvermetallurgisch hergestellt, wobei eine Mischung aus hochreinem Wolframpulver und Kupferpulver verwendet wird. Anschließend erfolgt die Verdichtung und Sinterung. Einige Verfahren können einen Kupferinfiltrationsschritt zur Erhöhung der Materialdichte beinhalten. Aufgrund des hohen Kupfergehalts ist die Sintertemperatur relativ niedrig (ca. 1200–1300 °C), was zu niedrigen Prozesskosten führt.

### **2.1.2 W-Cu 70/30 Wolframkupferstab (wird häufig für Elektroden und Kontakte verwendet)**

W-Cu 70/30 Wolframkupferstäbe bestehen aus 70 % Wolfram und 30 % Kupfer und zählen zu den am häufigsten verwendeten Wolfram-Kupfer-Verhältnissen in der Elektro- und Elektronikbranche. Dieses Material bietet ein ausgewogenes Verhältnis zwischen elektrischer Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und mechanischer Festigkeit und eignet sich daher für Elektroden und elektrische Kontaktmaterialien. Zu seinen Hauptmerkmalen zählen:

Höhere Härte und Verschleißfestigkeit: Der erhöhte Wolframgehalt macht es besser geeignet, mechanischem Verschleiß standzuhalten.

Mäßige Leitfähigkeit: Die elektrische Leitfähigkeit beträgt etwa 30–40 % von reinem Kupfer, wodurch es für elektrische Mittel- und Hochspannungsanwendungen geeignet ist.

Gute Lichtbogenbrechleistung: starke Anti-Ablationsfähigkeit in Lichtbogenumgebung.

Anwendungen: W-Cu 70/30 Wolframkupferstäbe sind das bevorzugte Material für die Herstellung von Hochspannungsschalterkontakten, Widerstandsschweißelektroden und Elektroden für die Funkenerosion (EDM). Beispielsweise hält dieses Material in Mittel- und Hochspannungsschaltern häufigen Lichtbogenschlägen und mechanischer Belastung stand und verlängert so die Lebensdauer der Geräte. Es wird auch für Punktschweißelektroden in der Automobilindustrie und elektrische Steckverbinder in der Luftfahrt verwendet.

Herstellungsmerkmale: Diese Art von Wolframkupferstäben wird üblicherweise durch Pulvermetallurgie in Kombination mit Kupferinfiltration hergestellt. Aufgrund des hohen Wolframgehalts erfordert der Sinterprozess höhere Temperaturen (ca. 1300–1500 °C) und eine strengere Prozesskontrolle, um die Gleichmäßigkeit und Dichte des Materials zu gewährleisten.

### **2.1.3 W-Cu 75/25 Wolframkupferstab (Kombination aus mittlerer Wärmeleitfähigkeit und Festigkeit)**

Der Wolframkupferstab W-Cu 75/25 besteht aus 75 % Wolfram und 25 % Kupfer und bietet so ein besseres Gleichgewicht zwischen Wärmeleitfähigkeit und mechanischer Festigkeit. Dieser Materialtyp eignet sich für Anwendungen, die sowohl hohe Festigkeit als auch eine gewisse Wärmeleitfähigkeit erfordern. Zu seinen Hauptmerkmalen gehören:

Höhere mechanische Festigkeit: Härte und Verschleißfestigkeit sind besser als bei W-Cu 70/30, geeignet für Umgebungen mit hoher Belastung.

Mäßige Wärmeleitfähigkeit: Die Wärmeleitfähigkeit beträgt etwa 150–200 W/ m·K und ist für Wärmemanagementanwendungen mittlerer Leistung geeignet.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient: Der hohe Wolframgehalt verleiht ihm eine gute Dimensionsstabilität bei hohen Temperaturen.

Anwendungen: W-Cu 75/25 Wolframkupferstäbe werden häufig zur Herstellung von Kühlkörpersubstraten und elektrischen Kontaktmaterialien für elektronische Geräte mittlerer Leistung verwendet. Beispielsweise fungiert dieses Material in Leistungshalbleiterbauelementen wie IGBT-Modulen als Kühlkörpersubstrat, das Wärme effektiv ableitet und gleichzeitig die strukturelle Stabilität aufrechterhält. Es wird auch zur Herstellung verschleißfester Komponenten sowie elektrischer Kontakte für Mittel- und Hochspannung in der Luft- und Raumfahrtindustrie verwendet.

Herstellungsmerkmale: Der Herstellungsprozess für dieses Material ähnelt dem von W-Cu 70/30, aufgrund des erhöhten Wolframgehalts müssen jedoch Sintertemperatur und -druck weiter optimiert werden. Einige Hersteller verwenden die Heißisostatische Presstechnologie (HIP), um die Dichte und Leistungskonsistenz des Materials zu verbessern.

#### **2.1.4 W-Cu 80/20 Wolframkupferstab (für hohe Festigkeit und Ablationsbeständigkeit)**

Der Wolframkupferstab W-Cu 80/20 besteht aus 80 % Wolfram und 20 % Kupfer. Er zeichnet sich durch hohe Festigkeit und Ablationsbeständigkeit aus und ist für hohe Belastungen und hohe Temperaturen geeignet. Zu seinen Hauptmerkmalen gehören:

Extrem hart und verschleißfest: Der hohe Wolframanteil macht es extrem widerstandsfähig gegen mechanischen Verschleiß.

Gute Ablationsbeständigkeit: gute Leistung in Lichtbogen- oder Plasmaumgebungen mit hohen Temperaturen.

Geringere elektrische und thermische Leitfähigkeit: Die elektrische Leitfähigkeit beträgt etwa 20–30 % von reinem Kupfer und die thermische Leitfähigkeit etwa 120–150 W/ m·K .

Anwendungen: W-Cu 80/20 Wolframkupferstäbe werden hauptsächlich in hochfesten Elektroden, Hochtemperatur-Luftfahrtkomponenten und militärischen Anwendungen eingesetzt. Beispielsweise wird dieses Material in Plasmaschneidmaschinen und EDM-Geräten als Elektrode verwendet, die starker Lichtbogenerosion standhält. Es wird auch bei der Herstellung von Raketendüsenauskleidungen und hochtemperaturverschleißfesten Komponenten verwendet.

Herstellungsmerkmale: Aufgrund des hohen Wolframgehalts erfordert der Produktionsprozess höhere Sintertemperaturen (ca. 1500–1600 °C) und komplexere Kupferinfiltrationsprozesse. Einige fortschrittliche Verfahren verwenden Plasma- oder Lasersintertechnologie, um die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur des Materials zu verbessern.

#### **2.1.5 W-Cu 85/15 Wolframkupferstab (Hochtemperatur- und Hochfestigkeitstyp, unter Berücksichtigung der elektrischen Leitfähigkeit)**

Der Wolframkupferstab W-Cu 85/15 besteht aus 85 % Wolfram und 15 % Kupfer. Es handelt sich um ein hochtemperaturbeständiges, hochfestes Material mit einer gewissen Leitfähigkeit. Zu seinen

Hauptmerkmalen gehören:

Extrem hohe Temperaturbeständigkeit: Kann die strukturelle Stabilität in extremen Umgebungen bis nahe 3000 °C aufrechterhalten .

Hervorragende mechanische Festigkeit: Härte und Verschleißfestigkeit sind weiter verbessert, geeignet für extreme Arbeitsbedingungen.

Geringere Leitfähigkeit: Die elektrische Leitfähigkeit beträgt etwa 15–25 % von reinem Kupfer und ist für elektrische Anwendungen geeignet, die eine hohe Festigkeit erfordern.

Anwendungen: W-Cu 85/15 Wolframkupferstäbe werden häufig in Divertor-Kühlkörpern für Kernfusionsreaktoren, Triebwerkskomponenten für die Luft- und Raumfahrt sowie in Hochspannungslichtbogenkontakten eingesetzt. Beispielsweise wird dieses Material im Internationalen Thermonuklearen Versuchsreaktor (ITER) als Divertor-Kühlkörper eingesetzt, der hohen thermischen Belastungen und Partikelbeschuss standhält. Es wird auch zur Herstellung von Elektroden für Hochenergielaser und Plasmen verwendet.

Herstellungsmerkmale: Dieser Materialtyp ist schwierig herzustellen. Normalerweise wird heißisostatisches Pressen oder Plasmasintern verwendet, um eine hohe Dichte und stabile Leistung zu gewährleisten. Der Kupferinfiltrationsprozess erfordert eine präzise Kontrolle, um Porosität oder ungleichmäßige Leistung im Material zu vermeiden.

#### **2.1.6 W-Cu 90/10 Wolframkupferstab (ultrahohe Festigkeit und hohe Temperaturbeständigkeit)**

Der Wolframkupferstab Typ W-Cu 90/10 besteht aus 90 % Wolfram und 10 % Kupfer. Er ist der Typ mit der höchsten Festigkeit und Temperaturbeständigkeit unter den Wolframkupferstäben und eignet sich für extreme Arbeitsbedingungen. Zu seinen Hauptmerkmalen gehören:

Ultrahohe Härte und Verschleißfestigkeit: Mechanische Eigenschaften nahe an reinem Wolfram, geeignet für extreme mechanische Belastungen.

Extrem hohe Temperaturbeständigkeit: Kann lange Zeit in Umgebungen mit extrem hohen Temperaturen und Plasma arbeiten.

Extrem niedrige elektrische und thermische Leitfähigkeit: Die elektrische Leitfähigkeit beträgt nur 10–15 % von reinem Kupfer und die thermische Leitfähigkeit liegt bei etwa 80–120 W/ m·K .

Anwendungen: W-Cu 90/10 Wolframkupferstäbe werden vor allem für Hochtemperaturkomponenten in extremen Umgebungen und in der Militärindustrie eingesetzt. Beispielsweise dient dieses Material in Antriebssystemen von Raumfahrzeugen (wie Raketendüsen) als hochtemperaturbeständige, verschleißfeste Auskleidung. Es wird auch zur Herstellung von Schienen für elektromagnetische Kanonen und Hochtemperaturkomponenten für Kernfusionsanlagen verwendet.

Herstellungseigenschaften: Aufgrund des extrem hohen Wolframgehalts erfordert der Produktionsprozess extrem hohe Sintertemperaturen (ca. 1600–1700 °C) und hohe

#### **Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung**

Druckbedingungen . Heißisostatisches Pressen und Plasmasintern sind gängige Herstellungsverfahren. Einige Verfahren erfordern zusätzlich die Zugabe von Spurenzusätzen (wie Nickel oder Eisen), um die Sintereigenschaften zu verbessern.

### **2.1.7 Wolfram-Kupfer-Stab mit speziellem Verhältnis (kundenspezifische Legierung)**

Zusätzlich zu den oben genannten Standardverhältnissen können spezielle Verhältnisse von Wolfram-Kupfer-Stäben an spezifische Anwendungsanforderungen angepasst werden. Beispielsweise können W-Cu 60/40, W-Cu 65/35 oder Legierungen mit höherem Kupfergehalt in Anwendungen eingesetzt werden, die eine höhere Leitfähigkeit erfordern, während Legierungen mit ultrahohem Wolframgehalt (wie W-Cu 95/5) bei extremer Verschleißfestigkeit und hohen Temperaturen eingesetzt werden. Die Entwicklung kundenspezifischer Legierungen umfasst in der Regel folgende Aspekte:

Dotierungsmodifikation: Hinzufügen von Seltenerdmetallen (wie Lanthan, Cer) oder Übergangsmetallen (wie Nickel, Kobalt) zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften.

Mikrostrukturoptimierung: Durch die Kontrolle der Partikelgröße von Wolframpulver und Kupferpulver werden die Gleichmäßigkeit und Dichte des Materials optimiert.

Spezialverfahren: Additive Fertigung, Mikrowellensintern oder Kaltspritztechnologie werden zur Herstellung von Wolframkupferstäben mit komplexen Formen oder hoher Leistung eingesetzt.

Anwendungen: Speziallegierungen finden breite Anwendung in der Spitzenforschung, der Luft- und Raumfahrt sowie in der Herstellung hochwertiger elektronischer Geräte. Beispielsweise werden Wolfram-Kupfer-Stäbe mit spezifischen Verhältnissen zur Herstellung von Targets für experimentelle Geräte der Hochenergiephysik und von Strahlenschutzkomponenten für die Nuklearindustrie verwendet.

## **2.2 Klassifizierung nach Anwendungsgebieten**

Je nach Anwendungsgebiet lassen sich Wolframkupferstäbe in fünf Kategorien einteilen: Elektrotechnik und Elektronik, Wärmeableitung und Wärmemanagement, Militär und Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau und Formenbau sowie medizinische und wissenschaftliche Forschung. Im Folgenden werden die spezifischen Verwendungszwecke und Leistungsanforderungen verschiedener Arten von Wolframkupferstäben detailliert vorgestellt.

### **2.2.1 Wolframkupferstäbe für elektrische und elektronische Anwendungen**

Wolframkupferstäbe werden häufig in der Elektro- und Elektronikbranche eingesetzt. Aufgrund ihrer hervorragenden Leitfähigkeit, Lichtbogenbrechung und Verschleißfestigkeit sind sie die erste Wahl für elektrische Kontaktmaterialien und Elektroden.

#### **2.2.1.1 Hochspannungsschalter und Lichtbogenkontakte**

Hochspannungsschalter und Leistungsschalter benötigen Materialien, die hohen Spannungen und Lichtbogenschlägen standhalten und gleichzeitig langfristig stabil bleiben. Wolframkupferstäbe W-Cu 70/30 und W-Cu 75/25 werden aufgrund ihrer hervorragenden Leitfähigkeit und Ablationsbeständigkeit häufig in Lichtbogenkontakten eingesetzt. Zu ihren Hauptvorteilen gehören:

Hohe Lichtbogenbrechleistung: Kann den Lichtbogen schnell unterbrechen und Kontaktbrand reduzieren.

Hohe Temperaturbeständigkeit: Bewahrt die strukturelle Integrität bei hohen Lichtbogentemperaturen.

Lange Lebensdauer: Hohe Härte und Verschleißfestigkeit verlängern die Lebensdauer der Kontakte.

Anwendungsbeispiel: In Hochspannungsübertragungssystemen und industriellen Leistungsschaltern werden Wolfram-Kupfer-Lichtbogenkontakte in Schaltanlagen von 10 kV bis 500 kV eingesetzt und halten Tausenden von Schaltvorgängen stand.

### 2.2.1.2 Entladungselektrode und Zündkerzenelektrode

die Funkenerosion und Zündkerzenherstellung werden Elektrodenmaterialien mit hoher Verschleiß- und Erosionsbeständigkeit benötigt. Wolframkupferstäbe W-Cu 70/30 und W-Cu 80/20 sind häufig verwendete Elektrodenmaterialien. Ihre Vorteile:

Hochpräzise Bearbeitung: Die gleichmäßige Mikrostruktur des Wolframkupferstabs gewährleistet Bearbeitungsgenauigkeit.

Ablationsbeständigkeit: Bleibt in einer Umgebung mit Hochfrequenzentladung stabil.

Gute elektrische Leitfähigkeit: gewährleistet die Effizienz und Stabilität des Entladevorgangs.

Anwendungsbeispiele: In der Automobilindustrie werden Wolframkupferstäbe zur Herstellung von Hochleistungs-Zündkerzenelektroden verwendet; im Präzisionsformenbau werden Wolframkupferelektroden zur Funkenerosionsbearbeitung komplex geformter Metallteile eingesetzt.

### 2.2.1.3 Halbleitergehäuse und leitfähige Steckverbinder

In Halbleitergehäusen werden Wolframkupferstäbe als leitfähige Substrate und Verbindungsstücke verwendet, um die elektrische Signalübertragung und das Wärmemanagement zu gewährleisten. Wolframkupferstäbe der Güten W-Cu 50/50 und W-Cu 75/25 werden aufgrund ihrer hohen Leitfähigkeit und ihres niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten häufig verwendet. Zu ihren Vorteilen gehören:

Niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient: passt zu Silizium- und Keramiksubstraten und reduziert die thermische Belastung.

Hohe Wärmeleitfähigkeit: leitet Wärme effektiv ab und schützt empfindliche elektronische Komponenten.

Hohe Zuverlässigkeit: Behält die stabile Leistung in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit bei.

Anwendungsfall: In Leistungshalbleiterbauelementen (wie MOSFET und IGBT) werden Wolframkupferstäbe als leitfähige Substrate und Wärmeableitungsgrundplatten verwendet und finden breite Anwendung in Fahrzeugen mit neuer Energie und industriellen Automatisierungsgeräten.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

### 1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

### 2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

**High Thermal Conductivity:** The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

**High Strength and High-Temperature Resistance:** The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

**Resistance to Arc Erosion:** The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

**Low Thermal Expansion Coefficient:** Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

**Excellent Machinability:** Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

### 3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

### 4. Advantages of Tungsten Copper Rod

**High-Performance Combination:** A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

**Customized Solutions:** Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

**Long Service Life and Stability:** Significantly reduces maintenance and replacement costs.

### 5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

### 2.2.2 Wolframkupferstab zur Wärmeableitung und zum Wärmemanagement

Die Anwendung von Wolframkupferstäben im Bereich des Wärmemanagements beruht auf ihrer hervorragenden Wärmeleitfähigkeit und ihrem niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten, die für die Wärmeableitungsanforderungen von Hochleistungselektronikgeräten und Luft- und Raumfahrttausrüstung geeignet sind.

#### 2.2.2.1 Kühlkörper für Mikroelektronik und integrierte Schaltkreise

Mikroelektronik und integrierte Schaltkreise benötigen effiziente Wärmeableitungsmaterialien, um Überhitzung zu vermeiden. Wolframkupferstäbe W-Cu 75/25 und W-Cu 80/20 werden aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit und der an Siliziumsubstrate angepassten Wärmeausdehnung häufig in der Kühlkörperherstellung eingesetzt. Ihre Vorteile:

Effiziente Wärmeableitung: Die Wärmeleitfähigkeit beträgt bis zu 150–200 W/ m·K .

Dimensionsstabilität: Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient gewährleistet die strukturelle Integrität im Langzeitbetrieb.

Hohe Zuverlässigkeit: Behält die stabile Leistung bei Hochleistungsbetrieb bei.

Anwendungsfall: In den CPU/GPU-Modulen von Hochleistungscomputern und Servern werden Wolframkupfer-Kühlkörper verwendet, um Wärme abzuleiten und einen stabilen Betrieb des Chips unter hoher Belastung zu gewährleisten.

#### 2.2.2.2 Wärmeableitungssubstrate für Laser und Hochleistungsgeräte

Hochleistungslaser und HF-Geräte benötigen einen effizienten Kühlkörper, um ihre Leistung aufrechtzuerhalten. Wolframkupferstäbe W-Cu 70/30 und W-Cu 75/25 sind ideale Kühlkörpermaterialien. Ihre Vorteile:

Hohe Wärmeleitfähigkeit: leitet Wärme schnell ab, um eine Überhitzung des Geräts zu verhindern.

Gute mechanische Eigenschaften: Hält den mechanischen Belastungen beim Betrieb von Hochleistungsgeräten stand.

Oberflächenebenheit: geeignet für Präzisionsbearbeitung und Oberflächenbeschichtung.

Anwendungsbeispiel: In optischen Kommunikationslasern und Radarsystemen werden Wolframkupfer-Kühlkörper zur Unterstützung von Hochleistungslaserdioden und HF-Verstärkern verwendet.

#### 2.2.2.3 Kühlkomponenten für die Luft- und Raumfahrt

Luft- und Raumfahrttausrüstung erfordert eine effiziente Wärmeableitung unter extremen Bedingungen. Wolframkupferstäbe W-Cu 80/20 und W-Cu 85/15 werden aufgrund ihrer hohen Festigkeit und Temperaturbeständigkeit in Wärmeableitungskomponenten eingesetzt. Ihre Vorteile:

Hohe Temperaturbeständigkeit: Fähigkeit, die Leistung in Umgebungen mit hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten.

Hohe Dichte: sorgt für ausreichende mechanische Festigkeit und Massenausgleich.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Thermoschockbeständigkeit: Bleibt bei schnellen Temperaturänderungen stabil.

Anwendungsbeispiele: In Wärmemanagementsystemen von Satelliten und Flugzeugtriebwerken werden Wärmeableitungskomponenten aus Wolframkupfer verwendet, um den Hochtemperatur-Luftstrom und die Wärmebelastung elektronischer Geräte zu bewältigen.

### **2.2.3 Wolfram-Kupferstäbe für Militär- und Luft- und Raumfahrtanwendungen**

Die Anwendung von Wolframkupferstäben im Militär- und Luft- und Raumfahrtbereich ist auf ihre hohe Dichte, hohe Festigkeit und hohe Temperaturbeständigkeit zurückzuführen, wodurch sie sich für die Herstellung von Hochleistungswaffen und Luft- und Raumfahrtkomponenten eignen.

#### **2.2.3.1 Elektromagnetische Waffen und Schutzpanzermaterialien**

Elektromagnetische Waffen und Schutzpanzerungen erfordern Materialien mit hoher Dichte und Verschleißfestigkeit. W-Cu 90/10 Wolframkupferstäbe werden aufgrund ihrer hohen Festigkeit und Dichte zur Herstellung von Führungsschienen und Panzerungskomponenten verwendet. Zu seinen Vorteilen gehören:

Hohe Dichte: Bietet ausreichend kinetische Energie und Qualitätsstabilität.

Verschleißfestigkeit: Behält die Leistung bei hoher Geschwindigkeit bei Reibung und Stößen bei.

Hohe Temperaturbeständigkeit: Hält der plötzlich auftretenden hohen Temperatur beim Abfeuern elektromagnetischer Waffen stand.

Anwendungsbeispiele: In elektromagnetischen Waffensystemen werden Wolframkupferschienen verwendet, um der Reibung und dem Lichtbogenaufprall von Hochgeschwindigkeitsprojektilen standzuhalten; in Panzermaterialien werden Wolframkupferstäbe verwendet, um die Schutzleistung zu verbessern.

#### **2.2.3.2 Elektroden und Komponenten für Hochenergiegewaffen**

Hochenergiegewaffen wie Laser und Plasmawaffen erfordern Elektrodenmaterialien, die hohen Temperaturen und Ablation standhalten. Wolframkupferstäbe W-Cu 80/20 und W-Cu 85/15 sind die ideale Wahl und bieten Vorteile wie:

Ablationsbeständigkeit: Erhält die strukturelle Integrität während einer hochenergetischen Entladung.

Hohe Leitfähigkeit: sorgt für eine effiziente Übertragung elektrischer Energie.

Lange Lebensdauer: Reduzieren Sie die Austauschhäufigkeit und verbessern Sie die Waffenzuverlässigkeit.

Anwendungsbeispiele: In Hochenergie-Laserwaffen werden Wolfram-Kupfer-Elektroden verwendet, um die Entladung hoher Leistung zu unterstützen; in Plasmawaffen werden Wolfram-Kupfer-Komponenten verwendet, um dem Aufprall von Hochtemperaturplasmen standzuhalten.

#### **Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung**

### 2.2.3.3 Komponenten der Raketendüse und des Antriebssystems

Raketendüsen und Antriebssysteme müssen in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hohem Druck betrieben werden. Wolframkupferstäbe W-Cu 85/15 und W-Cu 90/10 werden aufgrund ihrer hohen Temperaturbeständigkeit und Festigkeit zur Herstellung von Düsenhalsauskleidungen und Antriebssystemkomponenten verwendet. Zu den Vorteilen gehören:

Extrem hohe Temperaturbeständigkeit: Hält den hohen Temperaturen von Raketenbrennkammern (>3000 °C) stand.

Thermoschockbeständigkeit: Bleibt bei schnellen Temperaturänderungen stabil.

Hohe Dichte: sorgt für strukturelle Festigkeit und Massenausgleich.

Anwendungsfall: In Feststoffraketenmotoren und Flüssigkeitsraketenantriebssystemen werden Wolframkupferstäbe zur Herstellung von Düsenhalsauskleidungen und Hochtemperatur-Führungskomponenten verwendet.

### 2.2.4 Wolframkupferstäbe für den Maschinen- und Formenbau

Wolframkupferstäbe werden im Maschinenbau und Formenbau aufgrund ihrer hohen Härte, Verschleißfestigkeit, hervorragenden Wärmeleitfähigkeit und Ablationsbeständigkeit eingesetzt und eignen sich daher ideal für die Herstellung hochpräziser Bearbeitungswerkzeuge und Formen. Insbesondere in Bereichen wie der Funkenerosion (EDM) und Stanzwerkzeugen bieten Wolframkupferstäbe einzigartige Vorteile und verbessern die Bearbeitungseffizienz und die Lebensdauer der Formen deutlich.

#### 2.2.4.1 Elektrode für die Funkenerosion (EDM)

Funkenerosion (EDM) ist eine Präzisionsbearbeitungstechnologie, bei der Material durch elektrische Funkenentladung entfernt wird. Sie wird häufig im Formenbau, in der Luft- und Raumfahrtteilverarbeitung und in der Metallbearbeitung komplexer Geometrien eingesetzt. EDM-Elektroden erfordern Materialien mit hoher Verschleißfestigkeit, Ablationsbeständigkeit und guter elektrischer Leitfähigkeit, um Bearbeitungsgenauigkeit und Elektrodenlebensdauer zu gewährleisten. Wolframkupferstäbe W-Cu 70/30 und W-Cu 80/20 sind die bevorzugten Materialien für EDM-Elektroden. Ihre Hauptvorteile sind:

Hohe Verschleißfestigkeit: Die hohe Härte von Wolfram ermöglicht es der Elektrode, dem Verschleiß bei Hochfrequenzentladungen zu widerstehen und ihre Lebensdauer zu verlängern.

Hervorragende Ablationsbeständigkeit: Bei der durch die elektrische Funkenentladung erzeugten, augenblicklich hohen Temperatur (bis zu 6000 °C) kann der Wolframkupferstab seine strukturelle Integrität bewahren und den Elektrodenverlust verringern.

Gute Leitfähigkeit: Durch die Zugabe von Kupfer wird eine ausreichende Leitfähigkeit der Elektrode gewährleistet (die Leitfähigkeit beträgt etwa 20–40 % der Leitfähigkeit von reinem Kupfer) und so eine effiziente Entladungsbearbeitung unterstützt.

Hohe Verarbeitungspräzision: Die gleichmäßige Mikrostruktur und der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient des Wolframkupferstabs sorgen dafür, dass die Elektrode während der Verarbeitung ihre Dimensionsstabilität behält, was zu einer hochpräzisen Verarbeitung beiträgt.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Einfach zu verarbeiten: Im Vergleich zu reinem Wolfram ist Wolframkupferstab besser bearbeitbar, was die Herstellung von Elektroden mit komplexen Formen erleichtert.

Anwendungsbeispiele: Im Präzisionsformenbau werden Wolframkupferstäbe W-Cu 70/30 häufig zur Herstellung komplexer Stahlformen eingesetzt, beispielsweise für Autoteile und Gehäuse von elektronischen Geräten. In der Luft- und Raumfahrt werden Wolframkupferelektroden zur Bearbeitung von Titanlegierungen und Hochtemperaturlegierungskomponenten eingesetzt, um hohe Präzision und Oberflächenqualität zu gewährleisten. Darüber hinaus erreichen Wolframkupferelektroden bei der Bearbeitung von Mikroteilen eine Bearbeitungsgenauigkeit im Mikrometerbereich und erfüllen so die Fertigungsanforderungen von MEMS (mikroelektromechanischen Systemen) und Präzisionsinstrumenten.

Herstellungsmerkmale: Wolfram-Kupfer-Elektroden für die Funkenerosion werden typischerweise pulvermetallurgisch hergestellt, indem hochreines Wolfram- und Kupferpulver vor dem Verdichten und Sintern gemischt wird. Um die Elektrodendichte und Leistungsgleichmäßigkeit zu verbessern, werden in einigen Verfahren Kupferinfiltration oder heißisostatisches Pressen (HIP) eingesetzt. Die Elektrodenoberfläche erfordert typischerweise eine Präzisionsbearbeitung (z. B. Schleifen oder Polieren), um die Anforderungen an die Präzisionsbearbeitung zu erfüllen.

Entwicklungstrends: Mit der Weiterentwicklung der EDM-Technologie in die Mikro- und Nanobearbeitung wird der Herstellungsprozess von Wolfram-Kupfer-Elektroden kontinuierlich optimiert. Beispielsweise kann die Verwendung von nanometergroßen Wolfram- und Kupferpulvern die mikrostrukturelle Gleichmäßigkeit der Elektroden weiter verbessern und kleinere Defekte während der Entladung reduzieren. Darüber hinaus werden Oberflächenmodifizierungstechniken (wie Vernickeln oder Vergolden) eingesetzt, um die Oxidationsbeständigkeit und elektrische Leitfähigkeit der Elektroden zu verbessern und so ihre Lebensdauer weiter zu verlängern.

#### 2.2.4.2 Stanzwerkzeuge und Verschleißteile

Bei der Herstellung von Stanzwerkzeugen und verschleißfesten Teilen werden Wolframkupferstäbe aufgrund ihrer hohen Härte, Verschleißfestigkeit und hervorragenden Wärmeleitfähigkeit häufig verwendet. Stanzwerkzeuge und verschleißfeste Teile müssen häufig hohen Belastungen, häufigen Stößen und hohen Temperaturen ausgesetzt sein. Wolframkupferstäbe erfüllen diese hohen Anforderungen effektiv. Wolframkupferstäbe der Güten W-Cu 75/25 und W-Cu 80/20 werden häufig in diesem Bereich eingesetzt. Ihre Hauptvorteile sind:

Hohe Härte und Verschleißfestigkeit: Die hohe Härte von Wolfram (nahe der Mohshärte von reinem Wolfram auf Stufe 9) ermöglicht es dem Wolframkupferstab, mechanischem Verschleiß während des Stanzvorgangs zu widerstehen und die Lebensdauer der Form zu verlängern.

Hervorragende Wärmeleitfähigkeit: Durch die Zugabe von Kupfer erhält der Wolframkupferstab eine höhere Wärmeleitfähigkeit (ca. 150–200 W/ m·K ), wodurch die Wärme schnell abgeleitet werden kann und Verformungen oder Ausfälle der Form durch Überhitzung verhindert werden.

Niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient: Die geringe Wärmeausdehnung von Wolfram (ca. 4,5–5,5 × 10<sup>-6</sup> / K) gewährleistet die Dimensionsstabilität der Form bei hohen Temperaturen und eignet

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

sich für hochpräzises Stanzen.

Ermüdungsbeständigkeit: Wolframkupferstäbe können ihre strukturelle Integrität auch bei häufigen Stößen aufrechterhalten, wodurch das Risiko von Rissen und Ermüdungsbrüchen verringert wird.

Anwendungsbeispiele: In der Automobilindustrie werden Wolframkupferstäbe zur Herstellung von Stanzformen für Karosserieteile, Motorkomponenten und Getriebeteile verwendet. In Druckgussformen für Aluminium- und Magnesiumlegierungen dienen Wolframkupferstäbe als Kernstäbe und Düsen und sind widerstandsfähig gegen Stöße und Korrosion durch heißes, geschmolzenes Metall. Darüber hinaus werden Wolframkupferformen bei der Stanzproduktion von Präzisionsbeschlägen und elektronischen Steckverbindern aufgrund ihrer hohen Verschleißfestigkeit und langen Lebensdauer bevorzugt.

Herstellungsmerkmale: Wolframkupferstäbe für Stanzwerkzeuge werden typischerweise pulvermetallurgisch in Kombination mit einem Kupferinfiltrationsverfahren hergestellt, um eine hohe Materialdichte und gleichmäßige Leistung zu gewährleisten. Um die komplexen Formanforderungen der Form zu erfüllen, werden die Wolframkupferstäbe in einigen Verfahren mittels CNC-Bearbeitung oder Laserschneidtechnologie feinjustiert. Darüber hinaus können Oberflächenhärtungsbehandlungen (wie Aufkohlen oder Nitrieren) die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit der Form weiter verbessern.

Entwicklungstrends: Wolframkupferstäbe für Stanzwerkzeuge werden künftig leistungsstärker und komplexer geformt sein. Beispielsweise ermöglicht der Einsatz additiver Fertigungstechnologie (3D-Druck) die Gestaltung komplexer interner Kühlkanäle in Wolframkupferwerkzeugen und verbessert so die Wärmeableitungseffizienz. Darüber hinaus kann die Dotierung mit Spurenelementen (wie Nickel oder Seltenen Erden) die Ermüdungs- und Verschleißfestigkeit von Wolframkupferstäben weiter optimieren und so den Anforderungen hochfester Stanzwerkzeuge gerecht werden.

### **2.2.5 Wolfram-Kupfer-Stäbe für medizinische und wissenschaftliche Forschungsanwendungen**

Wolframkupferstäbe werden aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Temperaturbeständigkeit und Biokompatibilität in der medizinischen und wissenschaftlichen Forschung eingesetzt. Sie eignen sich besonders für die Herstellung medizinischer Elektroden, Spezialsonden und Komponenten für Experimente in der Hochenergiephysik. Wolframkupferstäbe der Typen W-Cu 80/20 und W-Cu 85/15 werden in diesem Bereich häufig verwendet und erfüllen die Anforderungen an hohe Präzision und extreme Umgebungen.

#### **2.2.5.1 Medizinische Elektroden und Spezialsonden**

In der Medizin werden Wolframkupferstäbe zur Herstellung hochpräziser Elektroden und Sonden verwendet, die häufig in der Nervenstimulation, der Radiofrequenzablation und in minimalinvasiven chirurgischen Geräten eingesetzt werden. Diese Anwendungen erfordern Materialien mit hoher Leitfähigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Biokompatibilität. Wolframkupferstäbe W-Cu 70/30 und W-Cu 80/20 werden aufgrund ihrer hervorragenden Leistung

häufig verwendet. Zu ihren Hauptvorteilen gehören:

**Hohe Leitfähigkeit:** gewährleistet eine genaue Übertragung elektrischer Signale, geeignet für Nervenstimulation und elektrophysiologische Überwachung.

**Korrosionsbeständigkeit:** Bleibt in physiologischen Umgebungen (wie Blut oder Gewebeflüssigkeit) stabil und reduziert den Materialabbau.

**Hohe Härte und Verschleißfestigkeit:** unterstützt den langfristigen Einsatz der Sonde bei hochpräzisen Operationen.

**Biokompatibilität:** Nach entsprechender Oberflächenbehandlung (z. B. Vergoldung oder Versilberung) kann der Wolframkupferstab die Biokompatibilitätsanforderungen medizinischer Geräte erfüllen.

**Anwendungsbeispiele:** In Neurostimulationsgeräten werden Wolfram-Kupfer-Elektroden bei der Tiefen Hirnstimulation (DBS) zur Behandlung von Parkinson und Epilepsie eingesetzt, indem sie präzise elektrische Impulse abgeben. Bei der Radiofrequenzablation werden Wolfram-Kupfer-Sonden zur Behandlung von Herzläsionen oder Tumoren eingesetzt, wobei sie auch bei hohen Temperaturen und hochfrequenten elektrischen Feldern stabil bleiben. Darüber hinaus werden Wolfram-Kupfer-Stäbe in der minimalinvasiven Chirurgie zu Miniatursonden für endoskopische Untersuchungen und Gewebeproben verarbeitet.

**Herstellungsmerkmale:** Medizinische Wolframkupferstäbe werden typischerweise aus hochreinem Wolfram- und Kupferpulver durch Pulvermetallurgie und heißisostatisches Pressen hergestellt, um eine hohe Dichte und eine porenfreie Struktur zu gewährleisten. Die Oberflächenbehandlung (wie Galvanisierung oder chemische Passivierung) ist ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Biokompatibilität und Korrosionsbeständigkeit des Materials. Darüber hinaus werden Mikro-Nanofabrikationstechnologien zur Herstellung von Mikroelektroden und Sonden eingesetzt, um den Anforderungen hochpräziser medizinischer Geräte gerecht zu werden.

**Entwicklungstrends:** Mit der Weiterentwicklung minimalinvasiver Medizintechnik werden Wolfram-Kupfer-Elektroden und -Sonden immer kleiner und präziser. Beispielsweise kann die Entwicklung nanoskaliger Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffe die Leitfähigkeit und die mechanischen Eigenschaften von Elektroden weiter verbessern. Darüber hinaus könnten zukünftige Wolfram-Kupfer-Sonden in Kombination mit intelligenten Materialtechnologien Sensorfunktionen zur Echtzeitüberwachung physiologischer Signale enthalten.

### **2.2.5.2 Experimente in der Hochenergiephysik und Anwendungen in der Nuklearindustrie**

Wolframkupferstäbe werden aufgrund ihrer hohen Dichte, Temperaturbeständigkeit und Strahlungsresistenz häufig in Experimenten der Hochenergiephysik und in der Nuklearindustrie eingesetzt. Wolframkupferstäbe der Güten W-Cu 85/15 und W-Cu 90/10 sind die bevorzugten Materialien in diesem Bereich, da sie den hohen Temperaturen, dem hohen Druck und dem Partikelbeschuss in extremen Umgebungen standhalten. Ihre wichtigsten Vorteile sind:

**Hohe Dichte:** Die hohe Dichte von Wolfram (ca. 19,25 g/cm<sup>3</sup>) ermöglicht Wolframkupferstäben eine

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

wirksame Abschirmung hochenergetischer Strahlung und eignet sich daher für den Einsatz in Komponenten von Kernreaktoren und Teilchenbeschleunigern.

Hohe Temperaturbeständigkeit: Behält die stabile Leistung bei extrem hohen Temperaturen ( $> 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) bei, die durch Kernfusion oder Kollisionen hochenergetischer Teilchen entstehen.

Strahlungsbeständigkeit: Wolframkupferstäbe sind widerstandsfähig gegen Schäden durch Neutronenbestrahlung und Gammastrahlen und verlängern so die Lebensdauer der Komponenten.

Hervorragende Wärmeleitfähigkeit: Leitet Wärme schnell ab, um Komponentenausfälle aufgrund hoher Temperaturen zu verhindern.

Anwendungsbeispiele: Im Internationalen Thermonuklearen Versuchsreaktor (ITER) werden Wolframkupferstäbe W-Cu 85/15 als Kühlkörper für Divertoren eingesetzt, die hohen Hitzebelastungen und Plasmabeschuss standhalten. In Teilchenbeschleunigern wie dem Large Hadron Collider des CERN werden Wolframkupferstäbe zur Herstellung von Targets und Strahlenschutzkomponenten verwendet, um die Ausrüstung vor hochenergetischen Teilchen zu schützen. Darüber hinaus werden Wolframkupferstäbe in der Kernenergieindustrie als Hochtemperatur-Wärmeleiter und Strahlenschutzmaterial eingesetzt, um die Sicherheit und Effizienz von Reaktoren zu verbessern.

Herstellungsmerkmale: Die Herstellung von Wolframkupferstäben für die Nuklearindustrie erfordert eine extrem hohe Materialreinheit und -dichte. Heißisostatisches Pressen oder Plasmasintern werden üblicherweise eingesetzt, um Mikroporen und Defekte im Material zu beseitigen. Zur Verbesserung der Strahlungsbeständigkeit wird das Material in einigen Verfahren mit Seltenerdmetallen (wie Lanthan oder Cer) dotiert, um die Mikrostruktur des Materials zu optimieren. Zusätzlich werden Oberflächenbeschichtungen (wie Molybdän- oder Keramikbeschichtungen) eingesetzt, um die Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit des Materials zu verbessern.

Entwicklungstrends: Wolframkupferstäbe für die Nuklearindustrie werden künftig leistungsstärker und komplexer. Beispielsweise ermöglicht der Einsatz additiver Fertigungstechnologien die Herstellung von Wolframkupferstäben zu Kühlkörpern und Abschirmkomponenten mit komplexen Geometrien, die den Anforderungen von Kernfusionsreaktoren der nächsten Generation gerecht werden. Darüber hinaus werden neue Dotierungs- und Oberflächenmodifizierungstechnologien die Strahlungs- und Hochtemperaturbeständigkeit von Wolframkupferstäben weiter verbessern und ihren Einsatz in Experimenten der Hochenergiephysik und in der Nuklearindustrie fördern.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung



### Kapitel 3 Vorbereitung und Produktionstechnologie von Wolframkupferstäben

Wolframkupferstäbe, ein Verbundwerkstoff, der die hohe Festigkeit und Temperaturbeständigkeit von Wolfram mit der hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von Kupfer vereint, spielen eine unverzichtbare Rolle in elektronischen Geräten, elektrischen Kontakten, Wärmemanagementkomponenten sowie in der Luft- und Raumfahrt. Ihr Herstellungsprozess ist eine anspruchsvolle materialwissenschaftliche Reise, die traditionelle Pulvermetallurgieverfahren mit innovativen Durchbrüchen moderner Technologie verbindet. Von der sorgfältigen Rohstoffauswahl bis zur Präzisionsbearbeitung des Endprodukts erfordert jeder Schritt eine sorgfältige Planung, um Materialgleichmäßigkeit, Dichte und stabile Leistung zu gewährleisten. Der Schlüssel liegt in der Schaffung eines porösen Wolframskeletts und der präzisen Infiltration von geschmolzenem Kupfer, um eine perfekte Verbindung der beiden Phasen zu erreichen. Traditionelle Verfahren basieren auf Pressen, Sintern und Vakuuminfiltration, während neue Technologien Nanomaterialien, additive Fertigung und intelligente Steuerung integrieren, um noch höheren Leistungsanforderungen gerecht zu werden. Dieses Kapitel bietet eine detaillierte Beschreibung und geht auf jeden Schritt ein, von der Rohstoffaufbereitung bis zur Erforschung neuer Verfahren. Durch die Konzentration auf Prozessprinzipien, betriebliche Details, Herausforderungen und Optimierungsstrategien wird eine Überfrachtung mit technischen Daten vermieden und stattdessen eine anschauliche Sprache verwendet, um die Komplexität und den Charme des Vorbereitungsprozesses aufzuzeigen.

#### 3.1 Rohstoffaufbereitung

Die Vorbereitung der Rohstoffe ist der Ausgangspunkt für die Produktion von Wolframkupferstäben, ähnlich wie die Vorbereitung der Instrumente für eine anspruchsvolle Symphonie. Wolframpulver und Elektrolytkupfer als primäre Rohstoffe werden einer strengen Prüfung und Verarbeitung unterzogen, um sicherzustellen, dass sie in nachfolgenden Prozessen nahtlos zusammenarbeiten und

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

einen Hochleistungsverbundwerkstoff bilden. Die Kontrolle von Reinheit, Partikelgröße und Morphologie beeinflusst nicht nur die Formungs- und Sinterergebnisse, sondern bestimmt auch die thermischen, elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Endprodukts.

### 3.1.1 Herstellung und Qualitätsanforderungen von Wolframpulver

Die Herstellung von Wolframpulver ähnelt der Umwandlung von hartem Wolframerz in ein feines, kunstvolles Material. Typischerweise wird die Wasserstoffreduktion verwendet. Dabei handelt es sich um ein ausgereiftes Industrieverfahren. Ausgehend von Wolframerz (wie Wolframit oder Scheelit) wird dieses chemisch gereinigt, um Wolframate zu erzeugen, die dann zu Wolframtrioxid geröstet werden. Der anschließende Reduktionsprozess findet in einem Hochtemperaturofen statt, wo Wasserstoff wie ein geduldiger Handwerker die Oxide nach und nach ablöst, bis reines Wolframpulver entsteht. Andere Methoden, wie Elektrolyse oder mechanisches Legieren, können feinere Partikel erzeugen, sind aber teurer und für spezielle Anwendungen geeignet.

Die Qualitätsanforderungen an Wolframpulver sind außerordentlich hoch: Es erfordert extrem hohe Reinheit, um Verunreinigungen zu minimieren, eine gleichmäßige Partikelform, um das Verdichten und Binden zu erleichtern, und einen streng kontrollierten Sauerstoffgehalt, um unerwünschte Oxidbildung bei hohen Temperaturen zu verhindern. Hochwertiges Wolframpulver dient als sorgfältig ausgewählter Keim und legt den Grundstein für nachfolgende Prozesse. Die Zugabe von Spurenaktivatoren kann die Pulverschmelze beim Sintern verbessern, ist jedoch Vorsicht geboten, um die Wärmeleitfähigkeit des Materials nicht zu beeinträchtigen. Wolframpulver sollte trocken und versiegelt gelagert werden, um eine Beeinträchtigung der Aktivität durch Feuchtigkeit und Sauerstoff zu verhindern.

### 3.1.2 Herstellung und Eigenschaften von Elektrolytkupfer

Die Herstellung von Elektrolytkupfer erfolgt durch elektrochemische Raffination. Rohkupfer wird in einem Elektrolyten zersetzt, und Kupferionen, geleitet durch ein elektrisches Feld, lagern sich an der Kathode ab und bilden reine Kupferfolie oder -pulver. Dieser Prozess erfordert, wie die Goldraffination, eine präzise Kontrolle, um Verunreinigungen zu entfernen und sicherzustellen, dass das Kupfer den branchenführenden Qualitätsstandards entspricht.

Elektrolytkupfer mit seiner hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit dient als Schmiermittel in Wolframkupferstäben. Sein niedriger Schmelzpunkt ermöglicht ein leichtes Fließen während der Infiltration und füllt die Poren des Wolframskeletts. Seine hervorragende Plastizität gewährleistet die Zähigkeit des Verbundwerkstoffs. Kupfer ist in verschiedenen Formen erhältlich, von feinem Pulver bis hin zu massiven Blöcken, um unterschiedlichen Prozessanforderungen gerecht zu werden. Im Wolframkupferstab leitet Kupfer nicht nur Strom und Wärme, sondern verbindet auch die Wolframpartikel zu einem robusten Netzwerk. Kupfer ist jedoch sauerstoffempfindlich und erfordert bei Lagerung und Handhabung äußerste Sorgfalt, um Oxidation zu vermeiden, die seine Leistung beeinträchtigen könnte.

### 3.1.3 Einfluss der Größe, Morphologie und Reinheit des Wolframpulvers auf den Prozess

Partikelgröße und -form von Wolframpulver wirken wie Bildhauerwerkzeuge und prägen die

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Materialstruktur direkt. Feine Partikel verbinden sich dichter und erhöhen so die Festigkeit des Skeletts, können aber Poren vorzeitig schließen und das Eindringen von Kupfer behindern. Größere Partikel fördern ein offenes Porennetz, benötigen aber mehr Energie zum Verschmelzen. Die Wahl der richtigen Partikelgröße ist wie das Mischen der Farben eines Gemäldes: Die richtige Balance zwischen Festigkeit und Durchlässigkeit zu finden.

Auch die Partikelmorphologie ist entscheidend: Pulver mit nahezu kugelförmiger Form lagern sich dichter und fördern so eine gleichmäßige Struktur; unregelmäßige Partikel erhöhen die Anzahl der Kontaktpunkte, was die mechanischen Eigenschaften verbessern, aber auch zu lokalen Defekten führen kann. Reinheit ist das A und O eines Materials und bestimmt die Grenzflächenstabilität und Leistungszuverlässigkeit. Hochreine Pulver minimieren unerwünschte chemische Reaktionen und gewährleisten einen reibungslosen Verbundprozess; Pulver mit geringer Reinheit können Sprödigkeit verursachen und die Haltbarkeit beeinträchtigen. Durch sorgfältige Prüfung und Verarbeitung können diese Faktoren optimiert und so der Weg für die Weiterverarbeitung geebnet werden.

### **3.2 Formgebungsprozess des Wolfram-basierten Vorformlings**

Die Bildung der Wolfram-Vorform ist die „Grundlage“ des Herstellungsprozesses. Ziel ist die Schaffung eines porösen Wolframskeletts, das ideale Kanäle für die Kupferinfiltration bietet. Dieser Prozess kombiniert Press- und Sintererfahren, ähnlich wie das Schnitzen einer mikroskopischen Stadt aus dem festen Wolframpulver. Porosität und Festigkeit erfordern ein sorgfältiges Gleichgewicht, um eine zu dichte oder zu lockere Struktur zu vermeiden.

#### **3.2.1 Pressen (Uniaxiales Pressen, Isostatisches Pressen)**

Uniaxiales Pressen ist ein einfacher und unkomplizierter Prozess, ähnlich dem Verdichten von losem Sand zu Ziegeln mithilfe einer Form. Wolframpulver wird in eine Stahlform gefüllt und mit uniaxialer Kraft in eine vorläufige Form gepresst. Eine kleine Menge Bindemittel, ähnlich wie Klebstoff in Ton, unterstützt die Pulverformung. Diese Methode ist kostengünstig und eignet sich für die Produktion in kleinem Maßstab, kann aber zu ungleichmäßiger Dichte mit losen Zentren und dichten Rändern führen.

Beim isostatischen Pressen wird durch ein flüssiges oder gasförmiges Medium ein gleichmäßiger Druck ausgeübt, ähnlich wie beim vollständigen Umschließen des Pulvers. Ob kaltisostatisches Pressen oder heißisostatisches Pressen in Kombination mit hohen Temperaturen – es verbessert die Gleichmäßigkeit der Vorform deutlich und eignet sich besonders für große oder komplexe Wolframkupferstäbe. Nach dem Pressen muss der Grünkörper sorgfältig getrocknet werden, um das Bindemittel zu entfernen und ihn für das anschließende Sintern vorzubereiten.

#### **3.2.2 Sinterverdichtung (Vakuum oder Wasserstoffatmosphäre)**

Der Sinterprozess ähnelt dem Verschweißen loser Partikel zu einem festen Gerüst. Der gepresste Grünkörper wird anschließend in einen Hochtemperaturofen gelegt und unter Vakuum oder Wasserstoff erhitzt. Das Vakuum wirkt wie eine sterile Kammer, verhindert Oxidation und erleichtert das Austreten von Gasen. Der Wasserstoff wirkt wie ein Reiniger, reduziert

Oberflächenoxide und stärkt die Partikelbindung.

Während dieses Prozesses verbinden sich die Partikel allmählich durch Diffusion und Halswachstum, wodurch der Grünkörper schrumpft und dichter wird. Die Zugabe von Spuren von Aktivatoren kann die erforderliche Temperatur senken, jedoch ist Vorsicht geboten, um die Reinheit des Materials nicht zu beeinträchtigen. Sintern ist ein langsamer chemischer Tanz, der ein präzises Gleichgewicht von Temperatur und Zeit erfordert, um ein starkes Skelett bei gleichzeitig ausreichender Porosität zu gewährleisten.

### 3.2.3 Kontrolle der Porosität und Konnektivität von Vorformen

Porosität und Konnektivität bilden das „Atmungssystem“ des Vorformlings und wirken sich direkt auf die Infiltration von geschmolzenem Kupfer aus. Zu hohe Porosität kann das Gerüst schwächen, zu geringe Porosität kann die Penetration behindern. Dies erfordert eine sorgfältige Kontrolle durch Pulververhältnis und Prozessbedingungen. Die Zugabe temporärer Porenbildner ist vergleichbar mit dem Einbetten löslicher Partikel in Erde, die nach dem Sintern entfernt werden, um Kanäle zu bilden.

Die Überprüfung der Porenkonnektivität ist vergleichbar mit der Überprüfung des Verkehrsnetzes einer Stadt, um sicherzustellen, dass es keine Sackgassen gibt. Ein optimierter Vorformling weist eine gleichmäßige Porenverteilung auf, die einen reibungslosen Weg für die Schmelzinfiltration bietet und gleichzeitig eine ausreichende mechanische Festigkeit gewährleistet.

## 3.3 Vakuuminfiltrationsverfahren

Die Vakuuminfiltration ist der wichtigste Schritt bei der Herstellung von Wolfram-Kupfer-Stäben. Dabei wird flüssiges Kupfer in die mikroskopischen Adern des Wolframskeletts injiziert, wodurch ein dichter Verbundwerkstoff entsteht. Dieser Prozess ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern auch eine Symphonie aus Physik und Chemie. Unter Vakuum dringt geschmolzenes Kupfer durch Kapillarkräfte in die Poren des Wolframskeletts ein, füllt alle Lücken und bildet schließlich eine gleichmäßige Verbundstruktur. Der Schlüssel zum Erfolg liegt in der Kontrolle von Temperatur, Vakuumniveau und Infiltrationsdynamik. Gleichzeitig gilt es, Kupferverflüchtigung, Grenzflächendefekte und ungleichmäßige Verteilung zu vermeiden. Im Folgenden werden die Komplexität und der Aufwand dieses Prozesses anhand der Prinzipien, der Ausrüstung und der spezifischen Abläufe ausführlich beschrieben.

### 3.3.1 Grundprinzipien der Vakuuminfiltration

Das Wesentliche der Vakuuminfiltration besteht darin, Kapillarwirkung und Vakuum zu nutzen, um geschmolzenes Kupfer auf natürliche Weise in das Porennetzwerk des Wolframskeletts fließen zu lassen. Stellen Sie sich einen Wassertropfen vor, der von einem Schwamm aufgesogen wird: Das geschmolzene Kupfer wird bei hohen Temperaturen zu einer fließenden Flüssigkeit und dringt mithilfe des Unterdrucks des Vakuums durch winzige Porenkanäle in die Wolframstruktur ein. Wolfram und Kupfer reagieren nicht chemisch, sondern verbinden sich durch physikalische Benetzung. Die Größe des Benetzungswinkels bestimmt, ob das Kupfer spontan fließen kann. Die Vakuumumgebung eliminiert den Gaswiderstand, sodass das Kupfer jede Ecke gleichmäßiger ausfüllen kann.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Dieser Prozess haucht dem Wolframskelett Leben ein. Das Kupfer füllt nicht nur die Poren, sondern bildet beim Abkühlen auch ein leitfähiges und wärmeleitendes Netzwerk, das mit dem Wolframskelett einen robusten und effizienten Verbund bildet. Der Schlüssel liegt in der Gewährleistung einer guten Benetzung und der Vermeidung einer Kupferverflüchtigung durch zu hohe Temperaturen oder einer unvollständigen Durchdringung aufgrund ungleichmäßiger Porosität.

### 3.3.2 Aufbau und Funktionsprinzip des Infiltrationsofens

Der Infiltrationsofen ist das Herzstück der Vakuuminfiltration und so ausgefeilt wie ein Präzisions-Operationssaal. Der Ofenkörper besteht aus einer Vakuumkammer, einem Heizsystem, einer Vakuumpumpe und einem Kühlsystem. Die Vakuumkammer besteht üblicherweise aus hochtemperaturbeständigen Materialien wie Edelstahl oder Quarz. Im Inneren befindet sich ein Graphittiegel, der die Wolfram-Vorform und den Kupferblock aufnimmt. Das Heizsystem kann Widerstands- oder Induktionsheizung sein und regelt wie ein präziser Koch die Temperatur über dem Schmelzpunkt von Kupfer. Die Vakuumpumpe wirkt wie ein Ventilator und saugt Luft an, um ein Hochvakuum zu erzeugen und Gasinterferenzen zu reduzieren. Das Kühlsystem senkt die Temperatur nach Abschluss der Infiltration schrittweise ab, um Rissen durch thermische Spannung vorzubeugen.

Während des Betriebs wird ein Wolfram-Vorformling in einen Tiegel gelegt, über dem oder daneben ein Kupferblock platziert ist. Der Ofen wird zunächst evakuiert, um Luft und Feuchtigkeit zu entfernen, dann wird die Temperatur langsam erhöht, um das Kupfer zu schmelzen. Kapillarkräfte und das Vakuum im Tiegel ermöglichen es dem geschmolzenen Kupfer, in den Vorformling einzudringen und die Poren zu füllen, bevor es abkühlt und erstarrt. Der gesamte Prozess ähnelt einem mikroskopischen Infusionsgussverfahren und erfordert die präzise und genaue Ausführung jedes einzelnen Schritts.

### 3.3.3 Kupferinfiltrationstemperatur, Vakuumgrad und Infiltrationsdynamik

Die Kupferinfiltrationstemperatur muss über dem Schmelzpunkt von Kupfer liegen, darf aber nicht zu hoch sein, um eine Verdampfung des Kupfers oder unerwünschtes Kornwachstum im Wolframgerüst zu verhindern. Die Wahl der richtigen Temperatur ist wie die Regulierung der Hitze beim Kochen; sie muss genau richtig sein. Der Grad des Vakuums bestimmt den reibungslosen Ablauf des Infiltrationsprozesses: Ein Hochvakuum ist wie eine freie Startbahn, die das Kupfer ungehindert fließen lässt; unzureichendes Vakuum lässt Restgase Blasen bilden, die die Dichte des Materials beeinträchtigen.

Die Infiltrationsdynamik ist der Kern dieses Prozesses. Die Fließgeschwindigkeit der Kupferlösung hängt von der Porengröße, der Benetzbarkeit und dem Einfluss der Temperatur auf die Viskosität der Kupferlösung ab. Kleinere Poren sorgen für größere Kapillarkräfte, können aber den Fließwiderstand erhöhen; größere Poren haben den gegenteiligen Effekt. Die Optimierung dieser Faktoren erfordert Experimente und Simulationen, um die ideale Kombination aus Temperatur, Vakuum und Zeit für eine schnelle und gleichmäßige Infiltration zu finden.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

### 1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

### 2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

**High Thermal Conductivity:** The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

**High Strength and High-Temperature Resistance:** The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

**Resistance to Arc Erosion:** The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

**Low Thermal Expansion Coefficient:** Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

**Excellent Machinability:** Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

### 3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

### 4. Advantages of Tungsten Copper Rod

**High-Performance Combination:** A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

**Customized Solutions:** Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

**Long Service Life and Stability:** Significantly reduces maintenance and replacement costs.

### 5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

### 3.3.4 Grenzflächenreaktion und Mikrostrukturentwicklung während der Infiltration

Während des Infiltrationsprozesses ähnelt die Grenzfläche zwischen geschmolzenem Kupfer und Wolframpartikeln der Kontaktfläche zweier Tänzer und erfordert koordinierte Bewegungen. Wolfram und Kupfer sind nicht mischbar, und an der Grenzfläche findet keine chemische Reaktion, sondern eine physikalische Benetzung statt. Wenn das geschmolzene Kupfer mit den Wolframpartikeln in Kontakt kommt, bildet sich eine dünne Diffusionszone, die die Bindung zwischen beiden stärkt. Die Zugabe geringer Mengen von Elementen wie Chrom oder Zirkonium kann die Benetzung verbessern und Hohlräume oder Mikrorisse an der Grenzfläche reduzieren.

Die Mikrostruktur entwickelt sich von einem porösen Wolframskelett zu einem dichten, kupfergefüllten Komplex. Das flüssige Kupfer dringt zunächst in die größeren Poren ein und füllt dann nach und nach die kleineren Kanäle, wodurch schließlich ein dreidimensionales Netzwerk entsteht. Dieser Prozess ähnelt einer Stadt, die sich aus einem leeren Grundgerüst allmählich mit Straßen und Gebäuden füllt. Beim Abkühlen erstarrt die Kupferphase und bildet mit dem Wolframskelett eine zusammenhängende Einheit. Die mikroskopische Betrachtung zeigt eine ideale Mikrostruktur ohne sichtbare Risse oder ungefüllte Bereiche. Die Kupferphase ist gleichmäßig verteilt, was die Leistung des Materials verbessert.

### 3.3.5 Gleichmäßigkeit der Infiltration und Qualitätskontrolle

Gleichmäßigkeit ist das oberste Ziel des Infiltrationsprozesses. Jede örtlich unvollständige Infiltration oder Kupferansammlung schwächt die Leistung des Materials. Die Gleichmäßigkeit hängt von der Gleichmäßigkeit der Porosität des Wolframskeletts und der Stabilität der Infiltrationsbedingungen ab. Die Porosität des Vorformlings muss wissenschaftlich und rational ausgelegt werden, um zu dichte Bereiche zu vermeiden, die die Kupferlösung blockieren, oder zu poröse Bereiche, die zu unzureichender Festigkeit führen.

Die Qualitätskontrolle gleicht einer umfassenden physikalischen Untersuchung des fertigen Produkts. Durch Dichtemessung lässt sich die Vollständigkeit der Füllung feststellen, durch mikroskopische Untersuchungen die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur prüfen und durch zerstörungsfreie Prüfungen wie Ultraschall oder Röntgenstrahlen versteckte Defekte aufdecken. Wird eine ungleichmäßige Infiltration festgestellt, kann diese durch mehrstufige Infiltration oder Anpassung des Temperaturprofils korrigiert werden. Ziel ist es sicherzustellen, dass das Material frei von Blasen und Rissen ist und seine Leistung den Designanforderungen entspricht.

## 3.4 Nachbearbeitung und mechanische Bearbeitung

Nachbearbeitung und maschinelle Bearbeitung sind die Prozesse des Polierens von Wolframkupferstäben vom „rohen“ zum „fein gearbeiteten“ Endprodukt. Diese Schritte beseitigen nicht nur Restprobleme bei der Vorbereitung, sondern verleihen dem Material auch präzise Abmessungen und optimierte Oberflächeneigenschaften.

### 3.4.1 Wärmebehandlung und Spannungsarmglühen

Die Wärmebehandlung gleicht einer Tiefenentspannung des Materials und beseitigt die während der Infiltration und Abkühlung entstandenen inneren Spannungen. Wolframkupferstäbe werden in einer

Schutzatmosphäre wie Wasserstoff oder Vakuum erhitzt, wobei die Temperatur schrittweise erhöht und gehalten wird. Dadurch kann sich die Kristallstruktur neu ausrichten und die Zähigkeit verbessern. Der Abkühlprozess erfolgt langsam, sodass das Material „atmen“ kann und die Entstehung neuer Spannungen vermieden wird. Dieser Schritt kann die Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Materials deutlich verbessern.

#### **3.4.2 Präzisionsbearbeitung und Maßkontrolle**

Präzisionsbearbeitung ist entscheidend, um Wolframkupferstäben ihre endgültige Form zu geben. Mit hochpräzisen Dreh-, Fräs- oder Schleifmaschinen und Diamantwerkzeugen wird das Material sorgfältig auf die gewünschten Abmessungen gebracht. Der Bearbeitungsprozess ähnelt der Arbeit eines Bildhauers und erfordert kontrollierte Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe, um Überhitzung oder Oberflächenschäden zu vermeiden. Die Maßgenauigkeit wird durch Lasermessung und dreidimensionale Koordinatenmessung sichergestellt, wodurch Toleranzen im Mikrometerbereich gewährleistet werden, um den Anforderungen hochpräziser Anwendungen gerecht zu werden.

#### **3.4.3 Oberflächenmodifizierung und Beschichtungstechnik**

Oberflächenmodifizierung ist vergleichbar mit dem Auftragen einer Schutzschicht auf ein Material. Polieren oder chemisches Ätzen erzeugt eine spiegelglatte Oberfläche und reduziert Reibung und Verschleiß. Beschichtungstechnologien steigern die Leistung zusätzlich. Beispielsweise verbessert das Aufbringen einer Nickel- oder Goldschicht durch Galvanisierung oder physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) die Korrosionsbeständigkeit und die elektrische Leitfähigkeit. Die Schichtdicke muss sorgfältig kontrolliert werden, um Schutz zu bieten, ohne die Wärmeleitfähigkeit des Materials zu beeinträchtigen.

### **3.5 Erforschung neuer Prozesse**

Mit dem Fortschritt der Materialwissenschaft haben neue Verfahren der Herstellung von Wolframkupferstäben neue Dynamik verliehen. Diese Technologien sind wie Entdecker, die effizientere und präzisere Herstellungswege erkunden, um den Anforderungen zukünftiger komplexer Anwendungen gerecht zu werden.

#### **3.5.1 Nano-Wolfram-Kupfer-Preform und ultrafeine Kupferinfiltrationstechnologie**

Die Verwendung von nanoskaligem Wolframpulver erhöht die Fertigungspräzision auf molekularer Ebene. Ultrafeine Pulver, die durch spezielle Verfahren hergestellt werden, ermöglichen die Herstellung von Vorformen mit höherer Dichte. Die ultrafeine Kupferinfiltrationstechnologie nutzt Nano-Kupferpulver, um die Infiltration bei niedrigeren Temperaturen zu erreichen. Dies reduziert den Energieverbrauch und verbessert gleichzeitig die Materialgleichmäßigkeit. Dieser Ansatz, vergleichbar mit dem Malen einer Materialstruktur mit einem feineren Pinsel, verbessert die Leistung deutlich.

#### **3.5.2 Kombination von Vakuuminfiltration und additiver Fertigung**

Additive Fertigung (3D-Druck) eröffnet neue Möglichkeiten für die Herstellung von Wolframkupferstäben. Durch Laser- oder Elektronenstrahl Druck eines Wolframskeletts in

Kombination mit Vakuuminfiltration lassen sich komplexe Geometrien erzeugen. Diese Methode, ähnlich der digitalen Modellierung des Materials, überwindet die Grenzen traditioneller Verfahren und eignet sich für die kundenspezifische Produktion.

### 3.5.3 Optimierungsprozess für hohe Gleichmäßigkeit und geringe Porosität

Neue optimierte Prozesse kombinieren hochdruckunterstützte Infiltration, Mikrowellensintern und intelligente Steuerungstechnologien, um höchste Gleichmäßigkeit und geringe Porosität zu erreichen. Intelligente Systeme fungieren als Leiter und passen die Prozessparameter in Echtzeit an, um in jedem Schritt optimale Leistung zu gewährleisten. Diese Technologien heben die Leistung von Wolframkupferstäben auf ein neues Niveau und erfüllen anspruchsvolle Anwendungen.



## Kapitel 4 Physikalische und chemische Eigenschaften von Wolframkupferstäben

Als einzigartiger Verbundwerkstoff verdanken Wolframkupferstäbe ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften der perfekten Kombination aus der hohen Hitze- und Verschleißbeständigkeit von Wolfram und der hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von Kupfer. Dieses Material, das an die harmonische Verbindung von hartem Gestein und sanftem Wasser in der Natur erinnert, spielt nicht nur eine Schlüsselrolle bei elektronischen Gehäusen, elektrischen Kontakten und Kühlkörpern, sondern zeigt auch eine bemerkenswerte Anpassungsfähigkeit in der Luft- und Raumfahrt sowie in Hochspannungsgeräten. Diese Eigenschaften addieren sich nicht einfach, sondern bilden durch die ausgeklügelte Gestaltung der Mikrostruktur einen ganzheitlichen Vorteil, der es Wolframkupferstäben ermöglicht, auch unter extremen Bedingungen ihre Stabilität und hohe Leistung zu bewahren. Dieses Kapitel beginnt mit den grundlegenden physikalischen Eigenschaften und vertieft sich schrittweise in mechanische, chemische und mikrostrukturelle Eigenschaften. Durch eine detaillierte Beschreibung und Analyse werden die zugrunde liegenden Mechanismen, Einflussfaktoren und praktischen Anwendungen dieser Eigenschaften aufgezeigt. So wird den Lesern klar, wie Wolframkupferstäbe zu einem

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

zuverlässigen Partner in der modernen Industrie geworden sind.

#### **4.1 Grundlegende physikalische Eigenschaften von Wolframkupferstäben**

Die grundlegenden physikalischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben bilden die Grundlage ihrer Anwendung. Diese Eigenschaften bestimmen, ebenso wie die inhärente „Physik“ des Materials, sein Verhalten in Temperatur-, elektrischen Feldern und thermischen Umgebungen. Die Zugabe von Wolfram sorgt für höhere Stabilität und Dichte, während Kupfer für eine hervorragende Leitfähigkeit sorgt. Beide ergänzen sich zu einem ausgewogenen und effizienten System. Diese physikalischen Eigenschaften stehen bei der Entwicklung und Verwendung von Wolframkupferstäben oft im Vordergrund, da sie sich direkt auf die Haltbarkeit und Kompatibilität des Materials auswirken.

##### **4.1.1 Dichte und spezifisches Gewicht von Wolframkupferstäben**

Die Dichte von Wolframkupferstäben ist eine ihrer grundlegendsten und zugleich entscheidendsten physikalischen Eigenschaften und spiegelt die Kompaktheit und Gewichtsverteilung der inneren Materialkomponenten wider. Mit steigendem Wolframgehalt steigt auch die Dichte. Dadurch eignen sich Wolframkupferstäbe hervorragend für Anwendungen mit hohem Massebedarf, wie z. B. Gegengewichtskomponenten in Präzisionsinstrumenten oder Strahlenschutzmaterialien. Diese Dichte ermöglicht es dem Material, mehr Gewicht auf begrenztem Raum zu tragen, wodurch Konstruktionsprobleme vermieden werden, die übermäßiges Volumen erfordern. Sie verbessert zudem die Stabilität des Materials und verhindert dessen Verschiebung bei Vibrationen oder Hochgeschwindigkeitsbewegungen. In der Praxis werden Wolframkupferstäbe mit hoher Dichte häufig in Gegengewichtssystemen in der Luftfahrt eingesetzt, wo sie einen zuverlässigen Trägheitsausgleich gewährleisten, ohne andere Materialeigenschaften zu beeinträchtigen. Das spezifische Gewicht als Maß für die Dichte im Verhältnis zu Wasser unterstreicht diese wahrgenommene Schwere zusätzlich und ist besonders nützlich bei der Berechnung des Materialverbrauchs oder der Ermittlung der Versandkosten. Insgesamt machen die optimierte Dichte und das spezifische Gewicht Wolframkupferstäbe zur idealen Wahl für gewichtssensible Anwendungen, die hohe Leistung erfordern. Durch die Anpassung des Wolfram-Kupfer-Verhältnisses können sie flexibel an unterschiedliche Anforderungen angepasst werden. So werden die Verarbeitungsschwierigkeiten einer zu hohen Dichte oder die unzureichende Festigkeit einer zu niedrigen Dichte vermieden.

##### **4.1.2 Schmelzpunkt und thermische Stabilität von Wolframkupferstäben**

Die Schmelzpunkteigenschaften von Wolframkupferstäben sind auf die extreme Hitzebeständigkeit von Wolfram zurückzuführen, sodass das Material auch in Hochtemperaturumgebungen seine Integrität behält, wie eine Festung, die einer Feuerprobe standhält. Der hohe Schmelzpunkt von Wolfram erhöht die Obergrenze der Hitzebeständigkeit des gesamten Materials erheblich. Selbst bei Temperaturen nahe dem Schmelzpunkt von Kupfer wird der Wolframkupferstab nicht so leicht weich oder verformt. Diese thermische Stabilität ist besonders bei Lichtbogenentladungs- oder Hochtemperaturschweißanwendungen hervorzuheben, wo sie vorübergehenden Temperaturschocks standhält und den Zusammenbruch der inneren Struktur des Materials verhindert, wodurch seine Lebensdauer verlängert wird. Bei langfristiger Hochtemperaturbelastung zeigt sich die thermische

Stabilität von Wolframkupferstäben auch in der Haltbarkeit ihrer Phasenstruktur ohne nennenswerte Kristallumwandlung oder thermische Zersetzung. Dadurch eignen sie sich für Anwendungen mit anhaltend hohen Temperaturen, wie z. B. Flugzeugtriebwerkskomponenten oder elektronische Kühlkörper. Durch hochentwickelte Verbundprozesse kann diese Stabilität weiter verbessert werden, sodass der Wolframkupferstab problemlos in extremen thermischen Umgebungen eingesetzt werden kann – wie ein Krieger, der keine Angst vor Feuer hat – und so den normalen Betrieb der Ausrüstung schützt.

#### 4.1.3 Wärmeausdehnungskoeffizient und Wärmeleitfähigkeit von Wolframkupferstäben

Der Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE) ist ein wichtiger Faktor für die Widerstandsfähigkeit von Wolframkupferstäben gegenüber Temperaturschwankungen. Die geringe Ausdehnung von Wolfram bestimmt maßgeblich die Gesamtleistung des Materials. Sie ermöglicht eine relative Dimensionsstabilität bei Temperaturwechseln und verhindert Spannungskonzentrationen und Rissbildung durch unterschiedliche Ausdehnung. Diese Eigenschaft, vergleichbar mit der Flexibilität einer Brücke bei jahreszeitlichen Schwankungen, eignet sich besonders für Anwendungen mit Keramik, Glas oder Halbleitermaterialien. Beispielsweise passen sich Wolframkupferstäbe in der Mikroelektronik perfekt an den Chip an und verhindern so Ausfälle durch thermische Spannung. Die Wärmeleitfähigkeit, die vor allem auf die hervorragenden Wärmeübertragungseigenschaften von Kupfer zurückzuführen ist, ermöglicht es Wolframkupferstäben, wie effiziente Wärmerohre zu wirken. Sie leiten Wärme schnell von der Wärmequelle an die Umgebung ab und verhindern so lokale Überhitzungen. In Hochleistungslasern oder Leistungshalbleitern sorgt diese Wärmeleitfähigkeit für stabile Betriebstemperaturen und reduziert das Risiko thermischer Ausfälle. Der synergistische Effekt von CTE und Wärmeleitfähigkeit macht Wolframkupferstäbe im Bereich des Wärmemanagements einzigartig. Sie widerstehen nicht nur Temperaturschwankungen, sondern regulieren auch aktiv den Wärmefluss und sorgen so für eine effiziente Energieübertragung und ein ausgewogenes Wärmeableitungsgleichgewicht.

#### 4.1.4 Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand von Wolframkupferstäben

Die elektrische Leitfähigkeit ist der Hauptvorteil von Wolframkupferstäben in elektrischen Anwendungen. Das durchgängige Netzwerk aus Kupferphasen wirkt wie eine effiziente Autobahn und bietet einen reibungslosen Leitweg für elektrischen Strom. Die Zugabe von Wolfram erhöht zwar den spezifischen Widerstand leicht, verbessert aber die Lichtbogenfestigkeit und die Gesamtstabilität des Materials deutlich. Dank dieser ausgewogenen Konstruktion eignen sich Wolframkupferstäbe hervorragend für Hochspannungskontakte oder Schaltanlagen. Sie ermöglichen den reibungslosen Durchgang hoher Ströme und sind gleichzeitig widerstandsfähig gegen Schäden durch Lichtbogenerosion. In der Praxis machen ihre elektrischen Eigenschaften Wolframkupferstäbe zu einem bevorzugten Elektrodenmaterial, das Hochfrequenz- oder Hochleistungssignale ohne übermäßige Wärmeentwicklung oder Signalverschlechterung verarbeiten kann. Die flexible Variation des spezifischen Widerstands je nach Wolframgehalt ermöglicht kundenspezifische Anwendungen, wie z. B. die Reduzierung des Wolframgehalts in Leitern mit geringem Widerstand oder die Erhöhung des Wolframgehalts in verschleißfesten elektrischen Kontakten, um deren Lebensdauer zu verlängern. Insgesamt machen die optimierte

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Leitfähigkeit und der spezifische Widerstand Wolframkupferstäbe hervorragend für den Einsatz im elektrischen Bereich geeignet, da sie eine ausgewogene Kombination aus Leitfähigkeit und langfristiger Zuverlässigkeit bieten.

#### **4.2 Mechanische Eigenschaften von Wolframkupferstäben**

Die mechanischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben garantieren ihre Zuverlässigkeit in Umgebungen mit mechanischer Belastung. Diese Eigenschaften kombinieren die Steifigkeit von Wolfram mit der Flexibilität von Kupfer und schaffen so einen Wolframstab, der wie ein Krieger Verschleiß, Stößen und Verformungen standhält. Diese Eigenschaften verleihen dem Material seine Stärken in dynamischen Anwendungen und ermöglichen es ihm, nicht nur statischen Belastungen, sondern auch wiederholten mechanischen Herausforderungen standzuhalten.

##### **4.2.1 Härte und Festigkeit von Wolframkupferstäben**

Die Härte ist ein markantes Merkmal der mechanischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben. Die gleichmäßige Verteilung der Wolframpartikel wirkt wie ein robustes Skelett, erhöht die Widerstandsfähigkeit des Materials gegen äußeren Druck und macht es weniger anfällig für Kratzer oder Verformungen in Umgebungen mit hohem Druck oder hoher Reibung. Diese Härte ist besonders nützlich bei Formen und Schneidwerkzeugen, da sie scharfe Kanten erhält und die Lebensdauer der Werkzeuge verlängert. Die Festigkeit zeigt sich in ihrem Verhalten unter Zug, Druck und Biegung. Die Zugabe von Wolfram erhöht die Zugfestigkeit des Materials deutlich, sodass der Wolframkupferstab unter Belastung seine strukturelle Integrität behält und plötzliche Brüche vermeidet. In Gebäuden oder mechanischen Komponenten wirkt diese Festigkeit wie Stützbalken und -säulen und sorgt für Sicherheit und Zuverlässigkeit. Durch fortschrittliche Herstellungsverfahren können diese Eigenschaften weiter verbessert werden, sodass Wolframkupferstäbe sich an noch anspruchsvollere Industrieumgebungen anpassen können – wie eine Festung, die niemals einstürzt.

##### **4.2.2 Duktilität und Zähigkeit von Wolframkupferstäben**

Die Duktilität beruht auf der Flexibilität der Kupferphase, die es dem Wolframkupferstab ermöglicht, sich unter Belastung leicht zu verformen, ohne sofort zu brechen – im Gegensatz zur Sprödigkeit von reinem Wolfram. Dadurch lässt sich das Material leichter verarbeiten und formen. Beim Dehnen oder Biegen wirkt diese Duktilität wie ein elastischer Puffer für das Material, der einen Teil der Energie absorbiert und so ein katastrophales Versagen verhindert. Die Zähigkeit spiegelt die Fähigkeit des Materials wider, Aufprallenergie zu absorbieren. In einer Vibrations- oder Kollisionsumgebung kann der Wolframkupferstab äußere Kräfte abpuffern und seine Gesamtintegrität bewahren. Diese Eigenschaft spielt eine Schlüsselrolle bei Autoteilen oder vibrierenden Geräten, da sie dem Material ermöglicht, auch bei wiederholter Belastung haltbar zu bleiben und Schäden durch Ermüdungsakkumulation zu vermeiden. Durch Optimierung der Wolframkupfer-Grenzfläche können Duktilität und Zähigkeit weiter verbessert werden, sodass der Wolframkupferstab in dynamischen Anwendungen eine gute Leistung erbringt.

##### **4.2.3 Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit von Wolframkupferstäben**

Die Verschleißfestigkeit dient als Schutzschicht für Wolframkupferstäbe in Reibungsumgebungen.

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

Die harte Phase von Wolfram widersteht, ähnlich wie Diamant, der Erosion durch Verschleißpartikel und verlängert so die Lebensdauer des Materials erheblich. In Hochgeschwindigkeitsmaschinen oder Umgebungen mit starkem Verschleiß sorgt diese Verschleißfestigkeit für eine glatte, langlebige Oberfläche und verhindert Leistungseinbußen. Die Schlagfestigkeit wird durch den Energieverteilungsmechanismus der Verbundstruktur erreicht, bei dem Aufprallkräfte gleichmäßig an der Wolfram-Kupfer-Grenzfläche absorbiert werden, wodurch lokale Schäden verhindert werden. Diese Eigenschaft wirkt wie ein Puffer und schützt das Material vor Stößen oder Stürzen. Die Kombination aus Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit macht Wolframkupferstäbe zu einer zuverlässigen Wahl für militärische Ausrüstung oder schwere Industriewerkzeuge, die strengen Tests standhalten und gleichzeitig ihre Funktionalität behalten.

### **4.3 Chemische Eigenschaften von Wolframkupferstäben**

Die chemischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben bestimmen ihre Leistung in korrosiven oder hochtemperierten chemischen Umgebungen. Diese Eigenschaften wirken wie das „Immunsystem“ des Materials, widerstehen äußerer Korrosion und gewährleisten langfristige Stabilität und Sicherheit.

#### **4.3.1 Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit von Wolframkupferstäben**

Oxidationsbeständigkeit ist besonders in heißer Luft wichtig. Die stabile Oxidschicht von Wolfram wirkt wie ein Schutzfilm, verlangsamt die Oxidation der Kupferphase und erhält die Integrität des Materials in sengender Umgebung. Diese antioxidative Wirkung macht Wolframkupferstäbe für Öfen oder Abgassysteme geeignet und verhindert einen schnellen Abbau. Die Korrosionsbeständigkeit zeigt sich in sauren, alkalischen oder feuchten Umgebungen. Wolframkupferstäbe widerstehen der Erosion durch eine Vielzahl chemischer Medien wie ein Wächter, der sich von den Elementen nicht beeindrucken lässt. In chemischen Pipelines oder Schiffsausrüstung verlängert diese Eigenschaft die Lebensdauer und reduziert den Wartungsaufwand. Eine Oberflächenbehandlung kann diese Eigenschaften weiter verbessern und das Material so auch rauen chemischen Bedingungen standhalten.

#### **4.3.2 Chemische Hochtemperaturstabilität von Wolframkupferstäben**

Dank ihrer chemischen Hochtemperaturstabilität bleiben Wolframkupferstäbe in heißen Gasen oder Schmelzen inert. Die chemische Inertheit von Wolfram verhindert unerwünschte Reaktionen oder Zersetzung. Diese Stabilität wirkt stabilisierend im Ofen, gewährleistet einen zuverlässigen Betrieb in Hochtemperaturreaktoren oder -sensoren und verhindert Ausfälle durch Phasenwechsel. In der Metallurgie und Energiewirtschaft unterstützt diese Eigenschaft den dauerhaften Hochtemperaturbetrieb und erhält Struktur und Funktion des Materials.

#### **4.3.3 Kompatibilität von Wolframkupferstäben mit anderen Metallen**

Die Kompatibilität mit anderen Metallen ist ein weiterer großer Vorteil von Wolframkupferstäben. Sie bilden problemlos eine stabile Schnittstelle mit Aluminium, Stahl oder Nickel und verhindern so Grenzflächentrennung oder Korrosion. Diese Kompatibilität fungiert als Brücke zwischen unterschiedlichen Materialien und spielt in Verbundstrukturen wie elektronischen Steckverbindern eine Rolle, um die Stabilität des gesamten Systems zu gewährleisten. Beim Schweißen oder

#### **Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung**

Legieren vereinfacht diese Eigenschaft den Prozess und verbessert die Effizienz.

#### **4.4 Mikrostruktur und organisatorische Eigenschaften von Wolframkupferstäben**

Die Mikrostruktur ist der „innere Bauplan“ für die Leistung von Wolframkupferstäben. Sie zeigt die Verteilung, Bindung und Entwicklung der Wolframkupferphase. Diese Eigenschaften bestimmen, wie die DNA des Materials, die Leistung der makroskopischen Eigenschaften.

##### **4.4.1 Kristallstruktur und Phasenzusammensetzung von Wolframkupferstäben**

Die Kristallstruktur besteht hauptsächlich aus dem kubisch-raumzentrierten Gitter von Wolfram und dem kubisch-flächenzentrierten Gitter von Kupfer, die jeweils unabhängig voneinander existieren und ein Pseudolegierungssystem bilden. Diese Struktur verleiht dem Material sowohl die Steifigkeit von Wolfram als auch die Flexibilität von Kupfer und ähnelt unter dem Mikroskop zwei harmonischen architektonischen Gerüsten. Die Phasenzusammensetzung ähnelt einem präzisen Puzzle, wobei die Wolframphase ein solides Gerüst bildet und die Kupferphase die Lücken füllt und so für ein ausgewogenes Gesamtbild sorgt.

##### **4.4.2 Verteilungseigenschaften der Wolfram- und Kupferphasen**

Die Wolframphase ist gleichmäßig in der Kupfermatrix verteilt, ähnlich wie Sterne am Nachthimmel, wodurch lokale Ansammlungen und Ungleichmäßigkeiten vermieden werden. Diese Verteilung gewährleistet eine gleichbleibende Leistung, während die Kupferphase ein kontinuierliches Netzwerk bildet und den leitfähigen Pfad verbessert. Diese Gleichmäßigkeit wird durch Prozesskontrolle während des Herstellungsprozesses erreicht, was zu einem Material mit perfekter Harmonie auf mikroskopischer Ebene führt.

##### **4.4.3 Grenzflächenbindungsmechanismus und Mikrostrukturanalyse**

Der Grenzflächenbindungsmechanismus beruht hauptsächlich auf mechanischer Verzahnung und mikroskopischer Diffusion. Dies führt zu einer festen Verbindung zwischen Wolfram- und Kupferlegierungen ohne nennenswerte störende Verbindungsschichten. Die Mikrostrukturanalyse zeigt eine glatte und starke Grenzfläche mit gleichmäßiger Struktur, ähnlich dem Ineinandergreifen von Präzisionszahnradern, die eine effiziente Energie- und Spannungsübertragung gewährleistet. Die Elektronenmikroskopie zeigt diese Struktur und damit die Quelle der inhärenten Festigkeit des Materials.



## Kapitel 5 Hauptanwendungsgebiete von Wolframkupferstäben

Als Hochleistungsverbundwerkstoff vereint Wolframkupferstäbe die hohe Festigkeit und Temperaturbeständigkeit von Wolfram mit der hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von Kupfer und findet daher breite Anwendung in zahlreichen Hightech-Bereichen. Dank seiner einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften bleibt er auch in anspruchsvollen Betriebsumgebungen stabil und zuverlässig und erfüllt die strengen Anforderungen von Branchen wie Elektrotechnik und Elektronik, Luft- und Raumfahrt und Verteidigung, Maschinenbau und Wärmemanagement. In diesem Kapitel werden die Anwendungen von Wolframkupferstäben in den Bereichen Elektrotechnik und Elektronik, Luft- und Raumfahrt und Verteidigung, Maschinenbau und Formenbau, Wärmemanagement und anderen aufstrebenden Bereichen detailliert untersucht. Der Schwerpunkt liegt dabei auf seinen Funktionen, Vorteilen, Herausforderungen und technischen Anforderungen. Durch professionelle und detaillierte Beschreibungen wird seine wichtige Stellung in der modernen Industrie verdeutlicht.

### 5.1 Elektrik und Elektronik

Wolframkupferstäbe finden wichtige Anwendung in der Elektro- und Elektronikbranche, vor allem aufgrund ihrer hohen elektrischen Leitfähigkeit, ihrer hervorragenden Lichtbogenabriebbeständigkeit und ihrer guten thermischen Stabilität. Diese Eigenschaften machen sie zur idealen Wahl für Hochspannungskontakte, Schalterkomponenten und Elektroden. Sie finden breite Anwendung in der Stromübertragung und -verteilung sowie in der mikroelektronischen Verpackung.

In Hochspannungsgeräten werden Wolframkupferstäbe häufig als elektrische Kontaktmaterialien verwendet. Die Kupferphase bietet einen niederohmigen Strompfad und gewährleistet so eine effiziente Stromübertragung. Der hohe Schmelzpunkt und die Härte der Wolframphase widerstehen

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Hochtemperaturablation und mechanischem Verschleiß durch Lichtbögen. In Hochspannungsschaltern und -schaltanlagen halten Wolframkupferstabkontakte häufigen Schaltvorgängen stand und bleiben langfristig leistungsstabil. In Stromverteilungssystemen ermöglichen Wolframkupferstabkontakte beispielsweise schnelles Öffnen und Schließen, reduzieren Energieverluste und Oberflächenschäden durch Lichtbögen und verlängern so die Lebensdauer der Geräte. Darüber hinaus verhindern ihre Antihafteigenschaften ein Verschweißen der Kontakte bei hohen Stromstößen und erhöhen so die Systemsicherheit.

In der Elektronik werden Wolframkupferstäbe häufig als Elektroden und Verbindungsstücke in mikroelektronischen Gehäusen verwendet. Ihr Wärmeausdehnungskoeffizient entspricht weitgehend dem von Halbleitermaterialien (wie Silizium und Galliumarsenid), wodurch Spannungskonzentrationen und Rissbildung durch unterschiedliche Ausdehnung bei Temperaturwechselbelastungen effektiv reduziert werden. Diese Eigenschaft ist besonders wichtig bei der Verpackung von integrierten Hochleistungsschaltkreisen und Leistungsverstärkern. Als Substrat- oder Elektrodenmaterial gewährleisten Wolframkupferstäbe eine zuverlässige Verbindung zwischen Chip und Substrat und ermöglichen dank der hohen elektrischen Leitfähigkeit der Kupferphase eine effiziente Signalübertragung. Darüber hinaus ermöglicht ihre hervorragende Wärmeleitfähigkeit eine schnelle Wärmeableitung und verhindert so Chipausfälle durch Überhitzung. Daher eignen sie sich für leistungsstarke elektronische Geräte wie Radarsysteme und Kommunikationsmodule.

Wolframkupferstäbe eignen sich auch hervorragend für den Einsatz in Elektroden für die Funkenerosion (EDM). Ihre hohe Härte und Verschleißfestigkeit gewährleisten die Formgenauigkeit der Elektroden während der Bearbeitung, während ihre hervorragende elektrische Leitfähigkeit eine stabile Entladungsleistung unterstützt. Diese Eigenschaften machen sie ideal für den Präzisionsformenbau und die Bearbeitung komplexer Teile und ermöglichen die Bearbeitung von Materialien mit hoher Härte wie Titanlegierungen und Hartmetall.

## **5.2 Luft- und Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie**

Wolframkupferstäbe werden in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Verteidigungsindustrie aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Temperaturbeständigkeit und Schlagfestigkeit eingesetzt. Dadurch behalten sie ihre strukturelle Integrität und Funktionssicherheit auch in extremen Umgebungen. Diese Eigenschaften machen sie zu einem idealen Material für Raketentriebwerkskomponenten, Raketensuchköpfe und panzerbrechende Materialien.

In der Luft- und Raumfahrt werden Wolframkupferstäbe häufig zur Herstellung von Düsenauskleidungen und Wärmeschutzkomponenten für Raketentriebwerksdüsen verwendet. Ihr hoher Schmelzpunkt und ihre thermische Stabilität widerstehen der Gaserosion durch hohe Temperaturen und hohen Druck in der Brennkammer und verhindern so ein Schmelzen oder Abschmelzen des Materials. Die hohe Wärmeleitfähigkeit der Kupferphase leitet Wärme schnell aus Hochtemperaturbereichen ab, verhindert lokale Überhitzung und gewährleistet die Stabilität der Düse im Langzeitbetrieb. Darüber hinaus bietet die hohe Dichte von Wolframkupferstäben einzigartige Vorteile in Gegengewichtssystemen von Raumfahrzeugen, die zur Einstellung des

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

Schwerpunkts des Flugzeugs und zur Gewährleistung der Genauigkeit von Start und Orbitalbetrieb eingesetzt werden. Beispielsweise können Gegengewichte aus Wolframkupferstäben in Satellitenlageregelungssystemen für ein stabiles Trägheitsgleichgewicht sorgen und hochpräzise dynamische Anforderungen erfüllen.

In der Rüstungsindustrie werden Wolframkupferstäbe zur Herstellung panzerbrechender Projektilkerne und elektrischer Kontaktkomponenten verwendet. Ihre hohe Dichte und Härte ermöglichen es ihnen, robuste Panzerungsmaterialien zu durchdringen, während die Zähigkeit der Kupferphase die Schlagfestigkeit des Kerns erhöht und das Bruchrisiko verringert. Darüber hinaus werden Wolframkupferstäbe als Elektrodenmaterial in militärischer Elektronik eingesetzt, da sie ihre Stabilität auch bei hohen Impulsen gewährleisten und sich für Radar- und elektronische Gegenmaßnahmensysteme eignen. Die Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturstabilität des Materials gewährleisten zudem seine Zuverlässigkeit in rauen Einsatzumgebungen wie hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchtigkeit und Salznebel.

### 5.3 Maschinen- und Formenbau

Die Anwendung von Wolframkupferstäben im Maschinen- und Formenbau basiert hauptsächlich auf ihrer hohen Härte, Verschleißfestigkeit und guten Verarbeitungseigenschaften. Sie eignen sich zur Herstellung hochpräziser Formen, Schneidwerkzeuge und verschleißfester Teile. Diese Eigenschaften ermöglichen eine gute Leistung in Umgebungen mit hoher Belastung und Reibung und verlängern die Lebensdauer von Geräten und Werkzeugen.

Im Formenbau werden Wolframkupferstäbe häufig zur Herstellung von EDM- und Stanzwerkzeugen verwendet. Ihre hohe Härte widersteht Verschleiß und Verformung während der Bearbeitung und gewährleistet Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität. Die elektrische Leitfähigkeit der Kupferphase unterstützt eine effiziente EDM-Entladung und eignet sich daher für die Bearbeitung komplexer Geometrien wie Luft- und Raumfahrtkomponenten und medizinischer Geräte. Darüber hinaus ermöglicht die hohe Wärmeleitfähigkeit des Stabs eine schnelle Wärmeableitung, reduziert thermische Ermüdungsrisse im Dauerbetrieb und verbessert die Produktionseffizienz.

In der Schneidwerkzeugindustrie werden Wolframkupferstäbe als Werkzeugwerkstoff oder Werkzeugeinsätze verwendet. Ihre Verschleißfestigkeit und Schlagzähigkeit ermöglichen die Bearbeitung von hochharten Materialien wie Edelstahl und Titanlegierungen und sorgen für eine lange Lebensdauer der Werkzeuge. Die Zähigkeit der Kupferphase reduziert zudem das Risiko von Sprödbrüchen und macht sie so wettbewerbsfähiger bei Hochgeschwindigkeitszerspanung und Schwerlastbearbeitung. In Spritzguss- und Druckgussformen gewährleisten die hohe Temperaturfestigkeit und Thermoschockbeständigkeit von Wolframkupferstäben die Stabilität der Form bei wiederholten Heiz- und Kühlzyklen und reduzieren Oberflächenrisse und Verformungen.

### 5.4 Wärmemanagement und Wärmeableitungsgeräte

Die Anwendung von Wolframkupferstäben im Bereich Wärmemanagement und Wärmeableitungsgeräte profitiert von ihrer hervorragenden Wärmeleitfähigkeit und ihrem

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten, was sie zur idealen Wahl für elektronische Hochleistungsgeräte und Kühlkörpermaterialien macht. Die hohe Leistung Die Dichte moderner elektronischer Geräte stellt höhere Anforderungen an die Wärmeableitungsleistung und Wolframkupferstäbe haben auf diesem Gebiet hervorragende Fähigkeiten bewiesen.

In Hochleistungselektronikgeräten werden Wolframkupferstäbe häufig als Kühlkörpersubstrate und Kühlkörpermaterialien verwendet. Ihre hohe Wärmeleitfähigkeit ermöglicht es ihnen, die von Chips oder Lasern erzeugte Wärme schnell an die Umgebung abzuleiten und so eine Überhitzung zu verhindern, die zu Leistungseinbußen oder Geräteausfällen führen könnte. Beispielsweise senken Wolframkupferstäbe in Laserdioden und Leistungsverstärkern effektiv die Betriebstemperatur und verbessern so die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Geräte. Ihr niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient, der mit Halbleitermaterialien kompatibel ist, reduziert thermische Spannungen und gewährleistet die strukturelle Integrität im Langzeitbetrieb.

In Fahrzeugen mit alternativer Energie und 5G-Kommunikationsgeräten werden Wolframkupferstäbe zur Herstellung von Batteriemanagementsystemen und Kühlmodulen für Basisstationen verwendet. Ihre schnelle Wärmeleitfähigkeit unterstützt ein effizientes Wärmemanagement und verhindert so eine Überhitzung der Batterie oder thermische Ausfälle von Signalprozessoren. Darüber hinaus ermöglichen ihre hohe Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit den langfristigen Einsatz in feuchten oder heißen Umgebungen und erfüllen die Anforderungen von Outdoor-Geräten. Bei der Herstellung von Wärmerohren und Wärmetauschern steigern ihre Wärmeleitfähigkeit und mechanische Stabilität die Systemeffizienz zusätzlich und machen sie für Rechenzentren und industrielle Kühlsysteme geeignet.

### 5.5 Weitere Anwendungsgebiete

Neben den oben genannten Hauptbereichen bieten Wolframkupferstäbe auch in vielen neuen und spezialisierten Bereichen Potenzial. Ihre Vielseitigkeit hat ihr Anwendungsspektrum kontinuierlich erweitert.

Im medizinischen Bereich werden Wolframkupferstäbe zur Herstellung von Abschirmkomponenten und Kollimatoren für Strahlentherapiegeräte verwendet. Ihre hohe Dichte schirmt Röntgen- und Gammastrahlen effektiv ab und schützt Patienten und medizinisches Personal vor Strahlenschäden. Ihre Verarbeitungseigenschaften ermöglichen die Herstellung komplexer Formen. Darüber hinaus werden Wolframkupferstäbe als Elektroden oder Kühlkörper in medizinischen Bildgebungsgeräten eingesetzt und verbessern deren Leistung und Stabilität.

Im Bereich der erneuerbaren Energien werden Wolframkupferstäbe als elektrische Kontaktkomponenten in Photovoltaik- und Windkraftanlagen eingesetzt. Ihre hohe Leitfähigkeit und Verschleißfestigkeit unterstützen eine effiziente Stromübertragung, während ihre Korrosionsbeständigkeit langfristige Zuverlässigkeit im Außenbereich gewährleistet. In Solarwechselrichtern dienen Wolframkupferstäbe beispielsweise als Verbindungsmaterial und halten den Herausforderungen hoher Ströme und häufiger Schaltvorgänge stand.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

In der wissenschaftlichen Forschung werden Wolframkupferstäbe häufig als Komponenten in Hochtemperatur-Experimentiergeräten und Teilchenbeschleunigern eingesetzt. Ihre hohe Temperatur- und Schlagfestigkeit ermöglicht es ihnen, extremen Versuchsbedingungen wie Hochtemperaturplasmaumgebungen oder hochenergetischen Teilcheneinschlägen standzuhalten. Darüber hinaus unterstützt ihre elektrische und thermische Leitfähigkeit die Signalübertragung und das Wärmemanagement in Präzisions-Experimentiergeräten.

Im Sport- und Unterhaltungssektor werden Wolframkupferstäbe zur Herstellung hochpräziser Sportgeräte, wie beispielsweise Golfschlägergewichte, verwendet. Ihre hohe Dichte ermöglicht eine optimale Gewichtsverteilung auf kleinem Raum und verbessert so die Balance und Handhabung der Geräte. Obwohl diese Anwendung eine Nische darstellt, zeigt sie das Potenzial von Wolframkupferstäben in nicht-industriellen Anwendungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wolframkupferstäbe mit ihren hervorragenden Eigenschaften breite Anwendungsmöglichkeiten in den Bereichen Elektrotechnik und Elektronik, Luft- und Raumfahrt und Verteidigung, Maschinenbau und Formenbau, Wärmemanagement und anderen aufstrebenden Bereichen bieten. Ihre Kombination aus hoher Leitfähigkeit, hoher Temperaturbeständigkeit und mechanischer Festigkeit ermöglicht es ihnen, komplexen und anspruchsvollen Betriebsumgebungen standzuhalten und die Entwicklung moderner Industrie und Technologie zuverlässig zu unterstützen. Mit Fortschritten in der Materialwissenschaft dürften sich die Anwendungsgebiete von Wolframkupferstäben weiter ausweiten und innovative Lösungen für noch mehr Branchen bringen.



**Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung**

## CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

### 1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

### 2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

**High Thermal Conductivity:** The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

**High Strength and High-Temperature Resistance:** The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

**Resistance to Arc Erosion:** The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

**Low Thermal Expansion Coefficient:** Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

**Excellent Machinability:** Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

### 3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

### 4. Advantages of Tungsten Copper Rod

**High-Performance Combination:** A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

**Customized Solutions:** Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

**Long Service Life and Stability:** Significantly reduces maintenance and replacement costs.

### 5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## Kapitel 6 Produktionsausrüstung und Prozesskontrolle von Wolframkupferstäben

Die Herstellung von Wolframkupferstäben ist ein komplexer pulvermetallurgischer Prozess, der mehrere wichtige Schritte umfasst, darunter Pulveraufbereitung, Formgebung, Sintern, Vakuuminfiltration, Nachbearbeitung und Qualitätskontrolle. Jeder Schritt erfordert hochentwickelte Produktionsanlagen und eine strenge Prozesskontrolle, um die Stabilität und Konsistenz der Materialeigenschaften zu gewährleisten. Design und Betrieb der Produktionsanlagen bestimmen direkt die Mikrostruktur, die physikalischen Eigenschaften und die endgültige Produktqualität der Wolframkupferstäbe, während die Prozesssteuerung durch präzises Parametermanagement eine hohe Effizienz und niedrige Fehlerraten erreicht. Dieses Kapitel beschreibt detailliert die wichtigsten Geräte und Funktionen im Produktionsprozess von Wolframkupferstäben. In Kombination mit den wichtigsten Aspekten der Prozesssteuerung werden die Geräteauswahl, die Betriebsanforderungen und Optimierungsstrategien analysiert, um technische Leitlinien für die industrielle Produktion bereitzustellen.

### 6.1 Pulveraufbereitungs- und Formgebungsgeräte

Anlagen zur Pulveraufbereitung und -formung sind für die Herstellung von Wolframkupferstäben von grundlegender Bedeutung. Sie dienen der Aufbereitung von hochreinem Wolframpulver und elektrolytischem Kupferpulver und deren Verpressung zu vorgeformten Rohlingen. Diese Anlagen müssen die Pulverreinheit, die Partikelgrößenverteilung und die Gleichmäßigkeit der geformten Rohlinge gewährleisten und so die Grundlage für das anschließende Sintern und Infiltrieren legen.

Zu den Anlagen zur Pulveraufbereitung gehören hauptsächlich Wasserstoffreduktionsöfen und elektrolytische Raffinationssysteme. Der Wasserstoffreduktionsofen dient zur Herstellung von hochreinem Wolframpulver aus Wolframat oder Wolframtrioxid. Üblicherweise handelt es sich um einen Rohr- oder Drehrohrföfen mit präziser Temperaturregelung und Wasserstoffzufuhr. Die Temperatur im Ofen ist klar verteilt, und die Primär- und Sekundärreduktion erfolgen in unterschiedlichen Temperaturzonen, um eine gleichmäßige Pulverpartikelgröße und einen niedrigen Sauerstoffgehalt zu gewährleisten. Das elektrolytische Raffinationssystem dient zur Herstellung von elektrolytischem Kupferpulver. Es umfasst eine Elektrolysezelle, eine Kathodenplatte und eine Stromregelvorrichtung. Das Elektrolytzirkulationssystem gewährleistet die hohe Reinheit und Konsistenz des Kupferpulvers. Zusätzlich werden ein Luftstromklassierer und ein Vibrationssieb eingesetzt, um die Größenverteilung des Pulvers zu kontrollieren. Die Partikel unterschiedlicher Größe werden durch einen Hochgeschwindigkeitsluftstrom oder ein Sieb getrennt, um sicherzustellen, dass die Partikelgröße von Wolframpulver und Kupferpulver den Prozessanforderungen entspricht.

Zu den Umformgeräten gehören in erster Linie einachsige und isostatische Pressen. Einachsige Pressen, hydraulisch oder mechanisch angetrieben, verdichten Wolframpulver (das mit einer kleinen Menge Kupferpulver oder einem Bindemittel vermischt werden kann) in einer Stahlform zu einem Grünkörper. Sie sind mit Drucksensoren und automatisierten Steuerungssystemen für eine präzise Druckausübung und Haltezeitregelung ausgestattet. Isostatische Pressen hingegen üben einen gleichmäßigen Druck durch ein flüssiges oder gasförmiges Medium aus und eignen sich zum

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Formen großer oder komplex geformter Grünkörper. Ausgestattet mit einer Hochdruckpumpe und flexiblen Formen verbessern sie die Gleichmäßigkeit der Grünkörperdichte erheblich. Während des Umformungsprozesses sind die Formkonstruktion und das Entformungssystem von entscheidender Bedeutung. Verschleißfeste Materialien und Schmiervorrichtungen sind erforderlich, um Oberflächendefekte oder ein Anhaften zu vermeiden.

Im Hinblick auf die Prozesskontrolle erfordert die Pulveraufbereitung eine strenge Überwachung der reduzierenden Atmosphäre, des Temperaturgradienten und der Elektrolytzusammensetzung, um eine Pulverreinheit von über 99,95 % und eine Partikelgrößenverteilung im Bereich von 1–5 µm sicherzustellen. Während des Formungsprozesses müssen Druck, Bindemittelzugabe und Entformungsgeschwindigkeit präzise angepasst werden, um Risse im Grünkörper oder Dichtegradienten zu vermeiden. Auch die Wartung und Reinigung der Anlagen ist entscheidend, um Verunreinigungen oder Geräteverschleiß zu vermeiden, die die Pulverqualität beeinträchtigen könnten.

## 6.2 Vakuumsinter- und Preform-Vorbereitungsgeräte

Vakuumsinter- und Vorformvorbereitungsgeräte werden verwendet, um den gepressten Grünkörper in ein poröses Wolframskelett mit entsprechender Porosität und Festigkeit umzuwandeln und so die strukturelle Grundlage für die anschließende Vakuuminfiltration zu schaffen. Diese Geräte müssen über hochpräzise Temperaturregelung und Atmosphärenmanagement verfügen, um die Stabilität des Sinterprozesses und die Gleichmäßigkeit des Skeletts zu gewährleisten.

Der Vakuumsinterofen ist das Kernstück der Ausrüstung. Er nutzt normalerweise Widerstands- oder Induktionsheizung und ist mit einem Mehrzonen-Temperaturkontrollsystem und einem Vakuumpumpensystem ausgestattet. Der Ofenkörper besteht aus hochtemperaturbeständigen Materialien (wie Edelstahl oder Quarz) und ist mit Heizelementen aus Graphit oder Molybdän ausgestattet, wodurch Hochtemperaturesintern bei Temperaturen von 1200–1600 °C möglich ist. Das Vakuumpumpensystem, das sowohl aus einer mechanischen Pumpe als auch einer Diffusionspumpe besteht, hält im Ofen ein Vakuumniveau unter  $10^{-3}$  Pa aufrecht und verhindert so Oxidation und erleichtert die Gasentladung. Einige Sinteröfen unterstützen das Sintern in Wasserstoffatmosphäre und sind mit einem Wasserstoffversorgungs- und Abgasbehandlungssystem ausgestattet, um Oberflächenoxide zu reduzieren und die Effizienz der Partikelbindung zu verbessern. Das Mehrzonen-Heizdesign gewährleistet ein gleichmäßiges Temperaturfeld und minimiert so die Verformung des Grünkörpers und lokales Überbrennen.

Zur Herstellung des Vorformlings können Zusatzgeräte wie ein Entbinderofen und eine Porenbildner-Behandlungsanlage erforderlich sein. Der Entbinderofen entfernt Bindemittel (wie Polyvinylalkohol) aus dem gepressten Grünkörper. Durch Erhitzen bei niedrigen Temperaturen (400–600 °C) unter Schutzatmosphäre zersetzt er organische Stoffe und verhindert so die Bildung von Carbiden, die die Qualität des Vorformlings beeinträchtigen könnten. Die Porenbildner-Behandlungsanlage dient zum Hinzufügen und Entfernen temporärer Porenbildner (wie Ammoniumbicarbonat) und zur Kontrolle der Porosität durch präzise Dosierung und Wärmebehandlung.

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Bei der Prozesssteuerung sind Sintertemperatur, Haltezeit und Heizrate wichtige Parameter. Die Temperatur muss schrittweise erhöht werden, um thermische Spannungsrisse im Grünkörper zu vermeiden. Die Haltezeit wird auf 2–4 Stunden festgelegt, um eine starke Verbindung zwischen den Partikeln zu gewährleisten. Die Echtzeitüberwachung des Vakuumniveaus oder des Wasserstoffflusses verhindert Oxidation und das Eindringen von Verunreinigungen. Die Porosität wird durch Optimierung des Pulverpartikelgrößenverhältnisses und der Sinterparameter gesteuert. Ziel ist eine verbundene Porosität von 20–40 %, um die anschließende Kupferinfiltration zu unterstützen.

### 6.3 Vakuuminfiltrationsgeräte

Vakuuminfiltrationsanlagen sind das Herzstück der Wolframkupferstangenproduktion. Sie sind für die Infiltration von geschmolzenem Kupfer in das poröse Wolframskelett verantwortlich, um einen dichten Verbundwerkstoff zu bilden. Diese Anlagen müssen über eine hohe Vakuumleistung, eine präzise Temperaturregelung und eine stabile Betriebsumgebung verfügen, um eine gleichmäßige Kupferfüllung zu gewährleisten und Defekte zu vermeiden.

Ein Vakuuminfiltrationsofen besteht typischerweise aus einer Vakuumkammer, einem Heizsystem, einer Vakuumpumpe und einem Kühlsystem. Die Vakuumkammer besteht aus hochtemperaturbeständigen Materialien und enthält einen Graphittiegel zur Aufnahme der Wolframvorform und des Kupferblocks. Das Heizsystem nutzt typischerweise eine Mittelfrequenz-Induktionsheizung, die die Temperatur schnell auf 1100–1300 °C erhöhen kann, um ein vollständiges Schmelzen und die richtige Fließfähigkeit des geschmolzenen Kupfers sicherzustellen. Die Vakuumpumpe, einschließlich Roots- und Molekularpumpen, hält einen Vakuumdruck unter  $10^{-3}$  Pa aufrecht, wodurch der Gaswiderstand eliminiert und die spontane Infiltration des Kupfers gefördert wird. Das Kühlsystem verwendet Wasser- oder Luftkühlung, um die Abkühlrate zu steuern und Rissbildung durch thermische Spannung zu verhindern. Einige moderne Geräte sind mit einem Hochdruck-Gasunterstützungssystem ausgestattet, das Inertgase (wie Argon) verwendet, um zusätzlichen Druck auszuüben und so die Eindringtiefe zu erhöhen.

Der Betrieb eines Infiltrationsofens umfasst vier Phasen: Vorwärmen, Schmelzen, Infiltration und Abkühlen. In der Vorwärmphase wird die Wolframvorform auf 1000–1100 °C erhitzt, um oberflächliche Adsorptionsgase zu entfernen. In der Schmelzphase wird der Kupferblock über seinen Schmelzpunkt erhitzt, sodass das geschmolzene Kupfer durch Kapillarkräfte und Vakuumdruck in das Skelett eindringen kann. Die Haltephase stellt sicher, dass das geschmolzene Kupfer die Poren vollständig ausfüllt. In der Abkühlphase wird eine programmierte Kühlung verwendet, um Strukturdefekte zu vermeiden. Die Anlage muss mit hochpräzisen Temperatursensoren und Vakuumüberwachungssystemen ausgestattet sein, um Echtzeit-Feedback zu den Prozessparametern zu liefern.

Bei der Prozesssteuerung sind die Kupferinfiltrationstemperatur, das Vakuumniveau und die Haltezeit entscheidend. Die Temperatur muss über dem Schmelzpunkt von Kupfer, aber unter der Rekristallisationstemperatur von Wolfram liegen, um eine Verflüchtigung des Kupfers oder eine Vergrößerung der Skelettkörner zu verhindern. Das Vakuumniveau muss konstant gehalten werden,

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

um Blasenbildung oder Oxidationsreaktionen zu verhindern. Die Infiltrationsdynamik wird durch Porengröße und Benetzbarkeit beeinflusst und muss durch die Gestaltung der Vorform und die Zugabe von Netzmitteln (z. B. Spuren von Chrom) optimiert werden. Im Hinblick auf die Geräterwartung ist die regelmäßige Überprüfung von Tiegeln und Heizelementen entscheidend, um Materialverunreinigungen oder eine Verringerung des thermischen Wirkungsgrads zu vermeiden.

#### **6.4 Nachbearbeitungs- und Bearbeitungseinrichtungen**

Nachbearbeitungs- und Bearbeitungsgeräte werden eingesetzt, um Restspannungen während des Vorbereitungsprozesses zu beseitigen, Materialeigenschaften anzupassen und eine präzise Maßformung zu erreichen. Diese Geräte müssen hochpräzise und verschleißfest sein, um der hohen Härte und den Verbundeigenschaften von Wolframkupferstäben gerecht zu werden.

Zu den Nachbearbeitungsanlagen gehören vor allem Wärmebehandlungs- und Glühöfen. Wärmebehandlungsöfen nutzen eine Wasserstoff- oder Vakuumatmosphäre und halten Temperaturen zwischen 800 °C und 1000 °C für 1–3 Stunden aufrecht, um Restspannungen zu beseitigen, die während der Infiltration und Abkühlung entstehen, und so die Materialzähigkeit zu verbessern. Glühöfen nutzen mehrstufiges Erhitzen und langsames Abkühlen, um die Kristallstruktur zu optimieren und innere Defekte zu reduzieren. Die Anlage ist mit einem präzisen Temperaturkontrollsystem und einer Atmosphärenzirkulationsvorrichtung ausgestattet, um Gleichmäßigkeit und Sicherheit während des Wärmebehandlungsprozesses zu gewährleisten.

Zu den Bearbeitungsmaschinen gehören CNC-Drehmaschinen, Fräsmaschinen, Schleifmaschinen und Erodiermaschinen. CNC-Dreh- und Fräsmaschinen werden zum Schruppen und Schlichten eingesetzt und sind mit Diamant- oder Hartmetallwerkzeugen ausgestattet, um der hohen Härte der Wolframkupferstäbe gerecht zu werden. Schnittgeschwindigkeiten und Vorschubgeschwindigkeiten müssen streng kontrolliert werden, um Überhitzung oder Oberflächenschäden zu vermeiden. Schleifmaschinen werden eingesetzt, um eine hohe Oberflächengüte ( $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ ) zu erzielen und komplexe Formen durch mehrachsige Kopplung zu bearbeiten. Erodiermaschinen eignen sich für die Bearbeitung von Präzisionsformen und winzigen Details und nutzen die inhärente Leitfähigkeit der Wolframkupferstäbe für eine effiziente Entladungsbearbeitung. Während des Bearbeitungsprozesses sind das Kühlmittelzirkulationssystem und die Vorrichtung zur Überwachung des Werkzeugverschleißes entscheidend für die Gewährleistung der Bearbeitungsgenauigkeit und der Lebensdauer der Ausrüstung.

Bei der Prozesssteuerung der Wärmebehandlung müssen Temperaturprofil und Haltezeit optimiert werden, um eine Überhitzung zu vermeiden, die zu Kupferausfällungen und Festigkeitsverlust führen kann. Die Bearbeitung erfordert CNC-Programmierung und Online-Messung, um Maßtoleranzen innerhalb von 0,01 mm einzuhalten. Die Werkzeugauswahl und die Anpassung der Schnittparameter sind entscheidend, um Mikrorisse und Oberflächenrauheit zu vermeiden.

#### **6.5 Prüf- und Qualitätskontrolleinrichtungen**

Prüf- und Qualitätskontrollgeräte werden eingesetzt, um die Leistung und Konsistenz von Wolframkupferstäben zu bewerten und sicherzustellen, dass die Produkte den

Konstruktionsanforderungen entsprechen. Diese Geräte decken während des gesamten Produktionsprozesses physikalische, chemische und mikrostrukturelle Analysen ab.

Dichtemessgeräte, darunter ein archimedisches Densitometer und ein Röntgendichtescanner, werden verwendet, um die Dichte und Porosität des Materials zu bestimmen und sicherzustellen, dass nach der Infiltration keine ungefüllten Bereiche vorhanden sind. Ein Wärmeleitfähigkeitsprüfer verwendet ein Laserblitzverfahren oder eine Wärmeflussmethode, um die Wärmeleitfähigkeit von Wolframkupferstäben zu messen und so deren Wärmemanagementfähigkeiten zu überprüfen. Ein elektrischer Leitfähigkeitsprüfer misst den spezifischen Widerstand mithilfe einer Vierpunktsondenmethode, um sicherzustellen, dass das Material die Anforderungen elektrischer Anwendungen erfüllt. Geräte zur Prüfung mechanischer Eigenschaften, darunter eine Universalprüfmaschine und ein Härteprüfer, werden für Zug-, Druck-, Biege- und Härteprüfungen verwendet, um die Festigkeit und Verschleißfestigkeit des Materials zu beurteilen.

Zu den Geräten zur mikrostrukturellen Analyse gehören Rasterelektronenmikroskope (REM), Röntgendiffraktometer (XRD) und energiedispersive Spektroskopie (EDS). REM werden verwendet, um die Verteilung von Wolfram- und Kupferphasen sowie Grenzflächenbindungen zu beobachten und Risse oder undurchdrungene Bereiche zu erkennen. XRDs analysieren die Kristallstruktur und Phasenzusammensetzung, um das Fehlen von Verunreinigungsphasen sicherzustellen. EDS untersuchen die Elementverteilung, um die Reinheit und Gleichmäßigkeit des Materials zu überprüfen. Zerstörungsfreie Prüfgeräte wie Ultraschallprüfgeräte und Röntgen-CT-Scanner werden eingesetzt, um innere Defekte wie Blasen oder Einschlüsse zu erkennen und so die Produktqualität sicherzustellen.

Bei der Prozesskontrolle müssen die Prüfungen den gesamten Prozess abdecken, von den Rohstoffen über die Halbzeuge bis hin zum fertigen Produkt. Partikelgrößenanalytoren und chemische Analysen sichern die Qualität im Pulverstadium. Online-Temperatur- und Vakuumüberwachung während der Sinter- und Infiltrationsphase kontrolliert die Prozessstabilität. Mehrdimensionale Prüfungen verifizieren die Leistungskonsistenz im Fertigproduktstadium. Ein Datenmanagementsystem zeichnet die Prüfergebnisse auf und analysiert sie. So können mithilfe statistischer Prozesskontrollmethoden (SPC) die Produktionsparameter optimiert und die Fehlerquote reduziert werden.



## Kapitel 7 Qualitätsprüfung und Bewertungsmethoden für Wolframkupferstäbe

Da es sich um einen Hochleistungsverbundwerkstoff handelt, sind die Qualitätskontrolle und -bewertung von Wolframkupferstäben entscheidend für ihre Stabilität und Zuverlässigkeit in Anwendungen wie Elektrik, Elektronik, Luft- und Raumfahrt und Wärmemanagement. Die Qualitätskontrolle umfasst nicht nur eine vorläufige Untersuchung von Aussehen und Abmessungen, sondern auch eine umfassende Bewertung der physikalischen, mechanischen, chemischen und mikrostrukturellen Eigenschaften. Diese Prüfmethode, bei denen hochentwickelte Geräte und standardisierte Prozesse zum Einsatz kommen, stellen vollständig sicher, dass die Wolframkupferstäbe die Konstruktionsanforderungen erfüllen, identifizieren potenzielle Mängel und bilden die Grundlage für die Prozessoptimierung. Dieses Kapitel erläutert systematisch die Methoden zur Qualitätsprüfung und -bewertung von Wolframkupferstäben und beschreibt detailliert die technischen Prinzipien, Betriebsabläufe, Geräteanforderungen und kritischen Kontrollpunkte jedes Prüfschritts. Außerdem werden Vergleiche mit gängigen internationalen Standards angestellt, um professionelle Anleitungen für Produktion und Anwendung zu bieten.

### 7.1 Prüfung des Aussehens und der Abmessungen von Wolframkupferstäben

Die Prüfung des Aussehens und der Abmessungen ist der erste Schritt in der Qualitätskontrolle von Wolframkupferstäben. Sie soll sicherstellen, dass die Oberflächenqualität und die geometrische Genauigkeit des Materials den Konstruktionspezifikationen entsprechen und die Grundlage für die anschließende Leistungsprüfung bilden. Bei der Prüfung des Aussehens steht die Oberflächenintegrität des Materials im Mittelpunkt, wobei auf Defekte wie Risse, Poren, Einschlüsse, Kupferansammlungen oder Verbrennungen geprüft wird. Diese Defekte können durch ungleichmäßiges Pressen, Sinterfehler oder unzureichende Infiltration während des Herstellungsprozesses verursacht werden. Die Prüfung erfolgt üblicherweise durch Sichtprüfung in Kombination mit einer Lupe oder einem schwachen Mikroskop. Der Bediener muss die Oberfläche

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

des Stabs unter einer hellen und gleichmäßigen Lichtquelle betrachten, um sicherzustellen, dass keine mit bloßem Auge erkennbaren Defekte vorhanden sind. Bei Wolframkupferstäben mit komplexen Formen können Industrieendoskope verwendet werden, um Innenflächen oder schwer zugängliche Bereiche zu prüfen.

Durch die Maßprüfung wird sichergestellt, dass die geometrischen Parameter des Wolframkupferstabs (wie Durchmesser, Länge und Rundheit) den Toleranzanforderungen entsprechen. In der Regel kommen dafür hochpräzise Messwerkzeuge zum Einsatz. Mikrometer und Messschieber dienen zur Messung der Grundmaße mit einer Genauigkeit von bis zu 0,01 mm. Für höhere Präzisionsanforderungen scannt ein Koordinatenmessgerät (KMG) mit einem Mehrpunkt-Kontakttaster das dreidimensionale Profil des Stabs und prüft, ob die Toleranz innerhalb von 0,005 mm liegt. Laserscanner erfassen berührungslos Oberflächenprofilaten und eignen sich daher für die schnelle Prüfung in der Großserienproduktion. Bei der Maßprüfung müssen auch geringfügige Verformungen berücksichtigt werden, die nach der Wärmebehandlung oder Bearbeitung auftreten können. Daher sind in verschiedenen Produktionsphasen mehrere Messungen erforderlich.

Bei der Prozesskontrolle erfordert die visuelle Prüfung ein standardisiertes Fehlerklassifizierungssystem. Kriterien sollten beispielsweise anhand von Fehlergröße und -art festgelegt werden (z. B. ist eine Risslänge  $<0,1$  mm akzeptabel). Die Maßprüfung erfordert kalibrierte Messgeräte, um Wiederholbarkeit und Genauigkeit zu gewährleisten. Gleichzeitig muss die Umgebungstemperatur erfasst werden, um Wärmeausdehnungseffekte zu berücksichtigen. Die frühzeitige Erkennung von Fehlern kann auf bestimmte Schritte im Herstellungsprozess zurückgeführt werden, z. B. auf unzureichenden Pressdruck oder zu hohe Infiltrationstemperatur. Dies liefert Daten, die die Prozessoptimierung unterstützen.

## 7.2 Prüfung der physikalischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben

Bei der Prüfung der physikalischen Eigenschaften werden Dichte, Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Wärmeausdehnung von Wolframkupferstäben bewertet, die sich alle direkt auf ihre Leistung im Wärmemanagement und in elektrischen Anwendungen auswirken. Die Dichteprüfung nutzt das archimedische Prinzip und verwendet eine hochpräzise elektronische Waage, um die Masse des Stabs in Luft und Flüssigkeit zu messen. Die berechnete Dichte wird anschließend mit theoretischen Werten verglichen, um die Vollständigkeit der Infiltration und Porosität zu beurteilen. Die Dichte eines typischen Wolframkupferstabs liegt je nach Wolframgehalt (50–90 Gew.-%) zwischen 11,8 und 17,0 g/cm<sup>3</sup>. Dichteabweichungen können auf ungefüllte Bereiche oder eine ungleichmäßige Kupferverteilung hinweisen.

Zur Prüfung der Wärmeleitfähigkeit wird ein Laserblitzverfahren verwendet. Dabei kommt ein Laser-Wärmeleitfähigkeitsmessgerät und eine Vorrichtung zum Erhitzen der Probe zum Einsatz. Die Stabprobe wird durch einen Laserimpuls erhitzt und ein Infrarotdetektor misst die zeitliche Veränderung der Temperatur auf der Rückseite, um die Wärmeleitfähigkeit zu berechnen. Die Wärmeleitfähigkeit von Wolframkupferstäben liegt je nach Kupfergehalt und Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur typischerweise zwischen 180 und 250 W/ mK. Zur Prüfung der elektrischen

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Leitfähigkeit wird ein Vierpunkt-Sondenverfahren verwendet. Dabei wird der spezifische Widerstand mithilfe einer Konstantstromquelle und eines Voltmeters gemessen und anschließend in elektrische Leitfähigkeit (typischerweise 30–50 % IACS) umgerechnet. Eine hohe elektrische Leitfähigkeit ist für elektrische Kontaktanwendungen entscheidend, während die Wärmeleitfähigkeit die Leistung des Kühlkörpers bestimmt.

Die Prüfung des Wärmeausdehnungskoeffizienten erfolgt mit einem thermomechanischen Analysator (TMA). Die Probe wird auf eine kontrollierte Temperatur (20–1000 °C) erhitzt und ihre lineare Ausdehnung gemessen. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframkupferstäben liegt typischerweise zwischen 6 und  $10 \times 10^{-6} / \text{K}$ , was gut zu Halbleitermaterialien passt und sich für elektronische Gehäuse eignet. Der Test erfordert eine kontrollierte Heizrate (5–10 °C/min), um zu vermeiden, dass thermische Spannungen die Ergebnisse beeinflussen.

Bei der Prozesskontrolle muss durch die Prüfung physikalischer Eigenschaften eine konsistente Probenvorbereitung, wie z. B. Oberflächenebenheit und Maßstandardisierung, sichergestellt werden. Die Prüfumgebung muss feuchtigkeits- und temperaturkontrolliert sein, um externe Störungen zu vermeiden. Die Ergebnisse werden mit statistischen Methoden (wie Mittelwert und Standardabweichung) analysiert, um die Chargenkonsistenz zu beurteilen. Ausreißer können auf Prozessfehler wie übermäßige Porosität oder ungleichmäßige Kupferphasenverteilung hinweisen.

### 7.3 Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben

Mechanische Prüfungen bewerten Härte, Festigkeit, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit von Wolframkupferstäben und stellen so ihre Zuverlässigkeit in mechanisch beanspruchten Umgebungen sicher. Zur Härteprüfung wird ein Vickers- oder Brinell-Härteprüfgerät verwendet, das eine bestimmte Last auf die Staboberfläche ausübt und die Eindruckgröße misst. Die Härte von Wolframkupferstäben steigt mit dem Wolframgehalt und liegt typischerweise zwischen 100 und 250 HV. Dadurch eignen sie sich für verschleißfeste Anwendungen wie Formen und Elektroden.

Festigkeitsprüfungen umfassen Zug-, Druck- und Biegeversuche, die mit einer Universalprüfmaschine durchgeführt werden. Zugversuche messen Zugfestigkeit und Dehnung. Die Zugfestigkeit von Wolframkupferstäben liegt üblicherweise zwischen 500 und 800 MPa, die Dehnung ist gering (1–5 %), was auf die begrenzte Duktilität des Materials zurückzuführen ist. Druckversuche bewerten die Druckfestigkeit und eignen sich für Gegengewichte oder Hochdruckkomponenten, üblicherweise im Bereich von 800 bis 1200 MPa. Der Dreipunkt-Biegeversuch misst Biegefestigkeit und Bruchzähigkeit und spiegelt das Verhalten des Materials unter dynamischer Belastung wider. Der Test erfordert die Verwendung von Standardproben (z. B. Zugproben gemäß ASTM E8) und die Kontrolle der Belastungsrate, um genaue Ergebnisse zu gewährleisten.

Bei der Prüfung der Verschleißfestigkeit wird ein Tribometer verwendet, um den Massenverlust oder die Tiefe der Verschleißnarben zu messen. Dazu wird eine Probe unter einer bestimmten Belastung über ein Standardschleifmittel (z. B. Aluminiumoxid) geschoben. Die Prüfung der Schlagfestigkeit erfolgt mit einem Fallgewichtstest oder einem Charpy-Schlagprüfgerät, um die

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Fähigkeit des Materials zur Absorption von Aufprallenergie zu beurteilen. Die Verschleiß- und Schlagfestigkeit von Wolframkupferstäben beruht auf der Härte des Wolframs und der Zähigkeit des Kupfers, wodurch sie sich für Hochgeschwindigkeitsschneid- oder Vibrationsumgebungen eignen.

Während der Prozesskontrolle müssen mechanische Prüfungen sicherstellen, dass die Probenoberfläche frei von Defekten ist. Die Prüfgeräte müssen regelmäßig kalibriert werden. Die Prüfergebnisse müssen mit mikrostrukturellen Analysen kombiniert werden, um festzustellen, ob Leistungseinbußen durch schlechte Grenzflächenbindung oder Porosität verursacht werden. Die Konsistenz der mechanischen Eigenschaften von Charge zu Charge wird durch statistische Prozesskontrolle (SPC) überwacht, um eine gleichbleibende Produktqualität zu gewährleisten.

#### **7.4 Prüfung der chemischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben**

Chemische Leistungstests bewerten die Oxidationsbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit und chemische Stabilität von Wolframkupferstäben bei hohen Temperaturen und stellen so ihre Zuverlässigkeit in rauen chemischen Umgebungen sicher. Die Prüfung der Oxidationsbeständigkeit erfolgt mit einem thermogravimetrischen Analysator (TGA). Die Probe wird in Luft oder Sauerstoff (200–1000 °C) erhitzt und die Massenänderung gemessen, um die Oxidationsrate zu bestimmen. Wolframkupferstäbe weisen aufgrund ihrer stabilen Wolframoxidschicht, die die Oxidationsneigung der Kupferphase bei hohen Temperaturen unterdrückt, eine ausgezeichnete Oxidationsbeständigkeit auf.

Zur Prüfung der Korrosionsbeständigkeit werden entweder Tauchtests oder elektrochemische Tests verwendet. Bei Tauchtests werden Proben einer sauren (z. B. Schwefelsäure), alkalischen (z. B. Natriumhydroxid) oder Salzsprühumgebung ausgesetzt, um den Grad der Oberflächenkorrosion und den Masseverlust zu bestimmen. Bei elektrochemischen Tests wird mittels potentiokinetischer Polarisation das Korrosionspotenzial und die Korrosionsstromdichte gemessen, um die Stabilität des Materials im korrosiven Medium zu beurteilen. Wolframkupferstäbe weisen eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit in einer Vielzahl chemischer Umgebungen auf und eignen sich daher für maritime oder chemische Anwendungen.

Die Prüfung der chemischen Stabilität bei hohen Temperaturen erfolgt in einem Hochtemperaturofen. Die Probe wird einem bestimmten Gas (wie Stickstoff, Wasserstoff oder Kohlendioxid) ausgesetzt, um festzustellen, ob ein Phasenwechsel oder eine chemische Reaktion stattfindet. Die hohe Temperaturbeständigkeit von Wolframkupferstäben macht sie in Hochtemperaturreaktoren oder -sensoren stabil.

Bei der Prozesskontrolle erfordern chemische Leistungstests kontrollierte Umgebungsbedingungen (wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Gasreinheit), um reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten. Die Probenoberflächen müssen sauber sein, um Verunreinigungen zu vermeiden, die den Test beeinträchtigen könnten. Die Ergebnisanalyse sollte mit einer mikrostrukturellen Analyse kombiniert werden, um festzustellen, ob Verunreinigungen oder Grenzflächendefekte zur Verschlechterung der chemischen Leistung beitragen.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

### 1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

### 2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

**High Thermal Conductivity:** The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

**High Strength and High-Temperature Resistance:** The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

**Resistance to Arc Erosion:** The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

**Low Thermal Expansion Coefficient:** Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

**Excellent Machinability:** Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

### 3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

### 4. Advantages of Tungsten Copper Rod

**High-Performance Combination:** A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

**Customized Solutions:** Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

**Long Service Life and Stability:** Significantly reduces maintenance and replacement costs.

### 5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## 7.5 Mikrostruktur und Strukturanalyse von Wolframkupferstäben

Mikrostruktur- und Strukturanalysen liefern detaillierte Einblicke in die mikroskopischen Eigenschaften von Wolfram-Kupfer-Stäben und ermöglichen die Beurteilung der Verteilung von Wolfram-Kupfer-Phasen, Grenzflächenbindungen und Defekten. Dies bildet die Grundlage für die Leistungsoptimierung. Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) ist das wichtigste Instrument zur Beobachtung der Verteilung und Morphologie der Wolfram-Kupfer-Phasen und zur Erkennung von undurchdrungenen Bereichen, Rissen oder Einschlüssen. Das mit einem Rückstreuелеktronenmodus (BSE) ausgestattete REM kann zwischen Wolfram (hohe Ordnungszahl, helle Bereiche) und Kupfer (dunkle Bereiche) unterscheiden und so die Gleichmäßigkeit der Phasenverteilung deutlich veranschaulichen.

Röntgendiffraktometer (XRD) werden zur Analyse der Kristallstruktur und Phasenzusammensetzung eingesetzt. Sie verifizieren die kubisch-raumzentrierte (BCC) Struktur von Wolfram und die kubisch-flächenzentrierte (FCC) Struktur von Kupfer und erkennen die Bildung von Verunreinigungsphasen (wie Oxiden). Energiedispersive Spektroskopie (EDS) in Kombination mit Rasterelektronenmikroskopie (SEM) analysiert die Elementverteilung, ermittelt das Wolfram-Kupfer-Verhältnis und den Verunreinigungsgehalt und stellt die Materialreinheit sicher. Die Elektronenrückstreubeugung (EBSD) liefert zudem Informationen zur Kornorientierung und den Grenzflächeneigenschaften und enthüllt den Wolfram-Kupfer-Bindungsmechanismus.

Stereoskopische und optische Mikroskope werden für Beobachtungen mit geringer Vergrößerung verwendet, um die makroskopische Strukturhomogenität und Oberflächendefekte zu beurteilen. Die Röntgen-Computertomographie (CT) dient der zerstörungsfreien inneren Strukturuntersuchung, um versteckte Blasen, Risse oder inhomogene Bereiche zu identifizieren. Die Porositätsanalyse wird mithilfe von Quecksilberintrusion oder Bildanalysesoftware durchgeführt, um die Porenverteilung und -konnektivität zu quantifizieren.

Zur Prozesskontrolle erfordert die mikroskopische Analyse den Einsatz standardisierter Probenvorbereitungsverfahren (z. B. Polieren und Ätzen), um Artefakte zu vermeiden. Die Testergebnisse sollten mit physikalischen und mechanischen Eigenschaften kombiniert werden, um den Einfluss der Mikrostruktur auf die makroskopischen Eigenschaften zu analysieren. Abnorme Strukturen (z. B. Kupferansammlungen oder Porosität) können auf Defekte im Infiltrations- oder Sinterprozess zurückgeführt werden und bieten eine Grundlage für Optimierungen.

## 7.6 Vergleich gängiger internationaler Prüfnormen und -methoden

Die internationale Prüfung von Wolframkupferstäben erfolgt nach einer Reihe standardisierter Vorgaben, um die Vergleichbarkeit und Zuverlässigkeit der Prüfergebnisse zu gewährleisten. Im Folgenden finden Sie einen Vergleich der wichtigsten internationalen Normen und ihres Anwendungsbereichs:

### 1. ASTM-Normen

- ASTM B702: Diese Norm legt Prüfverfahren für die chemische Zusammensetzung, die physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen fest,

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

die sich für die Prüfung von elektrischen Kontakten und Kühlkörpern eignen. Sie umfasst Spezifikationen für Dichte, Leitfähigkeit, Härte und Zugfestigkeit und legt Wert auf einheitliche Probenvorbereitung und Prüfbedingungen.

- ASTM E8: Zugprüfnorm, anwendbar auf die Festigkeits- und Duktilitätsprüfung von Wolframkupferstäben, gibt Probengröße und Belastungsrate an.
- ASTM E384: Vickers-Härteprüfstandard, geeignet zur Bewertung der Härte von Wolframkupferstäben, mit besonderem Schwerpunkt auf der Auswahl des Eindringkörpers und der Lastkontrolle.

## 2. ISO-Normen

- ISO 4499-2: Härteprüfnorm für Hartmetall, teilweise anwendbar auf Wolframkupferstäbe, legt die Messmethode der Brinell- und Vickershärte fest.
- ISO 3369: Dichteprüfnorm, die das Archimedes-Prinzip verwendet und zur Dichtebestimmung von Wolframkupferstäben geeignet ist.
- ISO 6892-1: Zugprüfnorm für metallische Werkstoffe, anwendbar auf die Prüfung mechanischer Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen und Raumtemperaturen.

## 3. Chinesischer Nationalstandard (GB/T)

- GB/T 3458-2006: Technische Bedingungen für Wolframpulver, die die Reinheit, Partikelgröße und Methoden zur Erkennung von Verunreinigungen von Wolframpulver festlegen und sich indirekt auf die Qualität des Rohmaterials von Wolframkupferstäben auswirken.
- GB/T 8320-2017: Standard für elektrische Kontaktmaterialien aus Wolfram-Kupfer-Legierungen, der die Testanforderungen für Leitfähigkeit, Verschleißfestigkeit und Lichtbogenfestigkeit abdeckt.
- GB/T 26038-2020: Standard für Verbundwerkstoffe auf Wolframbasis, der Methoden zur Analyse von Dichte, Wärmeleitfähigkeit und Mikrostruktur festlegt.

## 4. Weitere Normen

- JIS H 0502 (Japan): ein Standard zum Testen der Verschleißfestigkeit metallischer Werkstoffe, anwendbar auf die Bewertung der Reibungs- und Verschleißleistung von Wolframkupferstäben.
- DIN EN 623-4 (Europa): Prüfnorm für die elektrische Leitfähigkeit elektronischer Materialien, anwendbar auf die Messung des spezifischen Widerstands von Wolframkupferstäben.

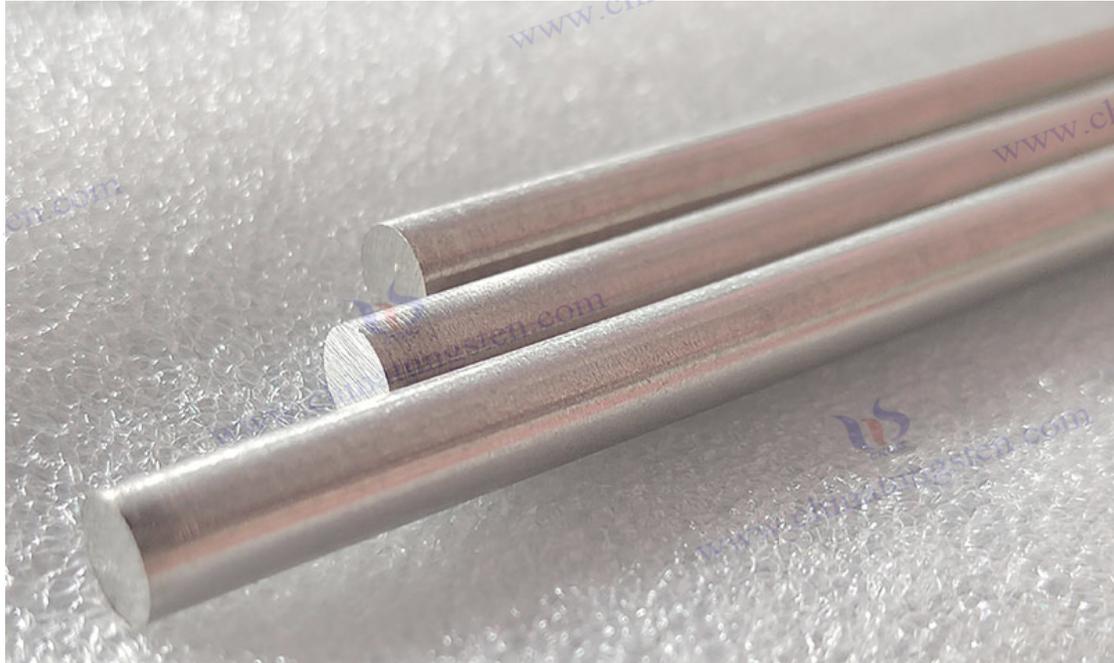
### Methodenvergleich:

ASTM-Normen konzentrieren sich stärker auf Prüfungen für elektrische und thermische Managementanwendungen und legen den Schwerpunkt auf die elektrische und thermische Leitfähigkeit. ISO-Normen sind allgemeiner gehalten und auf eine Vielzahl von Metallverbundwerkstoffen anwendbar. Chinas Normen sind auf nationale Gegebenheiten zugeschnitten und enthalten detaillierte Bestimmungen für Rohstoffe und Kontakthanwendungen. Zur Dichteprüfung ist die Archimedische Methode (ASTM, ISO) einfach und effizient, zur Erkennung innerer Porosität eignet sich jedoch die Röntgen-Computertomographie (GB/T). Bei mechanischen Prüfungen ähneln sich ASTM E8 und ISO 6892-1 hinsichtlich der Zugprüfverfahren, die ISO legt jedoch den Schwerpunkt auf Hochtemperaturprüfungen. Zur mikroskopischen Analyse sind SEM und XRD die wichtigsten internationalen Methoden, die EBSD wird jedoch bei ASTM

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

weiter verbreitet eingesetzt und eignet sich für die Grenzflächenanalyse.

Bei der Prozesskontrolle müssen je nach Anwendungsszenario geeignete Standards ausgewählt werden. Beispielsweise wird GB/T 8320 für elektrische Kontakte bevorzugt, während ASTM B702 für Kühlkörpermaterialien empfohlen wird. Die Kalibrierung der Prüfgeräte und die Schulung der Bediener sind entscheidend für die einheitliche Umsetzung der Standards. Der Vergleich mehrerer Standards kann Prüfprozesse optimieren und die internationale Akzeptanz der Ergebnisse erhöhen.



## Kapitel 8 Normen und Spezifikationen für Wolframkupferstäbe

Als Hochleistungsverbundwerkstoff unterliegen Wolframkupferstäbe weltweit strengen Normen und Vorschriften hinsichtlich ihrer Leistung und Qualität. Diese Normen decken die chemische Zusammensetzung, die physikalischen und mechanischen Eigenschaften, die Herstellungsprozesse und Prüfmethoden des Materials ab und gewährleisten so die Zuverlässigkeit und Konsistenz des Produkts in Anwendungen wie Elektrik, Elektronik, Luft- und Raumfahrt und Wärmemanagement. Obwohl die Normensysteme verschiedener Länder und Regionen je nach industriellem Kontext und Anwendungsanforderungen variieren, zielen sie alle darauf ab, einheitliche technische Richtlinien für die Herstellung, Prüfung und Anwendung von Wolframkupferstäben bereitzustellen. Dieses Kapitel erläutert systematisch die relevanten Normen für Wolframkupferstäbe in China, international, in den USA, Europa und Japan, analysiert ihre Anforderungen, ihren Anwendungsbereich und ihre Unterschiede und bewertet ihre Anwendbarkeit vergleichend.

### 8.1 Chinas nationale und industrielle Standards für Wolframkupferstäbe

Chinas nationale und industrielle Standards enthalten detaillierte technische Spezifikationen für die Herstellung und Anwendung von Wolframkupferstäben. Sie kombinieren inländische Industriemerkmale und decken Rohstoffe, Herstellungsverfahren, Leistungstests und Qualitätskontrolle ab. Die wichtigsten relevanten Standards sind:

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

GB/T 3458-2006 Technische Anforderungen für Wolframpulver: Diese Norm legt die chemische Zusammensetzung, Partikelgrößenverteilung, Schüttdichte und den Verunreinigungsgehalt von Wolframpulver fest. Sie gilt für die Rohstoffkontrolle bei der Herstellung von Wolframkupferstäben. Die Norm erfordert eine Reinheit von mindestens 99,95 %, einen Sauerstoffgehalt von weniger als 0,05 Gew.-% und eine Partikelgröße von 1–5 µm, um sicherzustellen, dass das Pulver für Press- und Sinterprozesse geeignet ist. Sie spezifiziert außerdem Prüfmethode wie die Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF) auf Verunreinigungen und die Laserpartikelgrößenanalyse.

GB/T 8320-2017 Wolfram-Kupfer-Legierung für elektrische Kontakte: Diese Norm wurde speziell für Wolfram-Kupfer-Stäbe als elektrische Kontaktmaterialien entwickelt und deckt Anforderungen an chemische Zusammensetzung, Leitfähigkeit, Verschleißfestigkeit und Lichtbogenfestigkeit ab. Die Norm schreibt einen Wolframgehalt von 50–90 Gew.-%, eine Leitfähigkeit von mindestens 30 % IACS und einen Härtebereich von 100–250 HV vor. Zu den Prüfmethode gehören die Messung des spezifischen Widerstands mit einer Vierpunktsonde, die Härteprüfung nach Vickers und die Lichtbogenerosionsprüfung. Die Norm ist anwendbar auf Kontakte von Hochspannungsschaltern und Leistungsschaltern.

GB/T 26038-2020 Technische Anforderungen für Wolfram-basierte Verbundwerkstoffe: Diese Norm gilt für Wolfram-basierte Verbundwerkstoffe, einschließlich Wolfram-Kupfer-Stäbe, und legt Leistungsanforderungen wie Dichte (11,8–17,0 g/cm<sup>3</sup>), Wärmeleitfähigkeit (180–250 W/m·K) und Wärmeausdehnungskoeffizient (6–10×10<sup>-6</sup> / K) fest. Die Norm enthält auch Anforderungen an die mikrostrukturelle Analyse und betont die gleichmäßige Verteilung der Wolfram-Kupfer-Phase und das Fehlen signifikanter Porosität. Zu den Testmethoden gehören die archimedische Dichtepfung, die Prüfung der Wärmeleitfähigkeit mit Laserblitzen und die Beobachtung mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM).

YS/T 649-2016 Wolfram-Kupfer-Legierungsnorm für die Nichteisenmetallindustrie: Diese Industrienorm spezifiziert die chemische Zusammensetzung und Bearbeitbarkeit von Wolfram-Kupfer-Stäben und legt die Leistungsparameter verschiedener Wolfram-Kupfer-Verhältnisse (z. B. W70Cu30 und W80Cu20) fest. Sie eignet sich für Elektroden- und Kühlkörperanwendungen. Die Norm erfordert eine Oberflächenrauheit Ra < 0,2 µm und eine Maßtoleranz von ±0,01 mm. Sie spezifiziert außerdem chemische Analysen und mechanische Prüfverfahren.

Der chinesische Standard legt den Schwerpunkt auf Praktikabilität und Produktionstauglichkeit und berücksichtigt die Vorteile heimischer Wolframvorkommen. Dabei wird Wert auf die Reinheit der Rohstoffe und die elektrische Leistung gelegt. Er eignet sich für elektrische Kontakte und Wärmemanagement. Die strengen Anforderungen an die Prozesskontrolle und detaillierten Prüfmethode bieten klare Leitlinien für die Großserienproduktion.

## 8.2 Internationale Normen für Wolframkupferstäbe (ISO, ASTM, IEC usw.)

Internationale Normen bieten einheitliche Spezifikationen für den weltweiten Handel und die Anwendung von Wolframkupferstäben. Sie werden hauptsächlich von der Internationalen Organisation für Normung (ISO), der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) usw.

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

formuliert und decken Materialeigenschaften und Prüfmethoden ab.

ISO 4499-2:2020 Härteprüfung von Hartmetall: Diese Norm konzentriert sich zwar primär auf Hartmetall, gilt aber teilweise auch für die Härteprüfung von Wolfram-Kupfer-Stäben. Sie spezifiziert Härtemessverfahren nach Vickers und Brinell, erfordert einen Prüfkraftbereich von 5–100 kgf und gewährleistet genaue Eindrucksmaße. Der Schwerpunkt der Norm liegt auf der Gerätekalibrierung und der Probenoberflächenvorbereitung, wodurch sie sich für die Bewertung der Verschleißfestigkeit von Wolfram-Kupfer-Stäben eignet.

ISO 3369:2006 Dichte metallischer Werkstoffe: Diese Norm spezifiziert das Archimedische Verfahren zur Dichtemessung und ist auf die Dichtebestimmung von Wolfram-Kupfer-Stäben anwendbar. Sie erfordert eine hohe Reinheit der Prüfflüssigkeit (z. B. deionisiertes Wasser) und eine Temperaturregelung von  $20 \pm 0,5$  °C, um die Messgenauigkeit zu gewährleisten. Diese Norm eignet sich zur Überprüfung der Integrität des Infiltrationsprozesses.

ISO 6892-1:2019, Zugprüfung an metallischen Werkstoffen: Diese Norm legt Zugprüfverfahren bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen fest, die für die Prüfung der Zugfestigkeit und Dehnung von Wolframkupferstäben gelten. Die Proben müssen Standardabmessungen (z. B. zylindrische Proben mit einem Durchmesser von 6–12 mm) und einer Belastungsrate von 0,5–2 mm/min entsprechen. Diese Norm eignet sich zur Bewertung des Werkstoffverhaltens unter mechanischer Beanspruchung.

IEC 60468:1974 Prüfverfahren für elektrische Kontaktmaterialien: Diese Norm behandelt die elektrische Leitfähigkeit und Lichtbogenfestigkeit von elektrischen Kontaktmaterialien und gilt für Wolframkupferstäbe in Schaltanlagen. Sie spezifiziert die Widerstandsprüfung (Vierpunkt-Sondenmethode) und die Lichtbogenerosionsprüfung und erfordert eine elektrische Leitfähigkeit von mindestens 30 % IACS. Die Lichtbogenfestigkeit wird durch zyklische Prüfungen überprüft.

Internationale Normen sind universell und legen Wert auf die länderübergreifende Kompatibilität. Ihre Prüfmethoden sind wissenschaftlich und streng, sodass sie sich für Exportprodukte und hochwertige Anwendungen eignen. ISO-Normen konzentrieren sich auf die allgemeine Prüfung von Materialeigenschaften, während IEC-Normen die elektrische Leistungsfähigkeit untersuchen und die Zuverlässigkeit von Wolframkupferstäben in elektrischen Geräten weltweit gewährleisten.

### **8.3 Amerikanische Normen für Wolframkupferstäbe (ASTM, ANSI, SAE)**

Amerikanische Standards sind für ihre Genauigkeit und Anwendungsorientierung bekannt. Sie werden hauptsächlich von der American Society for Testing and Materials (ASTM), dem American National Standards Institute (ANSI) usw. formuliert und finden auf dem nordamerikanischen Markt und in der Luft- und Raumfahrt breite Anwendung.

ASTM B702-93 (2019) Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoff: Diese Norm wurde speziell für Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffe entwickelt und deckt Anforderungen an die chemische Zusammensetzung sowie die physikalischen und mechanischen Eigenschaften ab. Sie legt einen

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Wolframgehalt von 50–90 Gew.-%, eine Dichte von 11,8–17,0 g/cm<sup>3</sup>, eine elektrische Leitfähigkeit von 30–50 % IACS und eine Wärmeleitfähigkeit von 180–250 W/m·K fest. Zu den Prüfmethode gehören die archimedische Dichtepfung, die Vierpunkt-Widerstandsprüfung und die Wärmeleitfähigkeitsprüfung mittels Laserblitz. Die Norm ist anwendbar auf elektrische Kontakte und Kühlkörpermaterialien.

-ASTM E8/E8M-21 Zugprüfung an metallischen Werkstoffen: Diese Norm legt Probenvorbereitung, Prüfbedingungen und Datenverarbeitungsmethoden für Zugprüfungen fest. Sie ist anwendbar für Zugfestigkeits- (500–800 MPa) und Dehnungsprüfungen von Wolframkupferstäben. Die Probenoberfläche muss fehlerfrei sein, die Prüftemperatur muss bei 23 ± 2 °C liegen und die Belastungsgeschwindigkeit muss 0,015–0,05 mm/s betragen.

-ASTM E384-17 Vickers-Härteprüfung: Diese Norm gilt für die Härteprüfung von Wolframkupferstäben. Sie legt einen Lastbereich von 0,1–100 kgf und eine Eindruckmessgenauigkeit von ±0,5 µm fest. Die Prüfoberfläche muss auf Ra < 0,1 µm poliert sein, um genaue Ergebnisse zu gewährleisten.

-ANSI C63.2-2016 Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit: Obwohl dieser Standard in erster Linie auf elektromagnetische Geräte abzielt, gilt er teilweise auch für die Leitfähigkeitsprüfung von Wolframkupferstäben als Elektrodenmaterial, wobei der Schwerpunkt auf niedrigem spezifischen Widerstand und Lichtbogenfestigkeit liegt, und ist für Radar- und Kommunikationsgeräte geeignet.

Amerikanische Normen konzentrieren sich auf Prüfanforderungen für elektrische und thermische Managementanwendungen mit detaillierten Prüfmethode und strenger Gerätekalibrierung, die für hochpräzise und hochwertige Märkte geeignet sind. ASTM-Normen werden häufig in der Luft- und Raumfahrt- sowie der Elektronikindustrie verwendet und stellen sicher, dass Wolframkupferstäbe anspruchsvolle Leistungsanforderungen erfüllen.

#### **8.4 Europäische Normen für Wolframkupferstäbe (EN, DIN, BS)**

Europäische Normen werden vom Europäischen Komitee für Normung (EN), der Deutschen Industrienorm (DIN) und der British Standards Institution (BS) formuliert. Sie konzentrieren sich auf Materialleistung und Umweltschutzanforderungen und eignen sich für die Herstellung und Anwendung von Wolframkupferstäben auf dem EU-Markt.

-EN 623-4:2004 Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit für elektronische Materialien: Diese Norm legt die Methode zur Prüfung des spezifischen Widerstands von Metallverbundwerkstoffen fest, anwendbar für Anwendungen, bei denen Wolfram-Kupfer-Stäbe als Elektroden und Kontakte verwendet werden. Die Prüfung erfordert die Verwendung einer Vierpunktsondenmethode, eine Mindestleitfähigkeit von 30 % IACS und eine Umgebungstemperatur von 20–25 °C.

DIN EN ISO 6507-1:2018 Vickers-Härteprüfung: Ähnlich wie ASTM E384 gilt diese Norm für die Härteprüfung von Wolfram-Kupfer-Stäben. Sie spezifiziert einen Lastbereich von 0,2–100 kgf,

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

erfordert eine hohe Oberflächenebenheit und eine Eindruckmessgenauigkeit von  $\pm 0,5 \mu\text{m}$ . Diese Norm legt Wert auf die Wiederholbarkeit der Prüfung und eignet sich zur Beurteilung der Verschleißfestigkeit.

EN ISO 6892-1:2019 Zugprüfung an metallischen Werkstoffen: Diese Norm, die mit den ISO-Normen übereinstimmt, legt die Prüfverfahren für die Zugfestigkeit und Dehnung von Wolframkupferstäben fest. Sie eignet sich zur Bewertung mechanischer Eigenschaften. Eine hohe Genauigkeit bei der Probenverarbeitung ist erforderlich, und die Kalibrierung der Prüfmaschine muss ISO 7500-1 entsprechen.

-BS EN 1011-1:2009 Schweißmaterialverträglichkeit: Dieser Normteil gilt für die Schweißleistungsprüfung von Wolframkupferstäben und anderen Metallen, legt die Prüfmethode für die Grenzflächenhaftfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit fest und ist für Anwendungen in Verbundstrukturen geeignet.

Europäische Normen legen den Schwerpunkt auf Umweltschutz und Sicherheit. Die Prüfmethode sind in hohem Maße mit internationalen Normen kompatibel und eignen sich daher für Wolframkupfer-Stangenprodukte, die in die EU exportiert werden. DIN- und EN-Normen finden in der Maschinen- und Elektronikindustrie breite Anwendung und legen Wert auf die Zuverlässigkeit und Beständigkeit der Materialleistung.

### **8.5 Japanischer Standard (JIS) für Wolframkupferstäbe**

Japanische Industriestandards (JIS) bieten technische Spezifikationen für die Herstellung und Anwendung von Wolframkupferstäben, kombiniert mit den hohen Präzisionsanforderungen der japanischen Fertigung, geeignet für die Elektronik- und Formenindustrie.

-JIS H 0502:1986 Verschleißfestigkeitsprüfung von metallischen Werkstoffen: Diese Norm legt Reibungs- und Verschleißprüfverfahren fest, die zur Bewertung der Verschleißfestigkeit von Wolframkupferstäben, die als Formen oder Elektroden verwendet werden, anwendbar sind. Es werden Standardschleifmittel (wie Aluminiumoxid) verwendet, Prüflasten von 5-50 N werden angewendet und der Massenverlust bzw. die Tiefe der Verschleißnarben wird gemessen.

-JIS Z 2241:2011 Zugversuch an metallischen Werkstoffen: Diese Norm legt die Probenvorbereitung und die Prüfbedingungen für den Zugversuch fest. Sie gilt für die Prüfung der Zugfestigkeit und Dehnung von Wolframkupferstäben. Die Probenabmessungen müssen der Norm entsprechen und die Belastungsgeschwindigkeit muss 0,5–2 mm/min betragen.

-JIS G 0557:2006 Härteprüfverfahren: Diese Norm gilt für Härteprüfungen nach Vickers und Brinell, legt den Härtemessprozess von Wolframkupferstäben fest, erfordert eine polierte Prüfoberfläche und der Lastbereich beträgt 0,1–100 kgf.

-JIS C 2520:1999 Kupferlegierungen für elektrische Zwecke: Obwohl sich diese Norm in erster Linie mit Kupferlegierungen befasst, gilt sie teilweise auch für die Leitfähigkeitsprüfung von

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Wolframkupferstäben, gibt die Methode zur Messung des spezifischen Widerstands an und verlangt, dass die Leitfähigkeit den Anforderungen für elektrische Kontaktanwendungen entspricht.

JIS-Standards konzentrieren sich auf die Prüfanforderungen für hochpräzise Fertigungs- und Elektronikanwendungen. Ihre einfachen und effizienten Prüfmethode eignen sich hervorragend für die japanische Präzisionsbearbeitungs- und Elektronikindustrie. Sie legen Wert auf die Kalibrierung der Geräte und standardisierte Abläufe, um zuverlässige Prüfergebnisse zu gewährleisten.

## 8.6 Vergleich und Anwendbarkeitsanalyse von Wolframkupferstabstandards

Die Standards verschiedener Länder und Regionen weisen Ähnlichkeiten und Unterschiede in den Leistungsanforderungen und Testmethoden von Wolframkupferstäben auf. Vergleichende Analysen helfen bei der Auswahl geeigneter Spezifikationen und der Optimierung von Produktion und Anwendung.

Gemeinsamkeiten:

- Chemische Zusammensetzung: Alle Normen erfordern eine hohe Reinheit und einen geringen Verunreinigungsgehalt von Wolframkupferstäben. Beispielsweise schreiben GB/T 3458 und ASTM B702 vor, dass die Reinheit von Wolfram  $\geq 99,95\%$  und die Reinheit von Kupfer  $\geq 99,99\%$  betragen sollte.
- Physikalische Eigenschaften: Dichte, elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit sind zentrale Prüfkriterien. ISO 3369, ASTM B702 und GB/T 26038 verwenden alle die Archimedes-Methode und die Laser-Flash-Methode mit ähnlichen Prüfbereichen (Dichte 11,8–17,0 g/cm<sup>3</sup>, Wärmeleitfähigkeit 180–250 W/ mK ).
- Mechanische Eigenschaften: Zugversuch und Härteprüfung sind übliche Anforderungen. ISO 6892-1, ASTM E8 und JIS Z 2241 weisen hinsichtlich Probendesign und Belastungsrate eine hohe Übereinstimmung auf.
- Testmethoden: SEM, XRD und die Vierpunktsondenmethode sind international anerkannte Testmethoden für Mikrostruktur und Leitfähigkeit, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Unterschied:

- Fokus: Der chinesische Standard (GB/T 8320) betont die elektrische Kontaktleistung, ASTM B702 konzentriert sich auf Wärmemanagement und Luft- und Raumfahrtanwendungen, IEC 60468 konzentriert sich auf die elektrische Leistung und JIS H 0502 betont die Verschleißfestigkeit.
- Prüfbedingungen: ASTM- und ISO-Normen stellen strengere Anforderungen an Hochtemperaturprüfungen (z. B. können Zugfestigkeitsprüfungen Temperaturen von bis zu 1000 °C erreichen), während chinesische Normen sich eher auf die Leistung bei Raumtemperatur konzentrieren. JIS-Normen stellen höhere Anforderungen an die Oberflächenrauheit ( $R_a < 0,1\ \mu\text{m}$ ), wodurch sie für die Präzisionsbearbeitung geeignet sind.
- Umweltschutzanforderungen: Europäische Normen (EN) legen Wert auf die Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit von Materialien und legen Beschränkungen für gefährliche Stoffe fest, während andere Normen weniger umfangreich sind.
- Anwendungsbereich: ASTM- und ISO-Standards eignen sich eher für den internationalen Handel,

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

GB/T-Standards eignen sich für die inländische Großserienproduktion und JIS-Standards eignen sich für hochpräzise elektronische Anwendungen.

Anwendbarkeitsanalyse:

- Elektrische Kontakte: GB/T 8320 oder IEC 60468 werden empfohlen, mit Schwerpunkt auf Leitfähigkeit und Lichtbogenbeständigkeit, geeignet für Hochspannungsschalter und Leistungsschalter.
- Kühlkörpermaterial: ASTM B702 und GB/T 26038 sind besser anwendbar, wobei die Übereinstimmung von Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnungskoeffizient betont wird, geeignet für mikroelektronische Verpackungen.
- Formenbau: JIS H 0502 und DIN EN ISO 6507-1 werden bevorzugt, mit Schwerpunkt auf Verschleißfestigkeit und Härte, geeignet für EDM- und Stanzwerkzeuge.
- Luftfahrt: ASTM B702 und EN 623-4 sind geeignet, wobei die Hochtemperaturfestigkeit und -kompatibilität im Vordergrund stehen, geeignet für Raketendüsen und Gegengewichtskomponenten.
- Internationaler Handel: ISO- und ASTM-Standards sind universeller und erleichtern die grenzüberschreitende Zertifizierung und den Marktzugang.

In der Praxis müssen Hersteller Standards basierend auf Zielmärkten und Anwendungsszenarien auswählen und Prozesse durch die Integration mehrerer Standards optimieren. Beispielsweise müssen Wolframkupferstäbe, die in die EU exportiert werden, die Umweltauflagen der EN-Norm erfüllen, während für inländische elektrische Kontakte GB/T 8320 Priorität hat. Standardübergreifende Tests können die Wettbewerbsfähigkeit von Produkten steigern, müssen jedoch auf eine konsistente Gerätekalibrierung und einheitliche Testbedingungen achten, um vergleichbare Ergebnisse zu gewährleisten.



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

## CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

### 1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

### 2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

**High Thermal Conductivity:** The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

**High Strength and High-Temperature Resistance:** The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

**Resistance to Arc Erosion:** The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

**Low Thermal Expansion Coefficient:** Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

**Excellent Machinability:** Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

### 3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

### 4. Advantages of Tungsten Copper Rod

**High-Performance Combination:** A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

**Customized Solutions:** Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

**Long Service Life and Stability:** Significantly reduces maintenance and replacement costs.

### 5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## Kapitel 9 Leistungsoptimierung von Wolframkupferstäben

Als Hochleistungsverbundwerkstoff finden Wolframkupferstäbe aufgrund ihrer hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit, hohen Festigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit breite Anwendung in Branchen wie der Elektronik, der Luft- und Raumfahrt und der Energieerzeugung. Unterschiedliche Anwendungen erfordern jedoch unterschiedliche Leistungen von Wolframkupferstäben. Daher kann die Optimierung des Legierungsverhältnisses, des Wärmebehandlungsprozesses, der Mikrostruktur sowie der Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit ihre Leistung in bestimmten Umgebungen deutlich verbessern. Dieses Kapitel befasst sich eingehend mit den Prinzipien, Methoden und praktischen Auswirkungen dieser Optimierungstechniken.

### 9.1 Einfluss des Legierungsverhältnisses auf die Eigenschaften

Wolframkupferstäbe werden pulvermetallurgisch aus Wolfram (W) und Kupfer (Cu) hergestellt. Ihre Eigenschaften werden direkt durch das Verhältnis von Wolfram zu Kupfer beeinflusst. Der Wolframanteil liegt üblicherweise zwischen 50 % und 90 %, der Kupferanteil variiert entsprechend. Unterschiedliche Verhältnisse haben einen erheblichen Einfluss auf die physikalischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften des Materials.

#### 9.1.1 Wolfram-Kupfer-Verhältnis und elektrische und thermische Leitfähigkeit

Kupfer ist ein ausgezeichnete elektrischer und thermischer Leiter, während Wolfram eine schlechte elektrische und thermische Leitfähigkeit aufweist. Die elektrische und thermische Leitfähigkeit von Wolframkupferstäben nimmt mit zunehmendem Kupfergehalt deutlich zu. Beispielsweise hat ein Wolframkupferstab mit 30 % Cu-Gehalt (W70Cu30) eine elektrische Leitfähigkeit von ca. 45 % IACS (International Annealed Copper Standard), während sie bei 10 % Cu-Gehalt (W90Cu10) auf ca. 20 % IACS sinkt. Auch bei der Wärmeleitfähigkeit zeigt sich ein ähnlicher Trend: W70Cu30 erreicht ca. 200 W/(m·K) und W90Cu10 sinkt auf ca. 150 W/(m·K). Daher werden Wolframkupferstäbe mit höherem Kupfergehalt häufig für Anwendungen gewählt, die eine hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit erfordern, wie z. B. elektronische Verpackungen und Elektrodenmaterialien.

#### 9.1.2 Wolfram-Kupfer-Verhältnis und mechanische Eigenschaften

Wolfram hat eine hohe Härte und Dichte (19,25 g/cm<sup>3</sup>), während Kupfer eine geringere Härte (ca. 50 HB Brinellhärte) aufweist. Eine Erhöhung des Wolframgehalts verbessert die Härte, Druckfestigkeit und Verschleißfestigkeit von Wolframkupferstäben deutlich. Beispielsweise kann W80Cu20 eine Härte von über 200 HB erreichen, während W60Cu40 nur eine Härte von ca. 120 HB aufweist. Eine Erhöhung des Kupfergehalts verbessert jedoch die Zähigkeit und Schlagfestigkeit des Materials. Daher ist ein hoher Wolframgehalt bei Anwendungen zu bevorzugen, die eine hohe Härte und Verschleißfestigkeit erfordern (z. B. Formmaterialien); während eine entsprechende Erhöhung des Kupfergehalts bei Anwendungen empfohlen wird, die ein gewisses Maß an Zähigkeit erfordern (z. B. elektrische Kontakte).

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

### 9.1.3 Wolfram-Kupfer-Verhältnis und Wärmeausdehnungskoeffizient

Wolfram hat einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten (ca.  $4,5 \times 10^{-6} / \text{K}$ ), Kupfer hingegen einen höheren (ca.  $16,5 \times 10^{-6} / \text{K}$ ). Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolfram-Kupfer-Stäben steigt mit zunehmendem Kupfergehalt. Beispielsweise hat W80Cu20 einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von ca.  $8,0 \times 10^{-6} / \text{K}$  und eignet sich daher für die Kombination mit Keramik oder Halbleitermaterialien (wie SiC und AlN) für elektronische Gehäuse. Die Optimierung des Wolfram-Kupfer-Verhältnisses gewährleistet Dimensionsstabilität in Hochtemperaturumgebungen und reduziert Ausfälle durch thermische Spannung.

### 9.1.4 Optimierungsstrategie

Bedarfsorientierte Verhältnisauswahl: Wählen Sie das passende Wolfram-Kupfer-Verhältnis basierend auf den Anwendungsanforderungen. Beispielsweise wird für elektronische Verpackungen W70Cu30 oder W75Cu25 bevorzugt, um Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnung auszugleichen. Für EDM-Elektroden wird W80Cu20 gewählt, um eine hohe Härte und Verschleißfestigkeit zu gewährleisten.

Spurenelementdotierung: Durch die Zugabe von Spurenelementen wie Silber (Ag) oder Nickel (Ni) können die Leitfähigkeit oder die mechanischen Eigenschaften weiter optimiert werden. Dabei muss jedoch darauf geachtet werden, die Dotierungsmenge zu kontrollieren, um eine Verringerung der Hochtemperaturbeständigkeit zu vermeiden.

Optimierung der Prozesssynergie: Die Optimierung der Legierungsverhältnisse muss mit nachfolgenden Sinter- und Wärmebehandlungsprozessen kombiniert werden, um die Gleichmäßigkeit und Stabilität der Materialeigenschaften zu gewährleisten.

## 9.2 Wärmebehandlung und Leistungssteigerung

Die Wärmebehandlung ist ein wichtiges Mittel zur Verbesserung der Leistung von Wolframkupferstäben. Durch die Steuerung der Heiz-, Isolier- und Kühlprozesse kann die Mikrostruktur des Materials verbessert, innere Spannungen beseitigt und die Leistung gesteigert werden.

### 9.2.1 Glühen

Das Glühen, das typischerweise bei  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  in einer inerten Atmosphäre (wie Stickstoff oder Argon) durchgeführt wird, beseitigt die während des Pulvermetallurgieprozesses entstandenen inneren Spannungen und verbessert die Duktilität des Materials. Beispielsweise kann durch zweistündiges Glühen eines W80Cu20-Wolframkupferstabs bei  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  seine Zugfestigkeit von 600 MPa auf 650 MPa erhöht werden, während sich seine Duktilität um etwa 10 % erhöht. Das Glühen verbessert zudem die Gleichmäßigkeit der Kupferphase und erhöht dadurch die elektrische und thermische Leitfähigkeit.

### 9.2.2 Lösungsglühen und Alterungsbehandlung

Für Wolframkupferstäbe mit Spuren von Additiven kann eine Kombination aus Lösungsglühen (schnelles Erhitzen auf über  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , anschließendes Abschrecken) und Altern (mehrere Stunden

Halten bei 400 °C bis 600 °C) angewendet werden. Das Lösungsglühen verteilt Additive (wie Nickel) gleichmäßig in der Matrix, während das Altern die Bildung von Ausscheidungsphasen fördert und so Härte und Festigkeit erhöht. Beispielsweise kann W75Cu25 mit 0,5 % Nickelzusatz nach dem Lösungsaltern eine 15 % höhere Härte und eine deutlich verbesserte Verschleißfestigkeit erreichen.

### 9.2.3 Heißisostatisches Pressen (HIP)

Heißisostatisches Pressen (HIP) ist ein Hochtemperatur- und Hochdruckverfahren (ca. 1000 °C, 100 MPa), das die Porosität von Wolframkupferstäben deutlich reduziert und die Dichte erhöht. Beispielsweise kann durch die HIP-Behandlung die Dichte von W80Cu20 von 95 % auf über 99 % gesteigert werden, während gleichzeitig die Wärmeleitfähigkeit um ca. 10 % und die Druckfestigkeit um ca. 20 % erhöht werden. HIP eignet sich besonders gut für die Herstellung von Hochleistungs-Gehäusematerialien für die Elektronik.

### 9.2.4 Hinweise

Temperaturkontrolle: Zu hohe Wärmebehandlungstemperaturen können zum Schmelzen oder Verflüchtigen der Kupferphase führen, was die Materialeigenschaften beeinträchtigt. Eine präzise Kontrolle der Temperatur und Haltezeit ist erforderlich.

Atmosphärenschutz: Während der Wärmebehandlung ist eine inerte oder reduzierende Atmosphäre (z. B. Wasserstoff) erforderlich, um Oxidation zu verhindern.

Prozesskosten: Fortschrittliche Wärmebehandlungsverfahren wie HIP sind relativ teuer und Kosten und Leistung müssen anhand der Anwendungsanforderungen abgewogen werden.

## 9.3 Zusammenhang zwischen Mikrostruktur und Eigenschaften

Die Leistung von Wolframkupferstäben hängt eng mit ihrer Mikrostruktur zusammen, einschließlich der Größe und Verteilung der Wolframpartikel, der Kontinuität der Kupferphase und dem Zustand der Grenzflächenbindung.

### 9.3.1 Wolframpartikelgröße und -verteilung

Die typische Wolframpartikelgröße liegt zwischen 1 und 10 µm. Feinere Partikel erhöhen die Festigkeit und Zähigkeit des Materials, verringern aber auch leicht seine elektrische und thermische Leitfähigkeit. Die Wolframpartikelgröße kann durch Kontrolle der Pulvergröße und der Sinterbedingungen während des Pulvermetallurgieprozesses optimiert werden. Beispielsweise kann W70Cu30, hergestellt aus 1 µm ultrafeinem Wolframpulver, eine Zugfestigkeit von 700 MPa erreichen, die etwa 15 % höher ist als die von Material aus 5 µm Wolframpulver.

### 9.3.2 Zusammenhang zwischen Mikrostruktur und Eigenschaften

Die Kupferphase bildet ein kontinuierliches Netzwerk innerhalb des Wolframkupferstabs und beeinflusst dessen elektrische und thermische Leitfähigkeit direkt. Sintertemperatur und -druck sind wichtige Faktoren für die Kontinuität der Kupferphase. Beispielsweise weist bei 1350 °C gesintertes W75Cu25 ein gleichmäßigeres Kupferphasennetzwerk auf, wodurch die elektrische Leitfähigkeit um etwa 8 % erhöht wird. Darüber hinaus fördert das Flüssigphasensintern die Kupferdurchdringung und verbessert die Zwischenphasenbindung. Überhitzung, die zum Verlust der Kupferphase führen kann, muss jedoch vermieden werden.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

### 9.3.3 Grenzflächenbindungszustand

Die Qualität der Wolfram-Kupfer-Grenzfläche ist entscheidend für die Materialleistung. Grenzflächendefekte (wie Poren oder Risse) können die Wärmeleitfähigkeit und die mechanische Festigkeit verringern. Eine Optimierung des Sinterprozesses (z. B. Vakuumsintern oder die Zugabe von Spuren von Tensiden) kann die Grenzflächenbindung verbessern. Beispielsweise verbessert die Zugabe von 0,1 % Co die Benetzbarkeit der Wolfram-Kupfer-Grenzfläche, verringert den Grenzflächenwiderstand und erhöht die Wärmeleitfähigkeit um etwa 5 %.

### 9.3.4 Mikrostrukturanalysetechnik

Rasterelektronenmikroskopie (REM): Wird zur Beobachtung der Wolframpartikelverteilung und des Kupferphasennetzwerks verwendet.

Röntgenbeugung (XRD): Analysieren Sie die Kristallstruktur und Phasenzusammensetzung.

Elektronenrückstreubeugung (EBSD): Untersuchung der Grenzflächenbindung und Kornorientierung.

Mithilfe dieser Technologien lässt sich der Einfluss der Mikrostruktur auf die Leistung genau bewerten und so eine Grundlage für die Prozessoptimierung schaffen.

## 9.4 Optimierung der Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit

Wolframkupferstäbe müssen häufig eine ausgezeichnete Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit in Umgebungen mit hohen Temperaturen, hohem Druck oder korrosiven Einflüssen aufweisen. Die Optimierung dieser Eigenschaften kann die Lebensdauer des Materials verlängern und die Zuverlässigkeit verbessern.

### 9.4.1 Verschleißfestigkeitsoptimierung

Die hohe Härte von Wolfram verleiht ihm einen natürlichen Verschleißschutzvorteil, die Weichheit der Kupferphase kann jedoch dazu führen, dass das Material in Umgebungen mit hoher Reibung stärker verschleißt. Zu den Optimierungsstrategien gehören:

Wolframgehalt erhöhen: W85Cu15 hat eine bessere Verschleißfestigkeit als W70Cu30 und eignet sich für EDM-Elektroden.

Oberflächenverfestigung: Durch Ionennitrieren oder Laser-Oberflächenbeschichtung kann eine harte Oberflächenschicht (wie WC oder TiN) erzeugt werden, die die Verschleißfestigkeit um das 2-3-fache erhöhen kann.

Durch Hinzufügen einer kleinen Menge Wolframkarbid (W) oder Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ) zum Wolframkupferstab kann die Verschleißfestigkeit deutlich verbessert werden, es sollte jedoch darauf geachtet werden, eine Verringerung der Leitfähigkeit zu vermeiden.

### 9.4.2 Optimierung der Korrosionsbeständigkeit

Wolframkupferstäbe können in feuchten oder sauren Umgebungen aufgrund von Korrosion der Kupferphase versagen. Zu den Optimierungsmethoden gehören:

Oberflächenbeschichtung: Durch galvanisches Vernickeln oder chemische Gasphasenabscheidung

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

(CVD) wird eine korrosionsbeständige Schicht (wie CrN oder DLC) aufgebracht, um die elektrochemische Korrosion der Kupferphase wirksam zu verhindern.

Legierungsmodifizierung: Durch die Zugabe von Spuren von Silber oder Chrom kann die Korrosionsbeständigkeit der Kupferphase verbessert werden. Beispielsweise verlängert sich die Korrosionsbeständigkeitszeit von W75Cu24Ag1 im Salzsprühstest um etwa 30 %.

Optimierung der Mikrostruktur: Durch Erhöhung der Dichte und Verringerung der Porosität kann der Eindringweg korrosiver Medien verkürzt und so die Korrosionsbeständigkeit verbessert werden.

#### 9.4.3 Umfassender Optimierungsfall

In der Luft- und Raumfahrt werden Wolframkupferstäbe häufig in elektrischen Hochtemperaturkontakten eingesetzt. Durch die Verwendung des W80Cu20-Verhältnisses, der HIP-Behandlung und der CrN-Oberflächenbeschichtung können folgende Leistungsverbesserungen erzielt werden:

Verschleißfestigkeit: Der Reibungskoeffizient wird um 20 % und der Verschleiß um 50 % reduziert.

Korrosionsbeständigkeit: Bei hohen Temperaturen und feuchter Umgebung verlängert sich die Lebensdauer um das Zweifache.

Leitfähigkeit: Wird über 40 % IACS gehalten und erfüllt die Anforderungen an die elektrische Leistung.

#### 9.4.4 Hinweise

Leistungsbilanz: Die Optimierung der Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit kann zu einer verringerten elektrischen Leitfähigkeit führen, die je nach Anwendungsanforderungen abgewogen werden muss.

Kostenkontrolle: Oberflächenbeschichtungen und additive Verfahren sind teuer und ihre wirtschaftliche Machbarkeit muss bewertet werden.

Anpassungsfähigkeit an die Umwelt: Unterschiedliche korrosive Umgebungen (wie etwa sauer, alkalisch oder hohe Temperaturen) erfordern gezielte Optimierungslösungen.

#### Zusammenfassen

Durch Optimierung der Legierungsverhältnisse, Wärmebehandlungsverfahren, Mikrostruktur sowie Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit können Wolframkupferstäbe vielfältige Anwendungsanforderungen erfüllen. Die Anpassung der Legierungsverhältnisse erfordert einen Ausgleich von elektrischer Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und mechanischen Eigenschaften. Wärmebehandlungsverfahren können Dichte und Festigkeit deutlich verbessern. Die Optimierung der Mikrostruktur bildet die Grundlage für eine verbesserte Leistung. Und eine verbesserte Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit verlängert die Lebensdauer des Materials. In der Praxis muss die optimale Optimierungslösung unter umfassender Berücksichtigung von Leistungsanforderungen, Prozesskosten und Umweltfaktoren ausgewählt werden.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung



## Kapitel 10 Leitfaden zur Auswahl und Verwendung von Wolframkupferstäben

Als Hochleistungsverbundwerkstoff wird Wolframkupferstab häufig in Branchen wie der Elektronik, Luft- und Raumfahrt, Energieerzeugung und dem Formenbau eingesetzt. Seine Leistung wirkt sich direkt auf die Qualität und Lebensdauer des Endprodukts aus. Die Wahl des richtigen Wolframkupferstabs, seine sichere Lagerung und sein sicherer Transport, seine ordnungsgemäße Verwendung und Wartung sowie die effektive Lösung häufiger Probleme während des Gebrauchs sind entscheidend für die Gewährleistung seiner vollen Leistung.

### 10.1 So wählen Sie den richtigen Wolframkupferstab

Die Wahl des richtigen Wolframkupferstabs erfordert eine umfassende Berücksichtigung des Anwendungsszenarios, der Leistungsanforderungen, des Kostenbudgets und der Lieferantenzuverlässigkeit. Im Folgenden erfahren Sie, wie Sie die Auswahl aus verschiedenen Perspektiven treffen.

#### 10.1.1 Anwendungsszenarien und Leistungsanforderungen klären

Die Leistung von Wolframkupferstäben wird durch das Wolfram-Kupfer-Verhältnis, den Herstellungsprozess und die anschließende Behandlung beeinflusst. Die Leistungsanforderungen verschiedener Anwendungsszenarien variieren erheblich. Im Folgenden finden Sie gängige Anwendungsszenarien und empfohlene Spezifikationen für Wolframkupferstäbe:

Elektronische Gehäuse erfordern eine hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit und müssen gleichzeitig dem Wärmeausdehnungskoeffizienten von Keramik- oder Halbleitermaterialien entsprechen. Empfohlene Materialien sind W70Cu30 oder W75Cu25 mit einer Leitfähigkeit von ca. 40–45 % IACS, einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von ca.  $7,5\text{--}8,5 \times 10^{-6} / \text{K}$  und einer Wärmeleitfähigkeit von ca.  $190\text{--}200 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ . Diese Spezifikationen eignen sich für

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Leistungsmodule, Mikrowellengeräte und Chip-Kühlkörper.

Elektroden für die Funkenerosion (EDM): Diese Elektroden erfordern eine hohe Härte, Verschleißfestigkeit und Temperaturbeständigkeit, um der Lichtbogenerosion standzuhalten. Empfohlene Elektroden sind W80Cu20 oder W85Cu15, die eine Härte von über 200 HB und eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit aufweisen und sich daher für die Bearbeitung komplexer Formen eignen.

Elektrische Kontakte: Ein Gleichgewicht zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Lichtbogenerosionsbeständigkeit ist erforderlich, während gleichzeitig eine gewisse Zähigkeit erhalten bleiben muss, um mechanischen Stößen standzuhalten. Empfohlen wird W75Cu25, da es sowohl elektrische Leitfähigkeit (ca. 40 % IACS) als auch Zugfestigkeit (ca. 650 MPa) bietet.

Luft- und Raumfahrtkomponenten: erfordern hohe Temperaturfestigkeit und niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Empfohlen wird W90Cu10 mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von nur  $6,5 \times 10^{-6} / \text{K}$ , geeignet für Düsen oder Verbindungsstücke in Hochtemperaturumgebungen.

Medizinische Geräte: wie z. B. Röntgentargets, die eine hohe Dichte und Verschleißfestigkeit erfordern. W80Cu20 wird empfohlen, mit einer Dichte von ca.  $15,5 \text{ g/cm}^3$  und hoher Verschleißfestigkeit.

Bei der Auswahl sollte der Benutzer die folgenden Parameter angeben:

Anforderungen an die elektrische und thermische Leitfähigkeit: Wählen Sie Materialien mit höherem Kupfergehalt basierend auf den Anforderungen an das elektrische und thermische Management.

Mechanische Eigenschaften: Härte, Festigkeit und Zähigkeit stehen im Vordergrund.

Anpassung der Wärmeausdehnung: Stellen Sie sicher, dass der Wärmeausdehnungskoeffizient dem benachbarter Materialien ähnelt, um thermische Spannungsfehler zu vermeiden.

Größe und Form: Stellen Sie sicher, dass Durchmesser, Länge und Verarbeitungsgenauigkeit der Stange den Designanforderungen entsprechen.

### 10.1.2 Verstehen Sie die Spezifikationen und Standards von Wolframkupferstäben

Wolframkupferstäbe werden üblicherweise nach ihrem Wolframgehalt klassifiziert (z. B. W70Cu30, W80Cu20). Gängige Durchmesser liegen zwischen 3 und 100 mm und Längen zwischen 100 und 300 mm. Die spezifischen Spezifikationen sollten anhand des Produktkatalogs des Lieferanten ausgewählt werden. Internationale Normen (z. B. ASTM B702) und nationale Normen (z. B. GB/T 8320) stellen klare Anforderungen an die chemische Zusammensetzung, Dichte, Leitfähigkeit und mechanischen Eigenschaften von Wolframkupferstäben. Zum Beispiel:

W70Cu30: Die Dichte beträgt ca.  $13,8\text{--}14,2 \text{ g/cm}^3$ , die Leitfähigkeit beträgt ca. 40–45 % IACS.

W80Cu20: Die Dichte beträgt ca.  $15,1\text{--}15,5 \text{ g/cm}^3$ , die Härte ca. 200–220 HB.

Um die Produktkonformität sicherzustellen, sollten Anwender Materialprüfberichte von Lieferanten anfordern. Darüber hinaus sollten sie auf Toleranzanforderungen (z. B. Durchmessertoleranz  $\pm 0,05 \text{ mm}$ ) achten, um die Anforderungen an die Präzisionsbearbeitung zu erfüllen.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

### 1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

### 2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

**High Thermal Conductivity:** The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

**High Strength and High-Temperature Resistance:** The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

**Resistance to Arc Erosion:** The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

**Low Thermal Expansion Coefficient:** Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

**Excellent Machinability:** Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

### 3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

### 4. Advantages of Tungsten Copper Rod

**High-Performance Combination:** A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

**Customized Solutions:** Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

**Long Service Life and Stability:** Significantly reduces maintenance and replacement costs.

### 5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

### 10.1.3 Bewertung der Lieferantenzuverlässigkeit

Die Wahl eines zuverlässigen Lieferanten ist der Schlüssel zur Sicherstellung der Qualität von Wolframkupferstäben. Die folgenden Kriterien sind die wichtigsten für die Bewertung von Lieferanten:

Produktionskapazitäten: Stellen Sie sicher, dass der Lieferant über moderne Pulvermetallurgiegeräte und Wärmebehandlungsanlagen verfügt, wie etwa Vakuumsinteröfen oder Geräte zum heißisostatischen Pressen (HIP).

Qualitätszertifizierung: Lieferanten mit ISO 9001 oder branchenspezifischen Zertifizierungen wie AS9100 für die Luft- und Raumfahrt werden bevorzugt.

Lieferfähigkeit: Bewerten Sie die Lagerbestände und Lieferzyklen der Lieferanten, um sicherzustellen, dass die Projektpläne eingehalten werden.

Technischer Support: Ein Qualitätslieferant sollte Beratung bei der Materialauswahl, individuelle Verarbeitung und Kundendienst anbieten.

Preis und Wirtschaftlichkeit: Vergleichen Sie unter der Prämisse der Qualitätssicherung die Angebote mehrerer Anbieter und wählen Sie den Anbieter mit dem besten Preis-Leistungs-Verhältnis aus.

Es empfiehlt sich, die Zuverlässigkeit des Lieferanten durch Vor-Ort-Inspektionen, Stichprobenprüfungen oder die Überprüfung von Kundenbewertungen zu überprüfen. Sie können den Lieferanten beispielsweise bitten, W80Cu20-Proben für Leitfähigkeits- und Härteprüfungen bereitzustellen.

### 10.1.4 Kundenspezifische Anforderungen

Für spezielle Anwendungen können kundenspezifische Wolframkupferstäbe erforderlich sein, beispielsweise mit bestimmten Durchmesser, Oberflächenbeschichtungen oder Spurenelementdotierungen. Bei der Anpassung müssen folgende Anforderungen angegeben werden:

Kundenspezifische Größe: Nicht standardmäßige Spezifikationen wie Durchmesser 50 mm und Länge 500 mm.

Oberflächenbehandlung: wie Vernickeln oder Polieren zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit oder Oberflächenbeschaffenheit.

Zusatzstoffe: beispielsweise die Zugabe von 0,5 % Ni zur Erhöhung der Festigkeit oder die Zugabe von Ag zur Verbesserung der Leitfähigkeit.

Bei der Anpassung an individuelle Anforderungen sind häufig Verhandlungen über Prozessparameter mit Lieferanten erforderlich. Dies kann zu höheren Kosten und längeren Lieferzeiten führen. Es empfiehlt sich, Leistungsindikatoren und Abnahmekriterien im Vertrag klar zu definieren.

### 10.1.5 Kosten- und Leistungsbilanz

Der Preis von Wolframkupferstäben steigt mit dem Wolframgehalt. Beispielsweise kann W90Cu10 30–50 % teurer sein als W70Cu30. Darüber hinaus können Verfahren wie Heißisostatisches Pressen

(HIP) oder Oberflächenbeschichtung die Kosten weiter erhöhen. Anwender sollten die passende Spezifikation basierend auf ihrem Budget und ihren Leistungsanforderungen auswählen. Bei begrenztem Budget kann beispielsweise W75Cu25 anstelle von W80Cu20 für Anwendungen gewählt werden, bei denen die Verschleißfestigkeit weniger wichtig ist.

#### 10.1.6 Empfehlungen zum Kaufprozess

Bedarfsanalyse: Klären Sie Anwendungsszenarien und Leistungsanforderungen und listen Sie wichtige Parameter (wie Leitfähigkeit und Härte) auf.

Marktforschung: Sammeln Sie Angebote und Produktinformationen von mehreren Lieferanten und vergleichen Sie Spezifikationen und Qualität.

Mustertests: Kaufen Sie eine kleine Menge Muster für Leistungstests, um zu überprüfen, ob sie die Anforderungen erfüllen.

Vertragsabschluss: Klärung von Spezifikationen, Menge, Lieferzeit und Qualitätsstandards.

Abnahme und Feedback: Nach Erhalt der Ware werden Qualitätsprüfungen durchgeführt, Leistungsdaten erfasst und Verbesserungen mit den Lieferanten kommuniziert.

### 10.2 Vorsichtsmaßnahmen bei Lagerung und Transport

Die Lagerung und der Transport von Wolframkupferstäben wirken sich direkt auf deren Leistung und Lebensdauer aus. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Erläuterung der Lagerumgebung, der Verpackungsanforderungen und der Transportvorkehrungen.

#### 10.2.1 Speicherumgebung

Die Kupferphase in Wolframkupferstäben wird leicht durch feuchte, oxidative oder korrosive Umgebungen beeinträchtigt, daher muss die Lagerumgebung streng kontrolliert werden:

Temperatur und Luftfeuchtigkeit: Die Lagerumgebung sollte eine Temperatur von 15–25 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit unter 60 % aufweisen. Hohe Temperaturen und Luftfeuchtigkeit können zur Oxidation der Kupferphase führen und Kupferoxid ( CuO ) bilden, das die Leitfähigkeit verringert.

Trocken und feuchtigkeitsbeständig: Es wird empfohlen, ein Trockenmittel (z. B. Kieselgel) im Lagerbereich zu platzieren oder eine versiegelte Verpackung zu verwenden. Zur Langzeitlagerung kann der Wolframkupferstab in einen vakuumversiegelten Beutel gelegt werden.

Vermeiden Sie chemische Korrosion: Lagern Sie das Produkt fern von sauren, alkalischen oder salzhaltigen Substanzen, um elektrochemische Korrosion der Kupferphase zu verhindern. Beispielsweise müssen Lager in Meeresnähe besonders auf die Auswirkungen von Salznebel achten.

Staubschutz und Reinigung: Die Lagerumgebung sollte sauber sein, um zu verhindern, dass Staub oder Partikel an der Oberfläche des Stabes haften bleiben und die anschließende Verarbeitungsgenauigkeit beeinträchtigen.

Bei über längere Zeit gelagerten Wolframkupferstäben empfiehlt es sich, alle 6 Monate den Oberflächenzustand zu prüfen und gegebenenfalls zu reinigen und neu zu verpacken.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

### 10.2.2 Verpackungsanforderungen

Wolframkupferstäbe haben eine hohe Dichte (13-17 g/cm<sup>3</sup>) und sind spröde und können durch Stöße leicht beschädigt werden. Bei der Verpackung sollten folgende Punkte beachtet werden:

Schutzmaterialien: Verwenden Sie Schaumstoff, Luftpolsterfolie oder Holzkisten, um sicherzustellen, dass die Stäbe nicht direkt miteinander in Kontakt kommen. Es wird empfohlen, jeden Stab einzeln zu verpacken.

Antioxidationsverpackung: Fügen Sie der Verpackung ein feuchtigkeitsbeständiges Mittel hinzu oder versiegeln Sie sie vakuumversiegelt, um die Oxidation des Kupfers zu verhindern.

Klare Kennzeichnung: Die Verpackung ist deutlich mit dem Wolfram-Kupfer-Verhältnis (z. B. W80Cu20), Spezifikationen (Durchmesser, Länge), Chargennummer und Lagerungsvorkehrungen gekennzeichnet, um die Verwaltung und Rückverfolgbarkeit zu erleichtern.

Druckfeste Ausführung: Verwenden Sie für den Transport großer Mengen druckfeste Holzkisten oder Metallrahmen, um sicherzustellen, dass die Stangen beim Stapeln nicht zerdrückt werden.

### 10.2.3 Vorsichtsmaßnahmen beim Transport

Während des Transports muss der Wolframkupferstab vor Vibrationen, Stößen und Umweltveränderungen geschützt werden:

Maßnahmen gegen Vibrationen: Verwenden Sie stoßdämpfende Polster oder Federbefestigungen, um sicherzustellen, dass sich die Stangen während des Transports nicht bewegen.

Temperaturkontrolle: Vermeiden Sie den Transport in Umgebungen mit extrem hohen (> 50 °C) oder niedrigen Temperaturen (< -10 °C), um thermischen Stress oder Kältesprödigkeit zu vermeiden.

Transportart: Für kurze Transporte eignet sich der Straßentransport, für lange oder internationale Transporte empfiehlt sich der See- oder Lufttransport. Stellen Sie sicher, dass die Verpackung den internationalen Transportstandards (wie ISTA) entspricht.

Transportversicherung: Für hochwertige Wolframkupferstäbe wird der Abschluss einer Transportversicherung empfohlen, um das Verlustrisiko zu verringern.

Abnahmeprozess: Überprüfen Sie nach Erhalt die Unversehrtheit der Verpackung, überprüfen Sie die Spezifikationen und die Menge und kontaktieren Sie den Lieferanten rechtzeitig, wenn Sie Schäden oder Oxidation feststellen.

### 10.2.4 Lagerung und Transport in Sonderszenarien

Wolframkupferstäbe für die Luft- und Raumfahrt: Sie müssen in einer staubfreien Werkstatt gelagert, mit antistatischen Materialien verpackt und in einem Behälter mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit transportiert werden.

Wolframkupferstäbe für medizinische Geräte: Lagerung und Transport müssen den Normen für medizinische Geräte (wie ISO 13485) entsprechen, um jegliche Kontamination zu vermeiden.

Transport in Umgebungen mit hohen Temperaturen: Beim Transport in tropische Gebiete sind zusätzliche Isolierungs- und Feuchtigkeitsschutzmaßnahmen erforderlich.

Durch standardisiertes Lager- und Transportmanagement kann die Haltbarkeit von Wolframkupferstäben effektiv verlängert und ihre Leistungsfähigkeit nicht beeinträchtigt werden.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

### 10.3 Wartung und Pflege während des Gebrauchs

Wolframkupferstäbe erfordern während des Gebrauchs regelmäßige Wartung und Pflege, um ihre Leistung zu erhalten und ihre Lebensdauer zu verlängern. Im Folgenden finden Sie detaillierte Anleitungen für die drei Phasen Verarbeitung, Betrieb und Lagerung.

#### 10.3.1 Wartung während der Verarbeitung

Wolframkupferstäbe müssen häufig gedreht, gefräst, gebohrt oder durch Funkenerosion bearbeitet werden. Bei der Bearbeitung sind folgende Punkte zu beachten:

**Werkzeugauswahl:** Verwenden Sie Hartmetall- oder Diamantwerkzeuge, um Verschleiß durch die mangelnde Härte herkömmlicher Stahlwerkzeuge zu vermeiden. Eine Werkzeughärte über HRC 60 wird empfohlen.

**Kühlmittelverwendung:** Verwenden Sie während der Bearbeitung Kühlmittel auf Wasser- oder Ölbasis, um die Schnitttemperaturen zu senken und ein Erweichen der Kupferphase oder das Ablösen von Wolframpartikeln zu verhindern. Halten Sie das Kühlmittel sauber, um das Eindringen korrosiver Verunreinigungen zu vermeiden.

**Verarbeitungsparameter:** Kontrollieren Sie die Schnittgeschwindigkeit (z. B. 100–200 m/min) und die Vorschubgeschwindigkeit (z. B. 0,05–0,2 mm/U), um übermäßige Spannungen zu vermeiden, die zu Rissen in der Stange führen.

**Oberflächenschutz:** Reinigen Sie die Oberfläche nach der Bearbeitung sofort von Kühlmittel und Metallspänen, um chemische Korrosion zu vermeiden. Es wird empfohlen, mit Alkohol oder einem neutralen Reinigungsmittel abzuwischen.

#### 10.3.2 Wartung im Betrieb

Wolframkupferstäbe müssen in ihren Anwendungsszenarien (z. B. als Elektroden, elektrische Kontakte oder Heizkörper) regelmäßig überprüft und gewartet werden:

**Oberflächenprüfung:** Überprüfen Sie die Oberfläche des Stabes regelmäßig auf Anzeichen von Oxidation, Verschleiß oder Lichtbogenerosion. Wenn beispielsweise auf der Oberfläche der EDM-Elektrode deutliche Erosionsnarben auftreten, sollte diese umgehend ausgetauscht werden.

**Reinigung und Pflege:** Verwenden Sie Ultraschallreinigung oder ein weiches Tuch, um oberflächlichen Schmutz zu entfernen. Vermeiden Sie die Verwendung von sauren oder alkalischen Reinigungsmitteln. Die Reinigungshäufigkeit sollte entsprechend der Nutzungsumgebung (z. B. einmal im Monat) bestimmt werden.

**Temperaturüberwachung:** Achten Sie in Umgebungen mit hohen Temperaturen (z. B. bei elektrischen Kontakten) darauf, dass die Betriebstemperatur den Erweichungspunkt von Kupfer (ca. 800 °C) nicht überschreitet, um Leistungseinbußen zu vermeiden.

**Korrosionsschutzmaßnahmen:** Tragen Sie in feuchten oder korrosiven Umgebungen regelmäßig Rostschutzöl oder eine temporäre Beschichtung (z. B. eine dünne Schicht Silikonöl) auf, um die Kupferphase zu schützen.

#### 10.3.3 Lagerung und Wiederverwendung

Unbenutzte Wolframkupferstäbe oder verarbeitete Reste müssen ordnungsgemäß gelagert werden:

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Kurzfristige Lagerung: In einem feuchtigkeitsdichten, versiegelten Beutel an einem trockenen und belüfteten Ort aufbewahren.

Langzeitlagerung: Verwenden Sie Vakuumverpackungen oder stickstoffgefüllte Verpackungen und überprüfen Sie regelmäßig den Oberflächenzustand.

Recycling von Reststoffen: Verarbeitungsreststoffe können recycelt und in Szenarien mit geringen Anforderungen (z. B. Versuchsproben) verwendet werden, ihre Leistung muss jedoch getestet werden, um festzustellen, ob sie den Anforderungen entspricht.

#### 10.3.4 Wartungsaufzeichnungen

Es wird empfohlen, Wartungsaufzeichnungen zu erstellen, um den Zeitpunkt, den Status und die Behandlungsmaßnahmen jeder Inspektion, Reinigung und jedes Austauschs zu dokumentieren.

Zum Beispiel:

Datum: 20. August 2025

Inspektionsinhalt: W80Cu20-Elektrodenoberflächeninspektion

Status: Leicht abgetragen, Leitfähigkeit um 5 % verringert

Maßnahmen: Ultraschallreinigung, Austausch im nächsten Monat geplant

Durch standardisierte Wartung und Pflege kann die Lebensdauer von Wolframkupferstäben deutlich verlängert und die Ausfallrate gesenkt werden.

#### 10.4 Häufige Probleme und Lösungen

Bei der Verwendung von Wolframkupferstäben können verschiedene Probleme auftreten. Im Folgenden werden häufige Probleme und deren Lösungen zusammengefasst, um Benutzern eine schnelle Lösung zu ermöglichen.

##### 10.4.1 Oberflächenoxidation

Auf der Oberfläche des Wolframkupferstabs bildet sich eine grüne oder schwarze Oxidschicht (CuO bzw.  $\text{Cu}_2\text{O}$ ), die Leitfähigkeit nimmt ab.

Ursache: Die Lager- oder Verwendungsumgebung ist feucht oder einer oxidierenden Atmosphäre mit hohen Temperaturen ausgesetzt.

Lösung:

Wischen Sie die Oberfläche mit verdünnter Essigsäure (5 %) oder Zitronensäurelösung ab, um die Oxidschicht zu entfernen, spülen Sie sie anschließend mit Alkohol ab und trocknen Sie sie.

Optimieren Sie die Lagerumgebung, halten Sie die Luftfeuchtigkeit unter 60 % und verwenden Sie versiegelte Verpackungen.

Fügen Sie bei Hochtemperaturanwendungen einen Schutz durch Inertgas (wie Stickstoff oder Argon) hinzu.

##### 10.4.2 Lichtbogenrosion

Problembeschreibung: Auf der Oberfläche von EDM-Elektroden oder elektrischen Kontakten treten Ablationsgruben auf, die die Bearbeitungsgenauigkeit oder die Kontaktleistung beeinträchtigen.

Ursache: Die Lichtbogenenergie ist zu hoch oder die Verschleißfestigkeit des Wolframkupferstabs

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

ist unzureichend.

Lösung:

Reduzieren Sie die Entladungsenergie des EDM und optimieren Sie die Pulsbreite und den Strom (z. B. Pulsbreite 50–100  $\mu\text{s}$ ).

Wählen Sie Materialien mit hohem Wolframgehalt (z. B. W85Cu15), um die Verschleißfestigkeit zu verbessern.

Überprüfen Sie die Elektrodenoberfläche regelmäßig und reparieren oder ersetzen Sie sie rechtzeitig.

#### 10.4.3 Risse bearbeiten

Problembeschreibung: Bei der Verarbeitung entstehen Mikrorisse im Wolframkupferstab, die zu einer Verringerung der Festigkeit führen.

Ursache: Zu hohe Schnittgeschwindigkeit, Werkzeugverschleiß oder innere Defekte im Material.

Lösung:

Reduzieren Sie die Schnittgeschwindigkeit (z. B. 80–150 m/min) und verwenden Sie ein neues Werkzeug.

Überprüfen Sie die Materialqualität und bitten Sie Lieferanten um die Vorlage von Berichten über zerstörungsfreie Prüfungen (z. B. Ultraschallprüfungen).

Zur Reduzierung der Verarbeitungsspannung wird eine Vorwärmbehandlung (200–300 °C) durchgeführt.

#### 10.4.4 Verminderte Leitfähigkeit

Problembeschreibung: Die Leitfähigkeit von Wolframkupferstäben nimmt nach einer gewissen Nutzungsdauer deutlich ab, was die elektrische Leistung beeinträchtigt.

Ursachen: Oxidation der Kupferphase, mikrostrukturelle Veränderungen oder Oberflächenverunreinigungen.

Lösung:

Verwenden Sie zum Reinigen von oberflächlichem Schmutz Ultraschallreinigung oder Alkoholtücher.

Überprüfen Sie die Betriebsumgebung und vermeiden Sie hohe Temperaturen oder korrosive Atmosphären.

Wenn die Leitfähigkeit weiter abnimmt, sollten Sie den Stab durch einen neuen ersetzen oder eine Wärmebehandlung durchführen, um die Leistung wiederherzustellen.

#### 10.4.5 Wärmeausdehnungs-Fehlanpassung

Problembeschreibung: Wolframkupferstäbe und angrenzende Materialien (wie Keramik) lösen sich bei hohen Temperaturen ab oder reißen.

Grund: Der Unterschied im Wärmeausdehnungskoeffizienten ist zu groß.

Lösung:

Das Wolfram-Kupfer-Verhältnis wird neu gewählt, beispielsweise W80Cu20 (Wärmeausdehnungskoeffizient von etwa  $8,0 \times 10^{-6} / \text{K}$ ), um zur Keramik (beispielsweise AlN, etwa  $4,5 \times 10^{-6} / \text{K}$ ) zu passen.

Fügen Sie an der Schnittstelle eine Pufferschicht (z. B. eine dünne Schicht aus Ni oder Mo) hinzu, um die thermische Spannung abzubauen.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Optimieren Sie die Betriebstemperatur und versuchen Sie, sie unter 600 °C zu halten.

#### 10.4.6 Lagerungsverformung

Problembeschreibung: Der lange gelagerte Wolframkupferstab ist leicht verbogen oder verformt.

Ursache: Ungleichmäßige Krafteinwirkung bei der Lagerung oder unsachgemäße Verpackung.

Lösung:

Überprüfen Sie die Lagermethoden, um sicherzustellen, dass die Stangen horizontal gelagert werden, um Stapeldruck zu vermeiden.

Verwenden Sie einen speziellen Ständer oder eine Holzkiste, um das Gewicht zu verteilen.

Bei geringfügigen Verformungen kann durch Niedertemperaturglühen (ca. 600 °C) eine Spannungsentlastung erreicht werden.

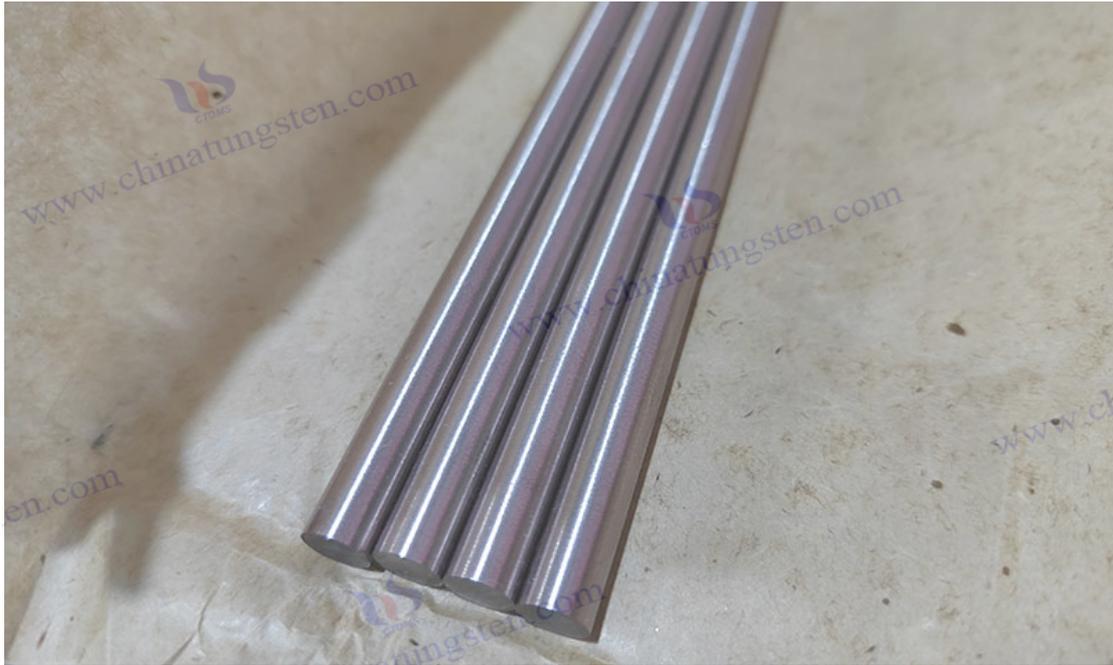
#### 10.4.7 Fallanalyse

Fall 1: Eine Fabrik für Elektronikverpackungen verwendete Wolframkupferstäbe W70Cu30 und stellte fest, dass deren Wärmeleitfähigkeit bei hohen Temperaturen abnahm. Die Untersuchung ergab eine starke Oberflächenoxidation. Lösung: Vakuumverpackung zur Lagerung und Ultraschallreinigung vor Gebrauch, wodurch die Wärmeleitfähigkeit auf über 95 % wiederhergestellt wurde.

Fall 2: Die W80Cu20-Elektroden eines Formenherstellers verschleißten beim Funkenerosionsschweißen schnell. Analysen ergaben eine zu hohe Entladungsenergie. Lösung: Durch Reduzierung des Stroms auf 50 A und der Pulsbreite auf 80 µs verdoppelte sich die Elektrodenlebensdauer.

#### Zusammenfassen

Die Auswahl und Verwendung von Wolframkupferstäben ist ein systematischer Prozess, der mehrere Schritte umfasst, darunter Bedarfsanalyse, Lieferantenauswahl, Lagerung und Transport, Wartung und Problemlösung. Die Auswahl des richtigen Wolframkupferstabs erfordert die Klärung der Leistungsanforderungen basierend auf dem Anwendungsszenario und eine umfassende Bewertung anhand der Spezifikationen und der Lieferantenzuverlässigkeit. Lagerung und Transport erfordern streng kontrollierte Umgebungsbedingungen, um Oxidation und physische Schäden zu vermeiden. Standardisierte Verarbeitung und Wartung während des Gebrauchs können die Lebensdauer des Stabs verlängern und seine Leistung erhalten. Die rechtzeitige Umsetzung gezielter Maßnahmen zur Behebung häufiger Probleme kann die Ausfallrate wirksam reduzieren. Durch wissenschaftliches Management und fachgerechte Handhabung können Wolframkupferstäbe in einer Vielzahl anspruchsvoller Szenarien optimale Leistung erbringen.



## Kapitel 11 Markt und Entwicklungstrend von Wolframkupferstäben

Als Hochleistungsverbundwerkstoff finden Wolframkupferstäbe aufgrund ihrer hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit, Hochtemperaturbeständigkeit und mechanischen Festigkeit breite Anwendung in der Elektrotechnik, Elektronik, Luft- und Raumfahrt, im Wärmemanagement und anderen Bereichen. Mit dem Fortschritt der globalen Industrietechnologie und der rasanten Entwicklung aufstrebender Branchen steigt die Marktnachfrage nach Wolframkupferstäben kontinuierlich, die Industriekette verbessert sich kontinuierlich, und technologische Innovationen treiben die Leistungsoptimierung und Anwendungserweiterung voran. In diesem Kapitel werden die Struktur der globalen Industriekette für Wolframkupfermaterialien, die Verteilung und Charakteristika der Marktnachfrage sowie wichtige zukünftige Entwicklungstrends detailliert analysiert, wobei Hochleistungsanwendungen, umweltfreundliche Fertigung und aufstrebende Anwendungen abgedeckt werden.

### 11.1 Überblick über die globale Wolfram-Kupfer-Materialien-Industriekette

Die Wolfram-Kupfer-Industriekette umfasst mehrere Glieder, vom Rohstoffabbau bis zur Anwendung des Endprodukts. Dazu gehören Ressourcengewinnung, Materialaufbereitung, Verarbeitung und Herstellung, Prüfung und Zertifizierung sowie die Endanwendung. Der vorgelagerte Teil der Industriekette umfasst hauptsächlich den Abbau und die Reinigung von Wolfram- und Kupfererzen. Wolframvorkommen konzentrieren sich vor allem in China, Russland, Australien und Kanada. China verfügt über etwa 80 % der weltweiten Wolframreserven und 60 % der weltweiten Produktion und ist damit ein Hauptlieferant von Wolframpulver. Kupfervorkommen sind weit verbreitet, wobei Chile, Peru und Australien die Hauptproduzenten sind. Die Technologie zur elektrolytischen Kupferproduktion ist ausgereift und gewährleistet eine ausreichende Versorgung.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

## CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

### 1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

### 2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

**High Thermal Conductivity:** The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

**High Strength and High-Temperature Resistance:** The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

**Resistance to Arc Erosion:** The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

**Low Thermal Expansion Coefficient:** Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

**Excellent Machinability:** Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

### 3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

### 4. Advantages of Tungsten Copper Rod

**High-Performance Combination:** A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

**Customized Solutions:** Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

**Long Service Life and Stability:** Significantly reduces maintenance and replacement costs.

### 5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Das Midstream-Segment umfasst die Herstellung und Verarbeitung von Wolframkupferstäben. Wolframpulver wird durch Wasserstoffreduktion aus Wolframat oder Wolframtrioxid gewonnen, während Elektrolytkupfer durch elektrochemische Raffination gewonnen wird. Der Herstellungsprozess nutzt pulvermetallurgische Technologien wie Pressen, Sintern und Vakuuminfiltration. Kerngeräte wie Vakuumsinteröfen und Infiltrationsöfen erfordern eine hochpräzise Steuerung, um die Produktqualität sicherzustellen. Die Verarbeitung umfasst Präzisionsbearbeitung, Wärmebehandlung und Oberflächenmodifizierung, um den Größen- und Leistungsanforderungen verschiedener Anwendungsszenarien gerecht zu werden. Midstream-Unternehmen sind meist spezialisierte Materialhersteller.

Das Downstream-Segment umfasst die Endanwendungen von Wolframkupferstäben, darunter elektrische Kontakte, elektronische Verpackungen, Luft- und Raumfahrtkomponenten, Kühlkörper und Formenbau. Zu den Vertriebskanälen gehören die direkte Belieferung von Geräteherstellern (wie Siemens und GE) und der Zugang zu internationalen Märkten über Händler. Prüfung und Zertifizierung sind entscheidende Bestandteile der Lieferkette und erfordern die Einhaltung internationaler Standards (wie ASTM B702 und GB/T 8320), um die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte auf dem Weltmarkt zu gewährleisten.

Die Industriekette ist stark globalisiert. China dominiert die Rohstoff- und Fertigungsindustrie, während Europa, die USA und Japan bei High-End-Anwendungen und der Präzisionsverarbeitung technologische Vorteile haben. Die Zusammenarbeit in der Industriekette legt den Schwerpunkt auf die Stabilität der Lieferkette und die technologische Integration. Schwankungen der Rohstoffpreise und Umweltvorschriften stellen dabei die größten Herausforderungen dar.

## 11.2 Marktnachfragestruktur und Anwendungsanteilsanalyse

Angetrieben durch den globalen Industrialisierungsprozess, die Entwicklung der Elektronikindustrie und neue Energietechnologien ist die Marktnachfrage nach Wolframkupferstäben vielfältig. Die Marktnachfragestruktur lässt sich in folgende Hauptbereiche unterteilen:

- Elektrotechnik und Elektronik (ca. 45 % Marktanteil): Wolframkupferstäbe dominieren den Markt für Anwendungen in Hochspannungsschaltern, Leistungsschaltern und EDM-Elektroden. Ihre hohe elektrische Leitfähigkeit und Beständigkeit gegen Lichtbogenerosion machen sie zu einem idealen Material für elektrische Kontakte und Elektroden, insbesondere in Stromübertragungs- und -verteilungsanlagen. Beispielsweise treiben der Ausbau globaler Stromnetze und der Einsatz intelligenter Stromnetze die Nachfrage nach Hochleistungskontaktmaterialien an. Darüber hinaus wächst die Nachfrage nach Wolframkupferstäben, die als Kühlkörper und Elektroden in der Mikroelektronik eingesetzt werden, rasant, insbesondere in der 5G-Kommunikation, bei Leistungshalbleitern und Radarsystemen.

- Luft- und Raumfahrt & Verteidigung (ca. 20 % Marktanteil): Die Verwendung von Wolframkupfer-Stäben in Raketentriebwerksdüsen, Gegengewichtskomponenten und panzerbrechenden Projektilkernen wird von der Luft- und Raumfahrt- sowie der Verteidigungsindustrie vorangetrieben.

### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

Die rasante Entwicklung der globalen Luft- und Raumfahrtindustrie, beispielsweise durch kommerzielle Raumfahrtprogramme von SpaceX und Blue Origin, hat die Nachfrage nach hochhitzebeständigen, hochdichten Materialien erhöht. Auch im Verteidigungssektor, insbesondere bei Radar- und elektronischer Kampfführungsausrüstung, steigt die Nachfrage nach Hochleistungselektroden und Wärmemanagementmaterialien.

Wärmemanagement- und Wärmeableitungsgeräte (ca. 20 % Marktanteil): Mit der zunehmenden Beliebtheit von Hochleistungselektronikgeräten (wie Lasern und IGBT-Modulen) und Fahrzeugen mit alternativen Antrieben hat sich die Verwendung von Wolframkupferstäben als Kühlkörper und Wärmeableitungssubstrate rasant ausgeweitet. Ihre hohe Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnungskompatibilität mit Halbleitermaterialien machen sie unverzichtbar in Rechenzentren, Batteriemanagementsystemen für Elektrofahrzeuge und 5G-Basisstationen. Die weltweite Nachfrage nach effizienten Wärmeableitungslösungen treibt das rasante Wachstum in diesem Sektor voran.

- Maschinen- und Formenbau (ca. 10 % Marktanteil): Wolframkupferstäbe werden aufgrund ihrer hohen Härte und Verschleißfestigkeit in EDM-Matrizen, Stanzwerkzeugen und Schneidwerkzeugen eingesetzt. Der globale Trend zu Automatisierung und Präzisionsfertigung hat die Nachfrage nach Hochleistungs-Formmaterialien erhöht, insbesondere in der Automobil- und Medizingeräteindustrie.

-Andere Sektoren (ca. 5 % Marktanteil): Zu diesen Sektoren zählen neue Anwendungen wie medizinischer Strahlenschutz, elektrische Kontaktkomponenten für Photovoltaik-Wechselrichter und Gewichte für Golfschläger. Obwohl diese Sektoren nur einen kleinen Anteil ausmachen, verfügen sie über ein erhebliches Wachstumspotenzial, insbesondere in den Bereichen neue Energien und Medizin.

Die regionale Verteilung der Marktnachfrage zeigt, dass der asiatisch-pazifische Raum (vor allem China) über 50 % des Weltmarktes abdeckt, während Nordamerika und Europa jeweils etwa 20 % ausmachen. Der Rest verteilt sich auf Südamerika, Afrika und den Nahen Osten. Treiber des Nachfragewachstums sind die globale Energiewende, die Modernisierung der Elektronikindustrie und erhöhte Investitionen in die Luft- und Raumfahrt. Herausforderungen sind Schwankungen der Rohstoffpreise (beispielsweise werden die Wolframpreise maßgeblich von Angebot und Nachfrage beeinflusst) und der Druck auf die Produktionskosten durch Umweltvorschriften.

### **11.3 Zukünftige Entwicklungstrends von Wolframkupferstäben**

Die zukünftige Entwicklung von Wolframkupferstäben wird von technologischen Innovationen, der Marktnachfrage und den Anforderungen einer nachhaltigen Entwicklung bestimmt. Im Folgenden werden die Entwicklungstrends unter drei Aspekten analysiert: hohe Leistung, umweltfreundliche Herstellung und neue Anwendungen.

#### **11.3.1 Hochleistungs- und Nanotechnologie**

Hohe Leistung ist die Kernrichtung der Wolframkupferstab-Technologieentwicklung. Ziel ist es, die elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Festigkeit und Verschleißfestigkeit des Materials zu

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

verbessern, um den Anforderungen der nächsten Generation von Hochleistungselektronikgeräten und Anwendungen in extremen Umgebungen gerecht zu werden. Nanotechnologie ist ein wichtiger Weg zur Erzielung hoher Leistung. Durch die Verwendung nanoskaliger Wolfram- und Kupferpulver wird die Mikrostruktur des Materials deutlich verbessert. Die größere spezifische Oberfläche der Nanopartikel verbessert die Bindung zwischen den Partikeln, senkt die Sintertemperaturen und verbessert die Dichte und Gleichmäßigkeit des Wolframkupferstabs. Beispielsweise kann Nano-Wolframpulver (Partikelgröße <math><100\text{ nm}</math>) eine feinere Skelettstruktur bilden, die die Infiltrationseffizienz der Kupferphase erhöht und so die Wärmeleitfähigkeit und mechanische Festigkeit verbessert.

Eine weitere Möglichkeit für hohe Leistung ist die Entwicklung funktional abgestufter Materialien (FGMs). Durch die Einführung einer Gradientenverteilung des Wolfram-Kupfer-Verhältnisses innerhalb eines Wolfram-Kupfer-Stabs kann die Leistung bestimmter Bereiche optimiert werden. Beispielsweise erhöht ein hoher Wolframgehalt an der Oberfläche die Verschleißfestigkeit, während ein hoher Kupfergehalt im Stab die Wärmeleitfähigkeit verbessert und ihn so für Elektroden und Kühlkörper unter komplexen Arbeitsbedingungen geeignet macht. Darüber hinaus verbessert die Zugabe von Spurenelementen (wie Zirkonium und Chrom) die Benetzbarkeit an der Wolfram-Kupfer-Grenzfläche und steigert so die Materialleistung weiter. Moderne Herstellungsverfahren wie Plasmasintern (SPS) und Mikrowellensintern haben die Verarbeitungszeit verkürzt und die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur verbessert, was die Industrialisierung von Hochleistungs-Wolfram-Kupfer-Stäben vorantreibt.

### 11.3.2 Grüne Vorbereitung und nachhaltige Entwicklung

Grüne Fertigung und nachhaltige Entwicklung sind langfristige Trends in der Wolframkupferstangenindustrie und eine Reaktion auf die weltweiten Anforderungen an Umweltschutz und Ressourceneffizienz. Herkömmliche Pulvermetallurgieprozesse verbrauchen viel Energie und produzieren Abgase und Abfallflüssigkeiten. Grüne Fertigung reduziert die Umweltbelastung durch Optimierung von Prozessen und Anlagen. Beispielsweise senkt die Niedertemperatur-Sintertechnologie die Sintertemperaturen durch Zugabe von Aktivatoren oder Verwendung von Nanopulvern um 20–30 % und reduziert so den Energieverbrauch. Das Abgasrückgewinnungssystem im Vakuuminfiltrationsprozess kann flüchtige Kupferdämpfe auffangen und Emissionen reduzieren. Auch die Abfallrecyclingtechnologie gewinnt zunehmend an Bedeutung. Durch chemische Reinigung und Wiederaufbereitung können Abfall-Wolframkupferstangen in der Produktion wieder in hochreines Pulver umgewandelt und so Ressourcen recycelt werden.

Ein weiterer Schwerpunkt nachhaltiger Entwicklung ist die nachhaltige Rohstoffversorgung. Wolfram ist als seltenes Metall von Ressourcenknappheit betroffen, was zu einem verstärkten Fokus auf umweltfreundliche Bergbautechnologien und die Erforschung alternativer Materialien (wie Molybdän-basierter Verbundwerkstoffe) führt. Hersteller müssen zudem internationale Umweltvorschriften wie die RoHS-Richtlinie und die REACH-Verordnung der EU einhalten, die die Verwendung gefährlicher Stoffe einschränken und sicherstellen, dass Wolfram-Kupferstäbe Umweltstandards erfüllen. Die Einführung intelligenter Produktionssysteme, die Prozessparameter

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

durch Echtzeitüberwachung und Datenanalyse optimieren, verbessert die Energieeffizienz und Produktqualität zusätzlich.

### 11.3.3 Neue Anwendungsrichtungen

Die zukünftigen Anwendungsbereiche von Wolframkupferstäben erweitern sich mit dem technologischen Fortschritt und umfassen aufstrebende Branchen wie die Bereiche erneuerbare Energien, Gesundheitswesen und additive Fertigung. Im Bereich erneuerbare Energien steigt die Nachfrage nach Wolframkupferstäben für elektrische Kontaktkomponenten in Photovoltaik-Wechselrichtern und Windkraftanlagenkonvertern, wo ihre hohe Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit eine effiziente Energieumwandlung ermöglichen. In Batteriemanagementsystemen für Elektrofahrzeuge dienen Wolframkupferstäbe als Wärmeableitungssubstrate, die die Wärme von Hochleistungsbatterien effektiv regulieren und die Batterielebensdauer verlängern.

Im medizinischen Bereich sind Wolframkupferstäbe aufgrund ihrer strahlenabschirmenden Eigenschaften vielversprechend für den Einsatz in Röntgen- und Gammastrahlenschutzgeräten, beispielsweise als Abschirmkomponenten für Kollimatoren von CT-Geräten und Strahlentherapiegeräten. Ihre hohe Dichte und Verarbeitungsleistung ermöglichen die Herstellung komplexer Formen und erfüllen die hohen Präzisionsanforderungen medizinischer Geräte.

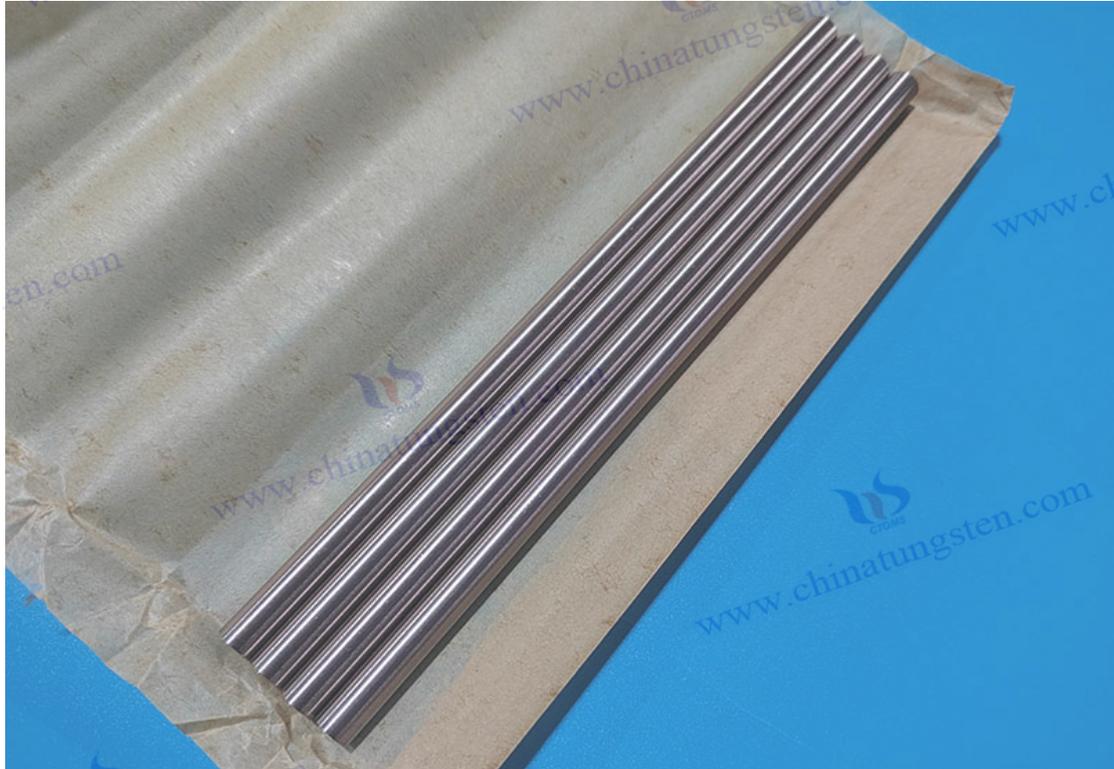
Ein weiterer aufstrebender Bereich ist die additive Fertigung (3D-Druck). Durch den Druck eines Wolframskeletts mittels Laser- oder Elektronenstrahlschmelzabscheidung und einem Vakuuminfiltrationsprozess lassen sich Wolfram-Kupfer-Komponenten mit komplexen Geometrien herstellen. Dieses Verfahren überwindet die Grenzen herkömmlicher Verfahren und eignet sich für die kundenspezifische Kleinserienfertigung in der Luft- und Raumfahrt sowie der Elektronikindustrie. Beispielsweise können 3D-gedruckte Wolfram-Kupfer-Kühlkörper mit internen Mikrokanaldesigns ausgestattet werden, was die Wärmeableitungseffizienz weiter verbessert.

Darüber hinaus sind die potenziellen Anwendungen von Wolframkupferstäben in der Quanteninformatik und 6G-Kommunikationsausrüstung bemerkenswert. Quanteninformatik erfordert Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit in Umgebungen mit extrem niedrigen Temperaturen. Die geringe Wärmeausdehnung und hohe Wärmeleitfähigkeit von Wolframkupferstäben machen sie zu einem vielversprechenden Kandidaten. Die hohe Leistungsdichte von 6G-Basisstationen stellt höhere Anforderungen an die Wärmeableitung und die elektrischen Kontaktmaterialien, und die umfassende Leistung von Wolframkupferstäben kann diese Anforderungen erfüllen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Markt- und Entwicklungstrends für Wolframkupferstäbe von globalen industriellen Modernisierungen und neuen Technologien bestimmt werden. Verbesserte Lieferketten und technologische Innovationen fördern die breite Akzeptanz sowohl in traditionellen als auch in aufstrebenden Sektoren. Die koordinierte Entwicklung leistungsstarker, umweltfreundlicher Fertigungsverfahren und neuer Anwendungen

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

wird die Marktwettbewerbsfähigkeit von Wolframkupferstäben weiter steigern und die zukünftige industrielle Entwicklung entscheidend unterstützen. Die Branche muss sich auf die Rohstoffversorgung, die Einhaltung von Umweltvorschriften sowie technologische Forschung und Entwicklung konzentrieren, um die Herausforderungen des Marktes zu meistern und Wachstumschancen zu nutzen.



**Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung**

## Anhang

### A. Glossar

**Wolfram-Kupfer-Legierung:** Ein Metallmatrix-Verbundwerkstoff aus Wolfram und Kupfer, wobei der Kupfergehalt typischerweise zwischen 10 % und 50 % liegt.

**Vakuuminfiltrationsverfahren:** Ein Verfahren zur Herstellung von Wolframkupferstäben durch Infiltration von Kupfer in ein Wolframskelett unter Vakuum.

**Metallschwitzeffekt:** Bei hohen Temperaturen (z. B. über 3000 °C) verflüssigt und verdampft Kupfer, absorbiert Wärme und senkt die Oberflächentemperatur des Materials.

**Elektrische Leitfähigkeit (%IACS):** Internationaler Standardleitfähigkeitswert für geglähtes Kupfer, der zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit eines Materials verwendet wird.

**Wärmeausdehnungskoeffizient:** Die Änderungsrate des Volumens oder der Länge eines Materials bei einer Temperaturänderung.

**Lichtbogenerosionsbeständigkeit:** Die Fähigkeit eines Materials, Ablationsschäden unter der Einwirkung eines Lichtbogens zu widerstehen.

**Near-Net-Shaping:** Eine Fertigungstechnologie, die durch Prozessoptimierung und Reduzierung nachfolgender Bearbeitungen direkt eine Form nahe der endgültigen Form erreicht.

**Widerstandsschweißelektrode:** Elektrode zum Widerstandsschweißen, die beständig gegen hohe Temperaturen und Verschleiß sein muss.

**EDM-Elektrode:** Eine für EDM verwendete Elektrode mit hoher elektrischer Erosionsrate und geringer Verschleißrate.

**Elektronische Verpackungsmaterialien:** Materialien, die für die Verpackung von Halbleitergeräten verwendet werden und eine hohe Wärmeleitfähigkeit und geringe Wärmeausdehnung aufweisen.

**Hochfrequenz-Verbrennungs-Infrarot-Absorptionsmethode:** eine analytische Methode zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in Wolfram-Kupfer-Legierungen.

**Cinchonin-Gravimetrimethode:** Eine chemische Analysemethode zur Bestimmung des Wolframgehalts in Wolfram-Kupfer-Legierungen.

**Wärmeleitfähigkeit:** Die Fähigkeit eines Materials, Wärme zu leiten, üblicherweise ausgedrückt in W/m·K.

**Härte (HB/HV):** Die Brinellhärte (HB) bzw. Vickershärte (HV) wird verwendet, um die Widerstandsfähigkeit eines Materials gegen Verformung zu messen.

### B. Referenzen

[1] Universität Padua, Materialien und Design, 2023

[2] AEM-Metall, Wolfram-Kupfer-Legierung

[3] Chinatungsten, Herstellung von Stäben aus Wolfram-Kupfer-Legierung durch Niedertemperatur-Sintern und Infiltrationsverfahren, 2024

[4] Forschungsfortschritte bei der Herstellung und den Eigenschaften von Hochleistungs-Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen. Gießereitechnik, 2023.

[5] Überblick über die Entwicklung von Schwermetallen auf Wolframbasis in meinem Land. Seltene Metalle, 2021.

[6] Forschungsstand und Perspektiven von Kühlmateriale für Divertoren von Kernfusionsreaktoren. Materialwissenschaft, 2022.

#### Erklärung zum Urheberrecht und zur rechtlichen Haftung

- [7] Chinatungsten Online, Herstellungsprozess von Wolframkupfer
- [8] Chinatungsten Online, Wolfram-Kupfer-Stangenbearbeitung
- [9] Verfahren zur Herstellung von feuerfestem Metall, Kupfer-Wolfram-Kontaktmaterial
- [10] Chinatungsten , Herstellung von Stäben aus Wolfram-Kupfer-Legierung durch Niedertemperatur-Sintern und Infiltrationsverfahren, 2024
- [11] ScienceDirect, Ultraschnelle Verarbeitung von Wolfram-Kupfer-Nanokompositen mit hoher Härte, 2016
- [12] Springer, Wolfram-Nanopartikel-verstärkter Kupferverbundwerkstoff, hergestellt durch ein Sol-Gel-Verfahren und eine In-situ-Reaktion, 2019
- [13] PMC, In-situ-Bildung von Wolframcarbid in nanostrukturiertem Kupfermatrix-Verbundwerkstoff durch mechanisches Legieren und Sintern, 2022
- [14] ScienceDirect, Multimaterial-Additive-Fertigung einer bimetallischen Struktur aus Wolfram-Kupfer-Legierung mit einer Zwischenschicht aus Edelstahl und zugehörigen Bindungsmechanismen, 2022
- [15] ScienceDirect, Studie über die Auswirkungen der Vakuumfusionsinfiltrationstechnologie auf die Eigenschaften der Wolfram-/Kupfer-Verbindungsschnittstelle, 2024
- [16] Metal AM, Ermöglichung der Fusionsenergierevolution: Beherrschung von Wolfram mit PBF-EB Additive Manufacturing, 2024
- [ 17] MDPI, Ein Überblick über die additive Fertigung von W-Cu-Verbundwerkstoffen, 2025
- [18] Confer, HERSTELLUNG VON W - CU-VERBUNDWERKSTOFFEN DURCH INFILTRATION VON W-SKELETTIERUNGEN – ÜBERBLICK, 2021