

# Wolframlegierungsplatten-Enzyklopädie

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

## COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

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

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

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

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



### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Inhaltsverzeichnis

### **Kapitel 1: Grundlegende Konzepte und Entwicklungsgeschichte von Wolframlegierungsplatten**

- 1.1 Definition und grundlegende Eigenschaften von Wolframlegierungsplatten
- 1.2 Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte von Wolframlegierungsplatten
- 1.3 Klassifizierung von Wolframlegierungsplatten (nach Zusammensetzung, Verfahren und Verwendung)
- 1.4 Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen Wolframlegierungsplatten, Wolframstäben, Wolframdrähten und Wolfram-Kupfer-Platten
- 1.5 Überblick über die Entwicklung der Technologie und Patente von Wolframlegierungsplatten im In- und Ausland

### **Kapitel 2: Physikalische und mechanische Eigenschaften von Wolframlegierungsplatten**

- 2.1 Dichte, spezifisches Gewicht und Maßgenauigkeit
- 2.2 Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchzähigkeit
- 2.3 Härte und Verschleißfestigkeit
- 2.4 Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient und Hochtemperaturstabilität
- 2.5 Elektrische Eigenschaften, magnetische Reaktion und Strahlungsbeständigkeit
- 2.6 Analyse der Korrosionsbeständigkeit und chemischen Stabilität

### **Kapitel 3: Herstellung und Umformungstechnologie von Wolframlegierungsplatten**

- 3.1 Rohstoffauswahl und Verarbeitung von Wolframpulver und Bindemetall
- 3.2 Pulvermetallurgische Herstellungsverfahren (Pressen, isostatisches Pressen, Sintern)
- 3.3 Warm- und Kaltwalzumformungsprozesse
- 3.4 Oberflächenbehandlungstechnologien (Polieren, Beizen, Galvanisieren, PVD)
- 3.5 Anwendungen von Laserauftragschweißen und additiver Fertigung bei Blechen
- 3.6 Nanopartikelverstärkung und funktional abgestufte Blechfertigungstechnologien

### **Kapitel 4: Qualitätsprüfung und Leistungsbewertung von Wolframlegierungsplatten**

- 4.1 Geometrische Abmessungen und Erkennung der Oberflächenebenheit
- 4.2 Charakterisierung der Mikrostruktur und Dichte (SEM, XRD)
- 4.3 Prüfnormen für mechanische Eigenschaften (ASTM, GB, ISO)
- 4.4 Analyse der Elementzusammensetzung und des Verunreinigungsgehalts (ICP, XRF, ONH)
- 4.5 Erkennung von Oberflächendefekten (Ultraschall, Computertomographie, Wirbelstrom, Magnetpulver)
- 4.6 Bewertung der Oberflächenrauheit und der Beschichtungshaftung

### **Kapitel 5: Typische Anwendungsgebiete von Wolframlegierungsplatten**

- 5.1 Abschirmplatten und Wärmekontrollgeräte in der Nuklearindustrie
- 5.2 Schutzstrukturen und Gegengewichtsplatten in der Luft- und Raumfahrt
- 5.3 Hochdichte Schutzplatten in medizinischen Strahlentherapiegeräten
- 5.4 Wolframlegierungsplatten für Hochtemperaturofenwände und thermische Umgebungen
- 5.5 Matrizenstahl-Verbundplatten und Auskleidungen mechanischer Teile

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.6 Wärmeableitung und strahlungsbeständige Strukturen in Präzisionsinstrumenten und elektronischen Produkten

## **Kapitel 6: Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich spezieller Wolframlegierungsplatten**

- 6.1 Herstellung und Eigenschaften nanostrukturierter Wolframlegierungsplatten
- 6.2 Strategien für die Entwicklung von Mikrolegierungen und Mehrkomponentenlegierungen
- 6.3 Mikrostruktureoptimierung und Wärmebehandlung von Hochtemperatur-Wolframlegierungsplatten
- 6.4 Grenzflächenbindungsmechanismus von Wolfram-Kupfer/Wolfram-Ni-Verbundplatten
- 6.5 Entwicklung von Oberflächenbeschichtungen für verschleißfeste und korrosionsbeständige Platten
- 6.6 Design von wärmeleitfähigen, elektrisch leitfähigen und antimagnetischen Funktionsplatten aus Wolframlegierungen

## **Kapitel 7: Internationale Normen und Qualitätssysteme für Wolframlegierungsplatten**

- 7.1 Chinesische Normen für Wolframlegierungsplatten (GB/T, YS/T)
- 7.2 Interpretation amerikanischer Normen (ASTM, MIL)
- 7.3 Zusammenstellung europäischer und ISO-Normen für Wolframlegierungsplatten
- 7.4 RoHS-, REACH- und MSDS-Umweltkonformitätsanforderungen
- 7.5 Qualitätsmanagementsysteme in den Bereichen Luftfahrt, Nukleartechnik und Medizin (AS9100, ISO 13485 usw.)

## **Kapitel 8: Verpackung, Lagerung und Transport von Wolframlegierungsplatten**

- 8.1 Verpackungsmaterialien und -formen (Vakuumverpackung, Trockenmittel, Palettenverpackung)
- 8.2 Anforderungen an die Lagerumgebung sowie Maßnahmen zum Oxidations- und Feuchtigkeitsschutz
- 8.3 Vorsichtsmaßnahmen und Vorschriften für den nationalen und internationalen Transport

## **Kapitel 9: Industriestruktur und Markttrends für Wolframlegierungsplatten**

- 9.1 Globaler Status der Wolframressourcen und Plattenverarbeitungskette
- 9.2 Marktkapazität und zukünftige Wachstumsanalyse für Wolframlegierungsplatten
- 9.3 Wolframlegierungsplatten der CTIA GROUP LTD
- 9.4 Analyse der Verbindung zwischen Rohstoffkosten, Energiepreisen und Plattenpreisen
- 9.5 Technologische Barrieren und Entwicklungsstrategie für die Industriekette

## **Kapitel 10: Forschungsgrenzen und Entwicklungsrichtungen von Wolframlegierungsplatten**

- 10.1 Verdichtungsmechanismus von Wolframlegierungsplatten mit ultrahoher Dichte
- 10.2 Additive Fertigung und intelligente Fabriken für Wolframlegierungsplatten
- 10.3 Integration und Anwendungserweiterung multifunktionaler Verbundplatten
- 10.4 Forschung zur Leistungsentwicklung in extremen Umgebungen (Bestrahlung, hohe Temperaturen, Korrosion)

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

## 10.5 Hochleistungsalternative Materialien und zukünftige nachhaltige Strategien für Wolframplatten

### Anhang

- Anhang 1: Allgemeine physikalische und mechanische Parameter von Wolframlegierungsplatten
- Anhang 2: Vergleichstabelle der Wolframlegierungssorten und chemischen Zusammensetzungen
- Anhang 3: Standarddokumente und wichtigste Referenzmaterialien für Wolframlegierungsplatten
- Anhang 4: Glossar und englische Abkürzungen zu Wolframlegierungen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

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

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

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

#### 100,000+ customers

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

#### Service commitment

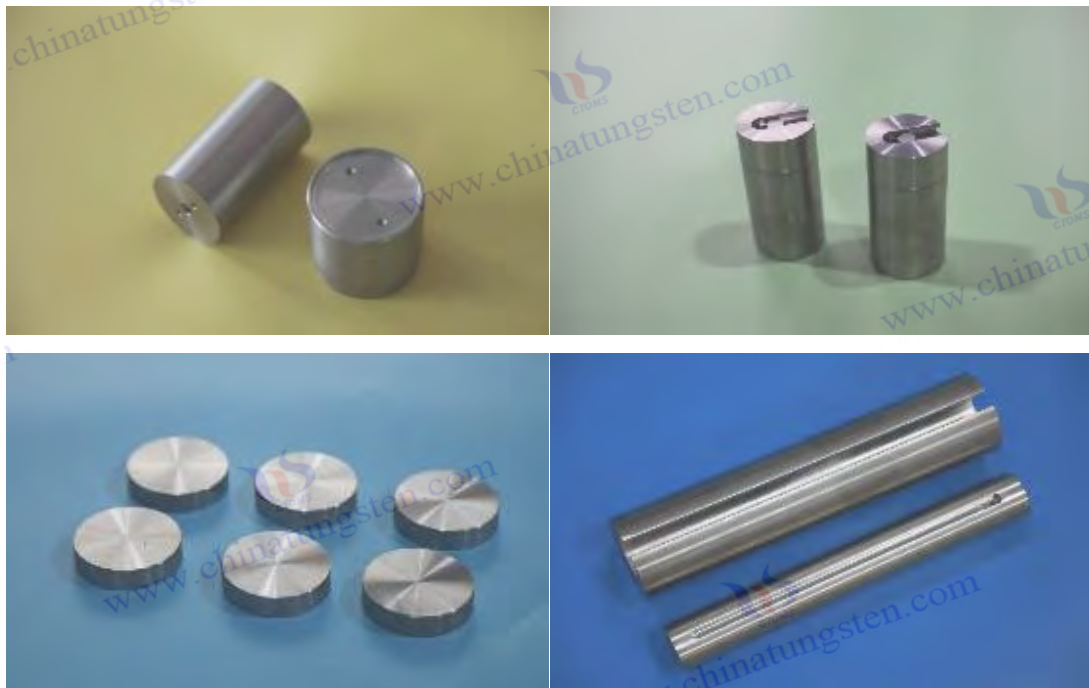
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

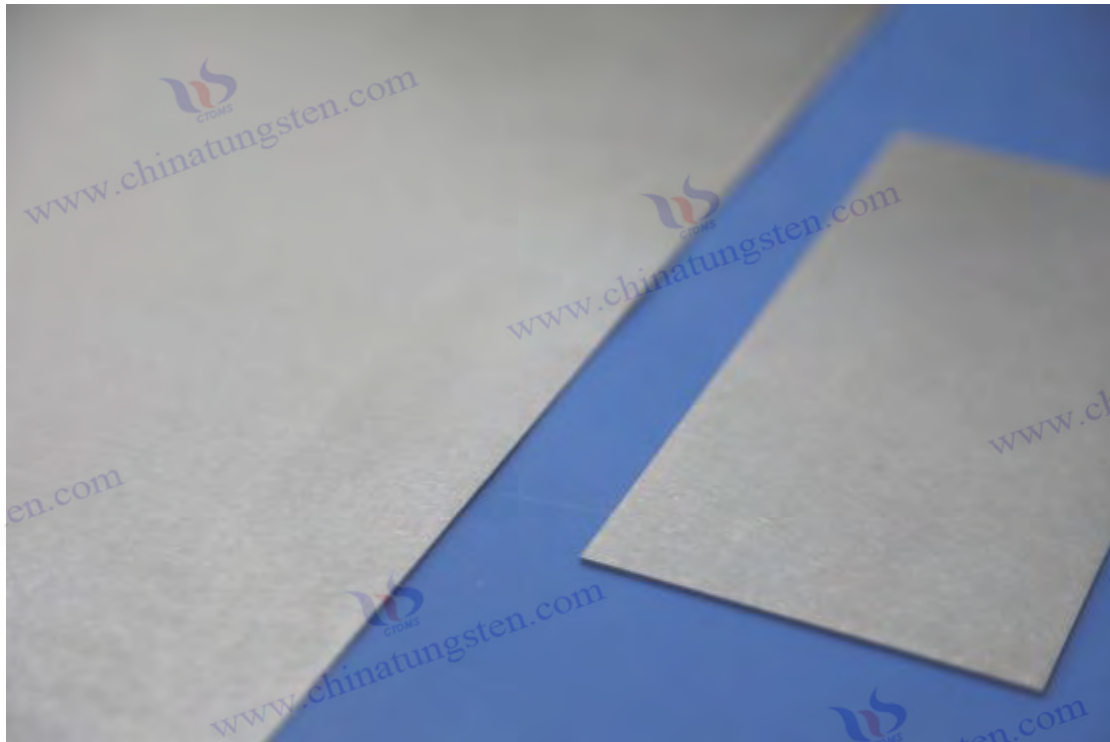
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



## Kapitel 1 Grundlegende Konzepte und Entwicklungsgeschichte von Wolframlegierungsplatten

### 1.1 Definition und grundlegende Eigenschaften von Wolframlegierungsplatten

Eine Wolframlegierungsplatte ist ein plattenförmiges Legierungsmaterial, das hauptsächlich aus Wolfram (W) mit entsprechenden Mengen Nickel (Ni), Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Kobalt (Co) oder anderen Elementen besteht, die durch Pulvermetallurgie, Warmwalzen, Kaltwalzen oder additive Fertigung hinzugefügt werden. Aufgrund des hohen Schmelzpunkts von Wolfram (3422 °C), der ausgezeichneten Dichte (19,25 g/cm<sup>3</sup>), der guten Wärmeleitfähigkeit und Strahlungsbeständigkeit wird eine Wolframlegierungsplatte in einer Vielzahl wichtiger Anwendungen eingesetzt, darunter in der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergie, für Schutzpanzerungen, medizinische Geräte, Hochtemperaturstrukturen und elektronisches Wärmemanagement.

#### 1. Definition der Wolframlegierungsplatte

Aus materialwissenschaftlicher Sicht bestehen Wolframlegierungsplatten hauptsächlich aus einem hohen Anteil Wolframpulver, ergänzt durch eine geringe Menge an Bindephasenmetall (meist Ni-Fe-, Ni-Cu- oder Ni-Co-Systeme), um ein dichtes, mehrphasiges Legierungssystem zu bilden. Sie bestehen üblicherweise aus rechteckigen oder speziell geformten flachen Metallplatten mit einer Dicke von 0,1 mm bis 50 mm und anpassbarer Länge und Breite. Im Vergleich zu herkömmlichen Wolframstäben oder -drähten haben Wolframlegierungsplatten eine größere Oberfläche, sind leichter zu schneiden und können für multifunktionale Zwecke wie Abdeckungen, Abschirmungen und die Herstellung von Strukturteilen verwendet werden.

### 2. Hauptzusammensetzung und Klassifizierung von Wolframlegierungsplatten

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Je nach Legierungszusammensetzung, Formgebungsverfahren und Anwendung können Wolframlegierungsplatten in die folgenden Kategorien unterteilt werden:

- **Klassifizierung nach Legierungssystem :**
  - W-Ni-Fe-Legierungsplatte (üblicher Typ, hohe Festigkeit, hohe Dichte, gute mechanische Eigenschaften)
  - W-Ni-Cu-Legierungsplatte (nicht magnetischer Typ, wird in der Elektronik und Medizin verwendet)
  - W-Cu-Legierungsplatte (hohe Wärmeleitfähigkeit, geeignet für elektronische Wärmeableitung und Elektrodenanwendungen)
  - W-Co-Legierungsplatte (verbesserte Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit)
  - Platte aus Nano-Wolframlegierung (unter Verwendung einer Nanopartikel-Verstärkungstechnologie zur Verbesserung der Zähigkeit und Mikrostabilität)
- **Klassifizierung nach Produktionsprozess :**
  - Pulvermetallurgische Bleche (Formen/Isostatisches Pressen + Sintern + Heißverarbeitung)
  - Gewalzte Wolframlegierungsplatte (warmgewalzt/kaltgewalzt und dann verarbeitet)
  - Additive Fertigung von Wolframlegierungsblechen (neue Technologien wie Laserschmelzen und 3D-Druck)
  - Verbundplatten aus Wolframlegierungen (wie W-Cu-Sandwichstrukturen, Wolfram-Titan-Verbundplatten usw.)
- **Klassifizierung nach Funktion :**
  - **Strukturelle Wolframlegierungsplatte :** Strukturkomponenten, die statischen Belastungen und Stoßbelastungen standhalten
  - **Funktionelle Wolframlegierungsplatte :** hat spezifische physikalische Funktionen wie Wärmeleitfähigkeit, Antimagnetismus und Strahlungsschutz
  - **Abschirmplatte aus Wolframlegierung :** Wird zum Strahlenschutz, für medizinische Strahlentherapiegeräte usw. verwendet.

### 3. Wichtige Leistungsmerkmale der Wolframlegierungsplatte

1. **Hohe Dichte :** Die Dichte einer typischen Wolframlegierungsplatte liegt zwischen 17,0 und 18,5 g/cm<sup>3</sup> und ist damit 2,2-mal so hoch wie die von Stahl mit gleichem Volumen. Sie wird effektiv für Trägheitslasten, dynamisches Gleichgewicht und Strahlenschutz eingesetzt.
2. **Hervorragende mechanische Eigenschaften :** Es verfügt über eine hohe Zugfestigkeit (normalerweise bis zu 700–1000 MPa), eine gute Schlagzähigkeit und Verarbeitbarkeit und eignet sich für die Herstellung von Teilen mit komplexen Formen.
3. **Hohe Temperaturstabilität :** Wolframbasierte Legierungen können über 1000 °C eine stabile Struktur und Leistung beibehalten und eignen sich für Vakuum-Hochtemperaturöfen und Wärmefeldsysteme.
4. **Gute thermische und elektrische Leitfähigkeit :** Insbesondere im W-Cu-Legierungssystem kann die Wärmeleitfähigkeit 170–220 W/m·K erreichen und wird häufig in Wärmeableitungsstrukturen und elektronischen Substraten verwendet.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. **Hervorragende Strahlungsbeständigkeit** : Die hohe Ordnungszahl und Dichte von Wolfram verleihen ihm eine hervorragende Abschirmwirkung gegen Röntgen- und Gammastrahlen, die herkömmlichen Bleiplatten weit überlegen ist.
6. **Gute chemische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit** : Stabil in neutralen und schwach sauren Umgebungen und übertrifft andere Schwermetalle in Umgebungen mit hohen Temperaturen oder starker Oxidation.

#### 4. Übersicht über die Form und Spezifikationen von Wolframlegierungsplatten

Wolframlegierungsplatten werden üblicherweise in der Größe an die Benutzeranforderungen angepasst. Typische Spezifikationen sind wie folgt:

- Dickenbereich: 0,1 mm ~ 50 mm
- Breitenbereich: 10 mm bis 600 mm
- Längenbereich: 10 mm bis 2000 mm
- Oberflächenbeschaffenheit: Drehen, Schleifen, Polieren, chemisches Plattieren, PVD-Beschichten usw.

Einige Hochpräzisionsanwendungen (wie etwa Teilchenbeschleuniger und kernmagnetische Geräte) erfordern außerdem eine Oberflächenrauheit  $Ra < 0,2 \mu m$  und eine Dickentoleranz innerhalb von  $\pm 0,01 mm$ .

#### 5. Vergleichende Vorteile von Wolframlegierungsplatten und herkömmlichen Metallplatten

| Leistungsparameter           | Wolframlegierungsplatte       | Stereotyp                   | Stahlplatte | Kupferplatte |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------|
| Dichte ( $g/cm^3$ )          | 17,0~18,5                     | 11.3                        | 7.8         | 8.9          |
| Schmelzpunkt ( $^{\circ}C$ ) | 2700+                         | 327                         | 1500        | 1083         |
| Abschirmfähigkeit            | Sehr stark<br>(Gamma/Neutron) | Allgemein<br>(X/ $\gamma$ ) | schwach     | allgemein    |
| Wärmeleitfähigkeit           | Gut                           | Unterschied                 | allgemein   | Exzellent    |
| Hohe Temperaturstabilität    | Exzellent                     | Unterschied                 | allgemein   | Unterschied  |
| Umweltschutz                 | Hoch (ungiftig)               | Niedrig<br>(giftig)         | hoch        | hoch         |

Aufgrund ihrer Festigkeit, Dichte, thermischen Eigenschaften und Umweltschutzeigenschaften werden Wolframlegierungsplatten in speziellen Funktionsbereichen zunehmend zu einem alternativen Material zu Blei und Stahl.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wolframlegierungsplatten als fortschrittliches Material mit hoher Dichte, hoher Festigkeit, hoher Temperaturstabilität und hervorragender Abschirmfähigkeit einen wichtigen Wert in der modernen High-End-Fertigung und Präzisionsanwendungen aufweisen. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Herstellungstechnologie und der Senkung der Prozesskosten erweitert sich ihr Anwendungsbereich schrittweise vom Militär- und Kernenergiebereich auf breitere Industriesysteme wie Elektronik, Medizin, Luft- und Raumfahrt usw.

#### 1.2 Kurze Geschichte der Entstehung und Entwicklung von Wolframlegierungsplatten

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Als wichtiger Hochleistungsmetallwerkstoff wird die Entwicklung von Wolframlegierungsplatten eng mit dem Fortschritt der Pulvermetallurgietechnologie, der strategischen Entwicklung von Wolframressourcen und dem kontinuierlichen Streben nach Materialleistung in extremen Umgebungen in High-End-Industriebereichen begleitet. Von frühen experimentellen Anwendungen bis zum heutigen weit verbreiteten Einsatz in Schlüsselbereichen wie der Nuklearindustrie, der Luft- und Raumfahrt und dem medizinischen Schutz ist die Entwicklungsgeschichte von Wolframlegierungsplatten nicht nur ein Mikrokosmos der Evolution der Metallwerkstofftechnologie, sondern spiegelt auch den Sprung der globalen Fertigungsindustrie von konventionellen Metallen zu hochleistungsfähigen Funktionsmaterialien wider.

## 1. Entdeckung und frühe Erforschung von Wolframmaterialien

Wolfram (W) wurde dem Menschen erstmals Mitte des 18. Jahrhunderts bekannt. 1781 extrahierte der schwedische Chemiker Carl Wilhelm Scheele erstmals Wolframoxid aus Natriumwolframat, und einige Jahre später gelang es den spanischen Brüdern Elhuyar (Juan José und Fausto Elhuyar), metallisches Wolfram zu isolieren. Wolfram ist bekannt für seinen extrem hohen Schmelzpunkt (3422 °C) und seine Dichte (19,25 g/cm<sup>3</sup>) und wurde schnell in Glühfäden, elektrischen Kontakten und Hochtemperaturlegierungen verwendet.

Aufgrund der inhärenten Sprödigkeit und der schwierigen Verarbeitung von Wolfram war es mit herkömmlichen metallurgischen Methoden jedoch schwierig, dünne Bleche oder Platten daraus zu formen. Daher blieben die ersten Versuche mit „Platten aus Wolframlegierungen“ weitgehend im Stadium der Laborforschung, und ihre tatsächliche technische Anwendung kam erst Mitte des 20. Jahrhunderts allmählich zum Vorschein.

## 2. Der Aufstieg der Pulvermetallurgie-Technologie und die Realisierung der Blechumformung

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts begannen Wissenschaftler mit der rasanten Entwicklung der Pulvermetallurgie, hochschmelzende Refraktärmetalle (wie Wolfram und Molybdän) durch Pressen und Sintern zu Strukturteilen zu verarbeiten. Diese Technologie wurde vor und nach dem Zweiten Weltkrieg intensiv erforscht, insbesondere in den militärisch-industriellen Systemen der USA, Deutschlands, der Sowjetunion und anderer Länder, und förderte schließlich die tatsächliche Produktion von Produkten wie Wolframlegierungsplatten.

In den 1950er bis 1970er Jahren stieg mit der Entwicklung der Atomenergie und der Luft- und Raumfahrtstechnik die Nachfrage nach hochdichten, hochfesten und strahlungsbeständigen Materialien stark an, **und hochdichte Wolframlegierungssysteme wie W-Ni-Fe und W-Ni-Cu** wurden systematisch etabliert. In dieser Zeit wurden Wolframlegierungsplatten hauptsächlich durch Presssintern und Warmwalzen hergestellt, und die industrielle Produktion dünner Plattenteile begann, die hauptsächlich für folgende Zwecke verwendet wurden:

- Abschirmplatten und Neutronenabsorber für Atomreaktoren;
- Gegengewichtssysteme für Flugzeuge und Raketen;
- Röntgen-/Gammastrahlen-Abschirmkomponenten im medizinischen Bereich.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Anwendungsorientierte Technologiereife (1980er-2000er Jahre)

In den 1980er Jahren stieg die Nachfrage nach Wolframlegierungsplatten mit der Verbreitung medizinischer Strahlentherapiegeräte, der rasanten Entwicklung der Elektronikindustrie und den dringenden Anforderungen der Umweltvorschriften an Bleiersatzstoffe stark an. In dieser Zeit zeigte die Entwicklung der Wolframlegierungsplattentechnologie folgende wichtige Trends:

- **Durch Präzisionswalz- und Kaltverarbeitungstechnologie** werden die Dickenkontrollgenauigkeit und die Oberflächenqualität der Platte erheblich verbessert.
- Entwicklung **nichtmagnetischer W-Ni-Cu** -Legierungen zur Lösung des Problems magnetischer Interferenzen bei der medizinischen Magnetresonanztomographie und einigen Luft- und Raumfahrtgeräten;
- **Verbundstrukturplatten** (wie W-Cu-Sandwichstrukturen) entstanden.
- Das Qualitätsmanagementsystem wird zunehmend standardisiert und es wurden viele nationale und industrielle Standards eingeführt, wie z. B. ASTM B777, GB/T 3879 usw.

Wolframlegierungsplatten haben sich mittlerweile von einfachen Strukturwerkstoffen zu integrierten Werkstoffen mit Struktur und Funktion entwickelt. Sie finden breite Anwendung in vielen anspruchsvollen Bereichen wie Präzisionsinstrumenten, Wärmemanagementsystemen, Strahlenschutzabschirmungen und Hochtemperaturofenwandpaneelen.

### IV. Modernes Entwicklungsstadium und Grenzerkundung (2000er Jahre bis heute)

Mit dem Beginn des 21. Jahrhunderts, als die aufstrebenden Technologiebranchen strengere Anforderungen an die Materialeistung stellten, erreichte die Entwicklung von Wolframlegierungsplatten eine neue Stufe der **Leistungsfähigkeit, Leichtigkeit, Intelligenz und Multifunktionalität**. Die wichtigsten Erscheinungsformen sind:

#### 1. Optimierung der Materialmikrostruktur

- Die Technologie der nanoverstärkten W-Legierungen wurde eingeführt, um der Legierung eine höhere Streckgrenze und Bruchzähigkeit zu verleihen.
- Für den Einsatz in Wärmekontrollsystemen in der Luft- und Raumfahrt sowie in Kernreaktorpaneelen werden nach und nach funktional abgestufte Paneele (FGM) entwickelt, wobei mehrere physikalische Leistungsanforderungen berücksichtigt werden.

#### 2. Innovation in den Herstellungsverfahren

- **Additive Fertigungstechnologien** wie das Laser-Selektive Schmelzen (SLM) und das Elektronenstrahlschmelzen (EBM) werden mittlerweile für die schnelle Herstellung maßgeschneiderter Wolframlegierungsplatten eingesetzt.
- Zur Herstellung hochdichter Platten werden fortschrittliche Technologien wie heißisostatisches Vakuumpressen und ultraschallunterstütztes Walzen eingesetzt, um die Konsistenz und organisatorische Stabilität der fertigen Produkte zu verbessern.

#### 3. Beschleunigte Ausweitung internationaler Anwendungen

- Die Vereinigten Staaten, Japan, Deutschland und andere Länder verwenden Wolframlegierungsplatten in großem Umfang in Monderkundungsfahrzeugen, experimentellen Kernfusionsreaktoren (wie dem ITER-Projekt) und fortschrittlichen Beschleunigerkomponenten.
- Auch die chinesische Technologie zur Herstellung von Wolframlegierungsplatten hat sich schrittweise von der „Rohstoffabhängigkeit“ zu einem neuen Muster der „unabhängigen

Konstruktion, Massenproduktion und militärisch-zivilen Integration“ entwickelt und eine Reihe führender Unternehmen und nationaler Schlüssellabore hervorgebracht.

## V. Ausblick auf zukünftige Entwicklungstrends

Mit der Weiterentwicklung neuer Materialstrategien und der Wertsteigerung der Wolframressourcen wird sich die zukünftige Entwicklungsrichtung von Wolframlegierungsplatten auf die folgenden Punkte konzentrieren:

- **Funktionale Integration** : eine multifunktionale Legierungsplatte, die Wärmeleitung, elektrische Leitung und Strahlungsbeständigkeit integriert;
- **Extreme Service-Anpassungsfähigkeit** : hochtemperaturbeständige, schlagfeste Wolframplatten mit hoher Dichte für komplexe Umgebungen wie den Weltraum, die Kernfusion und die Tiefen der Erde;
- **Grüne Fertigung und nachhaltige Entwicklung** : Entwurf und Massenfertigung energiesparender, recycelbarer und umweltfreundlicher Legierungssysteme;
- **Intelligente Materialintegration** : Integrieren Sie Sensor-, Selbstreparatur- und andere Funktionen in die Plattenstruktur aus Wolframlegierung, um sich an die Entwicklung zukünftiger intelligenter Systeme anzupassen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entwicklung von Wolframlegierungsplatten die tiefgreifende Wechselwirkung zwischen Materialwissenschaft und industriellen Anforderungen deutlich verdeutlicht. Von frühen physikalischen Laborproben bis hin zu modernen, leistungsstarken und hochstabilen Strukturwerkstoffen spielen Wolframlegierungsplatten mit ihren einzigartigen, umfassenden Eigenschaften eine immer wichtigere Rolle in der globalen Materialtechnologie. Ihr Anwendungspotenzial in den Bereichen erneuerbare Energien, fortschrittliche Fertigung, nationale Verteidigungswissenschaft und -technologie und anderen Bereichen wird sich in Zukunft weiter ausweiten.

## 1.3 Klassifizierung von Wolframlegierungsplatten (nach Zusammensetzung, Verfahren und Zweck)

Wolframlegierungsplatten werden aufgrund ihrer großen Vielfalt und vielfältigen Leistungsfähigkeit häufig verwendet. Um die Leistungsmerkmale und Anwendungsszenarien von Wolframlegierungsplatten systematischer zu verstehen, ist es notwendig, sie anhand mehrerer Dimensionen wie Materialzusammensetzung, Herstellungsverfahren und Anwendung zu klassifizieren. Die folgenden detaillierten Klassifizierungsmethoden für Wolframlegierungsplatten werden aus drei Hauptperspektiven erörtert: **Klassifizierung nach Zusammensetzung, Klassifizierung nach Herstellungsverfahren und Klassifizierung nach Anwendung**.

### 1. Klassifizierung nach Legierungszusammensetzung

Wolframlegierungsplatten basieren auf ihren primären Legierungssystemen. In der tatsächlichen Produktion und Anwendung beeinflussen unterschiedliche Bindemetalle die physikalischen Eigenschaften, die Verarbeitbarkeit und die Funktionalität der Platten erheblich.

#### 1. W-Ni-Fe-Legierungsplatte (konventioneller Typ)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Zusammensetzungsmerkmale** : Der Wolframgehalt beträgt normalerweise 85 % bis 97 %, ergänzt durch Ni und Fe als Bindungsphasen, mit einem Verhältnis von ungefähr Ni:Fe = 7:3.
- **Leistungsmerkmale** : Es verfügt über hervorragende Festigkeit, Zähigkeit und ausgewogene Verarbeitungseigenschaften. Es ist die am häufigsten verwendete Strukturplatte aus Wolframlegierung.
- **Anwendungsszenarien** : Trägheitskomponenten, Gegengewichtsplatten, Schutzstrukturen usw.

## 2. W-Ni-Cu-Legierungsplatte (nicht magnetischer Typ)

- **Zusammensetzungsmerkmale** : Hauptsächlich Wolfram, die Bindungsphase besteht hauptsächlich aus Ni und Cu, wird oft bei magnetischen Feldempfindlichkeiten verwendet.
- **Leistungsmerkmale** : nicht magnetisch, gute Leitfähigkeit, starke Abschirmleistung, aber die Festigkeit ist etwas geringer als beim W-Ni-Fe-System.
- **Anwendungsszenarien** : medizinische Geräte, Komponenten für die Magnetresonanztomographie (MRT) und Schutzhüllen für elektronische Geräte.

## 3. W-Cu-Legierungsplatte (hohe Wärmeleitfähigkeit)

- **Zusammensetzungsmerkmale** : Es besteht aus Wolfram und Kupfer und ist ein typischer intermetallischer Verbundwerkstoff.
- **Leistungsmerkmale** : extrem hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit, beständig gegen Temperaturschocks, geeignet für Wärmemanagementanwendungen.
- **Anwendungsszenarien** : Substrate für elektronische Verpackungen, Hochfrequenzschalter, Elektroden und Kühlkörper.

## 4. W-Co-Legierungsplatte (verschleißfester Typ)

- **Zusammensetzungsmerkmale** : auf Wolframbasis, ergänzt mit Kobalt (Co) als Bindemetall.
- **Leistungsmerkmale** : Hervorragende Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit und gute Leistung in Umgebungen mit extremer mechanischer Beanspruchung.
- **Anwendungsszenarien** : schlagfeste Schutzplatten, Formauskleidungen und panzerbrechende Schutzstrukturen.

## 5. Nanoverstärkte Wolframlegierungsplatte

- **Zusammensetzungsmerkmale** : Einführung von Nanopartikeln oder Verstärkungen der zweiten Phase in das traditionelle Wolframlegierungssystem.
- **Leistungsmerkmale** : Die Festigkeit und Zähigkeit sind deutlich verbessert, geeignet für Bereiche mit extremen Leistungsanforderungen.
- **Anwendungsszenarien** : Verkleidung von Kernfusionsreaktoren, Gehäuse für Raumsonden usw.

## 2. Klassifizierung nach Formgebungs- und Herstellungsverfahren

Platten aus Wolframlegierungen können mithilfe einer Vielzahl von Verfahren hergestellt werden, und unterschiedliche Verfahren haben erhebliche Auswirkungen auf ihre Mikrostruktur, Dichte, mechanischen Eigenschaften und Kostenstruktur.

### 1. Pulvermetallurgisches Blech (PM)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Prozessablauf** : Wolframpulver + Bindepulver → Pressen (Formen oder isostatisches Pressen) → Hochtemperaturesintern → Heißverarbeitung oder Walzen.
- **Vorteile** : dichte Struktur, gleichmäßige Leistung, gute Steuerbarkeit, geeignet für mittlere und dicke Plattenspezifikationen.

## 2. Warmgewalzte und kaltgewalzte Bleche

- **Prozessablauf** : Sintern des Knüppels → Warmwalzen (oder Kaltwalzen) zu einer Platte → Oberflächenbehandlung.
- **Vorteile** : hohe Maßgenauigkeit, gute Oberflächenqualität, geeignet für die Massenproduktion.

## 3. Schnelle Aushärtung und Tape-Technologie

- **Prozessablauf** : Nach dem Schmelzen bei hohen Temperaturen wird es schnell abgekühlt und verfestigt, um dünne Streifen oder Platten zu bilden.
- **Vorteile** : raffinierte Struktur, geeignet für Hochfrequenz-Elektronikgeräte.

## 4. Additive Fertigungsplatten (3D-Druck)

- **Prozessablauf** : Laserschmelzen oder Elektronenstrahlschmelzen → schichtweiser Aufbau → Endbearbeitung.
- **Vorteile** : Es ist eine kundenspezifische Produktion von Platten mit komplexen Formen möglich, die für hochwertige Militär- und Luft- und Raumfahrtkomponenten geeignet sind.

## 5. Verbundlaminierte Wolframlegierungsplatte

- **Prozessablauf** : Wolframlegierungsschicht + andere Metallschichten (wie Kupfer, Titan) durch Heißpressen formen.
- **Vorteile** : Es können multifunktionale Verbundwerkstoffe realisiert werden und es eignet sich für elektronische Verpackungen und Elektrodenfelder.

## 3. Klassifizierung nach Zweck und Funktion

Wolframlegierungsplatten eignen sich aufgrund ihrer hohen Dichte, Strahlungsbeständigkeit, guten Wärmeleitfähigkeit und hervorragenden Verarbeitungseigenschaften für viele Branchen. Sie lassen sich je nach Verwendungszweck in folgende Kategorien einteilen:

### 1. Strukturelle Wolframlegierungsplatte

- Wird für tragende Strukturen, mechanische Teile oder dynamische Ausgleichssysteme verwendet, wobei der Schwerpunkt auf mechanischer Festigkeit und Dimensionsstabilität liegt.
- Typische Anwendungen: Trägheitsschwungräder, Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt und Wellenausgleichsplatten.

### 2. Schutzplatte aus Wolframlegierung

- Schwerpunkt auf Schutzmöglichkeiten, einschließlich Abschirmung gegen Gammastrahlen, Röntgenstrahlen, Neutronen usw.
- Typische Anwendungen: Schutzplatten für Strahlentherapiegeräte, Abschirmschichten für Kernreaktoren und kugelsichere Strukturen für Flugzeugkabinen.

### 3. Wärmekontrolle und Wärmeableitung Wolframlegierungsplatte

- Schwerpunkt auf Wärmeleitfähigkeit und Thermoschockstabilität.
- Typische Anwendungen: Grundplatte zur Wärmeableitung von Halbleitergeräten, Wandplatte für Wärmerohre, Kühlgerät für Plasmageräte.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4. Funktionale/elektronische Wolframlegierungsplatte

- Es vereint die Funktionen Leitfähigkeit, Nichtmagnetismus und hohe Festigkeit und wird in elektronischen Präzisionssystemen verwendet.
- Typische Anwendungen: Hochfrequenzschaltergehäuse, Mikrowellenabsorber und antimagnetische Strukturteile in der Avionik.

#### 5. Verbundplatte aus Wolframlegierung

- Es verwendet eine mehrschichtige Struktur und eine Verbundherstellung aus heterogenen Materialien, um eine strukturelle und funktionale Integration zu erreichen.
- Typische Anwendungen: Wolfram-Kupfer-Verbundplatten (elektronische Substrate), Wolfram-Titan-Verbundplatten (leichte Panzerstrukturen).

### IV. Vergleichstabelle der Klassifizierungszusammenfassung

| Einstufung         | Haupttypen                                                                 | Funktionsschlüsselwörter                                                                                   | Anwendungsbereiche                                                      |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Element</b>     | W-Ni-Fe, W-Ni-Cu, W-Cu, W-Co, Nano-Wolfram-Legierung                       | Dichte, Magnetismus, Wärmeleitfähigkeit, Verschleißfestigkeit, verbesserte Funktionalität                  | Militärindustrie, medizinische Behandlung, Wärmemanagement, Kernenergie |
| <b>Technologie</b> | Pulvermetallurgie, Walzen, Additive Fertigung, Verbundlaminierung          | Dichte, Maßgenauigkeit, Anpassungsfähigkeit, multifunktionale Integration                                  | High-End-Fertigung, Massenproduktion und Anpassung komplexer Strukturen |
| <b>verwenden</b>   | Strukturtyp, Schutztyp, Wärmeableitungstyp, elektronischer Typ, Verbundtyp | Mechanische Festigkeit, Strahlenschutz, thermische und elektrische Leitfähigkeit, intelligente Integration | Luft- und Raumfahrt, Kernenergie, Elektronik, Medizin                   |

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wolframlegierungsplatten als vielseitiges, leistungsstarkes Metallmaterial einen mehrdimensionalen und systematischen Klassifizierungsansatz erfordern. Durch die Klärung der Zusammenhänge zwischen Zusammensetzung, Verarbeitung und Anwendung wird nicht nur industriellen Anwendern die Auswahl zielgerichteter und geeigneter Produkte erleichtert, sondern auch ein klarer technischer Referenzpfad für nachfolgende Forschung und Entwicklung sowie die Festlegung von Standards geschaffen. Mit der kontinuierlichen Erweiterung von Materialdesignkonzepten und Verarbeitungsmethoden wird die Klassifizierung von Wolframlegierungsplatten vielfältiger und intelligenter und passt sich den anspruchsvollen Anforderungen der zukünftigen fortschrittlichen Fertigung an.

#### 1.4 Die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen Wolframlegierungsplatten, Wolframstäben, Wolframdrähten und Wolframkupferplatten

Wolframmaterialien finden aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts, ihrer hohen Dichte und ihrer hervorragenden thermischen und mechanischen Eigenschaften breite Anwendung in verschiedenen Industriebereichen. In der Praxis werden Wolframprodukte je nach Form und Funktion hauptsächlich in Wolframlegierungsplatten, Wolframstäben, Wolframdrähten und

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframkupferplatten eingesetzt. Obwohl sie alle zum Wolfram-basierten System gehören, weisen sie erhebliche Unterschiede in chemischer Zusammensetzung, Herstellungsverfahren, strukturellen Eigenschaften und Anwendung auf. Dieser Abschnitt bietet einen horizontalen Vergleich dieser vier typischen Wolframmaterialien, um dem Leser die besondere Stellung von Wolframlegierungsplatten innerhalb des Materialsystems zu verdeutlichen.

### 1. Einführung in die Wolframlegierungsplatte

Wolframlegierungsplatten sind hochdichte Legierungsplatten, deren Hauptbestandteil Wolfram ist und durch Nickel, Eisen, Kupfer, Kobalt und andere Elemente ergänzt wird. Ihre Hauptmerkmale sind hohe Dichte, hohe Festigkeit, gute Strahlungsbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit. Sie eignen sich für hochfeste Strukturteile, Abschirmplatten und Wärmeableitungskomponenten.

#### Grundfunktionen :

- Form: Flache rechteckige Platte, Dicke von 0,1 mm bis 50 mm;
- Herstellung: hauptsächlich Pulvermetallurgie, Warmwalzen, Kaltwalzen, additive Fertigung usw.
- Anwendung: Weit verbreitet in Gegengewichten für die Luftfahrt, Strahlenschutz, Wärmekontrollsystemen, Trägheitskomponenten usw.

### 2. Einführung des Wolframstabs

Wolframstäbe sind eines der grundlegendsten Wolfram-Verarbeitungsmaterialien. Sie sind in der Regel massiv und zylindrisch und können aus reinem Wolfram oder einer Wolframlegierung hergestellt werden. Sie haben eine dichte Struktur und werden hauptsächlich in Hochtemperatur-Strukturteilen, Elektronenemissionsquellen, Hochspannungselektroden und anderen Bereichen eingesetzt.

#### Grundfunktionen :

- Form: zylindrischer oder quadratischer Stab, Durchmesser 2 mm bis 100 mm;
- Vorbereitung: Heißisostatisches Pressen/Schmieden oder Drehen nach dem Sintern und Pressen;
- Anwendung: Elektronenrhrenkathode, Stützstange, Schlagwerkzeug, Elektrode usw.

### 3. Einführung in Wolframfilamente

Wolframdraht ist ein dünner Draht, der aus Wolframbarren gezogen wird. Er verfügt über eine ausgezeichnete Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen und eine hohe elektrische Leitfähigkeit. Er ist ein wichtiges Material für elektrische Lichtquellen, elektronische Bauteile und elektrische Heizanwendungen.

#### Grundfunktionen :

- Morphologie: Lange und dünne Filamente mit Durchmessern bis zu Mikrometern;
- Vorbereitung: Schmieden, Walzen und wiederholtes Ziehen;
- Anwendung: Glühfaden, Heizdraht für Vakuumverdampfung, Elektronenstrahl-Emissionsquelle.

### 4. Einführung der Wolframkupferplatte

Wolframkupferplatten sind Verbundwerkstoffplatten aus Wolfram und Kupfer. Es handelt sich um einen intermetallischen Verbundwerkstoff, der den hohen Schmelzpunkt von Wolfram mit der

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hohen Wärmeleitfähigkeit von Kupfer verbindet. Es ist ein wichtiges Material für Wärmemanagement und elektrische Kontaktanwendungen.

#### Grundfunktionen :

- Form: dünne Platte oder mittlere Platte, Dicke 1 mm bis 20 mm;
- Herstellung: Pulvermetallurgisches Pressen und Sintern/Heißpressen des Verbundwerkstoffs;
- Anwendung: Wärmeableitungsgrundplatte, Elektrodenplatte, Hochfrequenzverpackung usw.

#### 5. Vergleichende Analyse von Leistung und Nutzung

| Projekte vergleichen         | Wolframlegierungsplatte                                  | Wolframstab                                                       | Wolframdraht                                                               | Wolfram-Kupferplatte                                     |
|------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Hauptzutaten                 | W + Ni/Fe/Cu/Co usw.                                     | Reines W oder Wolframlegierung                                    | Hochreines W                                                               | W + Cu (normalerweise 50:50)                             |
| Typische Form                | Rechteckige Platten                                      | Rund- oder Vierkantstäbe                                          | Filament                                                                   | Wohnung                                                  |
| Dichte                       | 17,0–18,5 g/cm <sup>3</sup>                              | 18,5–19,2 g/cm <sup>3</sup> (reines W)                            | Wie oben                                                                   | 14,5~17,0 g/cm <sup>3</sup>                              |
| Mechanische Eigenschaften    | Hohe Festigkeit und hohe Zähigkeit                       | Hohe Härte, hohe Sprödigkeit                                      | Flexibel und plastisch, hohe Zugfestigkeit                                 | Mäßig, kombiniert Härte und Wärmeleitfähigkeit           |
| Wärmeleistung                | Gute Wärmeleitfähigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit  | Ausgezeichnete Hochtemperaturstabilität                           | Beständigkeit gegen Verdampfung und Kriechen bei hohen Temperaturen        | Hervorragende Wärmeleitfähigkeit (>200 W/m·K)            |
| Verarbeitungsschwierigkeiten | Mittel, bearbeitbar und bearbeitbar                      | Schwierig zu verarbeiten, erfordert hochfeste Geräteunterstützung | Schwierig zu verarbeiten, da mehrfaches Ziehen und Glühen erforderlich ist | Relativ einfach zu verarbeiten                           |
| Typische Anwendungen         | Strahlenschutz, Gegengewicht, Thermalkontrollkomponenten | Elektroden, Wärmefeldhalterungen, Hochtemperaturkomponenten       | Glühfäden, Vakuumelektronik, Heizelemente                                  | Heizkörper, Schaltelektroden, elektronische Verpackungen |

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 6. Zusammenfassung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede

### Gemeinsame Punkte:

1. Materialbasis: Alle Produkte verwenden Wolfram als Hauptelement, einige Produkte bestehen aus reinem Wolfram und einige sind Legierungen auf Wolframbasis.
2. Leistungsmerkmale: hohe Dichte, hoher Schmelzpunkt und gute Hochtemperaturleistung;
3. Herstellungsverfahren: Die meisten basieren auf pulvermetallurgischen Verfahren, ergänzt durch Wärmebehandlung oder Nachbearbeitung;
4. Schlüsselbereiche: Weit verbreitet in High-End-Branchen wie Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Militär, Energie und Medizin.

### Unterschiede:

- Unterschiedliche Formen und Funktionen: Platten werden hauptsächlich für Abdeckungen/Strukturteile verwendet, Stäbe für drucktragende/stützende Teile, Drähte für Heizung/Emission und Wolframkupferplatten für Wärmeleitung/elektrischen Kontakt.
- Unterschiedliche Verarbeitungsverfahren: Platten werden üblicherweise durch Walzen und Schmieden hergestellt, Stangen werden hauptsächlich durch Sintern und Schmieden hergestellt, Drähte sind auf mehrere Ziehprozesse angewiesen und Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffe erfordern spezielle Sinter- und Presstechnologien.
- Unterschiedliche Verwendungsbedingungen: Wolframfilamente betonen die Verdampfungs- und Widerstandseigenschaften, Wolframkupferplatten betonen die Wärmeableitung und Leitfähigkeit und Wolframlegierungsplatten betonen die strukturelle Festigkeit und umfassende thermophysikalische Eigenschaften.

## 7. Vorteile der Wolframlegierungsplatte

Im Vergleich zu den oben genannten Materialien auf Wolframbasis haben Wolframlegierungsplatten einzigartige Vorteile hinsichtlich der Gesamtleistung und der anwendbaren Szenarien:

- Hohe Funktionsintegration: hohe Dichte, hohe Festigkeit, Strahlungsbeständigkeit und Verarbeitbarkeit;
- Gute Formstabilität: Die plattenartige Struktur eignet sich besser zum Abdecken von Schutz- und Wärmekontrollsystemen;
- Breites Anwendungsspektrum: Es kann Funktionseinbettung und integriertes Design in vielen Bereichen wie der Militärindustrie, der Luft- und Raumfahrt, der medizinischen Behandlung, der Elektronik usw. realisieren.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wolframlegierungsplatten eine strategische und zentrale Rolle im Wolfram-basierten Materialsystem einnehmen. Sie bieten nicht nur die mechanischen Leistungsvorteile von Wolframstäben, sondern auch die thermische Leistung von Wolframkupferplatten und verfügen über eine höhere strukturelle Integrität und einen besseren Strahlenschutz als Wolframdrähte. Mit der Verbesserung der Fertigungstechnologie und der Ausweitung neuer Bereiche werden Wolframlegierungsplatten auch in Zukunft eine Schlüsselrolle bei der multifunktionalen Integration spielen.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1.5 Überblick über die Entwicklung der Wolframlegierungsplattentechnologie und Patente im In- und Ausland

Als wichtiger Zweig hochleistungsfähiger feuerfester Metallwerkstoffe finden Wolframlegierungsplatten breite Anwendung in Schlüsselbereichen wie der Luft- und Raumfahrt, dem Atomschutz, der Elektronikverpackung, Experimenten in der Hochenergiephysik und der Medizintechnik. Mit der kontinuierlichen Ausweitung nachgelagerter Anwendungen achtet die Welt zunehmend auf die technologische Innovationsfähigkeit, den Patentschutz und den Industrialisierungsgrad von Wolframlegierungsplatten. In diesem Abschnitt werden die in- und ausländische technologische Entwicklung und die Gestaltung des geistigen Eigentums von Wolframlegierungsplatten systematisch unter vier Gesichtspunkten untersucht: **technologischer Evolutionsprozess, wichtige technische Knotenpunkte, repräsentative Länder und Unternehmensstruktur sowie wichtigste Patentinhalte und -trends**.

### 1. Überblick über die Entwicklung und Evolution der globalen Wolframlegierungsplattentechnologie

#### 1. Frühphase (1950er–1970er Jahre) – Erforschung von Schutzmaterialien

Die anfängliche Entwicklung der Wolframlegierungsplattentechnologie beruhte hauptsächlich auf den militärischen Anforderungen des Kalten Krieges, insbesondere in den Bereichen **hochdichte Schutzmaterialien** und **Neutronenabschirmung**. Die Vereinigten Staaten und die Sowjetunion waren Pioniere bei der Entwicklung von Wolframlegierungsplatten, typischerweise W-Ni-Fe, durch pulvermetallurgische Verfahren. Diese Platten wurden in Atom-U-Booten, Raketengegengewichten und Strahlenschutzpanzerungen eingesetzt.

Zu den repräsentativen technologischen Durchbrüchen zählen:

- Kontrolle der Partikelgröße von Wolframpulver und Niedertemperatur-Sintermechanismus;
- Kontrolle der Verdichtung und Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur von warmgewalzten Platten;
- Etablierung des nichtmagnetischen W-Ni-Cu-Legierungssystems.

#### 2. Reife Entwicklungsphase (1980er–2000er Jahre) – Hochpräzise Panels und multifunktionale Entwicklung

Während dieser Zeit entwickelte sich die elektronische Informationsindustrie rasant und Strahlentherapiegeräte kamen immer häufiger zum Einsatz. In der Technologie für Wolframlegierungsplatten wurde allmählich **eine Integration von struktureller und funktionaler Leistungsfähigkeit angestrebt**, und in Industrieländern wie den USA, Japan und Deutschland entwickelte sich ein standardisiertes Produktionssystem.

Zu den wichtigsten Entwicklungen gehören:

- Hochdichte Plattenpresstechnologie;
- Optimierung der Mehrelementverhältniskontrolle (z. B. Zugabe von Co, Mo, Re);
- Standardisierung hochpräziser Kaltwalz- und Oberflächenbehandlungsprozesse.

In dieser Zeit nahmen Unternehmen wie General Electric (GE) aus den USA, Plansee aus Deutschland und Mitsubishi Materials (MMC) aus Japan eine führende technologische Position

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ein und besaßen eine große Zahl von Patenten für wichtige Herstellungsverfahren und Anwendungsdesigns.

### **3. Fortgeschrittene Fertigungsphase (2000er bis heute) – Der Aufstieg der Mikrostruktursteuerung und der Verbundintegrationstechnologien**

Seit dem Beginn des 21. Jahrhunderts haben Wolframlegierungsplatten kontinuierliche Durchbrüche in der **intelligenten Fertigung, unter extremen Betriebsbedingungen und bei der Integration mehrerer Funktionen erzielt.**

Zu den repräsentativen Technologien gehören:

- nanoverstärkte Wolframlegierungsplatten (W-ZrO<sub>2</sub>, W-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> usw.);
- Additive Fertigungstechnologien wie das selektive Laserschmelzen (SLM) werden zur individuellen Anpassung von Wolframplatten verwendet.
- Funktional abgestufte Materialien (FGMs) werden in Platten aus Metall-/Keramik-Verbundstrukturen integriert.

Derzeit sind Wolframlegierungsplatten kein einzelnes „Material mit hohem spezifischen Gewicht“ mehr, sondern entwickeln sich hin zu **einer strukturell-funktionalen Integration mit mehreren physikalischen Eigenschaften**.

## **2. Entwicklungspfad und Erfolge der heimischen Wolframlegierungsplattentechnologie**

China, das Land mit den weltweit größten Wolframvorkommen und der größten Wolframproduktion, begann erst spät mit der Werkstofftechnologie für Wolframlegierungen, entwickelte sich jedoch rasch und konnte in den letzten Jahren in vielen Schlüsselbereichen aufholen.

### **1. Anfängliche Abhängigkeit von Importen und Nachahmungen (1980er–1990er Jahre)**

Wolframlegierungsplatten wurden in China zunächst in den Bereichen Landesverteidigung und Nuklearindustrie eingesetzt, angeführt von der Chinesischen Akademie der Wissenschaften, der China Aerospace Science and Industry Corporation und militärischen Forschungsinstituten. Der Großteil der Technologie stammte aus der Sowjetunion oder wurde aus dem Ausland eingeführt.

### **2. Systemaufbau und industrielle Expansion (2000er–2010er Jahre)**

Mit der Entwicklung der heimischen Pulvermetallurgie-Technologie haben zahlreiche Universitäten und wichtige Unternehmen (wie Xiamen Jinlu, China Tungsten High-Tech, AVIC New Materials und Baoti Group) nach und nach ein komplettes Prozesssystem entwickelt, das von der Wolframpulveraufbereitung über die Legierungsdosierung bis hin zum Walzen von Platten reicht.

Zu den wichtigsten technologischen Durchbrüchen zählen:

- Pressen und Sintern von Legierungsplatten mit geringer Porosität und hoher Dichte;
- Optimierung des Bindephasenverhältnisses;
- Heißpress-Diffusionsverbindungstechnologie von Wolfram-Kupfer-Verbundplatten.

### **3. Intelligente Fertigung und unabhängige Innovation gehen Hand in Hand (2015 bis heute)**

Derzeit ist Chinas Technologie für Wolframlegierungsplatten in den Bereichen hochpräzise Flugzeugstrukturteile, nuklearmedizinischer Schutz, elektronische Verpackungsplatten usw.

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

international wettbewerbsfähig. Viele Schlüsseltechnologien wurden mit nationalen Wissenschafts- und Technologiepreisen ausgezeichnet und in Projekten wie dem Großflugzeug C919, der Raumstationskabine und der Zielstruktur für nukleare Strahlung eingesetzt.

3. Analyse der weltweiten Verteilung wichtiger Technologiepatente für Wolframlegierungsplatten

1. Regionale Patentverteilung

Laut Statistiken der WIPO und der China National Intellectual Property Administration (CNIPA) gibt es bis Ende 2024 weltweit mehr als 4.000 gültige Patente im Zusammenhang mit Wolframlegierungsplatten, die sich im Wesentlichen wie folgt verteilen:

| Land/Region        | Anteil (%)             | Hauptpatentantragsteller                                                                         |
|--------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| China              | 45 %                   | China Tungsten High-Tech, Xiamen Jinlu, Beijing Nonferrous Metals Research Institute, Baoti usw. |
| USA                | zweiundzwanzig Prozent | Plansee, GE, Kennametal usw.                                                                     |
| Japan              | 13%                    | Mitsubishi Materials, Sumitomo Electric Industries, Ltd., Tokyo Steel usw.                       |
| Deutschland        | 8 %                    | HC Starck, Plansee usw.                                                                          |
| Südkorea, Russland | 5 %                    | POSCO, TRINITY usw.                                                                              |
| Andere Bereiche    | 7 %                    | Schweiz, Israel, Indien usw.                                                                     |

2. Verteilung der Patenttechartypen

Der Patentinhalt lässt sich in fünf technische Hauptrichtungen zusammenfassen:

| Technische Leitung                         | Repräsentativer Inhalt                                                                            |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Innovative Legierungsformel                | Serienverhältnis W-Ni-Co, W-Cu-Re, W-Mo                                                           |
| Mikrostrukturregulierung                   | Nanokristalliner Verstärkungsmechanismus und Kontrolle der Niederschlagsverteilung                |
| Blechbearbeitung und Oberflächenbehandlung | Mehrstufenwalztechnologie, elektrolytisches Polieren, Plasma-Oberflächenbehandlung                |
| Verbundstruktur und Verbindungstechnik     | Wolfram-Kupfer-, Wolfram-Titan-Verbundplattenpressen, Löten/Diffusionsschweißen                   |
| Anwendungsanpassungsdesign                 | Struktur des Strahlentherapie-Schutzmoduls, Design zur Optimierung der Heizplattenverteilung usw. |

IV. Repräsentative Patentbeispiele im In- und Ausland

| Patentname                                                            | Autorisiertes Land | Patentnummer | Kurzbeschreibung                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Herstellungsverfahren für hochdichte W-Ni-Fe-Wolframlegierungsplatten | China              | CN108982173B | Vorgeschlagenes Verfahren zur Optimierung der Sintertemperatur und Pressparameter, Dichte > |

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                                                                                          |             |                  |                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                          |             |                  | 99,5 %                                                                                                                                                                  |
| Nichtmagnetisches Blech aus Wolframlegierung und Verfahren zu seiner Herstellung         | USA         | US8574432B2      | W-Ni-Cu-Legierungsplatte mit Schwerpunkt auf nichtmagnetischen Eigenschaften und Duktilitätskontrolle                                                                   |
| Wolfram-Kupfer-Verbundplatte mit Gradientenstruktur und Verfahren zu ihrer Herstellung   | Japan       | JP2018147022A    | Entwicklung funktional abgestufter W/Cu-Platten, geeignet für hochfrequente wärmeleitende elektrische Geräte                                                            |
| Schutzplattenmodul aus Wolframlegierung für Strahlentherapiegeräte                       | China       | CN110456887A     | Das modulare Design des Plattenverbindingssystems verbessert die Schutzeffizienz und erleichtert den Austausch und die Wartung                                          |
| Wolframlegierungsplattenpulver für die additive Fertigung und Lasersinterverfahren dafür | Deutschland | DE102018001328A1 | Es wird eine spezielle kugelförmige Pulverzusammensetzung und ein Parameterkontrollverfahren vorgeschlagen, das für die SLM-Herstellung von Wolframplatten geeignet ist |

## V. Ausblick auf Trends in der Technologie- und geistigen Eigentumsentwicklung

### 1. Entwicklung von der „einzelnen physischen Leistung“ zur „multifunktionalen Integration“

Zukünftig werden Wolframlegierungsplatten nicht nur die Anforderungen an Dichte und Festigkeit erfüllen, sondern auch mehrere Eigenschaften wie Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Strahlungsbeständigkeit vereinen.

### 2. Additive Fertigungstechnologie wird die Entwicklung der personalisierten Leiterplattenherstellung vorantreiben

Der 3D-Druck von Wolframlegierungsplatten auf Laser-/Elektronenstrahlbasis wird in komplexen kundenspezifischen Strukturen, beispielsweise in der Verteidigung und der Kernenergie, breite Anwendung finden.

### 3. High-End-Patente und Technologiebarrieren werden weiter erhöht

Kernformeln, Verbundstrukturen und die Kontrolle der Plattenmikrostruktur werden in den Fokus der großen Technologieunternehmen rücken und der Wettbewerb um Patente wird immer härter.

### 4. China wird sich schrittweise von einem „Land der Patentquantität“ zu einem „Land der Patentqualität“ entwickeln.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fördern Sie die Globalisierung der Rechte an geistigem Eigentum, indem Sie die Materialdatenbank verbessern, ein Prozessstandardsystem einrichten und die internationale Patentzusammenarbeit und -gestaltung stärken.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die globale Entwicklung der Wolframlegierungsplattentechnologie in vier Phasen die Merkmale „militärischer Ursprung – industrielle Expansion – multifunktionale Integration – intelligente Fertigung“ aufweist. Das Patentsystem wird zunehmend komplexer, und wichtige Kerntechnologien sind meist oligopolistisch. Obwohl China etwas später begann, beschleunigt es mit seinen Ressourcenvorteilen und seinem Industriesystem den Aufbau eines unabhängigen und kontrollierbaren Innovationssystems. Der künftige Wettbewerb der Wolframlegierungsplattentechnologie und der Rechte an geistigem Eigentum wird zu einem wichtigen strategischen Schwerpunkt im Bereich neuer Materialien weltweit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

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

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

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

#### 100,000+ customers

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

#### Service commitment

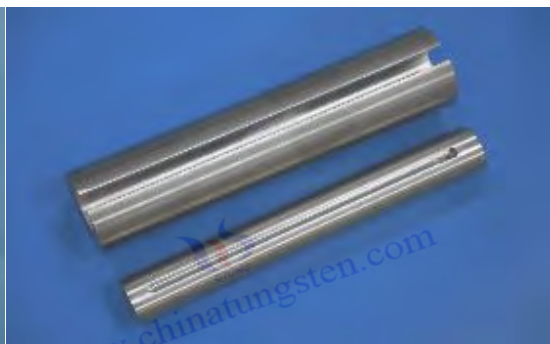
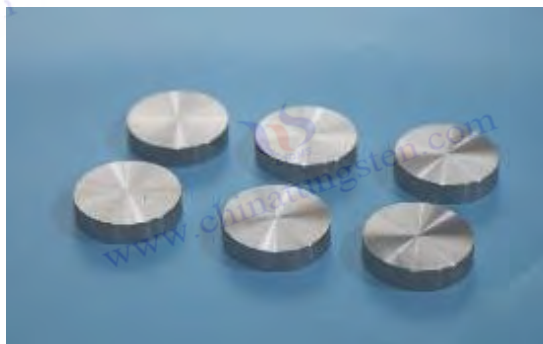
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

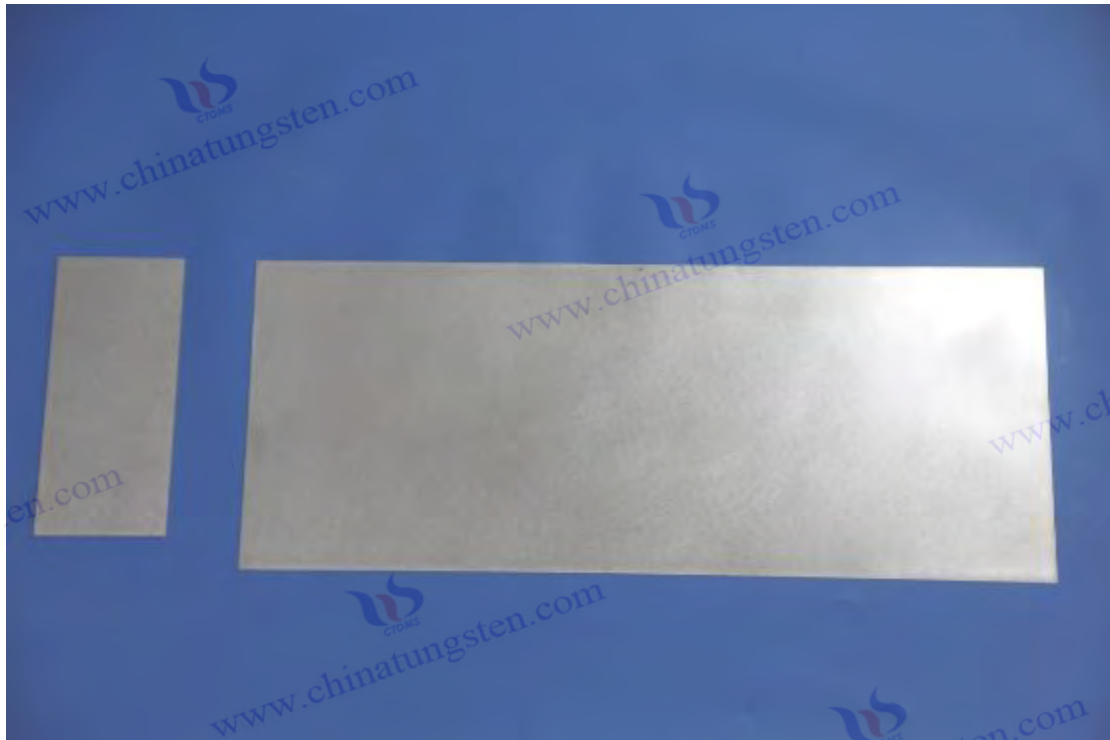
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



## Kapitel 2 Physikalische und mechanische Eigenschaften von Wolframlegierungsplatten

### 2.1 Dichte, spezifisches Gewicht und Größenkontrollgenauigkeit

Bei Wolframlegierungsplatten handelt es sich um einen Hochleistungs-Metallverbundwerkstoff auf Wolframbasis. Die physikalischen Eigenschaften von Platten hängen weitgehend von **der Gleichmäßigkeit der Dichtekontrolle, der Konsistenz des spezifischen Gewichts und der Genauigkeit der Plattenabmessungen ab**. In Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie und der Herstellung von Präzisionsmedizinischen Geräten, die eine extrem hohe Qualität und strukturelle Genauigkeit erfordern, können selbst geringe Abweichungen dieser Parameter zu systematischen Fehlern, Festigkeitsverlust oder Ungleichgewichten bei der Wärmeausdehnung führen. Daher werden in diesem Abschnitt die grundlegenden Indikatoren und technischen Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften von Platten aus Wolframlegierung systematisch aus drei Perspektiven untersucht: „Technologie zur Kontrolle von Dichte und spezifischem Gewicht“, „Genauigkeitsstandards für die Dimensionskontrolle“ und „Wichtige prozessbeeinflussende Faktoren“.

#### 1. Dichte und spezifisches Gewicht der Wolframlegierungsplatte

##### 1. Definition von Dichte und spezifischem Gewicht

- **Dichte** : bezieht sich auf die Masse pro Volumeneinheit, üblicherweise in  $\text{g/cm}^3$  ausgedrückt, und ist der Kernparameter zur Messung der Dichte eines Materials;
- **Schwerkraft** : bezeichnet das Verhältnis der Materialdichte zur Dichte von reinem Wasser ( $4^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ g/cm}^3$ ), wird oft als Standard für die intuitive Klassifizierung von Legierungen mit hoher Dichte verwendet.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die theoretische Dichte von Wolfram beträgt  $19,25 \text{ g/cm}^3$ , während die Dichte von Wolframlegierungsplatten im Allgemeinen von ihrer Legierungszusammensetzung und dem Verdichtungsgrad abhängt:

| Legierungstyp                    | Typischer Dichtebereich ( $\text{g/cm}^3$ ) |
|----------------------------------|---------------------------------------------|
| W-Ni-Fe                          | 17,0–18,5                                   |
| W-Ni-Cu (nicht magnetischer Typ) | 16,5–18,0                                   |
| W-Cu (wärmeleitender Typ)        | 14,5–17,0                                   |
| Nanoverstärkte Wolframlegierung  | $\geq 18,5$ (theoretisch $>99,9 \%$ dicht)  |

## 2. Technische Aspekte der Dichtekontrolle

Bei der Dichtekontrolle handelt es sich nicht nur um ein einfaches Verhältnis der Legierungskomponenten, sondern vor allem um die Einhaltung der folgenden Punkte im gesamten Herstellungsprozess:

- **Optimierung der Pulverpartikelgrößenverteilung** : Durch Anpassen des Verhältnisses von feinem zu grobem Pulver kann die Porosität wirksam reduziert werden.
- **Konsistenz des Pressvorgangs** : Beim Formen/isostatischen Pressen muss ein gleichmäßiger Druck pro Volumeneinheit aufrechterhalten werden.
- **Hochtemperatur-Sinterverdichtung** : Flüssigphasenunterstütztes Sintern oder mehrstufiges Sintern kann die Enddichte deutlich verbessern;
- **Wärmebehandlung und Verdichtungsanpassung nach dem Walzen** : Durch eine erneute Homogenisierung der Struktur nach dem Walzen kann die Dichte des Materials weiter verbessert werden.

## 3. Konsistenzanforderungen für das spezifische Gewicht

In technischen Anwendungen, insbesondere bei **Gegengewichten** und **Trägheitskomponenten**, wirkt sich die Konsistenz des spezifischen Gewichts direkt auf **das dynamische Gleichgewicht** und **die strukturelle Reaktionszeit der gesamten Maschine aus**. Gängige internationale Normen wie ASTM B777 und MIL-T-21014 enthalten strenge Vorgaben für Toleranzen des spezifischen Gewichts und verlangen im Allgemeinen Abweichungen des spezifischen Gewichts von Charge zu Charge von nicht mehr als  $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ . Bei einigen Präzisionskomponenten ist dieser Grenzwert sogar auf  $\pm 0,05 \text{ g/cm}^3$  begrenzt.

## 2. Genauigkeit der Größenkontrolle der Wolframlegierungsplatte

### 1. Übersicht der Größenparameter

Wolframlegierungsplatten weisen drei Hauptdimensionen auf:

- **Dicke** : normalerweise zwischen 0,1 mm und 50 mm, und einige Spezialprodukte können 0,05 mm erreichen;
- **Länge und Breite** : Variieren je nach Anwendung, im Allgemeinen im Bereich von 50 mm–500 mm;
- **Ebenheit und Kantenwinkel** : stehen in direktem Zusammenhang mit der Montage der Platte und der Integrität des Panels.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Maßgenauigkeitsnorm

Zu den häufig verwendeten internationalen Referenzstandards für Maßtoleranzen gehören:

| Standard Nr. | Projekt                               | Genauigkeitsgrad  | Bemerkung                                                            |
|--------------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------|
| ASTM B777    | Dicken- und Breitentoleranz           | $\pm 0,05-0,2$ mm | Klassifizierung nach Blechdicke und Walzzustand                      |
| GB/T 3876    | Länge, Diagonaldifferenz              | $\pm 0,3$ mm      | Nationale Standard-Allgemeinspezifikationen                          |
| ISO 2768-f   | Toleranzklasse für präzisierte Bleche | Bußgeld           | Für Präzisionsanwendungen wie Elektronik und medizinische Behandlung |

Einige hochwertige Platten aus Wolframlegierungen, wie sie beispielsweise in Kollimationssystemen für die Strahlentherapie oder in Strukturplatten für Nukleardetektoren verwendet werden, erfordern sogar **Laserschneiden und CNC-Fräsen**, um eine geometrische Genauigkeitskontrolle innerhalb von  $\pm 0,01$  mm zu erreichen.

## 3. Wichtige Prozessfaktoren, die die Größenkontrolle beeinflussen

- **Formgenauigkeit und Pressgleichmäßigkeit** : wirken sich direkt auf die Maßhaltigkeit des Rohlings aus;
- **Vorhersage und Kontrolle des Sinterschrumpungsverhältnisses** : Die lineare Schrumpfung während des Sinterns beträgt etwa 10–15 %, was eine genaue Berechnung erfordert;
- **Kontrolle der Walzverformung und des elastischen Rückpralls** : Beim Warm- und Kaltwalzen sollten die Materialhärtung und die Verformungskompensation vollständig berücksichtigt werden.
- **Nachbearbeitungskontrolle** : Schleifen, Polieren, Trimmen und andere Prozesse müssen mit dem Ziel der Maßgenauigkeitskontrolle koordiniert werden.

## 3. Synergistischer Einfluss von Dichte und Maßgenauigkeit

Wolframlegierungsplatten existieren nicht isoliert, sondern sind wichtige physikalische Eigenschaften, die sich gegenseitig einschränken und optimieren. Zum Beispiel:

- Eine hohe Dichte geht oft mit einer erhöhten Tendenz zur Plattenverformung einher und die Ebenheit muss durch einen angemessenen Walzweg optimiert werden.
- Wenn die Maßtoleranz verringert wird, sind auch die Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der inneren Struktur der Platte höher;
- Geringe Dickenschwankungen bei Präzisionsblechen können den Einfluss auf die Dichtebewertung und die Dynamik von Funktionskomponenten verstärken.

Daher muss sich das „**Dichte-Größen-** Zweidimensional-Kontrollsystem“ von Wolframlegierungsplatten in der industriellen Praxis normalerweise auf **numerische Simulationen** (wie etwa thermische Verformungsanalyse mit finiten Elementen), **intelligente Messgeräte** (Laserinterferometer, Dreikoordinatenmessgerät) und **Qualitätsmanagementsysteme** (wie etwa ISO 9001, AS9100) stützen, um sicherzustellen, dass das Endprodukt die hohen Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllt.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### IV. Zusammenfassung

Die Dichte und das spezifische Gewicht von Wolframlegierungsplatten sind wichtige Indikatoren für die Bewertung ihrer allgemeinen physikalischen Stabilität und strukturellen Festigkeit, während die Genauigkeit der Maßkontrolle ihre Anpassungsfähigkeit und Austauschbarkeit in High-End-Fertigungssystemen bestimmt. Vor dem Hintergrund der Entwicklung neuer Materialien mit hoher Leistung, Mikrostruktur und Integration entwickelt sich die Technologie zur Dichte- und Maßkontrolle von Wolframlegierungsplatten kontinuierlich in Richtung „**hoher Dichte, hoher Präzision und intelligenter Fertigung**“.

#### 2.2 Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchzähigkeit

Als Hochleistungs-Konstruktionswerkstoff bestimmen die mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsplatten wie **Zugfestigkeit**, Streckgrenze **und** Bruchzähigkeit direkt ihre Anwendbarkeit, Sicherheit und Langlebigkeit bei äußeren Belastungen und hohen Temperaturen. In Anwendungen wie der Luft- und Raumfahrt, der Hochenergiephysik und Schutzpanzerungen muss das Material nicht nur eine hohe Festigkeit aufweisen, sondern auch unter extremen Bedingungen wie Spannungskonzentration, Stoßbelastungen und thermischer Ermüdung seine strukturelle Integrität bewahren. Daher ist ein umfassendes Verständnis des mechanischen Reaktionsverhaltens von Wolframlegierungsplatten eine zentrale Grundlage für deren Konstruktion, Herstellung und technische Anwendung.

#### 1. Grundlegende Definition von Zugfestigkeit und Streckgrenze

- **Festigkeit (UTS):** Dies ist die maximale Spannung, der ein Material unter einachsiger Spannung standhalten kann. Die Einheit ist MPa oder ksi und spiegelt die maximale Tragfähigkeit des Materials wider.
- **Festigkeit (YS):** Bezieht sich auf den Spannungswert, bei dem das Material unter Einwirkung äußerer Kräfte eine plastische Verformung zu erzeugen beginnt. Dies ist ein wichtiger Indikator für die Sicherheitsgrenze der entworfenen Struktur.

Aufgrund der hohen Dichte und der starken Metallbindung ist der Festigkeitswert von Wolframlegierungsplatten deutlich höher als bei herkömmlichen Strukturlegierungen. Typische Parameter sind:

| Legierungssystem                 | Zugfestigkeit (MPa) | Streckgrenze (MPa) | Bemerkung                                          |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------------------------|
| W-Ni-Fe                          | 700–1000            | 500–750            | Unter normalen Temperaturbedingungen               |
| W-Ni-Cu (nicht magnetischer Typ) | 600–850             | 450–700            | Etwas bessere Duktilität                           |
| Nano W-Legierungsplatte          | >1000               | >850               | Partikelgröße <500 nm, mit Verstärkungsmechanismus |

**Hinweis :** Die tatsächlichen mechanischen Eigenschaften variieren je nach Legierungsanteil, Wärmebehandlungsstatus, Plattendicke und Mikrostruktur und unterliegen Prüfnormen (wie ASTM E8/E8M, GB/T 228.1).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Analyse des mikroskopischen Intensitätsmechanismus

Die Wolframlegierungsplatte wird hauptsächlich durch die folgenden Faktoren bestimmt:

1. **Wolframmatrix** : Gemäß der Hall-Petch-Beziehung ist die Streckgrenze umso höher, je feiner das Korn ist. Nanokristalline Wolframlegierungen weisen aufgrund ihrer ultrafeinen Kornstruktur eine außergewöhnliche Festigkeit auf.
2. **Mehrphasige Metallbindungsphase (Ni, Fe, Cu)** : bildet während des Sinterprozesses eine kontinuierliche oder netzartige Verteilung, bildet eine Übergangsphasenschnittstelle mit Wolframpartikeln und verbessert die Plastizität;
3. **Porosität und Defektkontrolle** : Eine hohe Dichte (>98,5 %) kann die Entstehung von Mikrorissen reduzieren und die Zugfestigkeit verbessern;
4. **Restspannung und Wärmebehandlungsstatus** : Restspannungen durch Warmbearbeitung oder Walzen verringern die Festigkeitsgleichmäßigkeit und eine Glühbehandlung hilft, die Festigkeit zu stabilisieren.
5. **Elementverstärkungsmechanismus** : Durch Hinzufügen von Re, Mo usw. kann eine Verstärkungsphase gebildet, Versetzungsbewegungen verhindert und die Streckgrenze erhöht werden.

## 3. Bruchzähigkeit und Bruchverhalten

### 1. Definition und Bedeutung

**Die Bruchzähigkeit ( $K_{IC}$ )** beschreibt die Widerstandsfähigkeit eines Materials gegen Bruch bei Kerben oder Rissen. Sie ist ein zentraler Parameter zur Messung der strukturellen Sicherheitsredundanz. Die Einheit ist  $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ .

Wolframlegierungen weisen eine hohe Festigkeit auf, ihre Bruchzähigkeit ist jedoch aufgrund der Sprödigkeit der Wolframmatrix selbst deutlich geringer als die von Titan- oder Aluminiumlegierungen. Daher ist es besonders wichtig, die Zähigkeitsleistung in den Bereichen Schutz und struktureller Aufprall zu optimieren.

### 2. Typische Zähigkeitsparameter

| Legierungstyp                     | Bruchzähigkeit $K_{IC}$<br>( $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ) | Bemerkung                                                   |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Gewöhnliche W-Ni-Fe-Platte        | 15–25                                                            | Normaler Temperaturtestwert                                 |
| Veredelte W-Ni-Cu-Platte          | 20–30                                                            | Nicht magnetischer Typ, etwas bessere Duktilität            |
| Nanoverstärkte W-Legierungsplatte | 30–45                                                            | Ultrafeine Kornverfestigung, deutlich verbesserte Zähigkeit |

### 3. Rissausbreitungsmechanismus

Eine Wolframlegierungsplatte weist unter Zugbelastung folgende Eigenschaften auf:

- **Hohe Spröd-Duktil-Übergangstemperatur** : Die meisten W-Legierungsplatten weisen bei Raumtemperatur einen quasi-spröden Bruch auf;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Rissablenkungsmechanismus** : Die Ni/Cu-Bindungsphase in der Mehrphasenstruktur kann die Rissausbreitungsenergie teilweise absorbieren, was zu einer Ablenkung führt.
- **Eine feinkörnige Wolframlegierungsplatte weist eine Quasi-Spaltungsebene auf** : Ein Teil davon weist eine zusammengesetzte Art von Grübchenspaltung auf.

Um die Bruchzähigkeit zu verbessern, werden häufig folgende Methoden eingesetzt:

- Kontrollieren Sie die Größenverteilung der Pulverpartikel, um Spannungskonzentrationen durch große Partikel zu vermeiden.
- Verbessern Sie die Kontinuität und Zähigkeit der Bindungsphase;
- Nachdem die Platte wärmebehandelt wurde, wird ein „gerichtetes Walzen“ durchgeführt, um die Risse entlang der Schnittstelle zu passivieren.

#### 4. Prüfmethoden und Normen für mechanische Eigenschaften

1. **Zugfestigkeitstest** : unter Verwendung von Standard-Hantelproben gemäß den Standards ASTM E8 oder GB/T 228.1;
2. **Bruchzähigkeitstest** : Normalerweise werden einkantige Kerbbalkenproben (SENB) oder kompakte Proben (CT) verwendet, siehe ASTM E399;
3. **Kontrolle der Testbedingungen** :
  - Temperatur: Raumtemperatur bis hohe Temperatur (300 °C–800 °C);
  - Richtungsabhängigkeit: Der Leistungsunterschied zwischen der Blechdickenrichtung und der Walzrichtung ist erheblich.
  - Rissgröße/Belastungsrate usw.

#### 5. Vergleichende Analyse mit anderen hochfesten Werkstoffen

| Materialtyp                       | Zugfestigkeit (MPa) | Bruchzähigkeit (MPa·m <sup>1/2</sup> ) | App-Bewertungen                                                                                  |
|-----------------------------------|---------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titanlegierung Ti-6Al-4V          | ~900                | ~50–60                                 | Hervorragende Gesamtleistung, geeignet für Luftfahrtstrukturen                                   |
| Hochfeste Aluminiumlegierung 7075 | ~600                | ~25–35                                 | Geringe Dichte, aber nicht so stark wie Wolframlegierung                                         |
| Wolframlegierungsplatte (W-Ni-Fe) | 800–1000            | 20–30                                  | Hohe Dichte und hohe Festigkeit, geeignet für Trägheits- und Schutzstrukturen                    |
| Wolfram-Kupfer-Verbundplatte      | ~600                | ~15                                    | Gute Wärmeleitfähigkeit, aber etwas geringere Zähigkeit, geeignet für Wärmeableitungskomponenten |

Wolframlegierungsplatten übertreffen Aluminium- und Titanlegierungen in Festigkeit und spezifischem Gewicht bei weitem, weisen jedoch eine etwas geringere Zähigkeit auf. Sie eignen sich für **Strukturteile mit kompakter Größe, großen Lasten und hohen Anforderungen an die sofortige Aufprallreaktion**, wie z. B. Gegengewichte in der Luft- und Raumfahrt, Schutzvorrichtungen für Kernreaktoren und panzerbrechende Projektilstrukturen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten zeichnen sich durch hohe Zug- und Streckgrenzen aus, behalten dabei aber gleichzeitig ein hohes spezifisches Gewicht und eine hohe Hitzebeständigkeit bei und optimieren gleichzeitig kontinuierlich ihre Bruchzähigkeit. Durch verfeinerte Kornkontrolle, Bindungsphasengestaltung und verbesserte Wärmebehandlungsverfahren haben moderne Wolframlegierungsplatten schrittweise eine umfassende strukturelle Fähigkeit entwickelt, die hohe Festigkeit mit kontrollierter Zähigkeit in Einklang bringt. Dies macht sie zu unersetzlichen Materialvorteilen in Schlüsselbereichen wie Verteidigung, Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik und Elektronik Kühlung.

### 2.3 Härte und Verschleißfestigkeit

Als fortschrittliches Metallmaterial mit hoher Dichte, hoher Festigkeit, Hitzebeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit sind **Härte** und **Verschleißfestigkeit** von Wolframlegierungsplatten wichtige Parameter zur Messung ihrer Lebensdauer und strukturellen Stabilität, insbesondere in den Bereichen sich schnell bewegender Teile, Aufprallkontaktflächen, starker Reibung usw. Diese beiden Eigenschaften werden nicht nur durch die Mikrostruktur des Materials selbst gesteuert, sondern hängen auch eng mit seiner Zusammensetzung, dem Herstellungsprozess und dem Status der Oberflächenbehandlung zusammen.

#### 1. Härtebasis der Wolframlegierungsplatte

##### 1. Härte definition und gängige Einheiten

Härte bezeichnet die Widerstandsfähigkeit eines Materials gegenüber lokaler plastischer Verformung, Eindrücken oder Kratzern. Die Härte von Wolframlegierungsplatten wird üblicherweise wie folgt ausgedrückt:

- **Brinellhärte (HB)** : Gilt für dicke Wolframplatten und spiegelt den allgemeinen Härtungszustand wider.
- **Vickershärte (HV)** : geeignet für Präzisionsmessungen, insbesondere für die Mikrostrukturforschung;
- **Rockwell-Härte (HRC/HRB)** : Geeignet für die schnelle Prüfung von Legierungsplatten mittlerer Härte vor Ort.

#### 2. Üblicher Härtebereich von Wolframlegierungsplatten

| Legierungstyp                                   | Typischer Härtebereich |
|-------------------------------------------------|------------------------|
| W-Ni-Fe-Legierungsplatte                        | 200–300 HB             |
| W-Ni-Cu-Legierungsplatte                        | 180–260 HB             |
| Hochfeste Wolframlegierungsplatte               | 320–400 HB             |
| Wolfram-Kupfer-Verbundplatte (harte Oberfläche) | 150–200 HB             |
| Nanokristalline Wolframlegierungsplatte         | ≥400 HV                |

Generell gilt: Je höher der Wolframgehalt, desto höher die Dichte und je feiner die Körner, desto höher die Härte des Materials.

#### 3. Mikroskopische Mechanismen, die die Härte beeinflussen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Die intrinsische Härte der Wolframmatrix ist extrem hoch** : Die Vickershärte von reinem Wolfram kann 350–450 HV erreichen, was dem Material eine allgemeine Widerstandsfähigkeit gegen Verformung verleiht;
- **Verstärkungseffekt der Mehrphasenstruktur** : Ni, Fe, Cu und andere Bindungsphasen werden verteilt, um die Fähigkeit zur Spannungsverteilung zu verbessern;
- **Kornverfeinerung und -verfestigung** : Der Hall-Petch-Mechanismus verbessert die Widerstandsfähigkeit gegen mikroskopische Versetzungsbewegungen erheblich;
- **Auswirkungen der Wärmebehandlung** : Glühen verringert die Härte und erhöht die Duktilität; Lösungshärtung und Alterungsbehandlungen erhöhen die Gesamthärte.

## 2. Verschleißfestigkeit der Wolframlegierungsplatte

### 1. Definition und Bedeutung der Verschleißfestigkeit

**physischer Verschleiß, Oberflächenablösung oder Mikroschnittschäden** während der Kontaktbewegung. Aufgrund ihrer hohen Härte, ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer starken metallischen Bindung werden Platten aus Wolframlegierungen häufig in Reibungskomponenten, Formschablonen, rotierenden Lagerringen und anderen Anwendungen verwendet, bei denen sie **trotz Trockenreibung, hoher Belastung und korrosiver Medien eine niedrige Verschleißrate aufrechterhalten müssen**.

### 2. Analyse des Verschleißwiderstandsmechanismus

Bei Wolframlegierungsplatten dominieren vor allem die folgenden Mechanismen:

- **Die hochharte Phase dominiert die Verschleißfestigkeit** : Wolframkörner selbst haben eine hohe Härte, die Schnitte durch Fremdpartikel oder Werkzeuganten wirksam verhindern kann;
- **Verschleißkontrollfunktion der Bindungsphase** : Obwohl Metallphasen wie Ni und Cu relativ weich sind, können sie Stoßbelastungen abpuffern und die Stoßverschleißfestigkeit verbessern.
- **Die Kontrolle von Porosität und Defekten ist entscheidend** : Je mehr Mikroporen vorhanden sind, desto anfälliger ist die Oberfläche für Ermüdungsablösung.
- **Mechanismus zur Verbesserung der Oberflächenbehandlung** : Wenn die Wolframlegierungsplatte mittels Plasmanitrieren, galvanischem Nickel und Aufsprühen einer Keramikschicht behandelt wird, kann die Verschleißfestigkeit erheblich verbessert werden.

### 3. Typische Verschleißfestigkeitstests und Daten

Zu den üblichen Tests gehören:

- **Trockenreibungstest (Stift-auf-Scheibe)** : Bestimmung der Verschleißvolumenrate und des Reibungskoeffizienten;
- **Schleifscheiben-Verschleißtest (ASTM G65)** : dient zur Bewertung der Erosions- und Kratzfestigkeit;
- **Hochgeschwindigkeits-Aufprallverschleißtest** : simuliert eine ballistische Erosionsumgebung (z. B. Reibungswärme des panzerbrechenden Projektilkerns).

Nachfolgend einige Beispiele für Testergebnisse:

| Materialtyp                                | Verschleißrate<br>(mm <sup>3</sup> / N·m ) | Reibungskoeffizient | Testbedingungen                                              |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------|
| W-Ni-Fe-Platine                            | $2,1 \times 10^{-6}$                       | 0,18                | Trockenreibung, 20 N, RT                                     |
| Oberflächenoxidation<br>W-Legierungsplatte | $1,3 \times 10^{-6}$                       | 0,12                | Die Oxidschicht ist etwa 2 µm dick                           |
| Gesprühte<br>Zirkonoxid-W-Verbundplatte    | $0,8 \times 10^{-6}$                       | 0,10                | Keramikschiicht verbessert die Verschleißfestigkeit deutlich |

### 3. Technische Maßnahmen zur Verbesserung der Härte und Verschleißfestigkeit

#### 1. Optimierung des Materialdesigns :

- Erhöhen Sie den Wolframgehalt und kontrollieren Sie das Verhältnis der Bindungsphase.
- Fügen Sie verstärkende Elemente hinzu (wie Mo, Co, Re);
- Mechanismus zur Verstärkung der Nanopartikeldispersion;

#### 2. Mikrostrukturkontrolle und Wärmebehandlung :

- Mehrstufiges Sintern verbessert die Dichte;
- Durch schnelles Abkühlen oder temperaturkontrolliertes Glühen werden grobe Körner reduziert;

#### 3. Oberflächenbehandlungstechnologie :

- Plasmanitrieren oder Siliziumnitridbeschichtung;
- Aufsprühen einer Hartmetallschicht oder Keramikschiicht;
- Durch Laser-Oberflächenbeschichtung entsteht eine dichte Beschichtung.

#### 4. Verbundstrukturdesign :

- verschleißfeste keramische Verbundstrukturplatten wie W-TiC und W-ZrO<sub>2</sub>;
- Lokale Härtungsbehandlung zum Aufbau einer Oberfläche mit Härtegradienten.

### 4. Typische Anwendungsfälle

- **Kühlkörperplatte für elektronische Geräte** : erfordert eine hohe Härte und Kratzfestigkeit;
- **Kugelsichere und explosionssichere Strukturschicht** : Die Schlag- und Verschleißfestigkeit ist deutlich besser als bei Stahl.
- **Hochgeschwindigkeitsverarbeitungs-Formauskleidung** : beständig gegen Hochfrequenzschneiden und thermischen Ermüdungverschleiß;
- **Schnittstellenkarte für Flugzeuginstrumente** : muss häufigen thermisch-mechanischen Kopplungsbelastungen standhalten;

Platten aus Wolframlegierungen bieten erhebliche Vorteile beim Ersetzen herkömmlicher verschleißfester Metalle wie Legierungen mit hohem Kobaltgehalt, Edelstahl und Legierungen auf Nickelbasis.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten sind aufgrund ihrer hohen Härte und Verschleißfestigkeit in einer Vielzahl von High-End-Fertigungs- und extremen Arbeitsbedingungen von unschätzbarem Wert. Ihre Härte wird durch die Mikrostruktur, die Legierungszusammensetzung und den Wärmebehandlungszustand beeinflusst, während ihre Verschleißfestigkeit das Ergebnis einer koordinierten Optimierung von Härte, Bindephasendesign und Oberflächentechnik ist. Durch nanostrukturierte Mikrostrukturkontrolle, intelligente Oberflächenbehandlung und die Integration multifunktionaler Verbundwerkstoffe wird das Anwendungspotenzial von Wolframlegierungsplatten in Präzisionsverschleißfestigkeits- und Schwerlastreibungsszenarien zukünftig weiter ausgebaut.

## 2.4 Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient und Hochtemperaturstabilität

Wolframlegierungsplatten werden aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit und ausgezeichneten Hochtemperaturstabilität häufig in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie, der Elektronik Kühlung und anderen Bereichen eingesetzt. **Die Wärmeleitfähigkeit, die Wärmeausdehnungseigenschaften und die mechanischen Hochtemperatüreigenschaften des Materials** stehen in direktem Zusammenhang mit seiner Lebensdauer und Sicherheit in komplexen thermischen Umgebungen. Daher konzentriert sich dieser Abschnitt auf die Analyse dieser Leistungsindikatoren und Einflussfaktoren.

### 1. Wärmeleitfähigkeit

#### 1. Definition und Bedeutung der Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt die Fähigkeit eines Materials, Wärmeenergie zu leiten. Die Einheit ist üblicherweise  $W/(m \cdot K)$ . Bei Wolframlegierungsplatten trägt eine hohe Wärmeleitfähigkeit dazu bei, Wärme schnell abzuleiten, thermische Spannungsansammlungen zu vermeiden und thermische Ermüdung und Rissbildung des Materials zu verhindern.

#### 2. Wärmeleitfähigkeitseigenschaften von Wolframlegierungsplatten

- Die Wärmeleitfähigkeit von reinem Wolfram ist extrem hoch, etwa  $170\text{--}180 W/(m \cdot K)$  (bei Raumtemperatur);
- Bei einer Wolframlegierung nimmt die Wärmeleitfähigkeit ab, bleibt aber immer noch auf einem hohen Niveau, normalerweise  $50\text{--}100 W/(m \cdot K)$ ;
- W-Cu-Verbundplatten aus Wolframlegierungen weisen eine bessere Wärmeleitfähigkeit auf. Bei manchen Materialien kann die Wärmeleitfähigkeit  $200 W/(m \cdot K)$  überschreiten, sodass sie sich für effiziente Wärmemanagementanwendungen eignen.

#### 3. Faktoren, die die Wärmeleitfähigkeit beeinflussen

- **Legierungszusammensetzung** : Die hohe Wärmeleitfähigkeit von Kupfer verbessert die Wärmeleitfähigkeit der Legierung erheblich;
- **Dichte** : Hohe Porosität reduziert die Wärmeleitfähigkeit;
- **Mikrostruktur** : Korngröße und Grenzflächenstreuung beeinflussen die Wärmestromübertragung;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Temperaturänderungen** : Im Allgemeinen nimmt die Wärmeleitfähigkeit mit steigender Temperatur ab.

## 2. Wärmeausdehnungskoeffizient

### 1. Definition des Wärmeausdehnungskoeffizienten

Der Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE) gibt das Verhältnis der Maßänderung eines Materials bei Temperaturänderungen an und hat die Einheit  $10^{-6} / \text{K}$ . Ein richtig angepasster CTE ist entscheidend, um thermische Spannungskonzentrationen und Strukturversagen zu vermeiden.

### 2. Wärmeausdehnungseigenschaften von Wolframlegierungsplatten

- Reines Wolfram hat einen niedrigen WAK von etwa  $4,5\text{--}5,0 \times 10^{-6} / \text{K}$  (Raumtemperatur bis  $100^\circ\text{C}$ ).
- Durch die Zugabe von Legierungselementen wie Ni, Fe und Cu erhöht sich der WAK, üblicherweise im Bereich von  $6\text{--}8 \times 10^{-6} / \text{K}$ ;
- Aufgrund des hohen Kupferanteils kann der WAK von W-Cu-Verbundplatten  $12\text{--}16 \times 10^{-6} / \text{K}$  erreichen, daher sollte auf die Abstimmung mit den Verbindungsmaterialien geachtet werden.

## 3. Technische Bedeutung

Der Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE) entspricht nicht dem anderer Materialien, was leicht zu thermischer Spannung, Grenzflächendelamination und struktureller Verformung führen kann. Eine strenge Kontrolle ist insbesondere in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Kernenergie mit häufigen thermischen Zyklen erforderlich.

## 3. Hohe Temperaturbeständigkeit

### 1. Hohe Temperaturfestigkeit und Stabilität

Wolframlegierungsplatten behalten auch bei hohen Temperaturen ihre hervorragenden mechanischen Eigenschaften, was ihr wichtiger Vorteil ist:

- Die Hochtemperaturzugfestigkeit kann bei 60–80 % der Raumtemperatur aufrechterhalten werden;
- Die thermische Erweichungstemperatur übersteigt  $1200^\circ\text{C}$  und ist für den Einsatz in Umgebungen mit hohen Temperaturen geeignet.
- Die Schmelzpunkte von Elementen wie Ni und Fe in der Legierung sind viel niedriger als die von Wolfram, was die Hochtemperaturgrenze begrenzt.

### 2. Thermisches Oxidationsverhalten

Wolfram und Wolframlegierungen neigen in Oxidationsumgebungen mit hohen Temperaturen zur Bildung spröder Oxidschichten, was ihre Lebensdauer beeinträchtigt:

- Normalerweise ist eine **Schutzschicht** oder eine **inerte Atmosphäre erforderlich**, um die Oxidation zu verlangsamen.
- Durch Nanobeschichtungstechnologie und Verbundwerkstoffdesign kann die Oxidationsbeständigkeit wirksam verbessert werden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### IV. Fazit

Wolframlegierungsplatten bieten eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit und einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten und eignen sich daher für den Einsatz in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hohem Wärmestrom. Durch Legierungsdesign und Oberflächenbehandlung werden die Hochtemperaturstabilität und Oxidationsbeständigkeit des Materials kontinuierlich verbessert, um den vielfältigen industriellen Anforderungen gerecht zu werden.

### 2.5 Elektrische Eigenschaften, magnetisches Verhalten und Strahlungsbeständigkeit

Wolframlegierungsplatten sind nicht nur für ihre hervorragenden mechanischen und thermischen Eigenschaften bekannt, sondern bieten auch einzigartige Vorteile in den Bereichen Elektronik, Elektromagnetik und Kernenergie. Ihre **elektrischen Eigenschaften**, ihr **magnetisches Ansprechverhalten** und ihre **Strahlungsbeständigkeit** sind die grundlegenden Indikatoren, die ihre Leistungsstabilität und Sicherheit in wichtigen Anwendungen wie Hightech-Geräten, Kernreaktorstrukturen und Schutzmaterialien bestimmen.

#### 1. Elektrische Eigenschaften

##### 1. Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand

- Wolfram selbst ist ein Übergangsmetall mit hoher elektrischer Leitfähigkeit, aber nach der Legierung nimmt seine elektrische Leitfähigkeit aufgrund der Dotierung mit Elementen wie Ni, Fe und Cu ab.
- Der spezifische Widerstand von Wolframlegierungsplatten liegt im Allgemeinen zwischen 5 und 15  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$  (bei Raumtemperatur) und ist damit viel höher als der von reinem Kupfer (etwa 1,68  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ), aber niedriger als der von Keramikmaterialien.
- Der spezifische Widerstand wird durch die Legierungszusammensetzung, das Herstellungsverfahren, die Korngröße und die Temperatur beeinflusst. Bei steigender Temperatur weist der spezifische Widerstand normalerweise einen positiven Temperaturkoeffizienten auf.

##### 2. Technische Bedeutung elektrischer Eigenschaften

- In elektronischen Wärmeableitungsstrukturen können Wolframlegierungsplatten aufgrund ihrer guten elektrischen und thermischen Leitfähigkeit die Überhitzung elektronischer Komponenten wirksam reduzieren.
- Bei bestimmten Anwendungen zur elektromagnetischen Abschirmung sind die Widerstandseigenschaften von Wolframlegierungsplatten auch bei der Reduzierung elektromagnetischer Störungen von Vorteil.

#### 2. Magnetische Reaktionseigenschaften

##### 1. Magnetischer Typ

- Wolfram und die meisten Wolframlegierungen sind paramagnetisch oder schwach diamagnetisch. Die Zugabe von Ni und Fe kann eine magnetische Reaktion hervorrufen,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

der Ferromagnetismus in tatsächlichen Legierungen wird jedoch normalerweise durch die hohe Dichte und Kristallstruktur von Wolfram unterdrückt.

- Die W-Ni-Fe-Legierung weist unter bestimmten Verhältnissen einen schwachen Magnetismus auf und wird hauptsächlich in Spezialanwendungen eingesetzt, bei denen die magnetischen Eigenschaften kontrolliert werden müssen.

## 2. Magnetische Leistungsparameter

- Die magnetische Permeabilität ist gering und für Hochfrequenzelektronik und Hochfrequenzgeräte geeignet.
- Die magnetische Sättigungsintensität ist gering, wodurch drastische Änderungen der Materialeigenschaften durch Magnetfelder vermieden werden.
- Bestimmte nicht magnetische Wolframlegierungen (wie W-Ni-Cu) werden in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Medizin häufig verwendet, um Störungen durch magnetische Felder zu vermeiden.

## 3. Strahlungsbeständigkeit

### 1. Strahlungsresistenzmechanismus

- Wolframlegierungsplatten haben eine sehr hohe Ordnungszahl ( $Z=74$ ) und eine hohe Dichte und können Gammastrahlen, Röntgenstrahlen und Neutronenstrahlung wirksam blockieren und absorbieren.
- Seine stabile Gitterstruktur und starke Bindungskraft ermöglichen es ihm, die Materialintegrität in einer Umgebung mit hochenergetischer Strahlung aufrechtzuerhalten und die durch Strahlung verursachte Materialausdehnung, Versprödung oder Verschlechterung zu verringern.
- Elemente wie Ni und Fe in der Legierung können die Fähigkeit zur Reparatur von Strahlenschäden verbessern.

### 2. Anwendungsszenarien

- Als Schutzabschirmmaterial in Kernreaktoren absorbiert es effektiv Neutronen und Gammastrahlen;
- Schutzhüllen für medizinische Strahlengeräte und Komponenten von Strahlentherapiegeräten;
- Strahlenschutz für elektronische Geräte von Raumfahrzeugen.

### 3. Leistungsstabilität in Strahlungsumgebung

- Experimente zeigen, dass sich die mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungen nach hochdosierter Bestrahlung kaum ändern und die mikrostrukturellen Schäden begrenzt sind.
- Um die Oxidationsbeständigkeit und Strahlungstoleranz weiter zu verbessern, muss die Oberflächenbeschichtungstechnologie kombiniert werden.

## 4. Fazit:

Wolframlegierungsplatten zeichnen sich durch eine hervorragende elektrische Leistungsanpassung,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

geringe magnetische Reaktion und hervorragende Strahlungsbeständigkeit aus und erfüllen damit die Anforderungen vieler anspruchsvoller Bereiche wie der elektronischen Wärmeableitung, des Kernenergieschutzes und der Luft- und Raumfahrt. Durch die Optimierung der Materialzusammensetzung und der Verbundstruktur wird ihre Leistung in elektromagnetischen und Strahlungsumgebungen noch weiter verbessert und bietet ein breites Entwicklungspotenzial für die Zukunft.

## 2.6 Analyse der Korrosionsbeständigkeit und chemischen Stabilität

Wolframlegierungsplatten sind in industriellen Anwendungen häufig komplexen Umweltbedingungen wie Feuchtigkeit, atmosphärischer Oxidation, Säure-Basen-Korrosion und Hochtemperaturoxidation ausgesetzt. Ihre **Korrosionsbeständigkeit** und **chemische Stabilität** sind entscheidend für einen langfristig stabilen Betrieb und eine lange Lebensdauer des Materials. Dieser Abschnitt analysiert systematisch die Korrosionsbeständigkeit, die chemischen Reaktionsmechanismen und die damit verbundenen Schutzstrategien von Wolframlegierungsplatten.

### 1. Korrosionsbeständigkeitseigenschaften von Wolframlegierungsplatten

#### 1. Chemische Stabilität von

**Wolfram:** Wolframmetall selbst besitzt eine hohe Korrosionsbeständigkeit, insbesondere in neutralen und leicht alkalischen Umgebungen. Der hohe Schmelzpunkt und die starke Bindungsstärke von Wolfram verlangsamen seine Reaktionsgeschwindigkeit in den meisten sauren und alkalischen Lösungen, wodurch sich auf seiner Oberfläche ein dichter Oxidfilm bildet, der Schutz bietet.

#### 2. Einfluss von Legierungselementen

Wolframlegierungen enthalten üblicherweise Legierungselemente wie Nickel, Eisen und Kupfer. Die Korrosionsbeständigkeit dieser Elemente ist relativ gering und kann insbesondere in stark korrosiven Medien wie Chloridionen und Schwefelsäure zum Ausgangspunkt von Korrosion werden.

#### 3. Korrosionsverhalten

• Porosität und Mikrorisse können leicht zu lokaler Korrosion führen und Spannungsrisskorrosion (SCC) fördern.

### 2. Chemische Stabilität und Korrosionsmechanismus

#### 1. Atmosphärische Oxidation:

Wolframlegierungen sind bei Raumtemperatur sehr beständig gegen atmosphärische Oxidation. Auf der Oberfläche kann sich ein dichter Wolframoxidfilm ( $\text{WO}_3$ ) bilden, der das Metall im Inneren vor weiterer Oxidation schützt. Bei hohen Temperaturen beschleunigt sich jedoch die Oxidationsrate, was zu einer Verdickung des Oxidfilms und Sprödigkeit führt.

#### 2. Säure- und Alkalikorrosion

- **Saure Umgebung** : wie Salpetersäure, Salzsäure usw. kann die Oberfläche der Wolframlegierung auflösen oder es kann zu Wasserstoffversprödung kommen, und die Ni- und Fe-Phasen sind anfälliger für Korrosion;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Alkalische Umgebung** : Wolfram und seine Oxide sind im Allgemeinen stabil und empfindlich gegenüber alkalischer Korrosion, einige starke Basen wie Natriumhydroxid können jedoch in hohen Konzentrationen die Materialoberfläche dennoch beschädigen.

### 3. Elektrochemische Korrosion

: Wolframlegierungen können in Elektrolytmedien einen Mikrobatterieeffekt entwickeln, der zu erhöhter lokaler Korrosion führt. Die Wolframphase fungiert als Kathode und die Legierungsbindungsphase kann als Anode fungieren und einen Korrosionsstrom bilden.

## 3. Technische Maßnahmen zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit

### 1. Optimierung des Materialdesigns

- Erhöhen Sie den Wolframgehalt und reduzieren Sie den Anteil der korrosionsempfindlichen Phase.
- Zur Verbesserung der Gesamtstabilität werden korrosionsbeständige Elemente wie Molybdän und Chrom hinzugefügt.

### 2. Oberflächenschutztechnologie

- Durch die Oberflächenoxidationsbehandlung wird ein schützender Oxidfilm gebildet.
- Tragen Sie eine Korrosionsschutzbeschichtung (Keramik, Metallverbindung) auf.
- Durch die Galvanisierung von Metallschichten wie Nickel und Chrom kann die Korrosionsbeständigkeit der Oberfläche verbessert werden.

### 3. Umweltkontrolle

- Vermeiden Sie den Kontakt mit hochkonzentrierten ätzenden Medien.
- Kontrollieren Sie Temperatur und Luftfeuchtigkeit, um das Risiko elektrochemischer Korrosion zu verringern.

### 4. Prozessverbesserung

- Verbessern Sie die Dichte und reduzieren Sie Poren und Mikrorisse;
- Verfeinerte Wärmebehandlung zur Verbesserung der Gewebeeinheitlichkeit.

## 4. Beispiele für Korrosionsschutz in typischen Anwendungen

- **Nuklearindustrie** : Bei der Verwendung von Schutzmaterialien aus Wolframlegierungen wird häufig eine inerte Atmosphäre oder Vakuumverpackung verwendet, um Oxidationskorrosion zu verhindern.
- **Medizinische Geräte** : Strahlentherapiegeräte aus Wolframlegierungen müssen streng biokompatibel und korrosionsbeständig sein und werden häufig durch bioinerte Beschichtungen geschützt.
- **Luft- und Raumfahrt** : In Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit ist zur Verbesserung der Materialstabilität eine Oberflächennitrierung oder das Aufsprühen korrosionsbeständiger Beschichtungen erforderlich.

## V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten weisen aufgrund ihres hohen Wolframgehalts und ihrer stabilen Gitterstruktur in den meisten Umgebungen eine gute Korrosionsbeständigkeit und chemische Stabilität auf. Durch Legierungsdesign, Oberflächenbehandlung und Umweltkontrolle kann der Korrosionsprozess wirksam gehemmt werden, um den langfristigen zuverlässigen Betrieb des Materials unter rauen Arbeitsbedingungen zu gewährleisten.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

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

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

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

#### 100,000+ customers

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

#### Service commitment

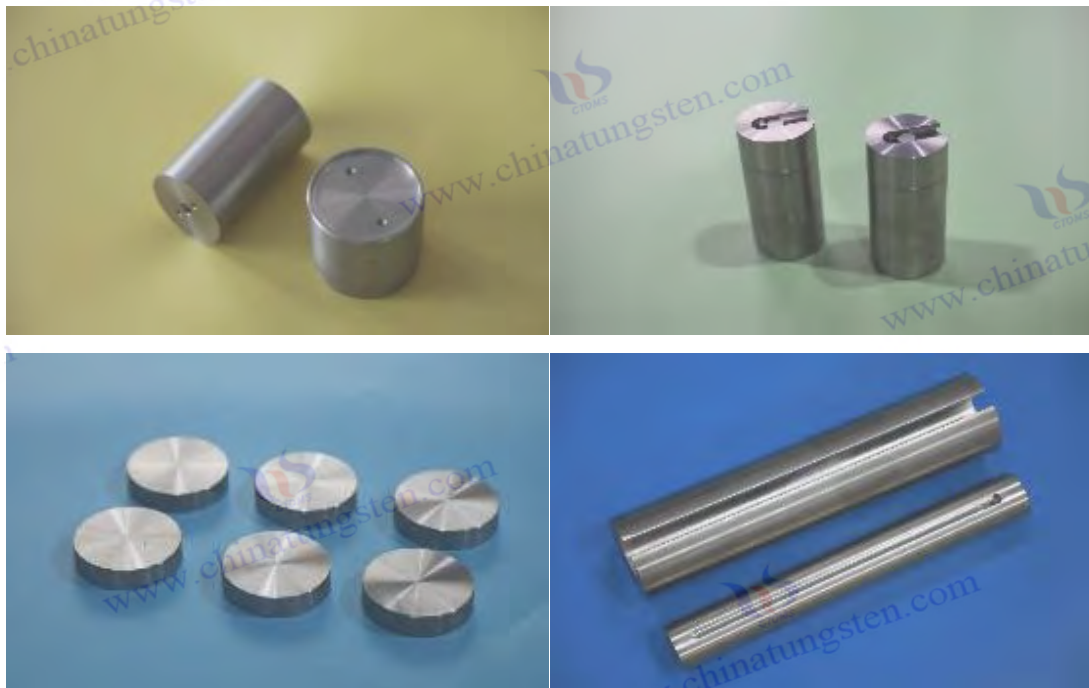
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

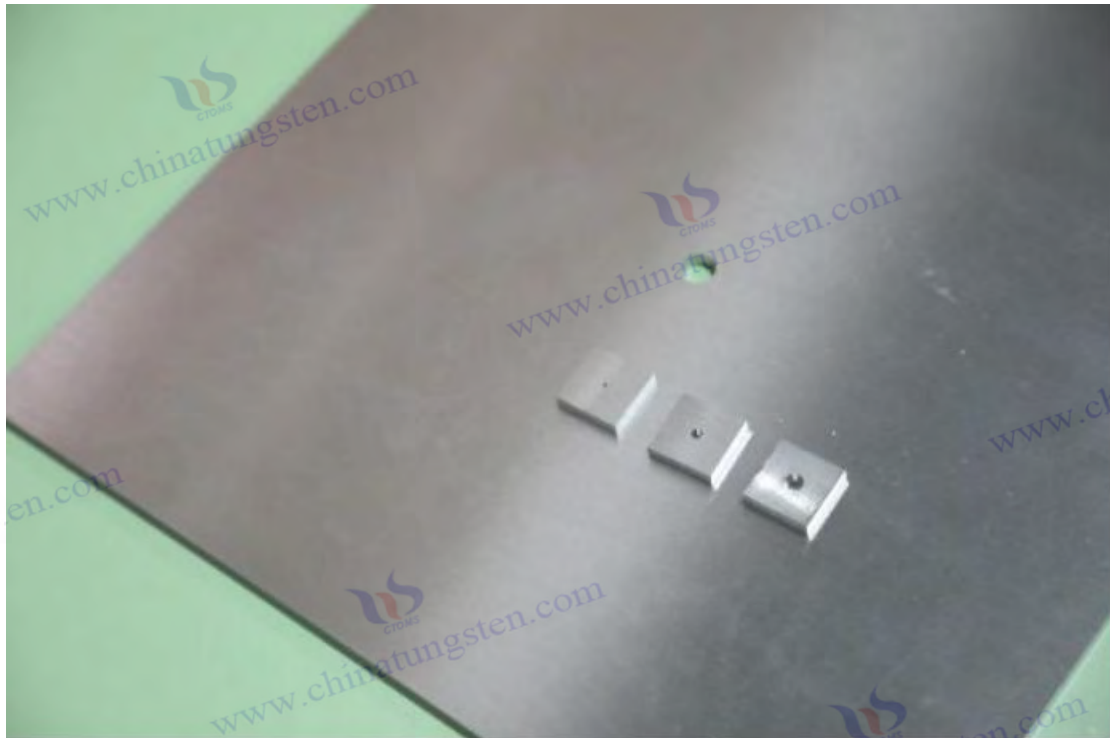
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



## Kapitel 3 Herstellungs- und Formtechnologie von Wolframlegierungsplatten

### 3.1 Rohstoffauswahl und Verarbeitung von Wolframpulver und Bindemetall

Bei Wolframlegierungsplatten liegt der Schwerpunkt auf der Auswahl und Verarbeitung der Rohstoffe, insbesondere der Qualität des Wolframpulvers und seines Bindemetallpulvers, die direkt die Leistungsstabilität und die Umformungseffizienz der endgültigen Legierungsplatte bestimmen. In diesem Abschnitt werden die Eigenschaften von Wolframpulver, die Arten und Funktionen der Bindemetalle sowie die Technologie zur Rohstoffvorbehandlung detailliert vorgestellt.

#### 1. Auswahl und Eigenschaften von Wolframpulver

##### 1. Physikalische und chemische Eigenschaften von Wolframpulver

Wolframpulver ist das Grundmaterial der Wolframlegierung und muss die folgenden grundlegenden Eigenschaften aufweisen:

- **Hohe Reinheit** : Der Wolframgehalt beträgt im Allgemeinen  $\geq 99,9\%$ , um die Auswirkungen von Verunreinigungen auf die Legierungseigenschaften zu reduzieren;
- **Geeignete Partikelgröße** : Die Partikelgrößenverteilung ist gleichmäßig, typischerweise  $1 - 10\ \mu\text{m}$ . Feines Pulver fördert die Sinterverdichtung, während grobes Pulver die Fließfähigkeit und Formgebung fördert;
- **Regelmäßige Partikelform** : Kugelförmige oder subsphärische Pulver haben eine gute Fließfähigkeit und lassen sich gleichmäßig pressen.
- **Niedriger Sauerstoffgehalt** : Vermeidet Oxide, die die Dichte und die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Herstellungsverfahren für Wolframpulver

- **Wasserstoffreduktionsverfahren** : Wolframat wird zu metallischem Wolframpulver mit kontrollierbarer Partikelgröße reduziert;
- **Carbothermische Reduktionsmethode** : Verwendung von Kohlenstoffpulver zur Reduzierung von Wolframverbindungen, was kostengünstig ist, aber eine größere Partikelgröße aufweist;
- **Sprühtrocknungsverfahren** : zur Herstellung von kugelförmigem Wolframpulver und zur Verbesserung der Fließfähigkeit;
- **Mechanisches Legieren** : Wird verwendet, um Nano-Wolframpulver herzustellen und die Verstärkungswirkung zu verbessern.

## 2. Arten und Auswahl der Verbindungsmetalle

### 1. Hauptverbindungsmetall

- **Nickel (Ni)** : Eine häufig verwendete Bindephase mit guter Benetzbarkeit und Hochtemperaturfestigkeit, die die Bindung zwischen Wolframpulvern wirksam verbessern kann;
- **Eisen (Fe)** : In Verbindung mit Nickel verwendet, kann es die Festigkeit und Härte der Legierung erhöhen und die Kosten senken;
- **Kupfer (Cu)** : Wird in bestimmten Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoffen verwendet, um die Wärmeleitfähigkeit und die elektrischen Eigenschaften zu verbessern, hat jedoch eine schlechte Bindungsfähigkeit;
- **Kobalt (Co)** : Wird in einigen Hochleistungs-Wolframlegierungen verwendet, um die Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturleistung zu verbessern.

### 2. Physikalische Anforderungen an gebundene Metalle

- Die Pulverpartikelgröße ist gleichmäßig und normalerweise feiner als Wolframpulver (0,5 – 5  $\mu\text{m}$ ).
- Hohe Reinheit, um zu vermeiden, dass Verunreinigungen zu Materialfehlern führen;
- Gute Fließfähigkeit und Mischbarkeit gewährleisten eine gleichmäßige Mischung.

## 3. Rohstoffvorbehandlungstechnologie

### 1. Pulvermischung

- Verwenden Sie mechanische Mischmethoden wie Kugelmahlen und Rühren, um sicherzustellen, dass das Wolframpulver und das Bindemetallpulver gleichmäßig verteilt sind.
- Durch die entsprechende Zugabe von Additiven kann die Dispergierbarkeit verbessert und eine Agglomeration vermieden werden.

### 2. Pulvertrocknung und Desoxygenierung

- Nach dem Mischen muss das Pulver normalerweise getrocknet werden, um Feuchtigkeit und organische Rückstände zu entfernen;
- Eine Desoxidationsbehandlung unter Vakuum oder Wasserstoffatmosphäre kann den Sauerstoffgehalt und die Oxidation während des Sinterns reduzieren.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Screening und Klassifizierung

- Kontrollieren Sie die Partikelgrößenverteilung durch Sieb- oder Luftstromklassifizierung, um eine gleichmäßige und verdichtete Pressung zu gewährleisten.
- Entfernt abnormale Partikel, die zu groß oder zu fein sind.

### 4. Qualitätskontrolle und Tests

- **Analyse der chemischen Zusammensetzung** : ICP, XRF und andere Methoden werden verwendet, um den Gehalt an Wolfram und Legierungselementen zu ermitteln.
- **Erkennung der Partikelgrößenverteilung** : Laser-Partikelgrößenanalysator oder Mikroskopanalyse;
- **Sauerstoffgehaltstest** : mittels thermischer Desorption, Kohlenstoff- und Schwefelanalyse und anderen Instrumenten zur Überwachung;
- **Fließfähigkeitstest** : Verwenden Sie ein Fließwinkel- oder Durchflussmessgerät, um die Fließfähigkeit des Pulvers zu testen.

## V. Zusammenfassung

Die Wolframlegierungsplatte basiert auf der Auswahl hochwertiger Rohstoffe wie Wolframpulver und Bindemetall sowie einem wissenschaftlich fundierten Vorbehandlungsprozess. Eine angemessene Kontrolle der Pulverpartikelgröße, Reinheit, des Sauerstoffgehalts und der Mischgleichmäßigkeit ist der Schlüssel für einen reibungslosen nachfolgenden Formungs- und Sinterprozess sowie eine stabile Produktqualität. Zukünftig wird die Leistung der Wolframlegierungsplatte durch die Entwicklung von Nanopulver und funktionalisiertem Oberflächenpulver weiter verbessert.

### 3.2 Pulvermetallurgische Herstellungsverfahren (Pressen, Isostatisches Pressen, Sintern)

Die Herstellung von Wolframlegierungsplatten basiert auf pulvermetallurgischer Technologie. Durch Mischen, Formen und Sintern von Wolframpulver und Bindemetallpulver entstehen hochdichte und leistungsstarke Legierungsplatten. Dieser Abschnitt stellt systematisch die wichtigsten Prozesse der Pulvermetallurgieherstellung und den Einfluss der Prozessparameter auf die Materialqualität vor.

#### 1. Pulvermischung und -aufbereitung

- Wolframpulver und Bindemetallpulver werden streng nach dem Verhältnis gemischt, um eine gleichmäßige Zusammensetzung zu gewährleisten.
- Verwenden Sie Verfahren wie Kugelmahlen und mechanisches Rühren, um die Pulverdispergierbarkeit zu verbessern.
- Trocknen und desoxidieren Sie das gemischte Pulver, um eine Oxidation während des Sinterns zu vermeiden.
- Große Partikel und Agglomerate werden durch Sieben entfernt, um Fließfähigkeit und gleichmäßiges Pressen zu gewährleisten.

#### 2. Pressvorgang

##### 1. Uniaxiales Pressen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Das gleichmäßig gemischte Pulver wird in eine Form gegeben und unter unidirektionalem Druck in Form gepresst;
- Vorteile: einfache Ausrüstung, hohe Produktionseffizienz, geeignet zur Herstellung von Wolframlegierungsplatten mit einfachen Formen;
- Nachteile: Die Dichteverteilung ist während des Pressvorgangs ungleichmäßig und es kann zu Dichtegradienten kommen, die die Sinterdichte beeinträchtigen.

## 2. Kaltisostatisches Pressen (CIP)

- Das Pulver wird in einen versiegelten Gummibeutel gegeben, in ein flüssiges Medium getaucht und einem gleichmäßigen isostatischen Druck ausgesetzt;
- Vorteile: Erhalten Sie einen dichten und gleichmäßigen Grünkörper, reduzieren Sie innere Defekte und Poren;
- Geeignet für die Herstellung von Wolframlegierungsplatten mit komplexen Formen oder hohen Dichteanforderungen;
- Der Druckbereich liegt im Allgemeinen zwischen 100 und 300 MPa.

## 3. Heißisostatisches Pressen (HIP)

- Durch die Kombination von hoher Temperatur und hohem Druck wird der Pulverkörper unter Druck gesetzt und in einer Inertgasumgebung (z. B. Argon) gesintert.
- Vorteile: Sintern und Verdichten werden gleichzeitig abgeschlossen, wodurch die mechanischen Eigenschaften und die Gleichmäßigkeit der Legierung verbessert werden.
- Geeignet für die Herstellung hochwertiger Wolframlegierungsplatten, kann die Zugfestigkeit und Härte deutlich verbessern.

## 3. Sinterprozess

### 1. Sinterprinzip

- Durch Erhitzen auf hohe Temperaturen diffundieren und lösen sich das Wolframpulver und das Bindemetall auf, wodurch die Bindung zwischen den Partikeln gestärkt wird.
- Beseitigen Sie die Poren zwischen den Pulvern und erreichen Sie eine Materialverdichtung.

### 2. Sinteratmosphäre

- Zum Schutz wird üblicherweise Wasserstoff, Stickstoff oder hochreines Inertgas verwendet, um Oxidation und Verunreinigung zu vermeiden.
- Die Wasserstoffatmosphäre wirkt reduzierend und verhindert die Bildung von Oxiden.

### 3. Temperatur- und Zeitkontrolle

- Die Sintertemperatur wird im Allgemeinen auf 1350 – 1600 ° C geregelt und hängt von der Legierungszusammensetzung und der Sinterausrüstung ab.
- Die Haltezeit muss eine ausreichende Diffusion des Pulvers gewährleisten und liegt typischerweise zwischen 30 Minuten und mehreren Stunden.
- Eine zu hohe Temperatur kann zu Kornwachstum führen und die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4. Nachbehandlung und Verdichtung

- Einige Verfahren kombinieren das heißisostatische Pressen (HIP) zur sekundären Verdichtung;
- Durch Wärmebehandlung werden die organisatorischen Eigenschaften angepasst und Zähigkeit und Härte verbessert;
- Eine Glühbehandlung vor der Bearbeitung verbessert die Plastizität und die Verarbeitungseigenschaften des Materials.

#### 5. Einfluss der Prozessparameter auf die Leistung

| Verfahren                 | Schlüsselparameter           | Einfluss auf die Leistung von Wolframlegierungsplatten                                            |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| unterdrücken              | Druckgröße und Haltezeit     | Beeinflusst die Dichte des Grünkörpers, und die Dichtegleichmäßigkeit bestimmt die Sinterqualität |
| Sintern                   | Temperatur, Atmosphäre, Zeit | Beeinflusst Korngröße, Bindungsstärke und Dichte                                                  |
| Heißisostatisches Pressen | Temperatur, Druck, Zeit      | Dichte und mechanische Eigenschaften weiter verbessern                                            |

#### VI. Zusammenfassung

Die pulvermetallurgische Herstellung ist die Kerntechnologie der Wolframlegierungsplattenherstellung. Die sinnvolle Auswahl der Pressverfahren und die Kontrolle der Sinterprozessparameter sind der Schlüssel zur Herstellung leistungsstarker Wolframlegierungsplatten. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung von Anlagen und Prozessen sowie der Anwendung fortschrittlicher Technologien wie dem heißisostatischen Pressen konnten die mechanischen Eigenschaften, die Dichte und die strukturelle Gleichmäßigkeit von Wolframlegierungsplatten kontinuierlich verbessert werden, um den Anforderungen anspruchsvoller Anwendungen gerecht zu werden.

#### 3.3 Warmwalz- und Kaltwalzumformverfahren

Nach der Herstellung der Wolframlegierungsplatte durch pulvermetallurgisches Sintern sind häufig mechanische Bearbeitungen wie **Warm- und Kaltwalzen erforderlich**, um Struktur und Leistung der Platte weiter anzupassen, Dichte und mechanische Festigkeit zu verbessern sowie Oberflächenqualität und Maßgenauigkeit zu optimieren. Dieser Abschnitt stellt den Prozessablauf, die technischen Aspekte des Warm- und Kaltwalzens und deren Auswirkungen auf die Leistung der Wolframlegierungsplatte detailliert vor.

#### 1. Warmwalzformungsprozess

##### 1. Prozessübersicht

- Beim Warmwalzen handelt es sich um einen Prozess, bei dem Platten aus Wolframlegierungen auf eine geeignete Temperatur (üblicherweise im Bereich von 800 – 1200 ° C) erhitzt und durch Druck in einem Walzwerk plastisch verformt werden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Durch Warmwalzen können die Körner wirksam verfeinert, die innere Struktur der Legierung verbessert und die Zähigkeit und Plastizität erhöht werden.

## 2. Temperaturregelung beim Warmwalzen

- Eine geeignete Heiztemperatur sorgt für eine gute Plastizität des Materials und vermeidet Risse und Brüche.
- Eine zu hohe Temperatur kann zu Kornwachstum führen und die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigen.
- Eine zu niedrige Temperatur erhöht den Verformungswiderstand und kann zu Rissen auf der Plattenoberfläche führen.

## 3. Warmwalzverformung und Walzgeschwindigkeit

- Die Verformung wird innerhalb eines angemessenen Bereichs kontrolliert (die Dickenreduzierung beim einmaligen Walzen beträgt im Allgemeinen 10 – 30 %), um die Gleichmäßigkeit der Struktur sicherzustellen.
- Die Walzgeschwindigkeit beeinflusst die Temperaturverteilung und muss entsprechend der Anlagen- und Materialgegebenheiten angepasst werden, um Spannungen durch ungleichmäßige Abkühlung zu vermeiden.

## 4. Glühen

- Nach dem Warmwalzen ist häufig ein Glühen erforderlich, um innere Spannungen zu beseitigen und die Zähigkeit des Materials wiederherzustellen.
- Die Glühtemperatur ist normalerweise etwas niedriger als die Warmwalztemperatur und die Zeit wird entsprechend der Plattendicke und den Materialeigenschaften angepasst.

## 2. Kaltwalzformungsprozess

### 1. Prozessübersicht

- Beim Kaltwalzen werden bei Raumtemperatur mehrere plastische Bearbeitungen an der warmgewalzten Wolframlegierungsplatte durchgeführt, um die Präzision und Oberflächenqualität der Platte weiter zu verbessern.
- Durch Kaltwalzen können die Festigkeit und Härte des Materials erheblich erhöht werden, sodass es sich für die Herstellung von Hochleistungsplatten aus Wolframlegierungen eignet.

### 2. Kaltwalzverformung und Walzschema

- Die einzelne Verformung ist gering, normalerweise 5 – 15 %, um ein Reißen der Platte zu verhindern.
- Mehrere Walzdurchgänge und intermittierendes Glühen, um die Plastizität wiederherzustellen und eine übermäßige Verhärtung zu vermeiden.

### 3. Kontrolle der Oberflächenqualität und -größe

- Durch Kaltwalzen kann die Oberflächenrauheit wirksam verringert und die Glätte verbessert werden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Kontrollieren Sie die Plattendicke präzise, um eine hohe Maßgenauigkeit und Gleichmäßigkeit zu erreichen.

### 3. Umfassende Anwendung von Warmwalzen und Kaltwalzen

- Im Allgemeinen wird ein kombinierter Prozess aus Warmwalzen und anschließendem Kaltwalzen angewendet, um die Plastizität und Dichte des Materials sicherzustellen und gleichzeitig eine hohe Festigkeit und hervorragende Oberflächenqualität zu erreichen.
- Platten aus Wolframlegierungen können durch eine rationelle Gestaltung des Walzweges und des Wärmebehandlungsprozesses optimiert werden.

### 4. Der Einfluss des Prozesses auf die Leistung der Wolframlegierungsplatte

| Verfahren  | Schlüsselparameter                       | Auswirkungen                                                                |
|------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Warmwalzen | Temperatur, Deformation, Geschwindigkeit | Kornverfeinerung, Abbau innerer Spannungen und Verbesserung der Zähigkeit   |
| Kaltwalzen | Verformung, Anzahl der Durchgänge        | Verbesserte Festigkeit und Härte, glatte Oberfläche und hohe Maßgenauigkeit |

### 3.4 Oberflächenbehandlungstechnologie (Polieren, Beizen, Galvanisieren, PVD)

Nach der Herstellung der Wolframlegierungsplatte durchläuft sie in der Regel eine Reihe von Oberflächenbehandlungsprozessen, um ihre Oberflächenqualität, Korrosionsbeständigkeit und Funktionseigenschaften zu verbessern. Die Oberflächenbehandlung verbessert nicht nur das Aussehen und die Maßgenauigkeit des Materials, sondern erhöht auch seine Verschleißfestigkeit, Oxidationsbeständigkeit und elektrische Leitfähigkeit. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die vier gängigsten Oberflächenbehandlungstechnologien für Wolframlegierungsplatten: Polieren, Beizen, Galvanisieren und physikalische Gasphasenabscheidung (PVD).

#### 1. Polieren (mechanisches Polieren)

##### 1. Zweck des Polierens

- Entfernen Sie die Oxidschicht, Grate und Bearbeitungsspuren auf der Oberfläche der Wolframlegierungsplatte.
- Verbessern Sie die Ebenheit und Glätte der Oberfläche und verringern Sie die Oberflächenrauheit.
- Bietet einen guten Untergrund für nachfolgende Prozesse wie Galvanisieren und Beschichten.

##### 2. Poliervorgang

- Mit Schleifpapier, Schleifpaste und Polierscheibe nach und nach fein schleifen;
- Grobmahlung, Mittelmahlung und Feinmahlung werden stufenweise durchgeführt und die Partikelgröße wird schrittweise verfeinert.
- In modernen Prozessen werden automatisierte Poliergeräte eingesetzt, um Konsistenz und Effizienz zu verbessern.

##### 3. Hinweise

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Kontrollieren Sie die Schleiftemperatur, um eine Überhitzung der Oberfläche und eine Gewebeverformung zu vermeiden.
- Wählen Sie geeignete Schleifmittel, um Kratzer oder Löcher auf der Oberfläche zu vermeiden.

## 2. Beizen (chemische Behandlung)

### 1. Beizen

- Entfernen Sie Oberflächenoxide, Rost und Verunreinigungen.
- Verbessern Sie die Oberflächenaktivität und fördern Sie die Haftung der Beschichtung oder der galvanischen Schicht.
- Passen Sie die Oberflächenrauheit an und verbessern Sie die Benetzbarkeit.

### 2. Beizmittel und Prozessparameter

- Häufig verwendete Beizlösungen: verdünnte Salzsäure, Schwefelsäure oder Mischsäure;
- Um übermäßige Korrosion zu verhindern, müssen Temperatur, Konzentration und Zeit des Beizens streng kontrolliert werden.
- Nach dem Beizen muss rechtzeitig eine Neutralisation und Reinigung erfolgen, um Restsäure zu vermeiden.

### 3. Sicherheit und Umweltschutz

- Anlagen zur Behandlung von Abgasen und Abwasser müssen so ausgestattet sein, dass eine Verschmutzung durch saure Gase und Abwässer verhindert wird.
- Zur Gewährleistung der Sicherheit müssen die Bediener Schutzausrüstung tragen.

## 3. Galvanotechnik

### 1. Zweck der Galvanisierung

- Aufbringen einer Metallschicht (wie Nickel, Chrom, Kupfer usw.) auf die Oberfläche der Wolframlegierungsplatte, um die Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit zu verbessern;
- Verbessern Sie die elektrische Leitfähigkeit und die Schweißleistung;
- Verbessern Sie Ästhetik und Oberflächenhärte.

### 2. Häufig verwendete galvanische Metallschichten

- **Vernickeln** : wird häufig verwendet, um die Korrosionsbeständigkeit und Härte zu erhöhen und die Schmierleistung zu verbessern;
- **Verchromen** : sorgt für hohe Härte und Verschleißfestigkeit, glänzende Oberfläche;
- **Galvanische Verkupferung** : Verbessert die Leitfähigkeit und eignet sich für die Elektronikindustrie.

### 3. Galvanisierungsprozess

- Oberflächenvorbehandlung (Entfetten, Beizen);
- Aktivierungsbehandlung zur Förderung der Metallionenadsorption;
- Eingetaucht in den Galvanisierungstank wird Strom angelegt, um die Beschichtung abzuscheiden.
- Nachbearbeitung (Passivierung, Reinigung, Trocknung).

### 4. Qualitätskontrolle der Galvanik

- Kontrollieren Sie die Dicke und Gleichmäßigkeit der Beschichtung.
- Vermeiden Sie Blasenbildung, Nadellöcher und Ablösen der Beschichtung.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Überprüfen Sie regelmäßig die Haftung und Härte der Beschichtung.

#### 4. Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)

##### 1. Einführung in die PVD-Technologie

- Dünnschichttechnologie, bei der das Zielmaterial in einer Vakuumumgebung verdampft oder gesputtert und auf der Oberfläche der Wolframlegierungsplatte abgelagert wird;
- Zu den üblichen Beschichtungsmaterialien zählen Carbide (wie TiC, WC), Nitride (TiN, CrN) und Metallschichten.

##### 2. Vorteile der PVD

- Die Beschichtung weist eine starke Bindungsstärke auf, ist dicht und gleichmäßig und weist eine deutlich verbesserte Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit auf.
- Umweltfreundlich und schadstofffrei, im Einklang mit den Anforderungen moderner grüner Fertigung;
- Um ein funktionales Oberflächendesign zu erreichen, können die Beschichtungsdicke und -zusammensetzung gesteuert werden.

##### 3. PVD-Antragsverfahren

- Materialreinigung und Vorbehandlung;
- Das Target wird in einer Vakuumkammer platziert und erhitzt oder gesputtert.
- Beschichtungsabscheidung, Nachkühlung und Nachbearbeitung.

##### 4. Typische Anwendungen

- Wolframlegierungsplatten in der Luft- und Raumfahrt und im Militärbereich;
- Wärmeableitung elektronischer Geräte und Oberflächenverstärkung von Kontaktteilen;
- Verschleißfeste und biokompatible Beschichtungen für medizinische Geräte.

#### V. Zusammenfassung

Die Oberflächenbehandlung ist ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Gesamtleistung von Wolframlegierungsplatten. Polieren sorgt für eine hervorragende Oberflächenqualität, Beizen entfernt effektiv Verunreinigungen und Oxidschichten, Galvanisieren sorgt für eine korrosionsbeständige und funktionale Metallschutzschicht und PVD, eine fortschrittliche Beschichtungstechnologie, sorgt für hervorragende Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit. Durch die sinnvolle Kombination und Optimierung dieser Oberflächenbehandlungsprozesse können Leistung und Lebensdauer von Wolframlegierungsplatten deutlich verbessert werden.

#### 3.5 Anwendung von Laserauftragschweißen und additiver Fertigung in Plattenmaterialien

Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung fortschrittlicher Fertigungstechnologien werden Laserauftragschweißen und additive Fertigungsverfahren (3D-Druck) zunehmend zur Herstellung und Reparatur von Wolframlegierungsplatten eingesetzt. Diese Technologien ermöglichen das lokale Schmelzen und Abscheiden von Materialien durch hochpräzise Laserstrahlen mit hoher Energiedichte, verfügen über hervorragende Umformungseigenschaften und Materialausnutzung und erweitern den Anwendungsbereich und den Spielraum für Leistungsverbesserungen von Wolframlegierungsplatten erheblich.

##### 1. Einführung in die Laserauftragschweißtechnologie

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 1. Verfahrensprinzip:

Beim Laserauftragschweißen wird Metallpulver oder -draht mithilfe eines Hochleistungslaserstrahls teilweise geschmolzen und auf der Oberfläche des Substrats abgeschieden, um eine dichte Legierungsschicht zu bilden. Diese Schicht weist eine gute Bindungsstärke und einen guten Leistungsgradienten auf und kann die Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit des Substrats verbessern.

### 2. Technologische Vorteile

- Kontrollieren Sie die Dicke und Zusammensetzung der Mantelschicht präzise, um ein funktional abgestuftes Materialdesign zu erreichen.
- Kleine Wärmeeinflusszone, geringe Substratverformung und geringe Eigenspannung;
- Es kann die Oberflächendefekte von Wolframlegierungsplatten reparieren und ihre Lebensdauer verlängern.

### 3. Anwendungsszenario

- Die Wolframlegierungsplatte ist verstärkt, um die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.
- Lokale Reparatur von Herstellungsfehlern und Verschleiß- oder Korrosionsschäden, die während des Gebrauchs entstanden sind;
- Plattierung mit hochharter Beschichtung auf der Oberfläche einer Wolframlegierungsplatte.

## 2. Additive Fertigungstechnologie und ihre Vorteile

### 1. Additive Fertigung im Überblick:

Additive Fertigung (AM) ermöglicht die endkonturnahe Herstellung von Wolframlegierungsplatten durch schichtweises Aufschichten von Metallpulver in Kombination mit Energiequellen wie Lasern und Elektronenstrahlen. Zu den häufig verwendeten Technologien gehören das selektive Laserschmelzen (SLM) und das Elektronenstrahlschmelzen (EBM).

### 2. Technologische Vorteile

- Hoher Grad an Designfreiheit, ermöglicht die Herstellung komplexer Strukturen und funktional abgestufter Teile;
- Hohe Materialausnutzung, wodurch Abfall und Kosten reduziert werden;
- Rapid Prototyping verkürzt den Produktentwicklungszyklus.

### 3. Prozessherausforderungen

- Wolframlegierungspulver hat einen hohen Schmelzpunkt und eine hohe Wärmeleitfähigkeit, was die Schmelzkontrolle erschwert.
- Es kommt häufig zu Rissen und Löchern und die Prozessparameter sowie die Pulverqualität müssen optimiert werden.
- Die Dichte und die mechanischen Eigenschaften der Formteile müssen weiter verbessert werden.

## 3. Prozessablauf des Laserauftragschweißens und der additiven Fertigung

| Verfahren | Hauptinhalt |
|-----------|-------------|
|-----------|-------------|

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                        |                                                                                                                                  |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pulveraufbereitung     | Wählen Sie Wolframlegierungspulver mit geeigneter Partikelgröße und Morphologie, um Fließfähigkeit und Reinheit zu gewährleisten |
| Gerätevorbereitung     | Debuggen von Laserleistung, Scangeschwindigkeit, Gasschutzsystem und anderen Parametern                                          |
| Vorverarbeitung        | Die Substratoberfläche ist sauber, um eine feste Verbindung zwischen der Mantelschicht und dem Substrat zu gewährleisten.        |
| Verkleidung/Bedruckung | Der Laserstrahl tastet das geschmolzene Pulver ab, um eine schichtweise Ablagerung zu erreichen                                  |
| Nachbearbeitung        | Wärmebehandlung, Bearbeitung und Oberflächenpolitur zur Verbesserung von Struktur und Leistung                                   |

#### 4. Anwendungsfallanalyse

##### 1. In der Luft- und Raumfahrt

wird die Laserauftragschweißtechnologie eingesetzt, um die Oberfläche von Wolframlegierungsplatten zu verstärken und so ihre Hochtemperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit zu verbessern und so den hohen Leistungsanforderungen von Motorkomponenten gerecht zu werden.

##### 2. Die Nuklearindustrie

nutzt die additive Fertigung zur Herstellung komplexer Schutzplatten aus Wolframlegierungen, um eine leichte und effiziente Abschirmung zu erreichen und so die Sicherheit und Lebensdauer von Kernreaktoren zu verbessern.

##### 3. Laserplattieren einer hochharten Legierungsschicht auf der Oberfläche der Wolframlegierungsplatte **hergestellt, um die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit der Form zu verbessern und die Lebensdauer der Form zu verlängern.**

#### V. Entwicklungstrends und Herausforderungen

- **Technologieoptimierung** : Kontinuierliche Verbesserung der Laserparameter und Pulveraufbereitungsprozesse zur Behebung von Defekten wie Rissen und Löchern;
- **Materialinnovation** : Entwicklung eines Wolframlegierungspulvers, das für das Laserauftragschweißen und die additive Fertigung geeignet ist, um die Formqualität zu verbessern;
- **Herstellung von Multimaterial-Verbundwerkstoffen** : Realisierung einer effizienten Herstellung von Materialien mit Funktionsgradienten und Verbundstrukturen;
- **Intelligente Steuerung** : Einführung künstlicher Intelligenz und Echtzeitüberwachung zur Verbesserung der Prozessstabilität und der Konsistenz des Endprodukts.

#### VI. Zusammenfassung

Laserauftragschweißen und additive Fertigungstechnologie bieten eine neue Lösung für die Herstellung und Leistungssteigerung von Wolframlegierungsplatten. Durch präzise Materialabscheidung und Strukturdesign kann nicht nur die Oberfläche von Wolframlegierungsplatten effektiv repariert und verstärkt werden, sondern auch die Entwicklung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

der Wolframlegierungsplattenherstellung hin zu hoher Leistung, komplexen Formen und individueller Anpassung gefördert werden. Mit zunehmender Technologiereife und Materialinnovation wird die laserbasierte Fertigung im Bereich der Wolframlegierungen zukünftig eine immer wichtigere Rolle spielen.

### 3.6 Nanopartikelverstärkung und Technologie zur Herstellung funktionaler Gradientenplatten

Mit dem kontinuierlichen Fortschritt der Materialwissenschaft sind Nanotechnologie und funktional abgestufte Materialien (FGM) zu den wichtigsten Richtungen zur Verbesserung der Leistung von Wolframlegierungsplatten geworden. Durch die Einführung von Nanopartikel-Verstärkungsphasen und die Erzielung einer Gradientenverteilung von Zusammensetzung und Struktur können die mechanischen Eigenschaften, die Verschleißfestigkeit und die thermische Stabilität von Wolframlegierungsplatten deutlich verbessert werden, um komplexeren und anspruchsvolleren Anwendungsanforderungen gerecht zu werden.

#### 1. Nanopartikel-Verbesserungstechnologie

##### 1. Arten und Funktionen von Nanopartikeln

- **Häufig verwendete Nanopartikel** : Carbide (wie WC, TiC), Oxide (wie  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ), Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) und Graphen usw.;
- **Verstärkungsmechanismus** : Nanopartikel verbessern die Festigkeit und Härte der Matrix, indem sie die Körner verfeinern, Versetzungsbewegungen behindern und eine gleichmäßig verteilte zweite Phase bilden.
- **Grenzflächenverstärkung** : Nanopartikel bilden eine starke Grenzflächenbindung mit der Wolframmatrix und verbessern so die Gesamtzähigkeit des Materials.

##### 2. Nanopartikel-Dispersionstechnologie

- **Mechanisches Legieren** : Durch hochenergetische Kugelmahlung werden die Nanopartikel gleichmäßig im Wolframpulver verteilt.
- **Oberflächenmodifizierung** : Verbesserung der Kompatibilität von Nanopartikeln mit der Matrix und Verhinderung der Agglomeration durch chemische oder physikalische Methoden;
- **Zugabe von Dispergiermitteln** : Zugabe von Tensiden zur Unterstützung einer gleichmäßigen Verteilung.

##### 3. Prozessschwierigkeiten und Lösungen

- Nanopartikel neigen zur Agglomeration und der Dispersionsprozess muss optimiert werden.
- Die Verbindungsfestigkeit der Schnittstelle und die Anpassung der Wärmeausdehnung müssen angemessen ausgelegt werden, um eine Konzentration der Wärmespannungen zu vermeiden.
- Kontrollieren Sie den Gehalt an Nanopartikeln, um zu verhindern, dass übermäßige Mengen zu Sprödigkeit führen.

#### 2. Funktionale Gradientenplatten-Vorbereitungstechnologie

##### 1. Einführung in funktional gradierte Materialien

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Funktional abgestufte Wolframlegierungsplatten optimieren die räumliche Leistungsverteilung, indem sie Gradienten unterschiedlicher Zusammensetzungen oder Strukturen in Dickenrichtung oder auf der Oberfläche erreichen.
- Das Hauptziel besteht darin, mehrere Anforderungen wie Festigkeit, Zähigkeit, Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit gleichzeitig zu erfüllen.

## 2. Zubereitungsmethode

- **Schichtweises Sintern** : Das Pulververhältnis Schicht für Schicht anpassen und zu einer Form sintern;
- **Gradientenwärmebehandlung** : Verwenden Sie Wärmebehandlungsbedingungen in verschiedenen Bereichen, um einen Leistungsgradienten zu bilden.
- **Laserauftragschweißen oder additive Fertigung** : Gradienten werden durch lokale Ablagerung von Materialien mit unterschiedlichen Zusammensetzungen erreicht;
- **Walz- und Extrusionsverbund** : Platten mit unterschiedlichen Zusammensetzungen oder Strukturen werden zusammengesetzt und anschließend bearbeitet, um eine Gradientenstruktur zu bilden.

## 3. Typisches Farbverlaufsdesign

- Verschleißfeste Schicht mit hoher Härte auf der Oberfläche und Lagerschicht mit hoher Zähigkeit im Inneren;
- Der Wärmeausdehnungskoeffizient verändert sich allmählich, um die thermische Spannung zu verringern.
- Die Funktionsbereiche verfügen jeweils über leitfähige, korrosionsbeständige oder strahlungsresistente Eigenschaften.

## 3. Leistungsverbesserung durch Nanoverstärkung und Gradientenvorbereitung

| Leistungsindikatoren    | Nanopartikel-Verstärkungseffekt          | Vorteile des funktional abgestuften Designs                               |
|-------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Zugfestigkeit           | Deutlich verbessert                      | Regionale Optimierung zur Verbesserung der Gesamtfestigkeit und Zähigkeit |
| Härte                   | Deutlich verbessert                      | Oberflächenverfestigung, hervorragende Verschleißfestigkeit               |
| Zähigkeit               | Mäßige Verbesserung                      | Gradientenstruktur entlastet Spannungskonzentration                       |
| Thermische Stabilität   | Verbesserte Hochtemperaturleistung       | Anpassung der Wärmeausdehnung zur Reduzierung thermischer Risse           |
| Korrosionsbeständigkeit | Nanopartikel und Grenzflächenverstärkung | Oberflächenfunktionsschicht verbessert die Korrosionsbeständigkeit        |

## IV. Anwendungsaussichten und Entwicklungstrends

- Mit Nanopartikeln verstärkte Wolframlegierungsplatten eignen sich für die Luft- und Raumfahrt, die Nuklearindustrie und die High-End-Elektronik und sind besonders wichtig für Komponenten mit hohen Anforderungen an Festigkeit und Verschleißfestigkeit.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Funktional abgestufte Platten liefern neue Ideen für die Anwendung von Wolframlegierungen in extremen Umgebungen, wie etwa Wärmeschutz, Strahlenschutz und Optimierung mechanischer Eigenschaften;
- In Kombination mit fortschrittlicher additiver Fertigungstechnologie können eine präzise Steuerung und effiziente Produktion komplexer Gradientenstrukturen erreicht werden.

## V. Zusammenfassung

Die Verbesserung der Leistung von Wolframlegierungsplatten durch Nanopartikel und die Herstellung funktionaler Gradiententechnologien unterstützen diese Technologie maßgeblich. Durch die Kombination von Materialdesign und fortschrittlicher Technologie können Wolframlegierungsplatten synergetische Verbesserungen hinsichtlich Festigkeit, Zähigkeit, Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und anderen Eigenschaften erzielen und so den Einsatz in anspruchsvollen und komplexen Anwendungsbereichen fördern.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

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

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

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

#### 100,000+ customers

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

#### Service commitment

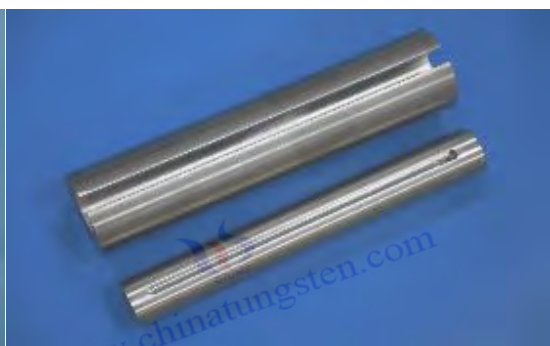
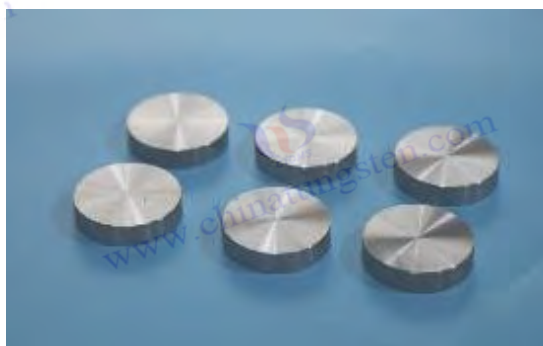
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

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



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



## Kapitel 4 Qualitätsprüfung und Leistungsbewertung von Wolframlegierungsplatten

### 4.1 Prüfung der geometrischen Abmessungen und der Oberflächenebenheit

Die geometrischen Abmessungen und die Oberflächenebenheit von Wolframlegierungsplatten sind wichtige Indikatoren für ihre Montagegenauigkeit und Leistung. Genaue Abmessungen und hervorragende Oberflächenbeschaffenheit wirken sich direkt auf die mechanische Festigkeit, die Kontaktleistung und die Qualität der nachfolgenden Verarbeitung der Platten aus. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die gängigen Prüfmethoden, Instrumente und Geräte sowie Prüfprozesse, um sicherzustellen, dass Wolframlegierungsplatten den Konstruktionsanforderungen und Anwendungsstandards entsprechen.

#### 1. Erkennung geometrischer Abmessungen

##### 1. Haupttestparameter

- Länge, Breite, Dicke: Messen Sie mit hochpräzisen Messwerkzeugen die Grundmaße der Platte;
- Geradheit: misst den Grad der Biegeverformung der Platte entlang der Längsrichtung;
- Ebenheit: Bewerten Sie die allgemeine Ebenheit der Plattenoberfläche.

##### 2. Häufig verwendete Testgeräte

- **Messschieber und Mikrometer** : geeignet für die grobe Messung von Länge und Dicke, mit einer Genauigkeit von im Allgemeinen 0,01 mm;
- **Koordinatenmessgerät (KMG)** : hochpräzise Mehrparametermessung, geeignet für komplexe Formen und hohe Präzisionsanforderungen;
- **Laserscanner** : berührungslose Messung, schnelle Erfassung von Oberflächenpunktwolkendaten und Ebenheitsanalyse;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Platten- und Fühlerlehre** : Traditionelle Werkzeuge zur Prüfung von Geradheit und Ebenheit, einfach und wirtschaftlich.

### 3. Testprozess

- Legen Sie die Platte auf den Prüftisch, um sicherzustellen, dass sie fest sitzt.
- Wählen Sie Messpunkte und -richtungen entsprechend den Designanforderungen aus.
- Mehrpunktmessung zum Erhalten von Maßdaten und Ebenheitskurve;
- Die Einhaltung des Toleranzbereichs wird durch statistische Auswertungen ermittelt.

## 2. Oberflächenebenheitserkennung

### 1. Flachheitsdefinition

- Die Oberflächenebenheit bezieht sich auf den Grad der Abweichung der Oberfläche der Wolframlegierungsplatte von der idealen Ebene, was sich auf die Abdichtung, die Kontaktleistung und das Erscheinungsbild auswirkt.

### 2. Nachweismethode

- **Methode mit Lineal und Fühlerlehre** : Legen Sie ein Lineal auf die Oberfläche und messen Sie mit der Fühlerlehre den Spalt, um schnell die Ebenheit zu bestimmen.
- **Optisches Interferometer** : verwendet Interferenzstreifen, um Oberflächenschwankungen im Mikrometerbereich genau zu messen;
- **Laserprofilier** : scannt das Oberflächenprofil und erstellt ein 3D-Oberflächenmodell;
- **Stiftprofilometer** : Ein mechanischer Stift tastet die Oberfläche ab und erfasst Daten zur Höhenvariation.

### 3. Bewertungskriterien

- Legen Sie die Ebenheitstoleranz gemäß nationalen und Industriestandards (wie GB, ISO) fest.
- Die Oberflächenqualitäten werden je nach Anwendung unterschieden, wobei für hochpräzise Anwendungen höhere Anforderungen gelten.

### 3. Einflussfaktoren und Kontrolle

- Pressgleichmäßigkeit und Sinterverformung während des Herstellungsprozesses;
- Die Stabilität der nachfolgenden Bearbeitung und die Genauigkeit der Ausrüstung;
- Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit beeinflussen die Erkennungsgenauigkeit, daher sollte der Test unter konstanten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen durchgeführt werden.

## IV. Zusammenfassung

Die Prüfung der geometrischen Größe und Oberflächenebenheit ist ein wichtiger Aspekt der Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsplatten. Die Kombination aus fortschrittlicher Messtechnik und wissenschaftlichen Prüfmethoden stellt sicher, dass die Platte die Design- und Anwendungsanforderungen erfüllt und bildet eine solide Grundlage für die anschließende Leistungsbewertung und Anwendung.

### 4.2 Mikrostruktur- und Dichtecharakterisierung (SEM, XRD)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsplatten sind wichtige Indikatoren für ihre mechanischen Eigenschaften, Verschleißfestigkeit und Stabilität. Durch die Analyse der Mikrostruktur können wir die Kornmorphologie, die Phasenzusammensetzung, die Porenverteilung und den Grenzflächenbindungszustand des Materials genau verstehen und so Prozessparameter optimieren und die Materialqualität verbessern. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die gängigen Techniken zur Mikrostrukturanalyse und Dichtecharakterisierung.

## 1. Rasterelektronenmikroskopie (REM)-Analyse

### 1. Technisches Prinzip

- Bei der Rasterelektronenmikroskopie (SEM) wird die Probenoberfläche mit einem Elektronenstrahl abgetastet. Durch die Erfassung von Sekundärelektronen und Rückstreuielektronen werden hochauflösende Bilder der Oberflächenmorphologie und Mikrostruktur gewonnen.
- Verschiedene Phasen, Partikelverteilungen, Poren, Risse und andere Mikrodefekte können beobachtet und analysiert werden.

### 2. Anwendungsinhalte

- Korngrößen- und Morphologieanalyse: Bestimmen Sie die Korngröße und -gleichmäßigkeit durch SEM-Bilder;
- Partikelverteilung und Grenzflächenbindung: Beobachten Sie den Bindungszustand zwischen der Wolframmatrix und der Verstärkungsphase (wie Ni, Fe, Cu usw.).
- Porositäts- und Defekterkennung: Identifizieren Sie Poren, Risse und Einschlüsse in Materialien;
- Oberflächenkorrosionsmorphologie: Analyse des Korrosionsmechanismus und der Verteilung von Korrosionsprodukten.

### 3. Probenvorbereitung

- Plattenproben aus Wolframlegierungen müssen durch Polieren, Korrosionsätzen usw. vorbehandelt werden, um die Mikrostruktur freizulegen.
- Die Probengröße und -form müssen den Anforderungen der SEM-Ausrüstung entsprechen.

## 2. Röntgenbeugungsanalyse (XRD)

### 1. Technisches Prinzip

- XRD identifiziert die Kristallstruktur und Phasenzusammensetzung durch Erfassen des Beugungsmusters der Materialprobe gegenüber der einfallenden Röntgenstrahlung;
- Position, Intensität und Breite des Beugungspeaks spiegeln den Kristallphasentyp, die Kristallinität und die Korngröße des Materials wider.

### 2. Anwendungsinhalte

- Identifizierung der Phasenzusammensetzung: Bestätigen Sie die Metallphase oder Verbindungsphase, die durch die Wolframphase und andere Legierungselemente in der Wolframlegierung gebildet wird.
- Kristallstrukturanalyse: Bestimmen Sie die Gitterparameter und Kristalltypen jeder Phase;
- Korngrößen- und Spannungsmessung: Berechnen Sie Korngröße und inneren Spannungszustand durch Peakbreitenanalyse;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Qualitätskontrolle: Überwachung der Auswirkungen der Materialverarbeitung auf die Kristallstruktur.

### 3. Probenvorbereitung

- Die Probenoberfläche sollte flach sein, um zu vermeiden, dass die Oberflächenrauheit die Beugungsergebnisse beeinflusst.
- Zur Analyse können sowohl Massen- als auch Pulverproben verwendet werden.

### 3. Dichteprüfverfahren

#### 1. Theoretische Dichte und tatsächliche Dichte

- Die theoretische Dichte wird anhand der chemischen Zusammensetzung und Kristallstruktur von Wolfram und Legierungselementen berechnet.
- Die tatsächliche Dichte wird durch experimentelle Messung ermittelt und ist ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Dichte von Materialien.

#### 2. Gängige Messmethoden

- **Archimedische Methode** : Berechnen Sie die Dichte durch Messen der Massendifferenz der Probe in der Flüssigkeit. Geeignet für Proben mit regelmäßiger Form.
- **Geometrische Methode** : Messen Sie die Probengröße und -masse, um die Dichte zu berechnen. Dies ist für Proben mit regelmäßigen Formen und ohne Poren geeignet.
- **Gasdurchlässigkeitsmethode** : bewertet die Porosität und spiegelt indirekt die Dichte wider.

#### 3. Zusammenhang zwischen Dichte und Leistung

- Je höher die Dichte, desto besser sind die mechanischen Eigenschaften und die Korrosionsbeständigkeit des Materials;
- Eine hohe Porosität verringert die Materialfestigkeit und Lebensdauer.

#### 4. Umfassende Analyse und Anwendung

- Durch die Kombination von SEM- und XRD-Analyse können die mikrostrukturellen Eigenschaften und die Phasenzusammensetzung von Wolframlegierungsplatten systematisch verstanden werden.
- Durch Dichtetests können der Verdichtungsgrad des Materials und der Prozessoptimierungseffekt bewertet werden.
- Schaffen Sie wissenschaftliche Grundlagen für Prozessanpassungen und Materialverbesserungen und verbessern Sie die Leistung von Wolframlegierungsplatten.

### V. Zusammenfassung

Die Charakterisierung von Mikrostruktur und Dichte ist ein zentraler Bestandteil der Leistungsforschung und Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsplatten. Durch den Einsatz von SEM- und XRD-Technologie können wir die Mikrostruktur und den Kristallzustand des Materials genau verstehen. Die Dichteprüfung liefert einen quantitativen Index für den Grad der Materialverdichtung. Systematische Charakterisierungsmethoden bieten eine solide Garantie für die leistungsstarke Herstellung und Anwendung von Wolframlegierungsplatten.

#### 4.3 Prüfnormen für mechanische Eigenschaften (ASTM, GB, ISO)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Da es sich um ein wichtiges Hochleistungsmaterial handelt, ist die genaue Prüfung und Bewertung der mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsplatten entscheidend, um die Produktqualität sicherzustellen und die Anwendungsanforderungen zu erfüllen. Sowohl international als auch national wurden eine Reihe von Prüfnormen für mechanische Eigenschaften entwickelt, um die Prüfmethoden zu standardisieren und die Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die wichtigsten Prüfnormen für mechanische Eigenschaften, die üblicherweise für Wolframlegierungsplatten verwendet werden, einschließlich der relevanten Spezifikationen der American Society for Testing and Materials (ASTM), des Chinese National Standard (GB) und der International Organization for Standardization (ISO).

## 1. Wichtigste mechanische Eigenschaften

- **Zugfestigkeit** : Die maximale Spannung, der ein Material in einem Zugversuch standhalten kann;
- **Streckgrenze** : Die Spannung, bei der ein Material eine dauerhafte Verformung erfährt;
- **Dehnung** : Der Prozentsatz der Dehnung, bevor das Material bricht, spiegelt die Plastizität wider;
- **Härte** : Die Fähigkeit eines Materials, lokaler plastischer Verformung zu widerstehen;
- **Schlagzähigkeit** : Die Fähigkeit eines Materials, Schlagschäden zu widerstehen.

## 2. ASTM-Standardsystem

### 1. ASTM E8 / E8M – Zugprüfverfahren

- Geeignet zum Messen der Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung von metallischen Werkstoffen;
- Es legt die Probengröße, die Prüfgeschwindigkeit sowie die Datenerfassungs- und Berechnungsmethoden fest.
- Wolframlegierungsplatten werden üblicherweise mit flachen Zugproben geprüft.

### 2. ASTM E23 - Schlagprüfverfahren (Charpy-Schlagprüfung)

- Wird verwendet, um die Schlagzähigkeit von Materialien zu messen und Brucheigenschaften zu bewerten;
- Verwenden Sie standardmäßige gekerbte Proben, geben Sie die Prüftemperatur und die Bestimmung der Energieabsorption an;
- Geeignet zur Bewertung der Zähigkeitsleistung von Wolframlegierungsplatten unter dynamischen Belastungen.

### 3. ASTM E92 – Vickers-Härteprüfung

- Geeignet zur Härtemessung von Hartmetall und hochharten Metallmaterialien;
- Geben Sie den Lastbereich und die Methode zur Eindruckmessung an, um genaue Daten sicherzustellen.

## 3. Chinesischer Nationalstandard (GB)

### 1. GB/T 228 – Zugprüfverfahren bei Raumtemperatur für metallische Werkstoffe

- Ähnlich wie ASTM E8 eignet es sich für die Prüfung der Zugfestigkeitseigenschaften verschiedener Metallmaterialien.
- Detaillierte Spezifikationen für Probenvorbereitung, Testgeräte und Datenverarbeitung.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. GB/T 229 – Schlagprüfverfahren für metallische Werkstoffe (Charpy-Test)

- Gibt Standardmethoden und -bedingungen für Aufprallprüfungen an;
- Geeignet zur Bewertung der Bruchfestigkeit von Wolframlegierungsplatten.

## 3. GB/T 4340 – Härteprüfung von Metallwerkstoffen

- Enthält Methoden zur Bestimmung der Brinell-, Vickers- und Rockwell-Härte;
- Je nach spezifischer Anwendung der Wolframlegierungsplatte kann die geeignete Härteprüfmethode ausgewählt werden.

## 4. Internationale ISO-Normen

### 1. ISO 6892 – Zugprüfung an metallischen Werkstoffen

- Gemeinsame Prüfspezifikationen für Zugfestigkeitseigenschaften in internationalen Normen;
- Der Schwerpunkt liegt auf der Standardisierung des Testprozesses und der Zuverlässigkeit der Testdaten.

### 2. ISO 148 – Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy

- Standardisieren Sie die Vorbereitung von Aufprallproben und die Testbedingungen.
- Fördern Sie die Konsistenz und Vergleichbarkeit der Daten zwischen den Ländern.

### 3. ISO 6507 – Härteprüfung nach Vickers

- Geben Sie die technischen Anforderungen für die Härteprüfung detailliert an.
- Es wird häufig zur Härtebewertung harter Materialien wie Wolframlegierungen verwendet.

## 5. Prüfgeräte und Umgebungskontrolle

- Die Testausrüstung sollte die technischen Anforderungen der relevanten Normen erfüllen, um die Ladegenauigkeit und Genauigkeit der Datenerfassung sicherzustellen.
- Die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) haben einen erheblichen Einfluss auf die Testergebnisse und sollten stabil gehalten werden.
- Wolframlegierungsplatten erfordern den Einsatz spezieller Vorrichtungen und Messgeräte.

## 6. Hinweise zur Standardanwendung

- Die Probenvorbereitung sollte streng nach der Standardgröße und -form erfolgen, um Spannungskonzentrationen und Defekte zu vermeiden, die die Ergebnisse beeinträchtigen.
- Für verschiedene Zwecke können Wolframlegierungsplatten geeignete Teststandards und Parameter entsprechend den tatsächlichen Leistungsanforderungen auswählen.
- In Kombination mit einer Vielzahl mechanischer Eigenschaftstests werden die Materialeigenschaften umfassend ausgewertet, um die Prozessoptimierung und das Anwendungsdesign zu steuern.

## VII. Zusammenfassung

Das perfekte Standardsystem zur Prüfung mechanischer Eigenschaften bietet eine wissenschaftliche Grundlage für die Forschung und Entwicklung, Produktion und Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsplatten. ASTM-, GB- und ISO-Normen haben ihre eigenen Merkmale und ergänzen sich gegenseitig, was die Internationalisierung und

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standardisierung von Prüfmethoden für Wolframlegierungsplatten fördert. Unternehmen und Forschungseinrichtungen sollten die Prüfnormen entsprechend dem tatsächlichen Bedarf auswählen, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Prüfergebnisse zu gewährleisten.

#### **4.4 Analyse der Elementzusammensetzung und des Verunreinigungsgehalts (ICP, XRF, ONH)**

Die Qualität von Wolframlegierungsplatten hängt maßgeblich von der genauen Kontrolle ihrer chemischen Zusammensetzung und der strikten Begrenzung des Verunreinigungsgehalts ab. Die genaue Bestimmung der Elementzusammensetzung trägt nicht nur zur Sicherstellung der Materialeigenschaften bei, sondern spielt auch eine Schlüsselrolle bei der Überwachung und Qualitätskontrolle des Produktionsprozesses. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die gängigen Analysetechniken für Elementzusammensetzung und Verunreinigungsgehalt, darunter induktiv gekoppelte Plasmaemissionsspektroskopie (ICP), Röntgenfluoreszenzspektroskopie (XRF) und Sauerstoff-, Stickstoff- und Wasserstoffanalysatoren (ONH), und erörtert ihre Anwendung bei der Prüfung von Wolframlegierungsplatten.

### **1. Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP)**

#### **1. Technisches Prinzip**

- ICP verwendet Hochtemperaturplasma, um Atome und Ionen in der Probe anzuregen und charakteristische Spektren zu erzeugen.
- Anhand der Intensität und Wellenlänge des Emissionsspektrums kann der Gehalt mehrerer Elemente in der Probe quantitativ analysiert werden.

#### **2. Geltungsbereich**

- Bestimmen Sie genau den Gehalt an Hauptelementen (Wolfram, Nickel, Eisen, Kupfer usw.) und Spuren von Legierungselementen in Wolframlegierungsplatten.
- Erkennen Sie Spuren von Verunreinigungen wie Blei, Schwefel, Phosphor usw., um die Reinheit der Materialien sicherzustellen.
- Hohe Empfindlichkeit und Möglichkeit zur gleichzeitigen Analyse mehrerer Elemente, geeignet für komplexe Legierungssysteme.

#### **3. Probenvorbereitung**

- Normalerweise müssen feste Proben in einer Lösung aufgelöst werden, normalerweise mithilfe einer Säurelösung (z. B. Königswasser).
- Die Probenvorbehandlung muss streng geregelt sein, um Verunreinigungen und Elementverluste zu vermeiden.

### **2. Röntgenfluoreszenzspektroskopie (XRF)**

#### **1. Technisches Prinzip**

- XRF basiert auf der Emission charakteristischer fluoreszierender Röntgenstrahlen durch Proben nach Anregung durch Röntgenstrahlen. Die Identifizierung und Quantifizierung von Elementen erfolgt durch Analyse ihrer Energie und Intensität.
- Kein Auflösen der Probe erforderlich, geeignet für die direkte Erkennung von Feststoff-, Pulver- und Flockenproben.

#### **2. Geltungsbereich**

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

- Schnelle Bestimmung des Hauptelementgehalts in Wolframlegierungsplatten;
- Wird für die schnelle Überprüfung der Elementzusammensetzung und Qualitätskontrolle an Produktionsstandorten verwendet;
- Die Detektionstiefe ist begrenzt und charakterisiert hauptsächlich die Oberflächen- oder oberflächennahen Komponenten der Probe.

### 3. Vorteile und Nachteile

- Die Erkennungsgeschwindigkeit ist hoch und die Bedienung einfach, aber die Empfindlichkeit ist geringer als die von ICP.
- Die Nachweisfähigkeit für leichte Elemente (wie Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff) ist begrenzt.

## 3. Sauerstoff-, Stickstoff- und Wasserstoffanalysator (ONH)

### 1. Technisches Prinzip

- Der ONH-Analysator misst den Sauerstoff-, Stickstoff- und Wasserstoffgasgehalt, der durch Verbrennen oder Pyrolyse der Probe freigesetzt wird.
- Die quantitative Analyse wird mithilfe eines Wärmeleitfähigkeitsdetektors oder einer Infrarotabsorptionstechnik durchgeführt.

### 2. Geltungsbereich

- Messen Sie den Gehalt nichtmetallischer Verunreinigungen wie Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff in Wolframlegierungsplatten genau.
- Nichtmetallische Verunreinigungen haben einen erheblichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften und die Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsplatten.
- Wichtiger Indikator für die Qualitätskontrolle.

### 3. Probenanforderungen

- Um die Wiederholbarkeit des Tests zu gewährleisten, müssen Form und Gewicht der Probe streng kontrolliert werden.
- Die Probenoberfläche sollte sauber, fett- und schmutzfrei sein.

### 4. Umfassende Anwendungs- und Qualitätskontrolle

- Die drei Technologien ergänzen sich zu einem vollständigen Erkennungssystem für die chemische Zusammensetzung von Wolframlegierungsplatten.
- ICP eignet sich für die genaue Quantifizierung komplexer Elementsysteme, XRF eignet sich für die schnelle Vor-Ort-Erkennung und ONH dient für nichtmetallische Verunreinigungen;
- Regelmäßige Tests helfen, den Produktionsprozess zu überwachen, Prozessparameter zu optimieren und eine stabile Produktqualität sicherzustellen.

## V. Zusammenfassung

Die genaue Analyse der Elementzusammensetzung und des Verunreinigungsgehalts ist die Grundlage für die hohe Leistungsfähigkeit von Wolframlegierungsplatten. ICP-, XRF- und ONH-Technologien bieten jeweils eigene Vorteile. Ihre kombinierte Anwendung kann den unterschiedlichen Prüfanforderungen von Wolframlegierungsplatten gerecht werden und bietet eine wissenschaftliche Grundlage für Produktionskontrolle und F&E-Innovation.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 4.5 Oberflächendefekterkennung (Ultraschall, CT, Wirbelstrom, Magnetpulver)

Als wichtiger Hochleistungswerkstoff wirkt sich die Oberflächenqualität von Wolframlegierungsplatten direkt auf die Lebensdauer und Leistungsstabilität des Produkts aus. Die rechtzeitige und genaue Erkennung von Oberflächen- und oberflächennahen Defekten ist entscheidend für die Gesamtqualität und Sicherheit von Wolframlegierungsplatten. Zu den gängigen Technologien zur Erkennung von Oberflächen- und oberflächennahen Defekten gehören Ultraschallprüfung (UT), Computertomographie (CT), Wirbelstromprüfung (ET) und Magnetpulverprüfung (MT). Dieser Abschnitt stellt die Prinzipien, Anwendungsbereiche und Vorteile dieser Technologien im Detail vor.

### 1. Ultraschallprüfung (UT)

#### 1. Technisches Prinzip

- Wenn sich hochfrequente Ultraschallwellen im Material ausbreiten und auf Defekte treffen, erzeugen sie reflektierte Wellen. Die reflektierten Signale werden erfasst, um die Position und Größe der Defekte zu bestimmen.
- Die Sonde sendet und empfängt Ultraschallwellen, um eine zerstörungsfreie Prüfung von inneren und Oberflächendefekten zu erreichen.

#### 2. Geltungsbereich

- Geeignet zum Erkennen von Defekten wie inneren Rissen, Einschlüssen, Poren und Zwischenschichtdelamination von Wolframlegierungsplatten;
- Es verfügt über eine gute Erkennungsempfindlichkeit für innere Defekte in dicken Plattenmaterialien.
- Kann zur Online- und Offline-Erkennung verwendet werden.

#### 3. Vorteile

- Zerstörungsfrei, umweltfreundlich, große Erkennungstiefe, hohe Auflösung;
- Die Größe und Form des Defekts können quantitativ analysiert werden.

### 2. Computertomographie (CT)

#### 1. Technisches Prinzip

- Wolframlegierungsplatte aus mehreren Winkeln durch Röntgenstrahlen und Rekonstruktion eines dreidimensionalen Bildes mithilfe eines Computers;
- Präzise Darstellung der dreidimensionalen räumlichen Verteilung und Morphologie innerer Defekte.

#### 2. Geltungsbereich

- Hochauflösende Inspektion komplexer innerer Strukturen zur Identifizierung winziger Risse, Poren und Einschlüsse;
- Geeignet für Forschung und Entwicklung sowie High-End-Qualitätskontrolle;
- Bei dickeren Wolframlegierungsplatten gibt es gewisse Einschränkungen und die Parameter müssen entsprechend der Geräteleistung angepasst werden.

#### 3. Vorteile

- Bereitstellung intuitiver 3D-Bilder zur Erleichterung der Defektlokalisierung und Morphologieanalyse;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Ermöglicht eine detaillierte Bewertung der strukturellen Integrität.

### 3. Wirbelstromprüfung (ET)

#### 1. Technisches Prinzip

- Das magnetische Wechselfeld wird verwendet, um Wirbelströme auf der Oberfläche des leitfähigen Materials zu induzieren. Die Wirbelstromverteilung am Defekt ändert sich und die Defekteigenschaften werden durch die Erfassung des Wirbelstromsignals widergespiegelt.
- Wird hauptsächlich zur Erkennung von Oberflächen- und oberflächennahen Defekten verwendet.

#### 2. Geltungsbereich

- Geeignet zum Erkennen von Oberflächenrissen, Korrosion und lokalen Schäden an Wolframlegierungsplatten;
- Kann große Flächen schnell scannen;
- Berührungslose Erkennung, geeignet für Werkstücke mit komplexen Formen.

#### 3. Vorteile

- Schnelle Reaktionsgeschwindigkeit und hohe Empfindlichkeit;
- Der Prüfvorgang ist zerstörungsfrei und erfordert keine besondere Vorbereitung.

### 4. Magnetpulverprüfung (MT)

#### 1. Technisches Prinzip

- Das magnetische Material wird durch Anlegen eines externen Magnetfelds magnetisiert. An der Oberfläche und an oberflächennahen Defekten wird ein Streumagnetfeld erzeugt. Die Position des Defekts wird durch die Adsorption des magnetischen Pulvers sichtbar gemacht.
- Geeignet zum Erkennen von Oberflächenrissen und oberflächennahen Rissen.

#### 2. Geltungsbereich

- Wolframlegierungen enthalten Eisenlegierungselemente und verfügen über einen gewissen Magnetismus, der sich für Magnetpulverprüfungen eignet.
- Geeignet zum Erkennen von Oberflächenrissen, Poren und Ermüdungsrissen;
- Wird hauptsächlich zur schnellen Erkennung von Produktionslinien verwendet.

#### 3. Vorteile

- Einfach zu bedienen und kostengünstig;
- Geeignet für schnelle Tests vor Ort.

### V. Umfassende Erkennungsstrategie

- Wählen Sie je nach Prüfobjekt und Fehlertyp geeignete Prüfmethoden aus.
- Es wird empfohlen, eine Kombination mehrerer Erkennungstechnologien für komplexe Defekte und Schlüsselkomponenten zu verwenden, um die Erkennungsgenauigkeit zu verbessern.
- Richten Sie standardisierte Testprozesse ein, um die Zuverlässigkeit und Wiederholbarkeit der Testergebnisse sicherzustellen.

### VI. Zusammenfassung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ultraschall-, CT-, Wirbelstrom- und Magnetpulverprüfverfahren bieten vielfältige Möglichkeiten zur Oberflächen- und oberflächennahen Defekterkennung von Wolframlegierungsplatten. Die rationelle Anwendung dieser zerstörungsfreien Prüfverfahren kann die Verteilung von Defekten im Material und auf der Oberfläche vollständig aufdecken, die Qualität und Sicherheit von Wolframlegierungsplatten gewährleisten und eine solide Garantie für die Forschung, Entwicklung und industrielle Anwendung von Wolframlegierungsplatten bieten.

#### 4.6 Bewertung der Oberflächenrauheit und der Beschichtungshaftung

Wolframlegierungsplatten beeinflussen nicht nur ihr Aussehen, sondern auch ihre mechanischen Eigenschaften, ihre Korrosionsbeständigkeit und die Auswirkungen nachfolgender Verarbeitungstechnologien. Die Oberflächenrauheit ist ein wichtiger Indikator für die Beurteilung der Ebenheit und Feinheit der Materialoberfläche, während die Beschichtungshaftung die Stabilität und Haltbarkeit der Schutz- oder Funktionsschicht im Gebrauch bestimmt. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die Messmethode der Oberflächenrauheit von Wolframlegierungsplatten und die Bewertungstechnologie der Beschichtungshaftung.

##### 1. Messung der Oberflächenrauheit

###### 1. Bedeutung

- Die Oberflächenrauheit wirkt sich direkt auf die Passgenauigkeit und das Reibungsverhalten von Wolframlegierungsplatten und anderen Komponenten aus.
- Eine zu hohe Rauheit kann zu Spannungskonzentrationen führen und die Lebensdauer verkürzen.
- Eine gute Oberflächenrauigkeit trägt zu einer gleichmäßigen Haftung der Beschichtung bei.

###### 2. Gängige Messmethoden

- **Kontaktprofilometer** : Scannt das Oberflächenprofil mit einem Stift, um Rauheitsparameter (wie Ra, Rz usw.) zu erhalten.
- **Optisches Profilometer** : berührungslose Messung mittels Laser- oder Weißlichtinterferenz, geeignet für die Rauheitsanalyse im Mikron- und Nanometerbereich;
- **Rasterkraftmikroskop (AFM)** : Geeignet für hochpräzise Messungen der Oberflächenmorphologie, wird hauptsächlich in der wissenschaftlichen Forschung und in High-End-Anwendungen eingesetzt.

###### 3. Schlüsselparameter

- **Ra (arithmetischer Mittenrauwert)** : gibt den Durchschnittswert der Oberflächenunebenheiten wieder und ist der am häufigsten verwendete Indikator.
- **Rz (Zehn-Punkt-Höhenrauheit)** : spiegelt den Unterschied zwischen Spitzen und Tälern wider und bewertet den maximalen Grad der Oberflächenwelligkeit;
- **Rq (quadratischer Mittelwert der Rauheit)** : Statistischer quadratischer Mittelwert, geeignet zur Bewertung komplexer Oberflächen.

##### 2. Bewertung der Beschichtungshaftung

###### 1. Die Bedeutung der Haftung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Beschichtung schützt die Wolframlegierungsplatte vor Umwelteinflüssen wie Korrosion, Verschleiß und hohen Temperaturen;
- Eine gute Haftung gewährleistet die langfristige Stabilität der Beschichtung während der Anwendung;
- Eine schlechte Haftung kann zum Abblättern der Beschichtung führen und so die Lebensdauer und Leistung des Materials verringern.

## 2. Bewertungsmethodik

- **Abziehtest** : Verwenden Sie spezielle Geräte, um die maximale Abziehkraft zu messen, die erforderlich ist, damit sich die Beschichtung vom Substrat ablöst, und um die Haftung quantitativ zu bewerten.
- **Kratztest** : Kratzen Sie mit allmählich zunehmender Kraft, um das Ablösen der Beschichtung zu beobachten und die Haftstärke zu beurteilen.
- **Aufpralltest** : Bewerten Sie die Abblätterfestigkeit der Beschichtung durch Aufprallbelastung.
- **Methode zum Abziehen des Klebebands** : Ziehen Sie das Klebeband nach dem Aufkleben schnell ab, beobachten Sie die Situation beim Ablösen der Beschichtung und führen Sie einen schnellen qualitativen Test durch.

## 3. Experimentelle Bedingungen

- Um eine Beeinträchtigung der Ergebnisse zu vermeiden, sollten Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der Testumgebung stabil gehalten werden.
- Die Oberfläche der Probe muss vorbehandelt und gereinigt werden, um die Konsistenz der Beschichtungshaftung sicherzustellen.
- Wählen Sie geeignete Teststandards und -methoden aus, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen.

## 3. Zusammenhang zwischen Oberflächenrauheit und Haftung

- Eine mäßig raue Oberfläche kann die mechanische Festigkeit der Beschichtung erhöhen und die Haftung verbessern.
- Eine zu raue oder zu glatte Oberfläche beeinträchtigt die Beschichtungsleistung.
- Die Oberflächenrauheit muss je nach Beschichtungstyp und Einsatzumgebung optimiert werden.

## 4. Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung

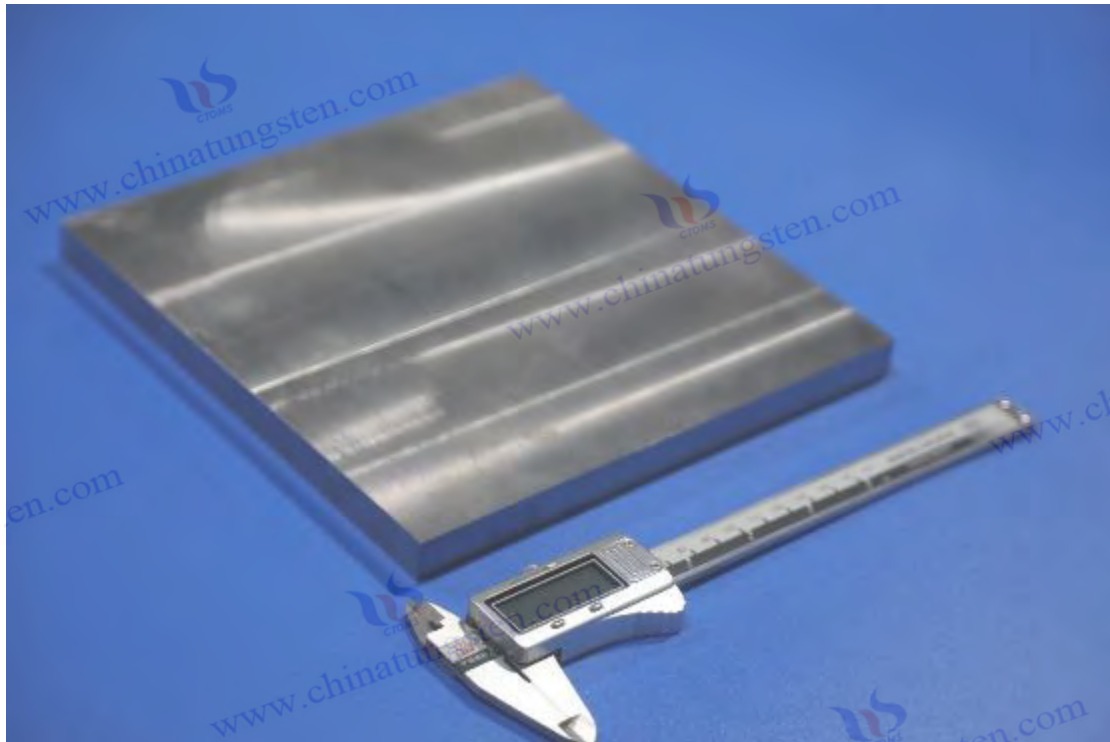
- Überwachen Sie kritische Parameter während des Herstellungsprozesses, indem Sie regelmäßig Rauheit und Haftung messen.
- Optimieren Sie Schleif-, Polier- und Oberflächenvorbehandlungsprozesse, um die Oberflächenqualität zu verbessern.
- Basierend auf den Eigenschaften der Beschichtungsmaterialien werden wissenschaftliche und sinnvolle Standards für die Oberflächenbehandlung formuliert.

## V. Zusammenfassung

Oberflächenrauheit und Beschichtungshaftung sind wichtige Indikatoren, die die Funktion und Lebensdauer von Wolframlegierungsplatten beeinflussen. Der Einsatz fortschrittlicher Mess- und

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bewertungsmethoden kann die Produktqualität effektiv kontrollieren, die Gesamtleistung von Wolframlegierungsplatten verbessern und starke Garantien für ihre breite Anwendung bieten.



## Kapitel 5 Typische Anwendungsbereiche von Wolframlegierungsplatten

### 5.1 Abschirmplatten und Wärmekontrollgeräte für die Nuklearindustrie

Wolframlegierungsplatten werden aufgrund ihrer hohen Dichte, ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer hervorragenden Strahlungsbeständigkeit häufig in der Abschirmung und Wärmekontrolle in der Nuklearindustrie eingesetzt und spielen eine Schlüsselrolle. Mit der Entwicklung der Nukleartechnologie steigen die Anforderungen an Strahlungsbeständigkeit, mechanische Festigkeit und thermische Stabilität der Materialien. Wolframlegierungsplatten sind aufgrund ihrer einzigartigen Eigenschaften eine ideale Wahl.

#### 1. Die Rolle und Nachfrage von Abschirmplatten in der Nuklearindustrie

##### 1. Strahlenschutz

- Kernreaktoren, Anlagen zur Behandlung nuklearer Abfälle, nuklearmedizinische Geräte und andere Orte müssen die Strahlung wirksam abschirmen, um die Sicherheit der Bediener zu gewährleisten.
- Wolframlegierungsplatten haben aufgrund ihrer hohen Ordnungszahl ( $Z=74$ ) und hohen Dichte (ca.  $17,0\text{--}18,5\text{ g/cm}^3$ ) ein ausgezeichnetes Absorptionsvermögen für Gamma- und Röntgenstrahlen.
- Es kann herkömmliche Bleiabschirmungen ersetzen und Bleitoxizität sowie Umweltverschmutzung vermeiden.

##### 2. Neutronenabsorption

- In Kernreaktoren werden einige Wolframlegierungen durch die Zugabe bestimmter Elemente (wie Nickel und Eisen) hinsichtlich ihrer Neutronenabsorption verbessert.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Um eine langfristige Funktionsfähigkeit zu gewährleisten, muss die Abschirmplatte eine gute strukturelle Stabilität und Beständigkeit gegen Strahlenschäden aufweisen.

### 3. Mechanische und thermische Leistungsanforderungen

- Sie müssen hohen Temperaturen, hohem Druck und Strahlung standhalten, weshalb die Wolframlegierungsplatten eine hohe Festigkeit und ausgezeichnete thermische Stabilität aufweisen müssen.
- Der Wärmeausdehnungskoeffizient muss mit dem anderer Strukturmaterialien übereinstimmen, um durch thermische Spannung verursachte Risse und Verformungen zu verhindern.

## 2. Anwendungseigenschaften von Wärmereglergeräten

### 1. Wärmemanagement

- Kernreaktoren und Kernkraftwerke erzeugen große Mengen an Wärmeenergie, was den Einsatz von Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit zur effektiven Wärmeableitung erfordert.
- Eine Wolframlegierungsplatte ist besser als andere Schwermetallmaterialien und trägt dazu bei, die Temperatur des Systems stabil zu halten.

### 2. Hohe Temperaturbeständigkeit

- Platten aus Wolframlegierung können die strukturelle Integrität und stabile Leistung in Umgebungen mit hohen Temperaturen aufrechterhalten und eignen sich für die Herstellung von Wärmekontrollkomponenten.
- Die spezielle Legierungskonstruktion verbessert die mechanische Festigkeit und Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen.

### 3. Strukturelle Unterstützung

- In der Wärmekontrollvorrichtung dienen Wolframlegierungsplatten als tragende und stützende Komponenten, um den sicheren Betrieb des Systems zu gewährleisten.
- Es verfügt über eine gute Verarbeitungsleistung und kann die Anpassungsanforderungen komplexer Formen erfüllen.

## 3. Vorteile von Wolframlegierungsplatten in der Nuklearindustrie

- **Vorteil der hohen Dichte** : Bietet effektiven Strahlenschutz und reduziert Dicke und Gewicht der Abschirmung;
- **Hohe Strahlungsbeständigkeit** : widersteht strahlungsbedingter Materialzersetzung und verlängert die Lebensdauer;
- **Hervorragende thermische Stabilität** : Anpassung an Temperaturänderungen unter komplexen Arbeitsbedingungen in der Nuklearindustrie;
- **Umweltfreundlich und ungiftig** : Es ersetzt giftige Bleimaterialien und erfüllt moderne Umweltschutzanforderungen.

## 4. Typische Anwendungsfälle

- Reflektorabschirmplatten in Kernkraftwerken;
- Auskleidungen von Lager- und Transportbehältern für Atommüll;
- Strahlenschutzplatten in medizinischen Strahlentherapiegeräten;
- Wärmekontroll-Stützstruktur im Kernbrennstoffkreislaufsystem.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## V. Entwicklungstrends und Herausforderungen

- Wolframlegierungsplatten in der Nuklearindustrie werden sich tendenziell zu leistungsstarken, multifunktionalen Verbundwerkstoffen entwickeln.
- Der Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung liegt auf der Verbesserung der Hochtemperaturbeständigkeit, Oxidationsbeständigkeit und Beständigkeit gegen Strahlenschäden.
- Die Massenproduktion von großformatigen Platten aus Wolframlegierungen mit hoher Dichte zu erreichen und gleichzeitig die Kosten zu senken, sind Herausforderungen für die Industrie.

## VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten spielen eine unersetzliche Rolle bei Abschirm- und Wärmekontrollgeräten. Durch kontinuierliche technologische Innovation und Prozessoptimierung wird die Leistung von Wolframlegierungsplatten weiter verbessert, um den Anforderungen der Nuklearindustrie an Sicherheit, Umweltschutz und effizienten Betrieb gerecht zu werden.

### 5.2 Schutzstrukturen und Gegengewichtsplatten für die Luft- und Raumfahrt

Wolframlegierungsplatten spielen aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit und hervorragenden Strahlungs- und Hitzebeständigkeit eine wichtige Rolle in Schutzstrukturen und Gegengewichtssystemen in der Luft- und Raumfahrt. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Luft- und Raumfahrttechnologie steigen die Leistungsanforderungen an die Materialien immer weiter. Wolframlegierungsplatten haben sich aufgrund ihrer einzigartigen Vorteile zu einem Schlüsselmaterial für die Verbesserung der Sicherheit und Leistung von Flugzeugen entwickelt.

### 1. Anwendung in Schutzbauten

#### 1. Strahlenschutz

- Luft- und Raumfahrzeuge sind in großen Höhen oder im Weltraum kosmischer Strahlung und Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Platten aus Wolframlegierung können hochenergetische Partikel und Strahlen wirksam absorbieren und so die Sicherheit der elektronischen Ausrüstung und des Personals von Raumfahrzeugen gewährleisten.
- Im Vergleich zu herkömmlichen Materialien weist eine Wolframlegierung eine höhere Strahlungsabschirmungseffizienz auf, verringert die Dicke und das Gewicht der Abschirmung und verbessert die Tragfähigkeit von Flugzeugen.

#### 2. Kugelsichere und schlagfeste Struktur

- In Schlüsselteilen von Militärflugzeugen und Raumfahrzeugen werden Wolframlegierungsplatten verwendet, um kugelsichere Panzerungen und schlagfeste Schichten herzustellen, die dem Aufprall von Hochgeschwindigkeitsprojektilen und Mikrometeoriten wirksam widerstehen.
- Wolframlegierung machen es zu einem idealen Schutzmaterial, um die Sicherheit von Ausrüstung und Personal zu gewährleisten.

#### 3. Wärmeschutzsystem

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Während des Fluges ändert sich die Oberflächentemperatur des Raumfahrzeugs dramatisch. Platten aus Wolframlegierung weisen eine ausgezeichnete Hochtemperaturbeständigkeit und Wärmeausdehnungsleistung auf und können als Wärmedämmschichten und Hitzeschilde verwendet werden.
- Hilft, Strukturen vor Ablation durch hohe Temperaturen und thermischer Ermüdung zu schützen.

## 2. Die Schlüsselrolle der Gegengewichtsplatte

### 1. Schwerpunktbalance und Flugstabilität

- Wolframlegierungsplatten werden im Gegengewichtssystem von Luft- und Raumfahrzeugen verwendet, um den Schwerpunkt des Flugzeugs anzupassen und die Lageregelung und Stabilität während des Fluges sicherzustellen.
- Durch die hohe Dichte ist das Gegengewicht klein, spart Platz und erfüllt die Anforderungen an ein kompaktes Design.

### 2. Vibrationsreduzierung

- Gegengewichte aus Wolframlegierungen können Flugzeugvibrationen wirksam reduzieren, mechanische Ermüdung verringern und die Lebensdauer der Ausrüstung verlängern.
- Trägt zur Verbesserung des Flugkomforts und der Systemzuverlässigkeit bei.

### 3. Kompaktes Design

- Platten aus Wolframlegierung ermöglichen die Konstruktion dünnerer und leichter Gegengewichtsstrukturen, was zur Reduzierung des Gesamtgewichts beiträgt.
- Unterstützt die individuelle Verarbeitung komplexer Formen, um die Designanforderungen verschiedener Flugzeuge zu erfüllen.

## 3. Vorteile der Wolframlegierungsplatte

- **Hohes spezifisches Gewicht** : Verbessert die Gegengewichtseffizienz erheblich und reduziert Volumen und Gewicht;
- **Hervorragende mechanische Eigenschaften** : gewährleisten die Festigkeit und Zähigkeit der Schutzstruktur;
- **Hohe Temperaturbeständigkeit** : Anpassung an hohe Temperaturen und extreme Umgebungen;
- **Hervorragende Strahlungsbeständigkeit** : Gewährleistung der Sicherheit elektronischer Systeme von Raumfahrzeugen.

## 4. Typische Anwendungsfälle

- Strahlenschutz- und Gegengewichtssysteme in Satellitenplattformen;
- Kugelsichere Panzerung und Gegengewichte zur Schwerpunkteinstellung für Kampffjets und Militärdrohnen;
- Wärmedämmplatten und strukturelle Gegengewichte für Luft- und Raumfahrzeuge.

## V. Entwicklungstrends und Herausforderungen

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Mit der steigenden Nachfrage nach geringem Gewicht und hoher Leistung sind die Mikrostrukturoptimierung und die Integration von Verbundwerkstoffen in Wolframlegierungsplatten zu Forschungsschwerpunkten geworden.
- Die Verbesserung der thermischen Ermüdungsbeständigkeit und Schlagzähigkeit von Wolframlegierungsplatten ist eine der wichtigsten technischen Schwierigkeiten.
- Die kostengünstige und hocheffiziente Produktionstechnologie für den Großmaßstab braucht dringend einen Durchbruch.

## VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten spielen eine entscheidende Rolle in Schutzstrukturen und Gegengewichtssystemen der Luft- und Raumfahrt. Ihre einzigartigen physikalischen und mechanischen Eigenschaften erfüllen nicht nur die Anforderungen an hochfesten Schutz und präzise Gegengewichte, sondern tragen auch zu einem sicheren, stabilen und effizienten Betrieb von Flugzeugen bei. Durch Materialinnovationen und Prozessverbesserungen werden Wolframlegierungsplatten künftig breitere Anwendungsperspektiven in der Luft- und Raumfahrt eröffnen.

### 5.3 Hochdichte Schutzplatten in medizinischen Strahlentherapiegeräten

Wolframlegierungsplatten werden aufgrund ihrer hohen Dichte und hervorragenden Strahlenschutzwirkung häufig in medizinischen Strahlentherapiegeräten eingesetzt. Sie dienen hauptsächlich zur Herstellung effizienter Strahlenschutzplatten. Der sichere Betrieb von Strahlentherapiegeräten stellt hohe Anforderungen an den Strahlenschutz von Patienten und medizinischem Personal. Wolframlegierungsplatten haben sich aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen und mechanischen Eigenschaften zu einem wichtigen Werkstoff für die Sicherheit der Strahlentherapie entwickelt.

#### 1. Notwendigkeit des Strahlenschutzes in Strahlentherapiegeräten

- Die bei der Strahlentherapie entstehenden Röntgen- und Gammastrahlen haben eine extrem hohe Durchdringungskraft und Energie. Ohne wirksamen Schutz können sie bei umstehenden Personen und Geräten Strahlenschäden verursachen.
- Die Schutzplatte muss Strahlung wirksam absorbieren und blockieren, Strahlungslecks verhindern und die Sicherheit der Behandlungsumgebung gewährleisten.

#### 2. Vorteile der Schutzleistung von Wolframlegierungsplatten

##### 1. Überlegene Abschirmwirkung durch hohe Dichte

- Wolframlegierungsplatten haben üblicherweise einen Wert zwischen 17 und 19 g/cm<sup>3</sup> und sind damit deutlich höher als bei herkömmlichen Materialien wie Blei. Bei geringerer Dicke kann die gleiche oder sogar eine bessere Abschirmwirkung erzielt werden.
- Machen Sie die Gesamtstruktur der Strahlentherapieausrüstung kompakter und einfacher zu entwerfen und zu installieren.

##### 2. Ausgezeichnete mechanische Festigkeit und Haltbarkeit

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Platten aus Wolframlegierung weisen eine gute mechanische Festigkeit und Zähigkeit auf, die den Anforderungen an die langfristige Nutzung medizinischer Geräte gerecht werden können.
- Die Korrosions- und Verschleißbeständigkeit verlängert die Lebensdauer der Schutzplatte und senkt die Wartungskosten.

### 3. Umweltsicherheit

- Im Vergleich zu giftigen Materialien wie Blei sind Platten aus Wolframlegierungen umweltfreundlicher, vermeiden das Toxizitätsrisiko von Blei und entsprechen eher den modernen medizinischen Sicherheitsstandards.

### 3. Antragsformulare und typische Konfigurationen

- **Schutzabdeckung und Abschirmtür** : Verwenden Sie eine Wolframlegierungsplatte, um die Schutzabdeckung und die Tür herzustellen und so Strahlungslecks zu verhindern.
- **Strahlungsstrahlbegrenzer und Filter**: Steuern Sie die Richtung und Intensität der Strahlung präzise durch Wolframlegierungsplatten;
- **Gerätehalterungen und -verkleidungen** : verbessern die strukturelle Festigkeit von Strahlentherapiegeräten und gewährleisten Strahlensicherheit.

### 4. Herstellungs- und Verarbeitungsanforderungen

- Die Dichte und Gleichmäßigkeit der Wolframlegierungsplatte muss gewährleistet sein, um Mikroporen und Defekte zu vermeiden, die die Abschirmwirkung beeinträchtigen.
- Strenge Anforderungen an die Oberflächenbehandlung, um Glätte und Korrosionsschutz zu gewährleisten;
- Präzisionsbearbeitung zur Erfüllung der besonderen strukturellen und dimensional Anforderungen von Strahlentherapiegeräten.

### V. Entwicklungstrends und Herausforderungen

- Fördern Sie die Kombination von Wolframlegierungsplatten und Verbundwerkstoffen, um die Abschirmeffizienz und das geringe Gewicht weiter zu verbessern.
- Schutzmaterialien aus Wolframlegierungen für neue Strahlentherapiegeräte;
- Lösen Sie das Herstellungsproblem von großformatigen Hochleistungsplatten aus Wolframlegierung und senken Sie die Kosten.

### VI. Zusammenfassung

Als hochdichtes Schutzmaterial in medizinischen Strahlentherapiegeräten gewährleisten Wolframlegierungsplatten dank ihrer hervorragenden Abschirmung und mechanischen Eigenschaften die Sicherheit und Wirksamkeit der Strahlentherapie. Mit der Weiterentwicklung der Medizintechnik werden Wolframlegierungsplatten beim Schutz von Strahlentherapiegeräten eine immer wichtigere Rolle spielen und die kontinuierliche Verbesserung des medizinischen Sicherheitsniveaus fördern.

### 5.4 Wolframlegierungsplatte für Hochtemperaturofenwände und thermische Umgebung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsplatten werden aufgrund ihrer hervorragenden Hochtemperatureigenschaften, thermischen Stabilität und Korrosionsbeständigkeit häufig in Hochtemperaturofenwänden und verschiedenen thermischen Umgebungen eingesetzt und haben sich zu wichtigen Struktur- und Schutzmaterialien für Hochtemperaturgeräte entwickelt. Mit der Entwicklung der Hochtemperaturprozesstechnologie steigen die Anforderungen an die Hitzebeständigkeit und mechanische Festigkeit der Materialien. Wolframlegierungsplatten mit ihren einzigartigen Vorteilen haben unter extremen Arbeitsbedingungen eine hervorragende Leistung gezeigt.

## **1. Leistungsanforderungen an Hochtemperaturofenwandmaterialien**

### **1. Hohe Temperaturbeständigkeit**

- Das Material der Ofenwände muss hohen Temperaturen von Hunderten bis Tausenden von Grad Celsius standhalten, um einen langfristig stabilen Betrieb zu gewährleisten.
- Die Wolframlegierungsplatte hat eine Temperatur von bis zu 3422 °C. Sie weist eine ausgezeichnete Hochtemperaturbeständigkeit auf und kann thermischer Korrosion und Oxidation wirksam widerstehen.

### **2. Anpassung der Wärmeausdehnung**

- Eine Wolframlegierungsplatte weist einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf und lässt sich gut mit anderen Ofenmaterialien kombinieren, wodurch die thermische Spannungskonzentration verringert und Risse und Verformungen verhindert werden.

### **3. Mechanische Festigkeit und Zähigkeit**

- Es muss in Umgebungen mit hohen Temperaturen ausreichend Festigkeit und Zähigkeit bewahren, um Temperaturschocks und mechanischen Belastungen standzuhalten.
- Wolframlegierungen verbessern ihre umfassenden mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen durch die Regulierung der Legierungselemente und Wärmebehandlungsverfahren.

## **2. Anwendungseigenschaften von Wolframlegierungsplatten in thermischer Umgebung**

### **1. Thermisch stabile Bauteile**

- Wird als Strukturmaterial für Hochtemperaturofenwände, Wärmetauscher und Hitzeschutzvorrichtungen verwendet, um die strukturelle Integrität der Ausrüstung zu gewährleisten;
- Platten aus Wolframlegierung können Oxidations- und Korrosionsschäden in Hochtemperaturatmosphären wirksam verhindern.

### **2. Wärmestrahlungsschutz**

- In einer thermischen Umgebung können Platten aus Wolframlegierungen aufgrund ihrer hohen Dichte und ihres hohen Schmelzpunkts Wärmestrahlung effektiv reflektieren und absorbieren und empfindliche Geräteteile schützen.
- Es trägt dazu bei, eine stabile Wärmefeldverteilung aufrechtzuerhalten und die Wärmeeffizienz zu verbessern.

### **3. Thermische Ermüdungsbeständigkeit**

- Die Wolframlegierungsplatte verfügt über ein spezielles Organisationsdesign, um die Beständigkeit des Materials gegen thermische Ermüdung und die thermische Zyklusstabilität zu verbessern und so seine Lebensdauer zu verlängern.

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

### 3. Typische Anwendungsbeispiele

- Hochtemperatur-Ofenauskleidung und Schutzplatten, verwendet in Öfen der Metallurgie, Keramiksinterung und Halbleiterherstellung;
- Strukturkomponenten von Wärmebehandlungsöfen und Vakuumöfen;
- Hitzebeständige Isolationsplatten für Hochtemperaturreaktoren und Wärmetauscher.

### 4. Materialverarbeitung und wichtige Punkte der Technologie

- Platten aus Wolframlegierung müssen einer präzisen Wärmebehandlung und Oberflächenverfestigung unterzogen werden, um die Hochtemperaturbeständigkeit und Oxidationsbeständigkeit zu verbessern.
- Optimieren Sie die Mikrostruktur der Platte, verbessern Sie Dichte und Gleichmäßigkeit und verbessern Sie die mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen.
- Durch den Einsatz fortschrittlicher Umformungstechnologie wird sichergestellt, dass Größe und Form der Platte den Anforderungen für die Geräteinstallation entsprechen.

### V. Entwicklungstrends und technische Herausforderungen

- Verbessern Sie die Gesamtleistung von Wolframlegierungsplatten in extremen thermischen Umgebungen, einschließlich Oxidationsbeständigkeit und thermischer Stabilität;
- Erforschen und entwickeln Sie multifunktionale Wolframlegierungsverbundwerkstoffe, um eine Integration von Hochtemperaturbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Wärmemanagement zu erreichen;
- Reduzieren Sie die Produktionskosten für Hochtemperaturplatten aus Wolframlegierung und realisieren Sie eine Anwendung im großen Maßstab.

### VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten bieten mit ihrer hervorragenden Hochtemperaturbeständigkeit und strukturellen Stabilität eine solide Garantie für den sicheren und zuverlässigen Betrieb von Hochtemperatur-Industrieanlagen. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Materialwissenschaft und Verarbeitungstechnologie werden Wolframlegierungsplatten in Zukunft im Hochtemperaturbereich eine immer größere und wichtigere Rolle spielen.

### 5.5 Matrizenstahlverbundplatte und Auskleidung mechanischer Teile

Wolframlegierungsplatten werden aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit, hervorragenden Verschleißfestigkeit und Hitzebeständigkeit häufig in Formstahl-Verbundplatten und Auskleidungsmaterialien für mechanische Teile verwendet und verbessern so die Leistung und Lebensdauer der Gesamtstruktur. Durch die Verbindung mit Formstahl und anderen Materialien verbessern Wolframlegierungsplatten nicht nur die Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit von Teilen, sondern widerstehen auch effektiv hohen Temperaturen und korrosiven Umgebungen und sorgen so für einen effizienten und stabilen Betrieb mechanischer Strukturen.

### 1. Anwendungshintergrund und Vorteile von Formstahlverbundplatten

#### 1. Bewerbungsvoraussetzungen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Form ist während des Betriebs hohem Druck, hohen Temperaturen und Hochgeschwindigkeitsreibung ausgesetzt, daher muss das Formmaterial eine hohe Härte, hohe Verschleißfestigkeit und thermische Stabilität aufweisen.
- Durch die Kombination von Wolframlegierungsplatten und Matrizenstahl lässt sich eine optimale Kombination aus Oberflächenhärte und innerer Zähigkeit erreichen.

## **2. Vorteile der Wolframlegierungsplatte**

- Wolframlegierungsplatten weisen eine hohe Härte und ausgezeichnete Verschleißfestigkeit auf, wodurch die Lebensdauer der Form effektiv verlängert wird.
- Die hohe Dichte trägt dazu bei, die Gesamtsteifigkeit und Verformungsbeständigkeit der Form zu verbessern.
- Eine gute Wärmeleitfähigkeit fördert eine gleichmäßige Wärmeverteilung und reduziert die thermische Spannungskonzentration.

## **2. Funktionen und Anforderungen der mechanischen Teileauskleidung**

### **1. Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit**

- Auskleidungen für mechanische Teile werden häufig in Umgebungen mit hohem Verschleiß und Korrosion verwendet, wie z. B. Lagersitze, Innenwände von Ventilkörpern usw.
- Die Auskleidung der Wolframlegierungsplatte verbessert die Oberflächenhärte und Korrosionsbeständigkeit der Teile und verringert die Wartungshäufigkeit.

### **2. Tragfähigkeit und Stabilität**

- Platten aus Wolframlegierung verbessern die Tragfähigkeit und Schlagfestigkeit der Auskleidungsstruktur.
- Verbessern Sie die Gesamtstabilität und Lebensdauer mechanischer Teile.

## **3. Verbundtechnologie und -prozess**

### **1. Pulvermetallurgischer Verbundwerkstoff**

- Wolframlegierung und Matrizenstahl werden durch ein pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt, um eine dichte und rissfreie Schnittstelle zu gewährleisten;
- Dadurch kann ein Übergang zum Zusammensetzungsgradienten erreicht und die durch Wärmeausdehnungsunterschiede verursachte Spannung reduziert werden.

### **2. Mechanisches Verbinden und Schweißen**

- Um die Verbindung von Wolframlegierungsplatte und Stahl in einem flexiblen Verfahren zu erreichen, wird mechanische Befestigungs- oder Laserschweißtechnologie verwendet.
- Die Schweißqualität hat einen erheblichen Einfluss auf die Leistung des Verbundwerkstoffs und die Prozessparameter müssen streng kontrolliert werden.

### **3. Oberflächenbehandlung**

- Die Oberfläche des Wolframlegierungsverbunds wird geschliffen, poliert und beschichtet, um die Oberflächenqualität und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.
- Beschichtungen wie Keramikbeschichtungen verbessern die Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit zusätzlich.

## **4. Typische Anwendungsfälle**

- Hochverschleißfeste Formverbundplatten für Kunststoffform- und Metallstanzformen;

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

- Lagersitze und Ventilauskleidungen für mechanische Geräte zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit;
- Auskleidungsmaterial für hochbelastete mechanische Strukturteile zur Verlängerung der Lebensdauer von Geräten.

## V. Entwicklungstrends und Herausforderungen

- Erforschen und entwickeln Sie hochfeste und hochzähe Verbundwerkstoffe aus Wolframlegierungen, um den Anforderungen komplexer Arbeitsbedingungen gerecht zu werden.
- Optimieren Sie die Verbundschnittstellenstruktur, um die Bindungsstärke und die thermische Stabilität zu verbessern.
- Reduzieren Sie die Herstellungskosten von Verbundwerkstoffen und fördern Sie die industrielle Anwendung von Verbundplatten aus Wolframlegierungen.

## VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten in Formstahlverbundplatten und Auskleidungen mechanischer Teile verbessern effektiv die Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und thermische Stabilität mechanischer Teile und tragen so zu einem effizienten und langlebigen Betrieb der Geräte bei. Durch fortschrittliche Verbundtechnologie und Oberflächenbehandlung eröffnen Wolframlegierungsverbundwerkstoffe breitere Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der mechanischen Fertigung.

## 5.6 Wärmeableitungs-/Strahlungsschutzstrukturen in Präzisionsinstrumenten und elektronischen Produkten

Mit der Entwicklung elektronischer Technologien und Präzisionsinstrumente steigen die Anforderungen an die Wärmeableitungseffizienz, Dimensionsstabilität und Strahlungsbeständigkeit von Materialien immer weiter an. Wolframlegierungsplatten mit ihrer hohen Dichte, hohen Wärmeleitfähigkeit und hervorragenden Strahlungsbeständigkeit sind zu wichtigen Wärmeableitungs- und Schutzstrukturmaterialien in Präzisionsinstrumenten und elektronischen Produkten geworden und finden breite Anwendung in hochwertigen elektronischen Geräten, Kommunikationsbasisstationen, Lasergeräten und elektronischen Weltraumsystemen.

### 1. Die Schlüsselrolle der Wärmeableitungsstruktur

#### 1. Hohe Wärmeleitfähigkeit

- Platten aus Wolframlegierung haben eine gute Wärmeleitfähigkeit, die die von elektronischen Komponenten erzeugte Wärme effektiv und schnell ableiten kann, um eine Überhitzung zu verhindern.
- Die hervorragende Wärmeleitfähigkeit gewährleistet eine stabile Temperatur des Geräts während des Hochleistungsbetriebs und verbessert so die Zuverlässigkeit und Lebensdauer.

#### 2. Dimensionsstabilität

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Wolframlegierungsplatte weist einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf, der die Stabilität der Strukturgröße bei Temperaturänderungen gewährleistet und die durch thermische Verformung verursachte Leistungsminderung verhindert.
- Es eignet sich besonders für Wärmeableitungshalterungen in mikroelektronischen Geräten, die eine extrem hohe Maßgenauigkeit erfordern.

## **2. Anwendungsanforderungen strahlenbeständiger Strukturen**

### **1. Anti-elektromagnetische Strahlung**

- In der Luft- und Raumfahrt sowie in militärischen und medizinischen elektronischen Geräten werden Wolframlegierungsplatten als Abschirmmaterialien verwendet, um elektromagnetische Störungen (EMI) wirksam zu blockieren.
- Gewährleisten Sie die stabile Übertragung elektronischer Signale und den normalen Betrieb der Geräte.

### **2. Anti-Atomstrahlung**

- Wolframlegierungsplatten werden in nuklearmedizinischen Geräten und Instrumenten zur Radioaktivitätserkennung verwendet und können hochenergetische Partikel und empfindliche Komponenten schützen.
- Sorgen Sie für einen langfristig stabilen Betrieb der Geräte und verbessern Sie die Sicherheit.

### **3. Typische Anwendungsszenarien**

- Wärmeableitungssubstrat für Hochfrequenzkommunikationsbasisstationen, um einen stabilen Betrieb der Kommunikationsgeräte zu gewährleisten;
- Wärmeableitungshalterungen und Abschirmabdeckungen in Lasern und optischen Instrumenten;
- Strahlenschutz für Luft- und Raumfahrtelektronik;
- Strahlenschutz- und Wärmeableitungskomponenten in medizinischen elektronischen Geräten.

### **4. Design- und Verarbeitungsanforderungen**

- Wolframlegierungsplatten müssen eine hohe Reinheit und eine gleichmäßige Mikrostruktur aufweisen, um Wärmeleitfähigkeit und mechanische Eigenschaften sicherzustellen.
- thermische Kontakteffizienz mit anderen Komponenten;
- Zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit und der elektromagnetischen Abschirmung kann bei Bedarf eine Oberflächenbeschichtung aufgetragen werden.

## **V. Entwicklungstrends und technische Herausforderungen**

- Integriertes, leichtes Design der Wärmeableitungsstruktur, kombiniert mit Wolframlegierung und anderen Funktionsmaterialien, um einen multifunktionalen Verbundwerkstoff zu erzielen;
- Verbessern Sie die Mikrostrukturkontrolle von Wolframlegierungsplatten, um die Wärmeleitfähigkeit und Strahlungsbeständigkeit weiter zu verbessern.

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

- Reduzieren Sie die Herstellungskosten und fördern Sie die Popularisierung und Anwendung im Bereich der zivilen Elektronik.

## VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten sind aufgrund ihrer hervorragenden Wärmeleitfähigkeit und Strahlenschutz Eigenschaften zu einem wichtigen Material für die Gewährleistung der Leistung und Lebensdauer von Geräten in der Wärmeableitungs- und Strahlungsbeständigkeitsstruktur von Präzisionsinstrumenten und elektronischen Produkten geworden. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der elektronischen Technologie werden Wolframlegierungsplatten ihren unersetzlichen Wert in anspruchsvolleren elektronischen Bereichen unter Beweis stellen.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

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

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

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

#### 100,000+ customers

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

#### Service commitment

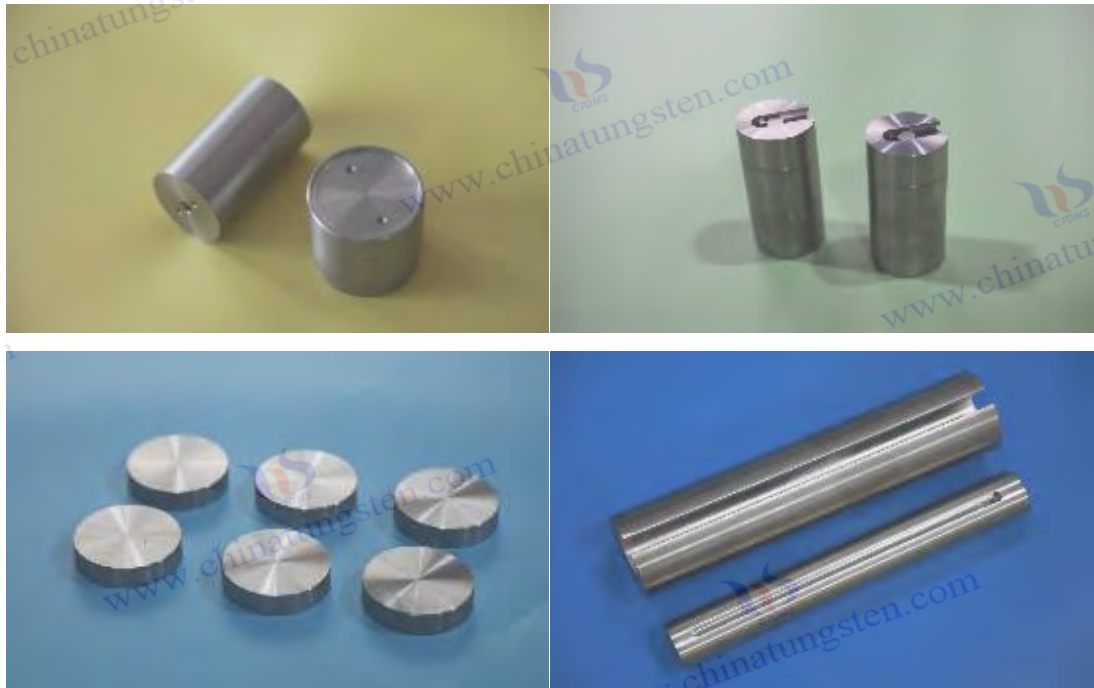
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

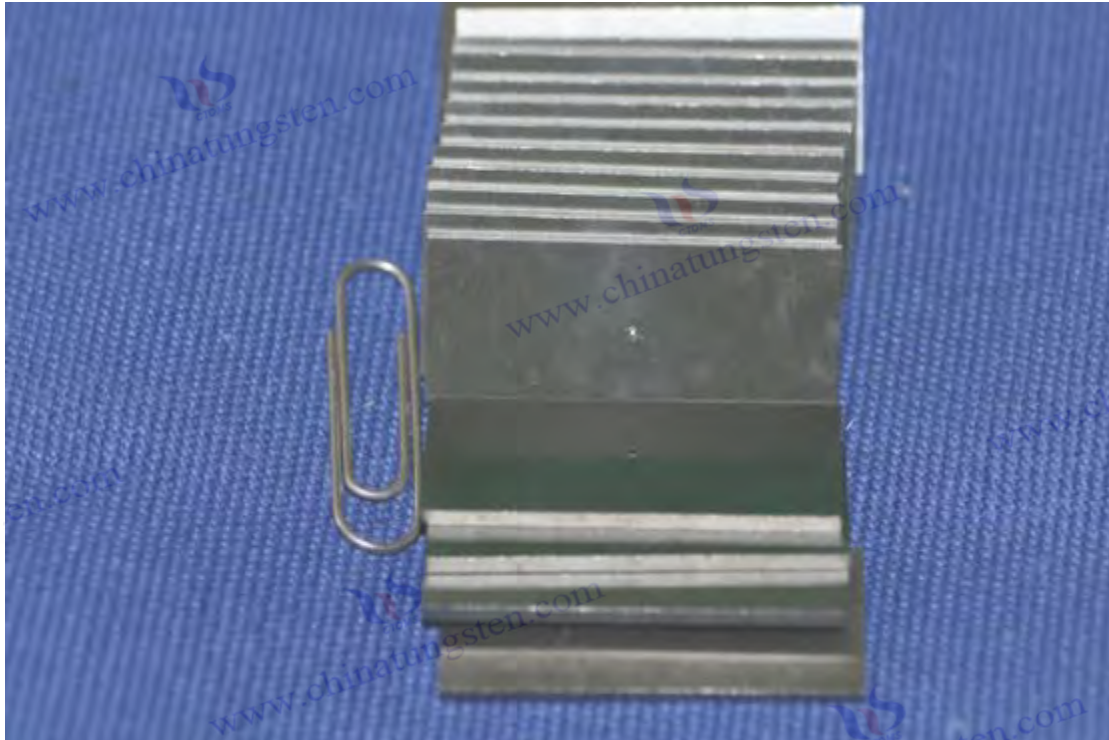
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



## Kapitel 6 Forschung, Entwicklung und Innovation von speziellen Wolframlegierungsplatten

### Herstellung und Eigenschaften nanostrukturierter Wolframlegierungsplatten

Mit der Weiterentwicklung der Materialwissenschaft wurde die Nanotechnologie schrittweise bei der Herstellung von Wolframlegierungsplatten eingesetzt, wodurch die mechanischen Eigenschaften, die thermische Stabilität und die funktionellen Merkmale herkömmlicher Wolframlegierungsplatten deutlich verbessert wurden. Nanostrukturierte Wolframlegierungsplatten erreichen durch Regulierung der Mikrostruktur eine Kornverfeinerung, Grenzflächenverstärkung und Phasenoptimierung, was die Gesamtleistung des Materials erheblich verbessert und eine neue Wahlmöglichkeit für High-End-Anwendungsfelder bietet.

#### 1. Herstellungstechnologie für nanostrukturierte Wolframlegierungsplatten

##### 1. Nanopulver-Vorbereitung

- Nanoskaliges Wolframpulver und Legierungspulver werden unter Einsatz modernster Technologien wie Hochenergie-Kugelmahlen, Dampfabscheidung und chemischer Reduktion hergestellt.
- Die Pulverpartikelgröße wird auf den Bereich von mehreren zehn Nanometern verfeinert, wodurch die Materialverdichtung und die Leistung der Grenzflächenbindung verbessert werden.

##### 2. Hochenergetische Kugelmahlung und gleichmäßiges Mischen

- Durch Hochenergie-Kugelmahlen wird eine gleichmäßige Mischung und verbesserte mechanische Legierung der Pulver erreicht.
- Verfeinern Sie die Körner effektiv und verteilen Sie die Verstärkungsphasen gleichmäßig, um die mechanische Festigkeit und Zähigkeit zu verbessern.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Schnellsintertechnologie

- Verwenden Sie schnelle Sinterverfahren wie Spark-Plasma-Sintern (SPS) und Mikrowellensintern, um die Sinterzeit zu verkürzen und das Kornwachstum zu hemmen.
- Behalten Sie die Nanokornstruktur bei, um eine hohe Dichte und hervorragende Leistung zu gewährleisten.

### 4. Optimierung der Wärmebehandlung

- Verwenden Sie ein Niedertemperatur-Wärmebehandlungsverfahren, um die nanokristalline Struktur zu stabilisieren und innere Spannungen zu reduzieren.
- Passen Sie den Gewebezustand an, um ein optimales Leistungsgleichgewicht zu erreichen.

## 2. Leistungsvorteile von nanostrukturierten Wolframlegierungsplatten

### 1. Verbesserte mechanische Eigenschaften

- Durch die Kornverfeinerung werden Zugfestigkeit und Streckgrenze deutlich verbessert, wodurch eine Kombination aus hoher Festigkeit und Zähigkeit erreicht wird.
- Der Verstärkungsmechanismus der Nano-Schnittstelle erhöht die Bruchzähigkeit und verbessert die Schlagfestigkeit.

### 2. Thermische Stabilität und Verschleißfestigkeit

- Nanostrukturierte Wolframlegierungsplatten weisen eine ausgezeichnete thermische Stabilität auf und können Kornwachstum und Leistungsabfall bei hohen Temperaturen widerstehen.
- Die Oberflächenhärte und Verschleißfestigkeit wurden deutlich verbessert, um sich an raue Arbeitsbedingungen anzupassen.

### 3. Hervorragende Wärmeleitfähigkeit und elektrische Eigenschaften

- Die Nanokornstruktur optimiert den Wärmeleitungsweg und verbessert die Wärmeleitungseffizienz;
- Es verfügt über eine gute elektrische Leitfähigkeit und kann die Anforderungen an die Wärmeableitung elektronischer Geräte und Hochfrequenzausrüstung erfüllen.

### 3. Typische Anwendungsgebiete

- Hochfeste und leichte Strukturteile für die Luft- und Raumfahrt;
- Strahlungsresistente Abschirmplatten für die Nuklearindustrie;
- Hochleistungsfähiges elektronisches Wärmeableitungssubstrat;
- Präzisionsformen und hochverschleißfeste mechanische Teile.

## IV. Herausforderungen und zukünftige Richtungen

- Die hohen Kosten der Nanopulverherstellung und der komplexe Produktionsprozess schränken die Anwendung im großen Maßstab ein.
- Nanokristalle neigen dazu, in Umgebungen mit hohen Temperaturen zu wachsen, was die langfristige Leistungsstabilität beeinträchtigt.
- Um ein Gleichgewicht zwischen Leistung und Kosten zu erreichen, müssen die Sinter- und Wärmebehandlungsprozesse weiter optimiert werden.

## V. Zusammenfassung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nanostrukturierte Wolframlegierungsplatten verbessern die mechanische Festigkeit, Zähigkeit und Funktionseigenschaften von Materialien durch die Feinregulierung der Mikrostruktur erheblich und fördern so die Anwendung und Weiterentwicklung von Wolframlegierungsplatten im High-End-Bereich. Mit der kontinuierlichen Verbesserung der Herstellungstechnologie und der Kostensenkung werden nanostrukturierte Wolframlegierungsplatten in Zukunft eine wichtige Richtung für die Entwicklung der Wolframlegierungsmaterialtechnologie darstellen.

## 6.2 Strategien für die Entwicklung von Mikrolegierungen und Mehrkomponentenlegierungen

Mit der Diversifizierung der Leistungsanforderungen an Wolframlegierungen sind Mikrolegierungen und die Entwicklung von Mehrkomponentenlegierungen zu wichtigen technischen Methoden geworden, um die Gesamtleistung von Wolframlegierungsplatten zu verbessern. Durch die Einführung von Spurenelementen und Mehrkomponentenlegierungssystemen können die mechanischen Eigenschaften, die thermische Stabilität und die funktionellen Merkmale von Wolframlegierungen deutlich verbessert und die Leistung der Materialien präzise gesteuert werden, um die strengen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie und der High-End-Fertigung zu erfüllen.

### 1. Überblick über die Mikrolegierungstechnologie

#### 1. Definition und Wirkungsmechanismus

- Unter Mikrolegierung versteht man die Zugabe von Legierungselementen in sehr geringen Konzentrationen (normalerweise weniger als 1 %) zu Wolfram-basierten Legierungen.
- Diese Spurenelemente verbessern die Festigkeit und Zähigkeit der Legierung durch Mechanismen wie Mischkristallverfestigung, Ausscheidungsverfestigung und Korngrenzenverfestigung.
- Mikrolegierungselemente können außerdem die Körner verfeinern, die Mikrostruktur optimieren und die Gesamtleistung von Materialien verbessern.

#### 2. Häufig verwendete Mikrolegierungselemente

- Titan (Ti), Niob (Nb), Vanadium (V), Zirkonium (Zr), Aluminium (Al), Molybdän (Mo) usw.;
- Verschiedene Elemente wirken sich unterschiedlich auf die Härte, Zähigkeit und thermische Stabilität von Wolframlegierungen aus. Die Wahl der richtigen Elementkombination ist der Schlüssel zum Design.

### 2. Strategie für den Entwurf von Mehrelementlegierungen

#### 1. Aufbau eines Mehrkomponenten-Legierungssystems

- Verwenden Sie ein Design mit mehreren Elementen, um den synergistischen Effekt der Legierungselemente zu erzielen.
- Optimieren Sie die Mikrostruktur und den Leistungsgradienten durch die richtige Abstimmung von Matrix und Verstärkungselementen.
- Zum Beispiel W-Ni-Fe-Ti, W-Ni-Cu-Mo und andere Systeme.

#### 2. Anwendung des Konzepts der Hochentropielegierungen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Einführung des Designkonzepts von Hochentropielegierungen, bei denen eine äquimolare Mischung mehrerer Elemente verwendet wird, um die Stabilität und Beständigkeit des Materials gegen thermische Ermüdung zu verbessern;
- Dadurch weisen Wolframlegierungsplatten eine hervorragende Haltbarkeit in extremen Umgebungen auf.

### **3. Mikrolegierung und Leistungssteigerung von Mehrkomponentenlegierungen**

#### **1. Mechanische Eigenschaften**

- Mikrolegierungselemente fördern die Feinkornverfestigung und erhöhen die Streckgrenze und Zugfestigkeit;
- Durch die Steuerung der Ausscheidungsphase können die Bruchzähigkeit und Schlagfestigkeit des Materials verbessert werden.

#### **2. Thermische Stabilität**

- Mikrolegierungselemente hemmen das Kornwachstum und die Phasenumwandlung und verbessern die Hochtemperaturleistung.
- Verbessern Sie die Anpassung der Wärmeausdehnung, reduzieren Sie die Wärmespannung und erhöhen Sie die Lebensdauer bei thermischer Ermüdung.

#### **3. Funktionen**

- Optimieren Sie die elektrische Leitfähigkeit und die magnetischen Eigenschaften, um den Anforderungen elektronischer und magnetischer Anwendungen gerecht zu werden.
- Verbessern Sie die Strahlungsbeständigkeit und erhöhen Sie die Zuverlässigkeit der in der Nuklearindustrie verwendeten Materialien.

### **4. Vorbereitungsprozess und technische Herausforderungen**

- Die gleichmäßige Verteilung von Spurenlegierungselementen ist schwierig und erfordert eine präzise Kontrolle der Pulvermisch- und Sinterprozesse.
- Die Entwicklung der Legierungszusammensetzung ist komplex und erfordert eine Kombination aus rechnerischer Simulation und experimenteller Überprüfung.
- Der Herstellungsprozess hochentropischer Mehrkomponentenlegierungen befindet sich noch im Forschungsstadium und für die industrielle Anwendung müssen technische Engpässe überwunden werden.

### **V. Zukünftige Entwicklungsrichtung**

- In Kombination mit fortschrittlicher computergestützter Materialwissenschaft werden leistungsstarke mikrolegierte Wolframlegierungen entwickelt.
- Entwicklung kostengünstiger und hocheffizienter Herstellungsverfahren, um eine Massenproduktion von Mehrkomponentenlegierungen zu erreichen;
- die Leistungsfähigkeit und das Anwendungspotenzial mikrolegierter Wolframlegierungen unter extremen Arbeitsbedingungen.

### **VI. Zusammenfassung**

Mikrolegierungen und Mehrkomponentenlegierungen bieten wichtige Möglichkeiten zur Leistungssteigerung von Wolframlegierungsplatten. Durch die Feinsteuerung der Elemente und den synergetischen Effekt mehrerer Komponenten werden die mechanischen Eigenschaften und

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

Funktionsmerkmale des Materials optimal optimiert. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung von Theorie und Technologie werden mikrolegierte Wolframlegierungsplatten in der High-End-Fertigung zukünftig eine größere Rolle spielen.

### 6.3 Organisationsoptimierung und Wärmebehandlung von hochtemperaturbeständigen

**Wolframlegierungsplatten** Die Stabilität und Leistung von Wolframlegierungsplatten in Hochtemperaturumgebungen wirken sich direkt auf ihre Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie und der Hochtemperaturfertigung aus. Durch eine sinnvolle Organisationsoptimierung und Gestaltung des Wärmebehandlungsprozesses kann die Hochtemperaturbeständigkeit von Wolframlegierungsplatten, einschließlich thermischer Stabilität, Oxidationsbeständigkeit und mechanischer Festigkeit, deutlich verbessert werden, um den Anforderungen extremer Betriebsbedingungen gerecht zu werden.

#### 1. Schlüsselfaktoren, die die Hochtemperaturbeständigkeit von Wolframlegierungsplatten beeinflussen

##### 1. Mikrostruktur

- Korngröße, Korngrenzeigenschaften und die Verteilung der zweiten Phase wirken sich alle direkt auf die thermische Stabilität des Materials aus.
- Verfeinerte Körner und gleichmäßig verteilte Verstärkungsphasen tragen dazu bei, das Kornwachstum zu hemmen und die Hochtemperaturfestigkeit zu verbessern.

##### 2. Materialzusammensetzung

- Legierungselemente wie Titan (Ti), Molybdän (Mo) und Niob (Nb) verbessern die Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen und die Kriechfestigkeit durch die Bildung stabiler Phasen.
- Ein angemessenes Verhältnis kann die Wärmeausdehnungseigenschaften optimieren und die Wärmespannung reduzieren.

#### 2. Strategie zur organisatorischen Optimierung

##### 1. Kornverfeinerung und Homogenisierung

- Verwenden Sie Hochenergie-Kugelmahlen, Schnellsintern und andere Technologien, um eine feine und gleichmäßige Kornstruktur zu erhalten.
- Der Mechanismus zur Korngrenzenverstärkung verhindert wirksam das Kornwachstum bei hohen Temperaturen.

##### 2. Stärkung der zweiten Phase

- Einführung kleiner und stabiler Partikel der zweiten Phase zur Stärkung der Korngrenzen und Verbesserung der Kriechfestigkeit;
- Die Partikel der zweiten Phase sind gleichmäßig verteilt, um die Bildung von Spannungskonzentrationsbereichen zu vermeiden.

#### 3. Gestaltung des Wärmebehandlungsprozesses

##### 1. Wärmebehandlung vor dem Sintern

- Regulieren Sie die Pulverpartikelgröße und die Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung, um Defekte beim Sintern zu vermeiden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Sorgen Sie für geeignete Temperatur- und Atmosphärenbedingungen, um die Verdichtung zu fördern.

## 2. Hochtemperatur-Lösungsglühen

- Durch die Hochtemperatur-Lösungsglühbehandlung werden Phasen aufgelöst und getrennt, Legierungselemente gleichmäßig verteilt und die Materialhomogenität verbessert;
- Verhindern Sie das Ausbrechen grober Phasen und bewahren Sie die organisatorische Stabilität.

## 3. Rechtzeitige Bearbeitung

- Kontrollieren Sie die Größe und Verteilung der ausgefällten Phase, um die Hochtemperaturfestigkeit zu verbessern.
- Optimieren Sie Alterungstemperatur und -zeit, um optimale mechanische Eigenschaften zu erzielen.

## 4. Atmosphärenkontrolle

- Die Wärmebehandlung wird in einer Schutzatmosphäre (z. B. Argon, Stickstoff) durchgeführt, um die Oxidation zu reduzieren.
- Bei einigen Verfahren wird eine Vakuum-Wärmebehandlung eingesetzt, um die Oberflächenqualität und innere Reinheit sicherzustellen.

## 4. Leistungsverbesserungseffekt

- Nach der Wärmebehandlung weist die Wolframlegierungsplatte feine Körner, eine gleichmäßige Struktur und eine deutlich verbesserte Kriechfestigkeit auf.
- Die Hochtemperaturfestigkeit und Bruchzähigkeit werden deutlich verbessert, um sich an hohe Temperaturbelastungen und Thermoschocks anzupassen;
- Eine verbesserte thermische Stabilität verlängert die Lebensdauer des Materials in Umgebungen mit hohen Temperaturen.

## 5. Anwendungsbeispiele und Entwicklungstrends

- Hochtemperaturschutzmaterialien für Turbinenschaufeln und Strukturteile von Flugzeugtriebwerken;
- Hitzebeständige Strukturmaterialien für Hochtemperaturkomponenten von Kernreaktoren;
- Wichtige hochtemperaturbeständige Komponenten in Hochtemperatur-Industrieöfen und Wärmebehandlungsgeräten.

In Zukunft werden das Organisationsdesign und der Wärmebehandlungsprozess von hochtemperaturbeständigen Wolframlegierungsplatten in Kombination mit fortschrittlicher Mikrostrukturcharakterisierungstechnologie und numerischer Simulation weiter optimiert, um kontinuierliche Durchbrüche bei der Materialleistung zu erzielen.

## VI. Zusammenfassung

Organisationsoptimierung und Feinwärmebehandlung sind die wichtigsten Mittel zur Verbesserung der Leistung hochtemperaturbeständiger Wolframlegierungsplatten. Durch die Kontrolle der Korngröße, die Verstärkung der Phasenverteilung und die Prozessparameter der Wärmebehandlung können die thermische Stabilität und die mechanischen Eigenschaften des

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materials bei hohen Temperaturen deutlich verbessert werden. Dies bietet eine solide Garantie für den zuverlässigen Einsatz von Wolframlegierungsplatten in extremen Umgebungen.

#### 6.4 Grenzflächenbindungsmechanismus von Wolfram-Kupfer/Wolfram-Nickel-Verbundplatten

Wolfram-Kupfer- (W-Cu) und Wolfram-Nickel-Verbundplatten (W-Ni) vereinen die hohe Dichte, den hohen Schmelzpunkt und die mechanische Festigkeit von Wolfram mit der guten elektrischen Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Zähigkeit von Kupfer und Nickel und finden breite Anwendung in den Bereichen elektronische Wärmeableitung, Wärmemanagement und Hochtemperatur-Strukturmaterialien. Die Leistungsfähigkeit von Verbundplatten hängt maßgeblich von der Qualität der Grenzflächenbindung und dem Bindungsmechanismus ab. Ein tiefes Verständnis des Grenzflächenbindungsprozesses ist entscheidend für die Optimierung von Materialeigenschaften und Herstellungsprozessen.

#### 1. Eigenschaften der Grenzflächenstruktur einer Wolframkupfer/Wolframnickel-Verbundplatte

- Zwischen Wolfram, Kupfer und Nickel bestehen erhebliche Unterschiede in den physikalischen und chemischen Eigenschaften, darunter Schmelzpunkt, Wärmeausdehnungskoeffizient, Gitterstruktur usw.
- Im Grenzflächenbereich befindet sich üblicherweise eine Übergangsschicht oder Diffusionsschicht, die die mechanische Bindungsstärke und die Wärmeleitfähigkeit der Grenzfläche beeinflusst.
- Eine hervorragende Grenzflächenbindung erfordert eine gute Benetzbarkeit und metallurgische Bindung zwischen Metallen sowie die Reduzierung von Grenzflächenrissen und -poren.

#### 2. Analyse des Schnittstellenbindungsmechanismus

##### 1. Mechanische Bindung

- Durch physikalisches Pressen und plastische Verformung werden Wolfram und Kupfer, Nickelpulver oder -platte eng miteinander verbunden, um eine vorläufige Verbindung zu bilden.
- Die mechanische Bindung bietet die grundlegende strukturelle Unterstützung der Schnittstelle, die Bindungsstärke ist jedoch begrenzt.

##### 2. Metallurgische Bindung

- Beim Hochtemperatursintern oder bei der thermischen Diffusion diffundiert Wolfram und löst sich mit Kupfer- und Nickelatomen auf;
- Bilden Sie eine Übergangsdiffusionsschicht, um die Grenzflächenbindung und Wärmeleitfähigkeit zu verbessern.
- Wolfram und Nickel bilden eine bestimmte feste Lösung oder interstitielle Phase, die die Grenzflächenzähigkeit verbessert.

##### 3. Diffusion und Grenzflächenreaktionen

- Elemente diffundieren an der Schnittstelle und bilden feine Legierungsphasen oder Übergangsphasen, die die Spannungsübertragung erleichtern.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Durch die Kontrolle des Diffusionsprozesses kann die Bildung spröder Phasen vermieden und die Stabilität der Grenzfläche verbessert werden.

### 3. Schlüsselfaktoren, die die Leistung der Schnittstellenbindung beeinflussen

#### 1. Pulverpartikelgröße und -verteilung

- Feines und gleichmäßiges Pulver trägt zur Bildung einer dichten Schnittstelle bei;
- Große Unterschiede in der Partikelgröße können zu Grenzflächendefekten führen.

#### 2. Sintertemperatur und Atmosphäre

- Die Sintertemperatur muss hoch genug sein, um die Diffusion und die metallurgische Bindung zu fördern, aber übermäßiges Kornwachstum zu vermeiden.
- Die Schutzatmosphäre verhindert die Oxidation der Schnittstelle und hält die Schnittstelle sauber.

#### 3. Druck und Zeit unterdrücken

- Ausreichender Druck hilft, Grenzflächenporen zu beseitigen und die mechanische Bindung zu verbessern.
- Die Sinterzeit beeinflusst die Diffusionstiefe und die Gleichmäßigkeit der Grenzflächenstruktur.

### 4. Auswirkungen der Schnittstellenverbindung auf die Leistung

- Eine gute Schnittstellenverbindung verbessert die Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit der Verbundplatte und erfüllt die Anforderungen einer effizienten Wärmeableitung.
- Die Festigkeit der Grenzflächenbindung bestimmt direkt die mechanische Festigkeit und die thermische Ermüdungsbeständigkeit des Materials.
- Eine schlechte Grenzflächenbindung kann zur Rissbildung führen und die Gesamtzuverlässigkeit des Materials verringern.

### 5. Schnittstellentechnik und Optimierungstechnologie

- Oberflächenaktivierungsbehandlungen wie Plasmareinigung verbessern die Benetzbarkeit und Bindungsqualität.
- Hinzufügen von Grenzflächenaktivatoren oder Grenzflächenschichtmaterialien zur Förderung der Diffusionsbindung und Grenzflächenstabilisierung;
- Verwenden Sie ein Gradientenlegierungs-Schnittstellendesign, um Unterschiede in der Wärmeausdehnung auszugleichen und die thermische Spannung zu reduzieren.

### 6. Anwendungsbeispiele

- Wolfram-Kupfer-Verbundplatten werden häufig in Wärmeableitungssubstraten für elektronische Geräte und Hochleistungsschaltgeräten verwendet.
- Wolfram-Nickel-Verbundplatten werden für verschleißfeste, hochfeste Strukturteile und Abschirmmaterialien in der Nuklearindustrie verwendet;
- Durch die Optimierung der Schnittstellenverbindung werden die Lebensdauer und Leistungsstabilität von Verbundplatten in extremen Umgebungen verbessert.

## VII. Zusammenfassung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolfram-Kupfer- und Wolfram-Nickel-Verbundplatten sind ein entscheidender Faktor für die Materialleistung. Durch die Optimierung der mechanischen Bindung, der metallurgischen Diffusion und der Schnittstellentechnik können hochfeste, hochwärmeleitfähige und hochzähe Verbundwerkstoffe hergestellt werden, die den hohen Anforderungen an die elektronische Wärmeableitung und an Hochtemperatur-Strukturmaterialien gerecht werden. Zukünftig wird die Entwicklung von Schnittstellendesign und Steuerungstechnologie die Leistungsverbesserung und Anwendungserweiterung von Wolframlegierungs-Verbundplatten weiter vorantreiben.

## **6.5 Forschung und Entwicklung von Oberflächenbeschichtungen sowie verschleiß- und korrosionsbeständigen Blechen**

Wolframlegierungsplatten sind in vielen industriellen Anwendungen oft komplexen Herausforderungen wie mechanischem Verschleiß, Korrosion und Hochtemperaturoxidation ausgesetzt. Um die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsplatten zu verbessern, hat sich die Oberflächenbeschichtungstechnologie zu einem wichtigen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt entwickelt. Durch diversifizierte Beschichtungsmaterialien und fortschrittliche Beschichtungsverfahren konnten nicht nur die Oberflächeneigenschaften von Wolframlegierungsplatten deutlich verbessert, sondern auch ihre Anwendungsbereiche erweitert werden.

### **1. Übersicht über Verschleiß und Korrosion der Oberfläche von Wolframlegierungsplatten**

- Platten aus Wolframlegierungen neigen in Umgebungen mit hoher Belastung und häufiger Reibung zu Oberflächenverschleiß, was ihre Lebensdauer beeinträchtigt.
- Oxidation bei hohen Temperaturen und chemische Korrosion führen zu einer Verschlechterung der Oberfläche, wodurch die mechanische Festigkeit und die Gesamtleistung geschwächt werden.
- Oberflächendefekte und Mikrorisse können leicht zu Korrosionsquellen werden und zu größeren Materialschäden führen.

### **2. Arten und Merkmale der Oberflächenbeschichtungstechnologie**

#### **1. Keramikbeschichtung**

- Zu den häufig verwendeten Materialien gehören Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Titanoxid ( $\text{TiO}_2$ ), Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) usw.
- Es hat eine hohe Härte, hohe Verschleißfestigkeit und ausgezeichnete Hochtemperaturbeständigkeit;
- Geeignet für den Einsatz bei extremer Beanspruchung und hohen Temperaturen.

#### **2. Metallbeschichtung**

- Metallbeschichtungen wie Kupfer, Nickel und Chrom werden durch Galvanisieren, Sprühen und andere Methoden erzielt;
- Verbessern Sie die Oberflächenleitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit;
- Geeignet für elektronische Kühl- und Schutzanwendungen.

#### **3. Verbundbeschichtung**

- Die Keramik-Metall-Verbundbeschichtung vereint die Vorteile beider Beschichtungen, nämlich Härte und Zähigkeit.

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

- Es wird mithilfe moderner Verfahren wie physikalischer Gasphasenabscheidung (PVD) und chemischer Gasphasenabscheidung (CVD) hergestellt.

#### 4. Nano-Beschichtungstechnologie

- Verwenden Sie Nanomaterialien, um Beschichtungen mit ultrafeinen Strukturen herzustellen und so die Haftung und Verschleißfestigkeit zu verbessern.
- Verfügt über hervorragende selbstreparierende und korrosionsbeständige Eigenschaften.

### 3. Beschichtungsvorbereitungsprozess

#### 1. Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)

- Der dünne Film wird durch Aufdampfen oder Sputtern abgeschieden und die Beschichtung ist dicht und gleichmäßig;
- Wird häufig zur Herstellung harter Keramik- und Metallverbundbeschichtungen verwendet.

#### 2. Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)

- Geeignet für großflächige, gleichmäßige Beschichtungen mit starker Beschichtungshaftung;
- Die Zusammensetzung und Dicke der Beschichtung können gesteuert werden, um bestimmte Leistungsanforderungen zu erfüllen.

#### 3. Galvanisieren und Sprühen

- Der Galvanisierungsprozess ist einfach und effizient und eignet sich für Metallbeschichtungsanwendungen.
- Die Sprühtechnologie ist flexibel und für dicke Beschichtungen und komplex geformte Werkstücke geeignet.

#### 4. Die Rolle der Oberflächenbeschichtung bei der Leistungsverbesserung

- Verbessern Sie die Oberflächenhärte und Verschleißfestigkeit von Wolframlegierungsplatten erheblich und verlängern Sie ihre Lebensdauer.
- Verhindert wirksam Oxidation und chemische Korrosion und schützt die Materialstruktur.
- Verbessern Sie die Wärmeleitfähigkeit und die elektrischen Oberflächeneigenschaften, um den Anforderungen von High-End-Elektronik und Präzisionsinstrumenten gerecht zu werden.

### V. F&E-Fortschritte und Herausforderungen

- Es entstehen ständig neue funktionelle Beschichtungsmaterialien, wie etwa superharte Keramiken und Nanokomposite.
- Die Bindungsstärke und die Anpassung der Wärmeausdehnung zwischen der Beschichtung und dem Plattensubstrat aus Wolframlegierung stellen technische Schwierigkeiten dar.
- Es ist notwendig, Niedertemperatur-Beschichtungsverfahren zu entwickeln, um die thermische Belastung des Substrats und die Leistungsminderung zu verringern.
- Berücksichtigen Sie die Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit der Beschichtung und fördern Sie deren industrielle Anwendung.

### VI. Zukünftige Entwicklungsrichtung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Forschung und Entwicklung multifunktionaler Verbundbeschichtungen zur Erzielung integrierter Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Strahlungsbeständigkeit;
- Intelligente Beschichtungstechnologien, wie selbstheilende und umweltverträgliche Beschichtungsmaterialien;
- In Kombination mit dem Design der Oberflächennanostruktur werden Haftung und Leistung weiter verbessert.
- Optimieren Sie den Prozessablauf, um eine effiziente und energiesparende Beschichtungsvorbereitung zu erreichen.

## VII. Zusammenfassung

Die Oberflächenbeschichtungstechnologie ist ein wichtiger Weg, um die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsplatten zu verbessern. Durch Materialinnovation und Prozessoptimierung wurden die Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsplatten unter rauen Arbeitsbedingungen erheblich verbessert, was ihre Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie, der Elektronik und anderen Bereichen deutlich erleichtert.

### 6.6 Design einer thermisch und elektrisch leitfähigen/antimagnetischen Funktionsplatte aus Wolframlegierung

Wolframlegierungsplatten werden aufgrund ihrer hervorragenden Dichte, Festigkeit und ihres hohen Schmelzpunkts häufig in anspruchsvollen Bereichen wie Elektronik, Luft- und Raumfahrt und Kernenergie eingesetzt. Mit der technologischen Entwicklung wurde das funktionale Design von Wolframlegierungsplatten schrittweise auf Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit und antimagnetische Eigenschaften erweitert, um den vielfältigen Anforderungen unter komplexen Arbeitsbedingungen gerecht zu werden. Durch Zusammensetzungskontrolle, Mikrostrukturdesign und Verbundtechnologie können die Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit und magnetische Leistung von Wolframlegierungsplatten effektiv verbessert werden.

#### 1. Konstruktionsprinzip der thermisch und elektrisch leitfähigen Wolframlegierungsplatte

##### 1. Kontrolle der Legierungszusammensetzung

- Durch die Einführung von Metallelementen mit hoher Wärmeleitfähigkeit, wie Kupfer (Cu), Silber (Ag) und Aluminium (Al), werden die Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit des Materials erheblich verbessert.
- Passen Sie das Verhältnis von Wolfram zu anderen Elementen an, um eine angemessene Verteilung der Matrix und der leitfähigen Phase zu erreichen, wobei Sie sowohl die Festigkeit als auch die Leitfähigkeit berücksichtigen.

##### 2. Mikrostrukturoptimierung

- Optimieren Sie die Korngröße und Morphologie der Wolframmatrix, reduzieren Sie den thermischen Widerstand der Korngrenzen und verbessern Sie die Wärmeleitungseffizienz.
- Die Phasenschnittstelle wird durch Pulvermetallurgie und schnelle Sinterprozesse gesteuert, um den Schnittstellenwiderstand und den Wärmewiderstand zu reduzieren.

##### 3. Verbundwerkstoffdesign

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Verwenden Sie Wolfram-Kupfer, Wolfram-Silber und andere Verbundsysteme, um ein kontinuierliches leitfähiges Netzwerk zu bilden und so eine hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit zu gewährleisten.
- Entwickeln Sie funktional abgestufte Materialien, um eine zonierte Optimierung der Oberflächen- und Innenleistung zu erreichen.

## **Designstrategie für antimagnetische Wolframlegierungsplatten**

### **1. Magnelementsteuerung**

- Reduzieren oder vermeiden Sie die Verwendung starker magnetischer Elemente (wie Eisen Fe, Kobalt Co, Nickel Ni), um die magnetische Reaktion des Materials zu verringern.
- Um eine insgesamt niedrige magnetische Permeabilität zu gewährleisten, werden nicht-magnetische oder schwach magnetische Metalle als Legierungselemente verwendet.

### **2. Kristallstruktur und Defektkontrolle**

- Durch die Verfeinerung der Körner und die Reduzierung der magnetischen Domänenstruktur wird die magnetische Anisotropie erhöht und die makroskopische magnetische Leistung reduziert;
- Kontrollieren Sie die Morphologie und Verteilung der ausgefällten Phase und reduzieren Sie die Aggregation der magnetischen Phase.

## **Leistungsmerkmale der funktionellen Wolframlegierungsplatte**

### **1. Hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit**

- Die Wärmeleitfähigkeit kann ein Vielfaches der herkömmlichen Wolframlegierungen erreichen und erfüllt damit die Anforderungen an die Wärmeableitung elektronischer Geräte und der Hochfrequenzkommunikation.
- Der spezifische Widerstand wird reduziert, was gute elektrische Eigenschaften gewährleistet und für Kontaktmaterialien und Elektrodenstrukturen geeignet ist.

### **2. Geringe magnetische Reaktionseigenschaften**

- Geringe magnetische Permeabilität und ausgezeichnete antimagnetische Eigenschaften, geeignet für die präzise Steuerung magnetischer Felder und medizinische Magnetresonanzgeräte;
- Reduzieren Sie Magnetfeldstörungen und verbessern Sie die Systemstabilität und Messgenauigkeit.

### **4. Anwendungsgebiete**

- Wärmeableitungssubstrate und leitfähige Strukturteile für leistungsstarke elektronische Geräte;
- Instrumente und Gerätestrukturen in der Luft- und Raumfahrt, die empfindlich auf magnetische Störungen reagieren;
- Die Nuklearindustrie benötigt Schutzmaterialien, die sowohl die Wärmeableitung als auch die antimagnetischen Eigenschaften berücksichtigen.
- Wichtige Strukturmaterialien in medizinischen Magnetresonanztomographiegeräten (MRT).

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

## 5. Herausforderungen bei Design und Fertigung

- Das Gleichgewicht zwischen thermischer und elektrischer Leitfähigkeit und mechanischer Festigkeit erfordert eine umfassende Optimierung in vielen Aspekten.
- Die Kontrolle des Wärmewiderstands und des elektrischen Widerstands der Verbundschnittstelle ist schwierig und der Herstellungsprozess stellt hohe Anforderungen.
- Die Verbesserung der antimagnetischen Eigenschaften stellt höhere Anforderungen an die Auswahl der Legierungselemente und die Kontrolle der Mikrostruktur.

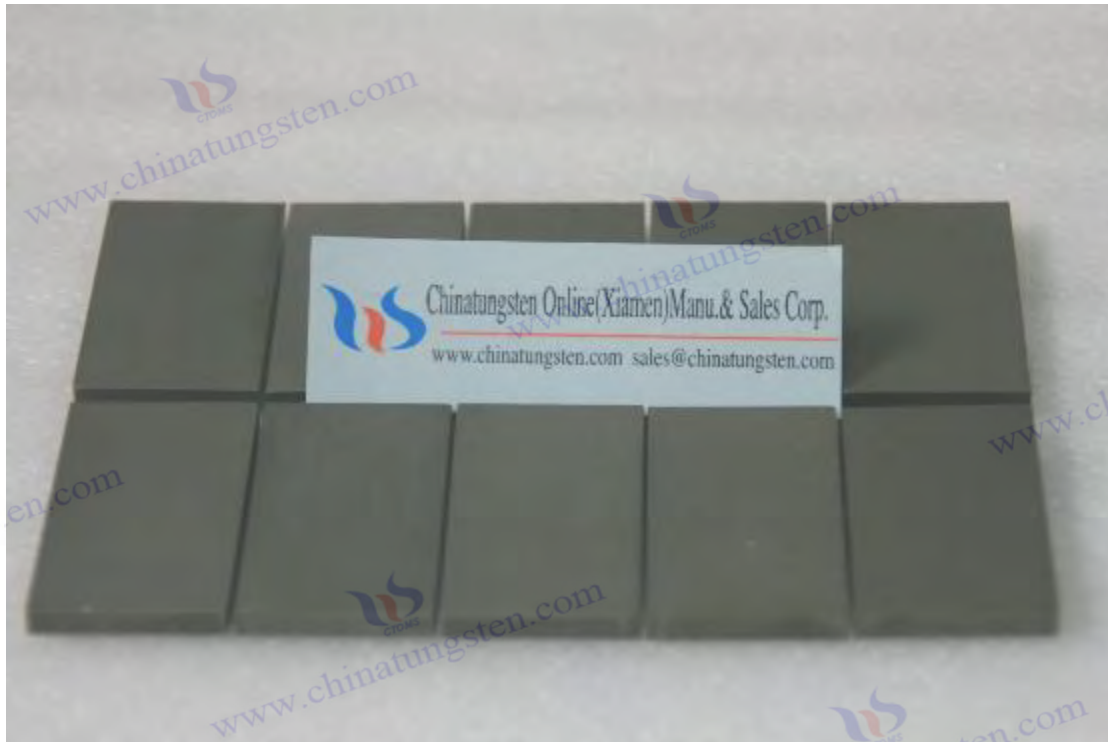
## 6. Zukünftige Entwicklungstrends

- Nutzung der computergestützten Materialwissenschaft zur Steuerung des Komponentendesigns und zur präzisen Kontrolle der Wärmeleitfähigkeit, der elektrischen Leitfähigkeit und der antimagnetischen Eigenschaften;
- Entwicklung nanostrukturierter und funktionaler Gradientenmaterialien zur Verbesserung der Schnittstellenleistung und Gesamtstabilität;
- Förderung der Anwendung additiver Fertigungstechnologie bei funktionalen Wolframlegierungsplatten, um eine integrierte Herstellung komplexer Strukturen zu erreichen;
- Entdecken Sie intelligente Materialtechnologie, um eine dynamische Reaktion und Anpassung der Leistung von Wolframlegierungsplatten zu erreichen.

## VII. Zusammenfassung

Durch wissenschaftliche Zusammensetzungsgestaltung und Mikrostrukturkontrolle erfüllen die wärmeleitenden, elektrisch leitenden und antimagnetischen Funktionsplatten aus Wolframlegierung die vielfältigen Anforderungen an Wärmemanagement, elektrische und magnetische Eigenschaften in High-End-Anwendungen. Mit der Weiterentwicklung der Materialtechnologie und der Herstellungsverfahren werden diese Funktionsplatten aus Wolframlegierung in den Bereichen Luft- und Raumfahrt, elektronische Kommunikation, Nuklearindustrie und Medizintechnik eine immer wichtigere Rolle spielen.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Kapitel 7 Internationale Normen und Qualitätssystem für Wolframlegierungsplatten

### 7.1 Chinesische Normen für Wolframlegierungsplatten (GB/T, YS/T)

Als einer der weltweit größten Wolfram-Rohstofflieferanten und Wolfram-Werkstoffhersteller hat China ein relativ umfassendes Standardsystem für Wolfram- und Wolframlegierungsprodukte etabliert, das die technischen Bedingungen, Prüfmethoden, Maßtoleranzen, Oberflächenqualität, Leistungsindikatoren und Prüfspezifikationen von Wolframlegierungsplatten abdeckt. Der nationale Standard (GB/T) und der Nichteisenmetall-Industriestandard (YS/T) bilden zusammen die Qualitätsgrundlage und die Industriespezifikationen für Wolframlegierungsplatten auf dem chinesischen Markt.

#### 1. Übersicht über das Standardsystem

##### 1. Nationaler Standard (GB/T)

- **GB/T-Standards** sind empfohlene nationale Standards mit hoher Autorität und Universalität;
- Es wird hauptsächlich verwendet, um die Größe, Toleranz, technischen Bedingungen und Prüfmethoden von Wolframlegierungsplatten zu bestimmen.
- Es ist auf Maßstäbe für die Qualitätsbewertung in verschiedenen allgemeinen Industriebereichen, bei Exportprodukten und inländischen Beschaffungsverträgen anwendbar.

##### 2. Industriestandard (YS/T)

- **Der YS/T-Standard** wurde von der China Nonferrous Metals Industry Association formuliert und spiegelt den neuesten technischen Stand der Branche wider.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Spezifischer und detaillierter, wird häufig in den technischen Indexanforderungen spezieller Wolframlegierungsplatten verwendet;
- Es verfügt über eine stärkere Voraussicht und Anwendbarkeit für Wolframlegierungsprodukte mit neuen Materialien und neuen Verfahren.

## 2. Beispiele für häufig verwendete nationale Standards (GB/T)

| Standard Nr. | Standardname                                  | Inhalt                                                                                                               |
|--------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GB/T 4187    | Wolframplatte                                 | Gibt die Klassifizierung, Größe, das Aussehen, die mechanischen Eigenschaften und Prüfmethoden von Wolframplatten an |
| GB/T 3462    | Maßtoleranzen für Edelmetallbleche            | Deckt Dicken- und Breitentoleranzstandards für Wolfram-, Molybdän- und andere Platten ab                             |
| GB/T 2040    | Chemische Analysemethoden für Wolframprodukte | Anwendbar für die Analyse von W, Fe, Ni, Cu und anderen Elementen in Wolframlegierungsplatten                        |
| GB/T 8170    | Numerische Rundungsregeln                     | die Größenkontrolle und Inspektion von Wolframplatten                                                                |

Hinweis: Bei der tatsächlichen Beschaffung und Abnahme wird GB/T 4187 häufig als Basisstandard verwendet.

## 3. Beispiele für häufig verwendete Nichteisenmetall-Industrienormen (YS/T)

| Standard Nr. | Standardname                                                              | Geltungsbereich                                                                                          |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| YS/T 519     | Schwere Wolframlegierungsprodukte                                         | anwendbar auf Wolfram-Nickel-Eisen, Wolfram-Nickel-Kupferplatten und andere Produkte                     |
| YS/T 795     | Wolframlegierungsplatte                                                   | Liefern Sie klare Indikatoren für die Leistung und das Aussehen von dicken, mittleren und dünnen Platten |
| YS/T 670     | Prüfverfahren für pulvermetallurgische Wolframwerkstoffe                  | Prüfvorschriften für mikroskopische Eigenschaften wie Dichte und Porosität                               |
| YS/T 629     | Methode zur Analyse der chemischen Zusammensetzung einer Wolframlegierung | Hochpräzise Analysemethoden mit gleichzeitiger Erfassung mehrerer Elemente                               |

## IV. Hauptindikatoren für Standardinhalte

### 1. Maß- und Toleranzkontrolle

- Dickenabweichung, Breitenabweichung, Ebenheit der Plattenoberfläche;
- Kantengleichmäßigkeit, Verzugskontrolle usw.

### 2. Mechanische Eigenschaften

- Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung;
- Härteindex (HV, HB), Schlagzähigkeit usw.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Oberflächenqualität

- Risse, Abblätterungen, Oxidschichten oder Einschlüsse sind nicht zulässig.
- Oberflächenrauheit  $Ra \leq$  angegebener Wert, leichte Kratzer sind zulässig.

### 4. Interne Mängel und organisatorische Kontrolle

- Geben Sie Prüfmethoden wie Ultraschall, CT und andere zerstörungsfreie Prüfungen an.
- Die Mikrostruktur ist gleichmäßig, ohne nennenswerte Einschlüsse oder Löcher.

### 5. Chemischer Zusammensetzungsbereich

- Gehalte an Haupt- und Verunreinigungselementen wie W, Ni, Fe, Cu und Mo;
- Entspricht bestimmten Klasseneinteilungen (z. B. Klasse 1, Klasse 2, Sonderklasse).

## V. Standardimplementierung und Qualitätszertifizierungspraxis

### 1. Anwendbare Objekte

- Für Produktionsunternehmen, Einkaufseinheiten, wissenschaftliche Forschungseinrichtungen und Qualitätskontrollabteilungen;
- Bieten Sie einheitlichen technischen Support für Handel, Export und Projektausschreibungen.

### 2. An internationalen Standards ausrichten

- In den letzten Jahren haben sich die chinesischen Normen an ISO und ASTM angenähert.
- Verbessern Sie die internationale Kompatibilität von Standards durch die Einführung gleichwertiger Konvertierungen, ergänzender Erklärungen und anderer Methoden.

### 3. Interne Kontrollstandards des Unternehmens

- Einige führende Unternehmen haben strengere technische Unternehmensspezifikationen auf der Grundlage der Implementierung von GB/T und YS/T formuliert.
- Zum Beispiel höhere Maßgenauigkeit, geringere Verunreinigungsgrenzen und feinere Oberflächenqualität.

## VI. Zusammenfassung

Das chinesische Standardsystem für Wolframlegierungsplatten bietet eine grundlegende Grundlage und technische Unterstützung für Design, Produktion, Prüfung und Vertrieb von Produkten. Der GB/T-Standard spiegelt die nationalen einheitlichen technischen Managementspezifikationen wider, während der YS/T-Standard den technologischen Entwicklungsstand der Branche widerspiegelt. Mit der zunehmenden Verbreitung von Wolframlegierungsplatten in High-End-Anwendungsbereichen werden auch diese Standards kontinuierlich überarbeitet und verbessert. Sie spielen eine Schlüsselrolle bei der Sicherung der Produktqualität und der Förderung technologischer Verbesserungen.

### 7.2 Interpretation amerikanischer Normen (ASTM, MIL)

Als wichtiger Marktführer in der globalen High-End-Materialindustrie haben die Vereinigten Staaten ein relativ umfassendes und weit verbreitetes Standardsystem für Wolfram und Wolframlegierungen etabliert. Dieses System besteht hauptsächlich aus **ASTM-Standards (American Society for Testing and Materials)** und **MIL-Standards (US Military Standards)**. Es bietet nicht nur technische Spezifikationen für das nationale Militär, die Luft- und Raumfahrt, die

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Elektronik und andere Bereiche, sondern spielt auch eine wichtige Rolle im globalen Handel, im Qualitätsmanagement und bei der internationalen Zertifizierung.

## 1. Überblick über das ASTM-Standardsystem

### 1. Art des Standards

ASTM-Standards (American Society for Testing and Materials) sind **ein internationales anerkanntes technisches Standardsystem**, das Materialeigenschaften, Testmethoden und allgemeine Spezifikationen betont und in der industriellen Fertigung, Qualitätskontrolle, Handelskonformität und anderen Bereichen weit verbreitet ist.

### Typische ASTM-Standards im Zusammenhang mit Wolframlegierungsplatten

| Standard Nr.      | Standardname                                                                     | Geltungsbereich                                                                                                  |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ASTM B702</b>  | Spezifikation für pulvermetallurgische Produkte aus schweren Wolframlegierungen  | Inklusive technischer Anforderungen für verschiedene Produkte wie Platten, Stangen, Rundkuchen und Schmiedeteile |
| <b>ASTM B777</b>  | Produktstandard für Wolframlegierungen mit hoher Dichte                          | Klärung der mechanischen Eigenschaften, der chemischen Zusammensetzung und der Maßtoleranz von Werkstoffen       |
| <b>ASTM B760</b>  | Technische Spezifikationen für Wolfram- und Molybdänplatten, -bleche und -bänder | Geeignet für die Vorbereitung und Qualitätsprüfung von dicken und dünnen Platten                                 |
| <b>ASTM E1477</b> | Referenzmethoden zur Erkennung seltener Metalle                                  | Spektrale, thermische Analyse und Strukturerkennung von Materialien wie Wolfram und Molybdän                     |

## 3. Kernpunkte der Norm

- **Anforderungen an die Zusammensetzung** : Geben Sie den Wolframgehalt, das Legierungselementverhältnis und die Verunreinigungsgrenzen an.
- **Abmessungen und Toleranzen** : einschließlich Dicke, Breite, Ebenheit und Kantenformung;
- **Mechanische Eigenschaften** : Zugfestigkeit, Streckgrenze, Duktilität;
- **Prüfmethoden** : einschließlich Zugversuch, Härteprüfung, Ultraschallprüfung usw.;
- **Oberflächenqualität** : Oxidation, Abplatzungen, Einschlüsse usw. sind klar definiert.

## 2. Überblick über das MIL-Militärstandardsystem

### 1. Art des Standards

MIL-STD (Military Standard) ist **ein vom US-Verteidigungsministerium entwickeltes Standardsystem für militärische Produkte** und wird häufig in Hightech-Anwendungen wie Militärwaffen, der Luft- und Raumfahrt und der Feinmechanik eingesetzt. Das System legt Wert auf Zuverlässigkeit, Sicherheit und Beständigkeit unter extremen Bedingungen.

### Repräsentative Standards für Wolframlegierungsplatten

| Standard Nr. | Standardname | Merkmale |
|--------------|--------------|----------|
|--------------|--------------|----------|

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|               |                                                     |                                                                                                            |
|---------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MIL-T-21014   | Wolframlegierung mit hoher Dichte, Standard         | Einschließlich der Größe, Leistung und Prozessanforderungen von Platten, Stäben und Ringen                 |
| MIL-C-14550   | Vernickelungsprozessstandards für Metalloberflächen | Galvanische Anforderungen und Umweltverträglichkeit von Wolfram-basierten Materialien                      |
| MIL-STD-45662 | Mess- und Prüfmittelkontrollstandards               | Für die Materialprüfung und das Qualitätsrückverfolgbarkeitsmanagement                                     |
| MIL-STD-883   | Prüfnormen für elektronische Komponenten            | Geeignet für Wolframlegierungen, die in Chipträgerplatten oder Wärmeableitungsmaterialien verwendet werden |

### 3. Militärstandardfunktionen

- **Hohe Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit an die Umwelt** : Schwerpunkt auf stabiler Leistung in Umgebungen mit hohen Temperaturen, Strahlung und Stößen;
- **Strenge mechanische Zuverlässigkeit** : klare Untergrenzen für Festigkeit, Bruchzähigkeit und Ermüdungsverhalten;
- **Strenge Chargenkonsistenzkontrolle** : Gute Rückverfolgbarkeit und Konsistenzprüfung sind erforderlich;
- **Gleicher Schwerpunkt auf Sicherheits- und Umweltzertifizierung** : einschließlich Beschränkungen für schädliche Elemente, Materialalterungstests usw.

### 3. Komplementäre Beziehung zwischen ASTM- und MIL-Standards

| Vergleichsmaße         | ASTM-Normen                                                       | MIL-Standard                                                         |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Anwendungsbereiche     | Allgemeine Industrie, zivile Nutzung, wissenschaftliche Forschung | Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und Militärindustrie               |
| Standardtyp            | Produktspezifikationen + Testmethoden                             | Anwendungsleistung + Anpassungsfähigkeit an die Umgebung             |
| Inspektionsschwerpunkt | Materialeigenschaften                                             | Systemzuverlässigkeit und Übereinstimmung mit den Arbeitsbedingungen |
| Standard-Offenheit     | Öffentliche Mittel, weit verbreitet                               | Militärischer Hintergrund, teilweise vertraulich                     |

Hinweis: Bei der tatsächlichen Konstruktion und Produktion hochwertiger Wolframlegierungsplatten müssen Unternehmen häufig sowohl die ASTM- als auch die MIL-Anforderungen erfüllen.

### 4. Anwendung bei der Herstellung und dem Export von Wolframlegierungsplatten

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Technische Vertragsgrundlage** : ASTM B702, B777 usw. werden häufig als grundlegende Standards für internationale Beschaffungs- und technische Vereinbarungen verwendet.
- **Schnittstelle zum Qualitätsmanagementsystem** : MIL-Standards erfordern Kompatibilität mit ISO 9001, AS9100 und anderen Systemen;
- **Internationale Zertifizierung** : Die Einhaltung der ASTM/MIL-Standards erleichtert den Eintritt in High-End-Märkte wie Nordamerika und die Europäische Union.
- **Anleitung zu Prüfmethoden** : Die in der Norm festgelegten physikalischen und chemischen Prüfmethoden werden weitgehend als Grundlage für die Prüfung übernommen.

## V. Zusammenfassung

Die ASTM- und MIL-Standardsysteme bilden eine wichtige Säule des Qualitätsmanagements für Wolframlegierungen in den USA. Ihre Genauigkeit, Systematik und Autorität werden weltweit anerkannt. ASTM bietet allgemeine Kriterien zur Bewertung der Materialleistung, während der MIL-Standard die Betriebszuverlässigkeit unter extremen Bedingungen in den Mittelpunkt stellt. Im internationalen Wettbewerb sollten chinesische Unternehmen ASTM/MIL-Standards aktiv vergleichen, um die internationale Anpassungsfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte im High-End-Markt zu verbessern.

## 7.3 Zusammenstellung europäischer und ISO-Normen für Wolframlegierungsplatten

Mit der weltweiten Entwicklung und Verbreitung der Wolframlegierungstechnologie haben Europa und die Internationale Organisation für Normung (ISO) auch ein breites und verbindliches Standardsystem für Wolframlegierungsplatten etabliert. Diese Standards dienen nicht nur der lokalen industriellen Fertigung, der Handelsaufsicht und der Einhaltung von Umweltvorschriften in Europa, sondern werden auch international als Referenz akzeptiert und fördern die breite Anwendung von Wolframlegierungsplatten in anspruchsvollen Bereichen wie Kernenergie, Luftfahrt, Elektronik und Medizin.

### 1. Einführung in das internationale ISO-Normensystem

#### 1. Wesen der ISO-Normen

- ISO (Internationale Organisation für Normung) ist die maßgeblichste und einflussreichste Normungsorganisation der Welt.
- Die Wolfram-Werkstoffnormen werden hauptsächlich von technischen Komitees wie ISO/TC 119 (technisches Komitee für Pulvermetallurgie) und ISO/TC 261 (Additive Fertigung) bearbeitet.
- Der Schwerpunkt der ISO-Normen liegt auf Universalität, Koordination und gegenseitiger Anerkennung. Sie werden häufig im internationalen Handel, bei Zertifizierungen und Konformitätsprüfungen eingesetzt.

#### 2. Beispiele für gängige ISO-Normen für Wolframlegierungen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

| Standard Nr. | Standardname                                                                    | Beteiligte Inhalte                                                          |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ISO 4499     | Methode zur Analyse der Mikrostruktur von Metallpulver und seinen Produkten     | aus Wolframpulver und gesinterter Wolframlegierungsplatte                   |
| ISO 5755     | Methode zur Bestimmung der Wolframmaterialdichte                                | Dichtebestimmung mit archimedischen und geometrischen Methoden              |
| ISO 6892-1   | Zugprüfung an metallischen Werkstoffen Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur | Angewandt auf den Zugfestigkeitstest von Wolframlegierungsplatten           |
| ISO 3928     | Biegeversuch für Metallwerkstoffe                                               | Prüfung der Duktilität und des Bruchverhaltens von Wolframlegierungsplatten |

Die ISO-Normen verwenden meist gemeinsame Testmethoden, ergänzen ASTM und wurden teilweise in EU-Normen integriert.

## 2. Überblick über das europäische EN-Normensystem

### 1. Standardquelle

- EN-Normen (Europäische Normen) werden vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) einheitlich formuliert;
- mit Wolframlegierungsplatten basieren hauptsächlich auf den Normen der Mitgliedsländer wie der deutschen DIN, der französischen NF, der britischen BS und der spanischen UNE.
- Es hat Rechtswirkung innerhalb der EU und ist die Konformitätsgrundlage für Produkte, die auf den europäischen Markt gelangen.

### 2. Beispiele typischer EN-Normen

| Standard Nr. | Standardname                                                    | Ursprünglicher nationaler Standard                                                 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| EN 2516      | Materialspezifikationen für Wolframlegierungen mit hoher Dichte | Abgeleitet vom französischen Standard der Luftfahrtindustrie (NF L)                |
| EN 10204     | Standards für Materialqualitätszertifizierungsdokumente         | Weit verbreitet im Qualitätsrückverfolgbarkeitssystem für Wolframlegierungsplatten |
| EN ISO 6507  | Mikro-Vickers-Härteprüfverfahren für Metalle                    | Entspricht ISO 6507 für Härteprüfungen                                             |
| EN ISO 9001  | Anforderungen an das Qualitätsmanagementsystem                  | für Hersteller von Wolframlegierungsplatten                                        |

## 3. Umsetzung und Merkmale europäischer Normen

### 1. Verfeinerung der technischen Indikatoren

- Es gibt detailliertere Abstufungen zur Kontrolle der Plattendicke, der Toleranzklasse, der Kantenformung usw.
- Es bestehen hohe Anforderungen an die Kontrolle der Oberflächenqualität, der Mikrostruktur, nichtmetallischer Einschlüsse usw.

### Hohe Umweltschutz- und Compliance-Anforderungen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Schwerpunkt auf der Einhaltung von RoHS (Restriction of Hazardous Substances) und REACH (Registration and Evaluation of Chemicals);
- Festlegung strenger Grenzwerte für schädliche Verunreinigungen wie Blei, Cadmium und Quecksilber;
- Sicherheitsdatenblätter (SDS/MSDS) und vollständige Informationen zum Lebenszyklus des Materials sind erforderlich.

### 3. Das Zertifizierungssystem ist stark standardisiert

- Die Produkte müssen die CE-Kennzeichnung, die RoHS-Konformitätserklärung und die Tests durch Dritte bestehen.
- Das Unternehmen muss die Zertifizierungen ISO 9001, ISO 14001 (Umwelt) und andere Managementsysteme bestehen.
- Die Lieferketten in den Bereichen Militär, Kernenergie und Luftfahrt müssen zusätzlich fortschrittliche Systeme wie EN 9100 und ISO/TS 16949 erfüllen.

### 4. Die internationale Bedeutung der ISO- und EN-Normen

- **Weltweit anerkannt** : ISO-Normen werden häufig in technischen Dokumenten und Abnahmeprotokollen für den internationalen Handel verwendet.
- **Technische Koordinierung** : EN-ISO-Normen beschleunigen die gegenseitige Anerkennung europäischer und internationaler Qualitätsstandards;
- **Exportförderung** : Wenn chinesische Hersteller von Wolframlegierungsplatten die ISO/EN-Standardzertifizierung bestehen, wird es für sie einfacher sein, in die High-End-Märkte in Europa und den Vereinigten Staaten einzutreten.
- **Technologieintegration** : Die meisten europäischen Importeure und Endverbraucher bevorzugen die Verwendung von ISO/EN-zertifizierten Produkten.

### 5. Auswirkungen auf chinesische Fertigungsunternehmen

| Richtung                      | Anregung                                                                                                   |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technologie-Upgrade           | Benchmarking von EN 2516, ISO 4499 und anderen Normen zur Verbesserung der Produktstruktur und -leistung   |
| Qualitätssystem               | Etablieren Sie ein prozessübergreifendes Qualitätskontrollsystem, das den ISO/EN-Anforderungen entspricht  |
| Umweltverträglichkeit         | Stärkung der Erforschung und Umsetzung von Umweltvorschriften wie RoHS und REACH                           |
| Internationale Zertifizierung | Erlangen Sie aktiv CE-, ISO- und EN-Zertifizierungen, um den internationalen Einfluss der Marke zu stärken |

## VI. Zusammenfassung

Das europäische und ISO-Normensystem für Wolframlegierungsplatten ist hochgradig standardisiert, umweltfreundlich und technologisch fortschrittlich und bietet chinesischen und internationalen Herstellern die einzige Möglichkeit, in den High-End-Markt vorzudringen. Der Standardinhalt konzentriert sich nicht nur auf Materialeistung und Prüfmethode, sondern umfasst auch systematischere Anforderungen wie Umweltverträglichkeit, Lebenszyklusmanagement und Systemzertifizierung. Für die vor- und nachgelagerte Industriekette

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

der Wolframlegierungsplattenindustrie ist das aktive Benchmarking und die Anpassung an diese Normen ein wichtiger Schritt zur Steigerung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit und zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung.

## 7.4 RoHS-, REACH- und MSDS-Umweltkonformitätsanforderungen

Da Umweltschutz und Gesundheit weltweit zunehmend im Fokus stehen, müssen Produktion, Verwendung und Vertrieb von Wolframlegierungsplatten eine Reihe internationaler Umweltvorschriften und Materialsicherheitsstandards erfüllen. Die Einhaltung **der EU-RoHS-Richtlinie, der REACH-Verordnung und des Sicherheitsdatenblatts (MSDS)** ist eine wichtige Voraussetzung für den internationalen Markteintritt. Hersteller von Wolframlegierungsplatten müssen großen Wert auf die Integrität und Genauigkeit ihrer Materialzusammensetzung, ihr Chemikalienmanagement und ihre Informationsoffenlegung legen.

### 1. RoHS-Richtlinie (Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe)

#### 1. Einführung in RoHS

RoHS (Restriction of Hazardous Substances Directive) ist eine verbindliche Umweltrichtlinie der Europäischen Union, die die Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektronischen und elektrischen Produkten einschränkt. Ziel ist es, die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu schützen und den schrittweisen Ersatz schädlicher Elemente in elektronischen Produkten zu fördern.

#### 2. Anwendbarkeit von Wolframlegierungsplatten

Obwohl Wolframlegierungsplatten keine typischen elektronischen und elektrischen Fertigprodukte sind, müssen sie **bei Verwendung in Strukturteilen elektronischer Geräte, Kühlkörpern, wärmeleitenden Grundplatten oder Verpackungskomponenten** die RoHS-Anforderungen erfüllen, insbesondere wenn sie nach Europa exportiert oder in elektronischen Endgeräten verwendet werden.

#### 3. Eingeschränkte Stoffe und Grenzwerte

| Eingeschränkt zulässige Substanzen      | Maximal zulässige Konzentration (in homogenem Material) |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Blei (Pb)                               | 0,1 % (1000 ppm)                                        |
| Cadmium (Cd)                            | 0,01 % (100 ppm)                                        |
| Quecksilber (Hg)                        | 0,1 % (1000 ppm)                                        |
| Sechswertiges Chrom (Cr <sup>6+</sup> ) | 0,1 %                                                   |
| Polybromierte Biphenyle (PBBs)          | 0,1 %                                                   |
| Polybromierte Diphenylether (PBDE)      | 0,1 %                                                   |
| Phthalate (DEHP, BBP, DBP, DIBP)        | Jeweils 0,1 %                                           |

#### 4. Compliance-Maßnahmen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Kontrollieren Sie die Quelle der Legierungsrohstoffe und Verunreinigungselemente streng.
- Richten Sie ein RoHS-Testsystem ein (z. B. XRF-Tests).
- Erhalten Sie eine RoHS-Konformitätserklärung oder einen Testbericht von Drittanbietern.
- Das RoHS-Symbol muss auf Produktverpackungen und Etiketten angebracht sein.

## 2. REACH-Verordnung (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)

### 1. Einführung in REACH

REACH (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe) ist die strengste Chemikalienverordnung der EU. Sie gilt für **alle Chemikalien und chemikalienhaltigen Produkte, die in der EU hergestellt oder in Verkehr gebracht werden**, und zielt darauf ab, deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu bewerten.

### 2. Anforderungen an Wolframlegierungsplatten

- Obwohl Wolfram selbst keinen Beschränkungen unterliegt, muss es deklariert werden, wenn die Wolframlegierungsplatte **besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC) enthält**, wie etwa bestimmte Schwermetallverunreinigungen, Klebstoffe, Oberflächenbeschichtungsmaterialien usw.;
- Legierungsplatten mit einem jährlichen Produktions- oder Importvolumen von mehr als 1 Tonne müssen registriert werden.
- Produkte, die  $\geq 0,1\%$  SVHC enthalten, müssen den Kunden proaktiv gemeldet und der ECHA (Europäische Chemikalienagentur) zur Meldung vorgelegt werden.

### 3. Compliance-Strategie

- Aktualisieren Sie stets die von der ECHA veröffentlichte SVHC-Liste.
- Konformitätsklassifizierung der in Wolframlegierungsplatten verwendeten Chemikalien;
- Arbeiten Sie mit nachgelagerten Kunden zusammen, um REACH-Erklärungen auszufüllen.
- Richten Sie ein Tracking-System ein, um die Transparenz der Lieferkette zu gewährleisten.

## 3. Sicherheitsdatenblatt (MSDS)

### 1. Die Rolle und der Status von Sicherheitsdatenblättern

Ein MSDS (Material Safety Data Sheet) ist ein international anerkanntes Sicherheitsinformationsdokument für Chemikalien, das Informationen zur Zusammensetzung des Materials, zu seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften, Gefahren, Notfallbehandlung, Transport und Entsorgung usw. enthält. Es handelt sich um die grundlegenden Informationen für den Exporthandel, das Sicherheitsmanagement, die Verwendung durch den Kunden und die Konformitätserklärung.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Sicherheitsdatenblattanforderungen für Wolframlegierungsplatten

- Platten aus Wolframlegierungen werden im Allgemeinen als **feste Produkte betrachtet**, dennoch ist ein Sicherheitsdatenblatt als Kundenreferenz erforderlich, insbesondere bei Kontakt mit Staub oder Schneidflüssigkeit.
- Das Sicherheitsdatenblatt sollte alle Legierungselemente, Verunreinigungen und Informationen zu Verarbeitungsrisiken enthalten.
- Muss dem GHS-Format (Global Harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien) entsprechen.

## 3. Beispielinhaltselemente des Sicherheitsdatenblatts (insgesamt 16 Elemente)

1. Produkt- und Unternehmensinformationen
2. Zutaten
3. Gefahrenidentifizierung
4. Erste-Hilfe-Maßnahmen
5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung
6. Notfallbehandlung bei Leckagen
7. Handhabungs- und Lagerungsanforderungen
8. Expositionskontrollen und persönliche Schutzausrüstung
9. Physikalische und chemische Eigenschaften
10. Stabilität und Reaktivität
11. Toxikologische Informationen
12. Ökologische Informationen
13. Entsorgungsmethoden
14. Infos zum Versand
15. Regulatorische Informationen
16. Weitere Informationen

Hinweis: Sicherheitsdatenblätter sollten auf Englisch erstellt werden und bei Bedarf sollten mehrsprachige Versionen (wie Chinesisch, Deutsch, Japanisch usw.) bereitgestellt werden.

## 4. Compliance-Praktiken und Vorschläge für Unternehmen, die Wolframlegierungsplatten herstellen

| Compliance-Richtlinie              | Unternehmensreaktionsstrategie                                                                                                               |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Materialauswahl</b>             | Vermeiden Sie die Verwendung eingeschränkter oder besorgniserregender Elemente und richten Sie ein System zur Überprüfung der Rohstoffe ein. |
| <b>Testsystem</b>                  | RoHS/REACH/XRF-Schnellscreening und ICP-Tests während der Beschaffungsphase                                                                  |
| <b>Dateiverwaltung</b>             | Erstellen Sie MSDS-, RoHS-, REACH- und andere Compliance-Dateien und aktualisieren Sie diese regelmäßig                                      |
| <b>Zusammenarbeit mit Kunden</b>   | Stellen Sie proaktiv Konformitätserklärungen, Testberichte und technische Supportdokumente bereit                                            |
| <b>Zertifizierung durch Dritte</b> | Steigern Sie das Vertrauen durch Zertifizierungen von namhaften Organisationen wie SGS, TÜV und Intertek                                     |

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## V. Zusammenfassung

RoHS, REACH und MSDS bilden die drei wichtigsten Umweltverträglichkeitssysteme für Wolframlegierungsplatten auf dem internationalen Markt, insbesondere in der EU. Diese Vorschriften beschränken nicht nur die Verwendung und Emission gefährlicher Stoffe in Wolframlegierungsplatten, sondern verlangen von den Unternehmen auch mehr Verantwortung für deren Materialzusammensetzung, Sicherheitsmerkmale und Umweltauswirkungen. Angesichts der immer strengeren globalen Umweltauflagen müssen Hersteller von Wolframlegierungsplatten ein systematisches Umweltmanagement aufbauen, umweltfreundliche Designkonzepte stärken und die nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte umfassend verbessern.

## 7.5 Qualitätsmanagementsysteme in den Bereichen Luftfahrt, Kernenergie und Medizin (AS9100, ISO 13485 usw.)

Wolframlegierungsplatten werden aufgrund ihrer hohen Dichte, Festigkeit, Temperaturbeständigkeit und Strahlungsresistenz häufig in Schlüsselindustrien wie der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergietechnik und der Medizintechnik eingesetzt. Diese Branchen stellen jedoch extrem hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit, Sicherheit, Rückverfolgbarkeit und Konsistenz der Materialien. Wenn Unternehmen mit Wolframlegierungsplatten in diese High-End-Märkte einsteigen wollen, müssen sie daher branchenspezifische Qualitätsmanagementsysteme wie AS9100 (Luft- und Raumfahrt), ISO 13485 (Medizinprodukte), NQA-1 (Kernenergie) und andere Standardsysteme vollständig etablieren und einhalten.

### 1. AS9100: Qualitätsmanagementsystem für die Luft- und Raumfahrt

#### 1. Einführung in den Standard

AS9100 ist ein luftfahrtspezifischer Qualitätsmanagementsystemstandard, der von der International Aerospace Quality Group (IAQG) entwickelt wurde. Er erweitert ISO 9001 und geht auf die besonderen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt- sowie der Verteidigungsindustrie ein. Es handelt sich um einen gemeinsamen globalen Lieferkettenstandard für Unternehmen wie Boeing, Airbus, NASA und Lockheed.

#### 2. Wesentliche Anforderungen

- **Rückverfolgbarkeit der Produkte** : Der Produktionsprozess, die Rohstoffquelle, die Prozessparameter und die Testaufzeichnungen jeder Charge von Wolframlegierungsplatten müssen rückverfolgbar sein.
- **Risikomanagement** : Identifizieren und kontrollieren Sie Risiken wie Rohstoffmängel, Prozessabweichungen und Lieferverzögerungen;
- **Änderungskontrolle** : Alle Änderungen am Produktdesign, am Prozess oder an den Materialien müssen streng genehmigt werden.
- **Fälschungs- und Störungsschutzfunktionen** : Verhindern Sie, dass gefälschte und minderwertige Materialien in das Luftfahrtsystem gelangen.
- **Kontinuierliche Verbesserung und Kundenzufriedenheit** : Betont die Prozesszusammenarbeit und kontinuierliche Optimierung zwischen Lieferanten und Kunden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Die Bedeutung der Anwendung in Wolframlegierungsplatten

Wenn Wolframlegierungsplatten als **Komponenten wie Flugstrukturen in der Luft- und Raumfahrt, Satellitengegengewichte, Trägheitsэлеmente usw. verwendet werden**, müssen sie die AS9100-Kontrolle bestehen, um nachzuweisen, dass sie die umfassenden Anforderungen der Luftfahrtbranche hinsichtlich Materialzuverlässigkeit, mechanischer Eigenschaften und Konsistenz erfüllen.

## 2. ISO 13485: Qualitätsmanagementsystem für Medizinprodukte

### 1. Einführung in den Standard

ISO 13485 ist ein internationaler Qualitätsmanagementstandard für Medizinprodukte. Er gilt für alle Unternehmen, die an der Entwicklung, Produktion, Installation und Wartung von Medizinprodukten beteiligt sind, wobei der Schwerpunkt auf **Produktsicherheit, Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und Risikokontrolle** liegt.

### 2. Kerninhalte

- **Regulatorische Konsistenz** : Produkte müssen den relevanten medizinischen Vorschriften in verschiedenen Märkten weltweit entsprechen (z. B. EU-MDR, US-FDA usw.);
- **Hygienekontrolle und Vermeidung von Umweltverschmutzung** : Bei Rohstoffen, Halbfertigprodukten und Fertigprodukten muss eine biologische Kontamination oder Kreuzinfektion vermieden werden.
- **Bewertung der Biokompatibilität** : Wenn Platten aus Wolframlegierungen zum **Schutz von Strahlentherapiegeräten, Komponenten von Bildgebungsgeräten** usw. verwendet werden, muss ihre Kontaktsicherheit mit der menschlichen Umgebung bewertet werden.
- **Datensatz- und Dokumentenverwaltung** : Erstellen Sie detaillierte Qualitätsaufzeichnungen, Rückverfolgbarkeitsinformationen und einen Mechanismus zur Bearbeitung von Kundenbeschwerden.
- **Risikomanagement** : umfasst die Gestaltung, Produktion, Lagerung und das Recycling des Produktlebenszyklus.

### 3. Anwendungsszenarien

Für Legierungsplatten, die **in medizinischen Beschleunigerschutzkomponenten, Röntgenabschirmungen, nuklearmedizinischen Trägergeräten** usw. verwendet werden, müssen Produktionskontroll- und Qualitätsprüfungsprozesse auf der Grundlage von ISO 13485 eingerichtet werden.

## 3. NQA-1 / ASME / RCC-M: Qualitätsanforderungen für die Kernenergieindustrie

### 1. Überblick über die Normen der Kernenergieindustrie

- **NQA-1 (Nuclear Quality Assurance)** : Entwickelt von der ASME (American Society of Mechanical Engineers), ist dies der Qualitätssicherungsstandard für Nuklearanlagen und die Versorgung mit nukleartauglichem Material.
- **ASME Sec III** : Technische Standards für die Konstruktion, Herstellung und Inspektion von Ausrüstung und Materialien für Kernenergiesysteme;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **RCC-M (Französischer Code für die Konstruktion und Herstellung von Kernkraftwerken)** : Wird für die Material- und Strukturbewertung europäischer Kernkraftprojekte verwendet.

## 2. Anwendung und Qualitätsanforderungen von Wolframlegierungsplatten

Platten aus Wolframlegierungen werden häufig im Bereich der Kernenergie verwendet:

- Abschirmstruktur für Kernkraftwerke;
- Steuerstäbe und Neutronenabsorberkomponenten;
- Behälter für den Transport und die Lagerung radioaktiver Stoffe.

## 3. Wichtige Faktoren der Qualitätskontrolle

| Kontrolldimension                | Anforderungsbeschreibung                                                                                                   |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Materialzusammensetzung</b>   | Radioaktive Verunreinigungen und neutronenaktivierte Substanzen (wie Bor, Kobalt usw.) streng begrenzen                    |
| <b>Mechanische Eigenschaften</b> | Erfüllen Sie die Anforderungen an Hochtemperaturfestigkeit und Kriechfestigkeit in Strahlungsumgebungen                    |
| <b>Zerstörungsfreie Prüfung</b>  | Alle Wolframlegierungsplatten müssen umfassenden zerstörungsfreien Prüfungen wie UT, RT und Magnetpulver unterzogen werden |
| <b>Dateiintegrität</b>           | Nachvollziehbare Qualitätsdateien und Gutachten Dritter müssen über 20 Jahre aufbewahrt werden                             |

## IV. Praxisvorschläge zur Systemintegration und Zertifizierung

| Systemname          | Anwendungsbereiche  | Empfohlene Vorgehensweisen                                                                                                      |
|---------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AS9100</b>       | Luft- und Raumfahrt | Etablieren Sie einen professionellen Dokumentenprozess und ein technisches Änderungskontrollsystem                              |
| <b>ISO 13485</b>    | Medizinische Geräte | Optimieren Sie Reinigungskontrollen, Lieferkettenvalidierung und Biosicherheitsbewertungen                                      |
| <b>NQA-1 / ASME</b> | Kernergietechnik    | Stärken Sie das Qualitätsaufzeichnungssystem und akzeptieren Sie die Autorisierung, Zertifizierung und Überwachung durch Dritte |

Unternehmen können durch ein **\*\*Integriertes Managementsystem (IMS)\*\*** eine Standardintegration und Kostenoptimierung erreichen, indem sie beispielsweise ISO 9001 als allgemeinen Rahmen verwenden und AS9100- oder ISO 13485-Module hinzufügen, um die Managementeffizienz zu verbessern.

## V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten in den Bereichen Luftfahrt, Kernenergie und Medizin erfordern ein umfassendes, strenges Qualitätsmanagementsystem für Design, Materialien, Fertigung und Kundendienst. Standards wie AS9100, ISO 13485 und NQA-1 stehen nicht nur für Produktqualität, sondern sind auch ein wichtiger Schritt zur Erschließung des internationalen Marktes. Um High-End-Qualität und Internationalisierung zu erreichen, muss die chinesische Wolframlegierungsindustrie mit dem Systemaufbau beginnen und einen umfassenden Qualitätssicherungsmechanismus aufbauen, der den globalen technischen Standards entspricht.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

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

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

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

#### 100,000+ customers

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

#### Service commitment

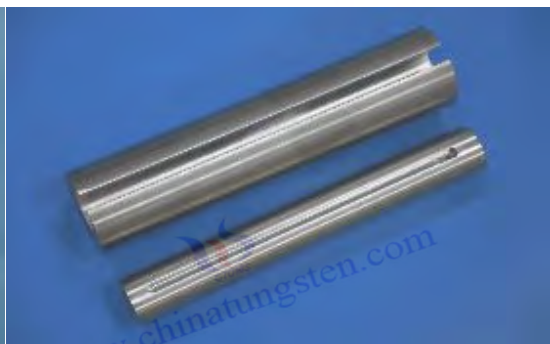
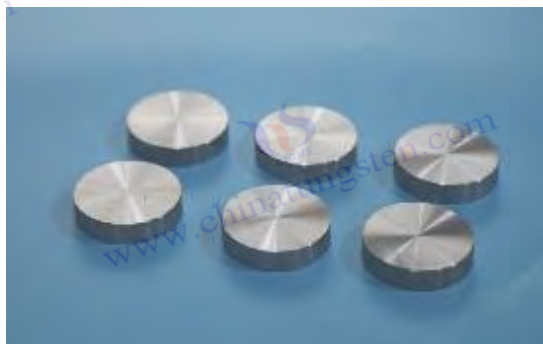
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

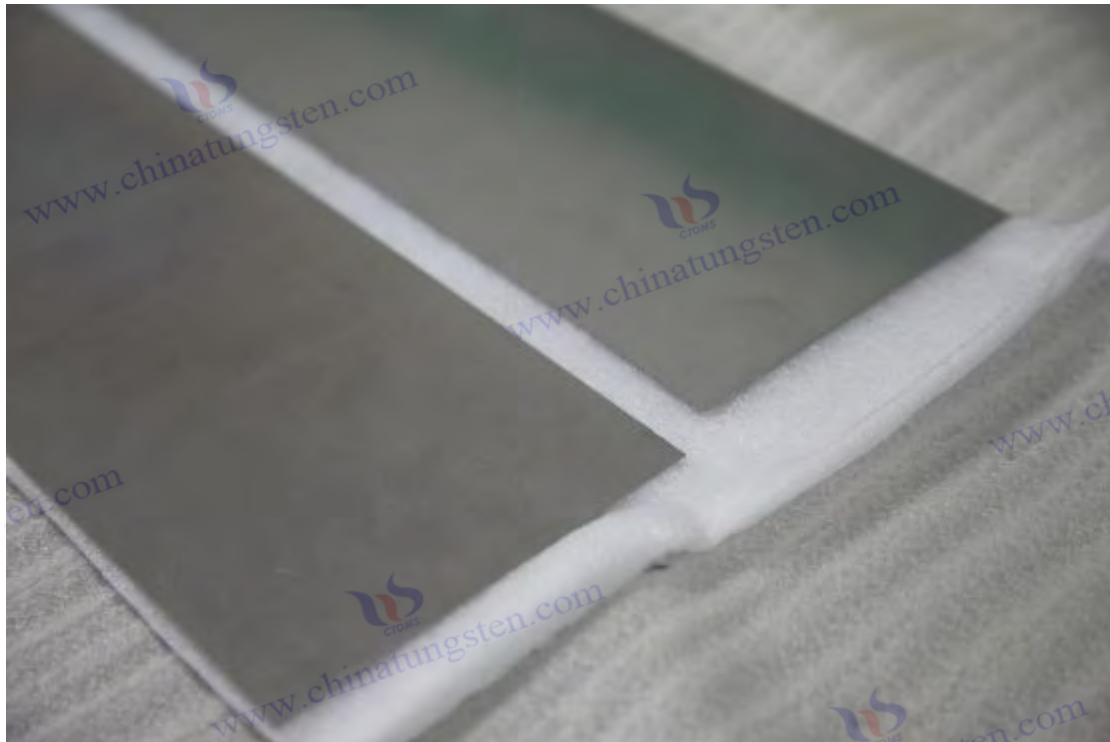
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



## Kapitel 8 Verpackung, Lagerung und Transport von Wolframlegierungsplatten

### 8.1 Verpackungsmaterialien und -formen (Vakuumverpackung, Trockenmittel, Trayverpackung)

Wolframlegierungsplatten zeichnen sich durch eine hohe Dichte, einen hohen Mehrwert und extrem hohe Anforderungen an Oberflächenqualität und Präzision aus. Nach der Produktion und Prüfung ist der Verpackungsprozess nicht nur ein einfacher Schritt im Logistikprozess, sondern auch ein wichtiges Mittel, um die Qualitätsstabilität und das Erscheinungsbild während Transport, Lagerung und Lieferung zu gewährleisten. Eine sinnvolle Auswahl der Verpackungsmaterialien, wissenschaftliche Verpackungsformen und eine wirksame Isolierung von Umwelteinflüssen sind entscheidend, um sicherzustellen, dass Wolframlegierungsplatten während des Transports nicht unter Oxidation, Korrosion, mechanischen Beschädigungen, Verformungen und anderen Problemen leiden.

#### 1. Grundprinzipien und Ziele der Verpackung

Die Verpackung von Wolframlegierungsplatten sollte den folgenden Grundprinzipien folgen:

- **Antioxidationsmittel, feuchtigkeitsbeständig, staubdicht und stoßfest ;**
- **Leicht zu tragen, zu stapeln und zu transportieren ;**
- **Erfüllen Sie die internationalen Handels- und Zollvorschriften ;**
- **Klare Identifizierung und starke Rückverfolgbarkeit ;**
- **Es werden grüne, umweltfreundliche und recycelbare Materialien bevorzugt .**

Die Verpackung dient nicht nur logistischen Zwecken, sondern sollte als Teil des Qualitätskontrollsystems für die Produktlieferung auch in die Verwaltung des gesamten Produktionsprozesses einbezogen werden.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Häufig verwendete Verpackungsmaterialien und ihre Funktionen

| Materialtyp                               | Hauptfunktion                                | Anwendungshinweise                                                                                                                    |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Polyethylen (PE)-Folie                    | Feuchtigkeits- und staubdicht                | Wird zum Beschichten der Oberfläche von Wolframplatten verwendet, um Oxidation und Partikelhaftung zu verhindern                      |
| Vakuum-Aluminium-Kunststoff-Verbundfolie  | Feuchtigkeitsbeständig und oxidationshemmend | Vakuumverpackung aus Wolframlegierungsplatten für die Langzeitlagerung oder den Export                                                |
| Schaumdichtung/EPE-Perlbaumwolle          | Dämpfung und Stoßfestigkeit                  | Platzieren Sie es in der Lücke zwischen den Platten, um Reibung oder Bruch zu verhindern                                              |
| Trockenmittel (Kieselgel/Molekularsieb)   | Feuchtigkeitsaufnahme und Entfeuchtung       | In einer versiegelten Verpackung aufbewahren, um eine trockene Umgebung zu gewährleisten                                              |
| Holzpaletten (begast oder begastungsfrei) | Support und Handhabung                       | Transport von Fertigprodukten aus Wolframlegierungsplatten, praktisch zum Be- und Entladen mit Gabelstaplern und zum Containerversand |
| Dichtungsband/Stretchfolie                | Feste äußere Verpackungsstruktur             | Verhindern Sie das Verrutschen der Blätter und das Reißen der Verpackung                                                              |

## 3. Typische Verpackungsform einer Wolframlegierungsplatte

### 1. Vakuumverpackung

Geeignet für Langzeitlagerung, Exporttransport oder wenn Kunden extrem hohe Anforderungen an die Oberflächenqualität haben.

- Verwenden Sie eine Aluminium-Kunststoff-Verbundfolie, um einzelne oder mehrere Wolframplatten in einem Beutel zu versiegeln.
- Geben Sie vor dem Verschließen ein Trockenmittel (normalerweise Kieselgel, Molekularsieb oder Aktivkohle) hinzu.
- Auf über -0,08 MPa evakuieren und heißversiegeln;
- Kann mit Gasersatz (z. B. Stickstoff) verwendet werden, um die Korrosionsbeständigkeit zu verbessern;
- Das Äußere ist durch Hartkartons oder Holzkisten geschützt, um eine Kollision zu verhindern.

Vorteile: Isolieren Sie Luft und Feuchtigkeit effektiv und verlängern Sie die Haltbarkeit der hellen Oberfläche der Wolframplatte.

### 2. Gestapelte Verpackung (Zwischenplattenpufferung + Kunststoffversiegelung)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Legen Sie zwischen jede Wolframlegierungsplatte 1–2 mm dicken Schaumstoff oder Perl garn.
- Der gesamte Stapel wird mit PE-Stretchfolie oder Verbundkunststoffolie umwickelt;
- Wenn die Bedingungen es zulassen, fügen Sie Karton hinzu, um den Schutz der Plattenoberfläche zu verstärken.
- Geeignet für passivierte Platinen oder kurzfristigen Transport.

Vorteile: starke Pufferung, bequeme Bedienung, niedrige Kosten, geeignet für den Inlandsvertrieb.

### 3. Palettenverpackung und Holzkistenverpackung

Wird für Massensendungen verwendet, besonders geeignet für Export- und Seefrachtbedingungen.

- Das gesamte Brett wird auf eine Holzpalette gelegt (es muss mit Umreifungsband befestigt werden);
- Zusätzlicher Schutz der Holzbox oder der Seitenbox aus Stahl;
- Dem Gewicht entsprechend muss eine hochbelastbare Palette oder eine verstärkte Konstruktion gewählt werden;
- Um das Be- und Entladen zu erleichtern, müssen an der Unterseite der Palette Gabelstaplerlöcher vorhanden sein.

Für den Export bestimmtes Verpackungsholz muss den **internationalen Pflanzenschutzstandards ISPM 15 entsprechen** und aus wärmebehandelten oder begasungsfreien Materialien bestehen.

### 4. Verpackungskennzeichnung und Etikettenmanagement

Ein wissenschaftliches Verpackungsetikettenmanagement ist nicht nur ein Bestandteil des Qualitätsmanagements, sondern auch ein wichtiges Mittel, um Logistikfehler und Verwechslungen bei der Kundenidentifikation zu vermeiden. Es sollte die folgenden grundlegenden Informationen enthalten:

- **Produktname, Spezifikation, Modell, Menge, Chargennummer ;**
- **Nettogewicht, Bruttogewicht, Abmessungen, Verpackungsdatum ;**
- **Name und Kontaktinformationen des Herstellers ;**
- **Konformitätskennzeichnung** : wie RoHS, REACH, MSDS-Nummer ;
- **Transportzeichen** : Symbole wie feuchtigkeitsbeständig, druckbeständig, nach oben gerichtet und Schwerpunkt;
- **Kundenspezifische Anpassungsinformationen** (wie Projektnummer, Bestellnummer usw.).

Zur Unterstützung eines intelligenten Rückverfolgbarkeitsmanagements können Barcode- oder QR-Code-Systeme eingesetzt werden.

### 5. Spezielle Verpackungsanforderungen und kundenspezifische Dienstleistungen

Bei hochwertigen Sonderanfertigungen stellen einige Kunden (wie etwa Atomenergieagenturen, Luft- und Raumfahrtunternehmen und wissenschaftliche Forschungseinrichtungen) die folgenden besonderen Verpackungsanforderungen:

- **Saubere Verpackung** : Die Vakuumverpackung wird in einem Reinraum der Klasse 1000 durchgeführt;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Mehrschichtiger Metallbeutel-Vakuumschutz** : verhindert das Eindringen radioaktiver Schutzmaterialien oder die Aufnahme von Feuchtigkeit;
- **Antistatische Verpackung** : wird für Wolframlegierungsplatten für elektronische Geräte verwendet;
- **Kombinierte Verpackungslösung** : verschiedene Größen klassifizierter Verpackungen, feste Hülsenrohrstruktur.

eine **Datenbank mit Standardverpackungslösungen** und ein **individueller Reaktionsmechanismus für die Verpackung** basierend auf den Kundenanforderungen.

## VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten beeinflussen nicht nur das Aussehen und die Sicherheit des Produkts, sondern auch die Stabilität der Materialqualität und die Kundenzufriedenheit während des Transports. Durch die Auswahl geeigneter Verpackungsmaterialien, Strukturformen und Etikettenmanagementsysteme sowie die Kombination differenzierter Designs mit den Branchenmerkmalen der Kunden können Transportrisiken effektiv reduziert und das Markenimage sowie die Exportfähigkeit des Unternehmens verbessert werden. Mit der zunehmenden Schwelle für den internationalen Marktzugang werden umweltfreundliche Verpackungen, intelligente Kennzeichnung und standardisierte Palettensysteme zu wichtigen Entwicklungsrichtungen für die Verpackung von Wolframlegierungsplatten.

## 8.2 Anforderungen an die Lagerumgebung sowie Maßnahmen zum Schutz vor Oxidation und Feuchtigkeit

Wolframlegierungsplatten sind ein hochdichtes, hochpräzises und hochwertiges Material. **Bei unsachgemäßer Lagerung nach der Produktion neigen sie aufgrund von Umgebungsfeuchtigkeit, Sauerstoffeinwirkung, Staubbelastung oder Temperaturschwankungen zu Oberflächenoxidation, Korrosionsflecken, Dimensionsausdehnung oder Verpackungsfehlern** . Dies beeinträchtigt ihre Verfügbarkeit und Kundenzufriedenheit erheblich. Daher ist es sehr wichtig, wissenschaftliche und standardisierte Lagerumgebungsstandards sowie praktische Feuchtigkeits- und Oxidationsschutzmaßnahmen festzulegen, um die Qualität und Sicherheit von Wolframlegierungsplatten bei der kurz- und langfristigen Lagerung zu gewährleisten.

### 1. Grundlegende Anforderungen an die Speicherumgebung

Wolframlegierungsplatten sollten die folgenden Kontrollindikatoren erfüllen:

| Kontrollfaktoren          | Empfohlener Bereich                                   | veranschaulichen                                                                                                     |
|---------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperatur                | 5°C~30°C                                              | Vermeiden Sie plötzliche Temperaturschwankungen, Kondensation oder Wärmeausdehnung                                   |
| relative Luftfeuchtigkeit | ≤ 50 % relative Luftfeuchtigkeit                      | Eine zu hohe relative Luftfeuchtigkeit beschleunigt die Oxidation der Wolframoberfläche und die Wasserstoffkorrosion |
| Luftreinheit              | Staubfreie oder staubarme Umgebung (ISO-Klasse 8 oder | Verhindert das Anhaften von Staubpartikeln, vermeidet mechanische Kratzer und leitfähige                             |

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                                   |                                                                          |                                                                             |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                                   | höher)                                                                   | Verschmutzungen                                                             |
| <b>Direkte Sonneneinstrahlung</b> | vermeiden                                                                | UV-Bestrahlung kann zu Oberflächenverfärbungen oder Materialalterung führen |
| <b>Ätzendes Gas</b>               | Verboten (wie NH <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S usw.) | Schwefel- und chlorhaltige Gase reagieren langsam mit Wolfram               |
| <b>Luftstrom</b>                  | Gute Belüftung, aber keine starken Belüftungsöffnungen                   | Halten Sie die Luft trocken und verhindern Sie Feuchtigkeitsansammlungen    |

Wenn das Unternehmen die Voraussetzungen erfüllt, kann es ein Lager mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit oder ein sauberes Lager einrichten, um eine langfristige und präzise Lagerverwaltung für hochwertige Wolframlegierungsplatten zu erreichen.

## 2. Gängige Antioxidationstechnologien und -maßnahmen

Obwohl Wolfram selbst eine gute chemische Stabilität aufweist, kann es bei Wolframlegierungsplatten (insbesondere Legierungen mit Bindemetallen wie Ni und Cu) in feuchten oder sauerstoffreichen Umgebungen dennoch zu leichter Oxidation oder elektrochemischer Korrosion kommen. Daher sollten folgende Maßnahmen zur Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit ergriffen werden:

### 1. Oberflächenpassivierung

- Nach dem Beizen, alkalischen Waschen oder neutralen Waschen der Wolframlegierungsplatte wird diese mit einem Passivierungsmittel behandelt.
- Es kann einen dichten Schutzfilm auf der Oberfläche bilden, um die Reaktion zwischen Sauerstoff und Wasser zu hemmen;
- Zu den üblichen Passivatoren gehören Zitronensäure, Chromate, Phosphate usw.;
- Es eignet sich besonders zur Verarbeitung fertiger Produkte vor Verlassen des Werks, um die Lagerstabilität zu verbessern.

### 2. Vakuum- oder Stickstoffversiegelung

- Vakuumieren Sie die fertige Wolframlegierungsplatte oder füllen Sie sie mit Stickstoff, um das Eindringen von Sauerstoff und Wasserdampf zu verhindern.
- Geeignet für Platten mit extrem hohen Anforderungen an Glätte und Oberflächenbeschaffenheit;
- Es wird üblicherweise zusammen mit Aluminium-Kunststoff-Verbundbeuteln und Hochbarrierefolien verwendet.

### 3. Mikroöl-Beschichtungsverfahren (versiegeltes Öl)

- Tragen Sie auf der Oberfläche der Platte leicht neutrales Dichtungsöl auf, um eine physikalische Isolationsschicht zu bilden.
- Kann direkten Kontakt mit Sauerstoff, Wasserdampf und Sulfid in der Luft wirksam isolieren;
- Es kann vor der Verwendung mit Alkohol oder alkalischem Wasser gereinigt werden;
- Wird häufig für die mittel- und langfristige Lagerung von Wolframplatten in Industriequalität verwendet.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Feuchtigkeitskontrollmaßnahmen und Feuchtigkeitsmanagement

Wenn Wolframlegierungsplatten in einer feuchten Umgebung gelagert werden, neigen sie aufgrund von „Wasserdampfadsorption – langsamer Oxidation“ zu Oberflächenverdunkelung und sogar interkristalliner Korrosion. Feuchtigkeitschutzmaßnahmen müssen in drei Aspekten gleichzeitig umgesetzt werden: Verpackung, Lagerausrüstung und Umweltkontrolle:

#### 1. Trockenmittel im Verpackungsprozess hinzufügen

- Verwenden Sie Trocknungsmaterialien wie Silicagelpackungen und aktivierte Mineraladsorbentien.
- Das Trockenmittel muss in einen Vakuumbutel oder eine versiegelte Box gegeben werden;
- Überprüfen Sie das Trockenmittel regelmäßig auf Sättigung und tauschen Sie es gegebenenfalls aus.

#### 2. Verwenden Sie einen Luftentfeuchter/eine Klimaanlage mit konstanter Luftfeuchtigkeit, um die Luftfeuchtigkeit im Lager zu kontrollieren

- Lagerbereich für Wolframlegierungsplatten;
- Ein 24-Stunden-Betrieb ist insbesondere in der Regenzeit oder bei feuchtem Klima erforderlich.
- Die Einhaltung einer relativen Luftfeuchtigkeit von  $\leq 50\%$  ist besonders wichtig bei Wolframlegierungsplatten mit blanker Oberfläche.

#### 3. Erhöhter Stauraum/feuchtigkeitsbeständige Unterlage

- Platten aus Wolframlegierung sollten **direkten Kontakt mit dem Boden** oder der Wand vermeiden.
- Verwenden Sie Paletten, Regale und Holzrahmenkonstruktionen zur Unterstützung, mit feuchtigkeitsbeständigen Trennwänden an der Unterseite;
- Verhindern Sie, dass Feuchtigkeit und Kondensation die Wolframplatte beeinträchtigen.

#### 4. Tiered Storage-Strategie und Zykluskontrolle

Entsprechend den unterschiedlichen Verwendungszwecken und Lagerzeiten von Wolframlegierungsplatten sollte eine hierarchische Verwaltungsstrategie formuliert werden:

| Einstufung                | Typische Verwendungen                      | Empfohlene Speichermethode                                              | Empfohlene Lagerdauer |
|---------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Hochreine Platine         | Medizin, Kernenergie, elektronische Geräte | Vakuumversiegelung + Trockenmittel + Kammer mit konstanter Feuchtigkeit | 12-18 Monate          |
| Standard-Industrieplatine | Formen und mechanische Strukturen          | PE-Beschichtung + Trockenofen                                           | 6-12 Monate           |

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                       |                           |                                           |            |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------------------------|------------|
| Temporäre Umsatztafel | Zur internen Verarbeitung | Normale Verpackung, kurzfristige Lagerung | ≤ 3 Monate |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------------------------|------------|

Platten mit einem langen Zyklus müssen vor der Verwendung regelmäßig auf Oberflächenzustand und Dimensionsstabilität überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie weiterhin die Leistungsanforderungen erfüllen.

## V. Zusammenfassung

Die Lagerung von Wolframlegierungsplatten erfordert systematisches Management. Dabei sind nicht nur die physikalischen Eigenschaften des Materials und die Umweltempfindlichkeit der Legierungszusammensetzung zu berücksichtigen, sondern auch eine feuchtigkeitsbeständige und oxidationshemmende Strategie mit hoher Anpassungsfähigkeit und hoher Funktionalität in Kombination mit Lagereinrichtungen, Klimabedingungen und Nutzungszyklen zu entwickeln. Angesichts der kontinuierlichen Verbesserung globaler Standards für die Lagerung und den Transport von Hochleistungsmaterialien benötigen Unternehmen dringend einen umfassenden **Mechanismus zur Risikobewertung der Lagerung und ein System zur Überwachung der Bestandsqualität**, um die Stabilität, Zuverlässigkeit und Konsistenz der Wolframlegierungsplatten entlang der gesamten Lieferkette zu gewährleisten.

## 8.3 Vorsichtsmaßnahmen und Vorschriften für den nationalen und internationalen Transport

Als Metallwerkstoff mit hoher Dichte, Korrosionsbeständigkeit und hohem Mehrwert ist der Transport von Wolframlegierungsplatten nicht nur mit der physischen Sicherheit und wirtschaftlichen Verlusten verbunden, sondern auch mit den Lieferzyklen der Kunden, dem internationalen Compliance-Management und dem Ruf der Marke. Insbesondere in komplexen Szenarien wie grenzüberschreitendem Handel, Lufttransport und Seecontainertransport können Probleme wie Plattenschäden, Rost, falsche Deklarationen und sogar Rücksendungen leicht auftreten, wenn die Transportmethode oder der Deklarationsprozess nicht standardisiert sind. Daher ist es für Materiallieferanten, Außenhandelspersonal sowie Lager- und Logistikmanager sehr wichtig, die wichtigsten Vorsichtsmaßnahmen und gesetzlichen Anforderungen beim Transport von Wolframlegierungsplatten im In- und Ausland zu kennen.

## 1. Grundlegende Herausforderungen und Risiken beim Transport von Wolframlegierungsplatten

Beim Transport von Wolframlegierungsplatten treten hauptsächlich die folgenden Probleme auf:

- **Verformung und Beschädigung bei hoher Belastung** : Die Dichte von Wolframlegierungsplatten kann bis zu 17–19 g/cm<sup>3</sup> betragen. Wenn die Halterung während eines längeren Transports instabil ist, kann sie sehr leicht gequetscht, verbogen und an den Ecken beschädigt werden.
- **Oberflächenkratzer und Abschürfungen durch Vibrationen und Stöße** : Unsachgemäße Bündelung in LKWs und Schiffskabinen kann dazu führen, dass die Platten aneinander oder am Metall der Palette reiben;

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Oxidation, Kondensation oder hygroskopische Ausdehnung durch Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen** : insbesondere beim Transport über Klimazonen hinweg ohne Trocknungsschutz;
- **Unvollständige Ausfuhrerklärungen führen zu Verzögerungen bei der Zollabfertigung oder zu Rücksendungen** : Der Zoll kontrolliert Waren aus seltenen Metallen streng und bei unregelmäßigen Erklärungen besteht die Gefahr der Zurückhaltung.
- **Unterschiede bei den geltenden Transportsicherheits- und Umweltvorschriften** : Beispielsweise klassifizieren einige europäische und amerikanische Länder einige Wolframlegierungen als strategisch oder militärisch sensible Materialien, für die eine Sondergenehmigung erforderlich ist.

## 2. Vorsichtsmaßnahmen beim Inlandstransport

Beim Transport von Wolframlegierungsplatten auf dem Land- oder Luftweg innerhalb Chinas sind die folgenden Punkte zu beachten:

### 1. Verpackungsstabilität und Stapelkontrolle

- Paletten sollten aus Massivholz oder Kunststoff mit hoher Tragfähigkeit und gleichmäßiger Bodenplatte bestehen;
- Platten aus Wolframlegierung und Verwendung von schützenden Eckummantelungen an den vier Ecken;
- Verwenden Sie Nylonbänder, Schrumpffolie oder Stahlbänder, um ein Verrutschen des gesamten Pakets zu verhindern.
- andere schwere Gegenstände auf der Wolframplatte, um ein Quetschen und Deformieren zu vermeiden.

### 2. Verkehrsmittelwahl und Routenbewertung

- Bei hochwertigen oder präzisen Wolframplatten wird empfohlen, der **Lieferung per Spezialfahrzeug, Luftexpress oder vibrationsarmen Logistikkanälen den Vorzug zu geben** .
- Vermeiden Sie bei Transporten über lange Strecken Risikogebiete wie Jahreszeiten mit hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit, konzentrierte lange Feiertage und holprige Straßen in Bergregionen.
- Wir können mit erfahrenen professionellen Metalllogistikunternehmen von Drittanbietern wie SF Express Large Cargo, Deppon Heavy Cargo und Sinotrans Logistics zusammenarbeiten.

### 3. Klare Kennzeichnung und Handhabungshinweise

- Auf der Außenseite des Pakets müssen Symbole wie „Bitte schwere Gegenstände hochheben“, „Feuchtigkeitsbeständig“ und „Nicht umdrehen“ aufgedruckt sein.
- Wenn das Gesamtgewicht der Palette 500 kg übersteigt, sollte sie mit einem Gabelstapler oder Kran bewegt werden. Manuelles Zwangsentladen ist strengstens untersagt.

## III. Internationale Transportstandards und Compliance-Management

### 1. Gängige Exporttransportmethoden

| Transportmittel | Anwendbare | Merkmale |
|-----------------|------------|----------|
|-----------------|------------|----------|

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                                     | Szenarien                                               |                                                                                           |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Seefracht (FCL/LCL)                 | Große Exporte                                           | Der Transportzyklus ist lang und eine feuchtigkeitsbeständige Behandlung ist erforderlich |
| Luftfracht (DHL, FedEx, SF Express) | Eilauftrag, Lichtplatte                                 | Hohe Kosten, Luftfahrtzertifizierung erforderlich                                         |
| Eisenbahn/China-Europa-Express      | Wirtschaftlich und praktisch für den Export nach Europa | Die Geschwindigkeit ist mittel und eine Zollabfertigung ist erforderlich                  |
| Internationaler Express (UPS usw.)  | Muster in kleinen Chargen                               | Bequeme Zollerklärung, begrenzte Größe und Gewicht                                        |

## 2. Zolldeklarationsstandards und Kodierungsklassifizierung

Platten aus Wolframlegierungen werden im chinesischen Zollkodex (HS-Code) üblicherweise wie folgt klassifiziert:

- **8101.99.10** : Platten und Bleche aus Wolframlegierungen (unbearbeitet oder vorbearbeitet)
- **8101.99.90** : Andere Wolframprodukte (Legierungsgehalt und Verwendungszweck angeben)

Zu den erforderlichen Dokumenten für den Export gehören:

- Produktrechnung und Packliste;
- Ursprungszeugnis (z. B. chinesische Produkte, die in die EU oder RCEP-Mitgliedsländer exportiert werden);
- Bestätigung des Zollcodes und der standardisierten Beschreibung des Warennamens;
- Bei militärischen, nuklearen oder hochtechnologischen Verwendungszwecken kann **eine Ausfuhrgenehmigung oder eine Endverbleibserklärung erforderlich sein**.

## 3. Hinweise zu Versandbehältern

- Versuchen Sie, 20 Fuß schwere Schränke (20GP) zum Laden von Wolframlegierungsplatten zu verwenden und vermeiden Sie das Stapeln und Mischen in gewöhnlichen Holzkisten.
- Zwischen den einzelnen Plattenpaletten sollte ein Pufferraum vorgesehen werden, um Kollisionen beim Transport über lange Strecken zu vermeiden.
- Installieren Sie Trockenmittelbeutel und feuchtigkeitsbeständige Matten, um sicherzustellen, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Behälter unter 60 % liegt.
- Auf der Außenseite der Schranktür sollten Etiketten wie „Produkt aus Schwermetall mit hoher Dichte“ und „Standort des Hebepunkts“ angebracht werden.

## 4. Internationale Zertifizierung und Einhaltung der Transportsicherheit

Wenn das Produkt nach Europa, Amerika, Japan, Südkorea und in andere Regionen mit hohen Anforderungen exportiert wird, sollten die folgenden Transportkonformitätsbedingungen beachtet werden:

- **MSDS-Sicherheitsdatenblatt** : muss die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Wolframlegierung sowie Empfehlungen zu Transport und Lagerung enthalten;

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **RoHS/REACH-Beschreibung** : Bescheinigt, dass das Produkt keine schädlichen Schwermetalle oder organischen Schadstoffe enthält;
- **Erklärung der geltenden Vorschriften für den Transport (kein Gefahrgut)** : Die meisten Wolframlegierungsplatten werden nicht als Gefahrgut eingestuft, aber zur Erleichterung der Zollabfertigung ist eine Materialstabilitätsklärung erforderlich;
- **UN-Verpackungskennzeichen oder Nicht-UN-Stückbeschreibung** : wie erforderlich, um anzuzeigen, dass es sich bei dem transportierten Artikel nicht um Gegenstände handelt, die auf der Gefahrgutliste der Vereinten Nationen stehen.

#### IV. Verhütung von Verkehrsunfällen und Versicherungsmechanismus

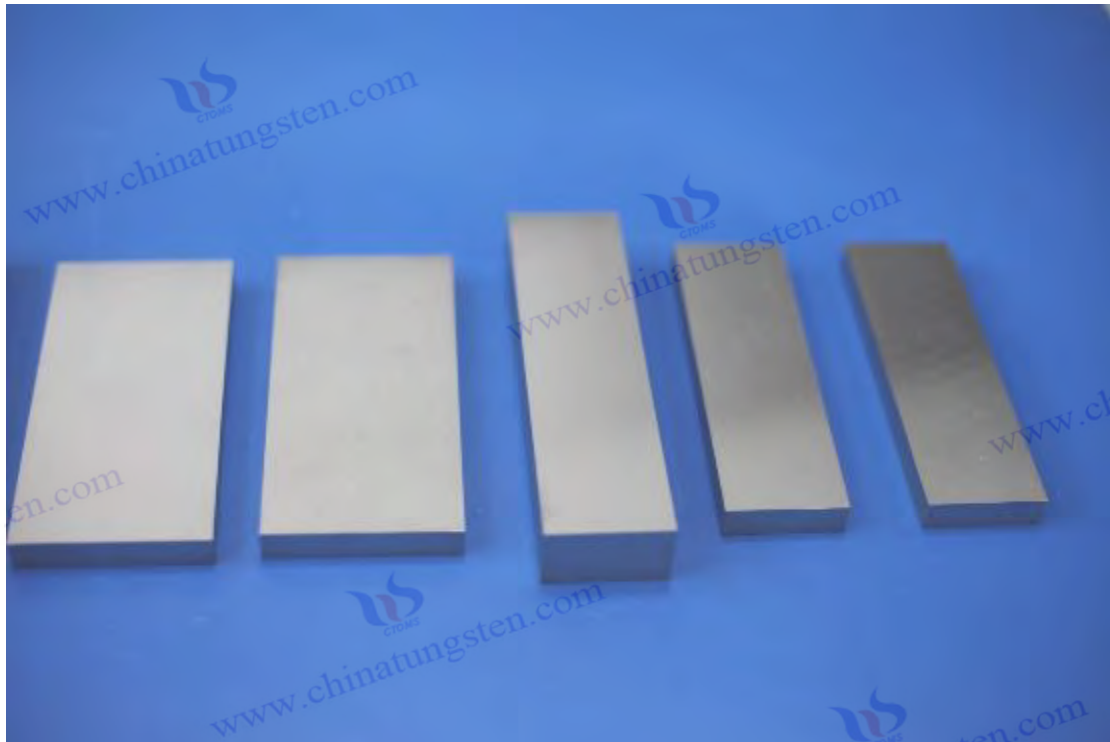
Werden Wolframlegierungsplatten während des Transports beschädigt, gehen verloren oder werden sie falsch geliefert, entstehen oft erhebliche wirtschaftliche Verluste. Daher wird empfohlen, einen Risikoreaktionsmechanismus einzurichten:

- **Machen Sie Fotos und archivieren Sie diese, bevor Sie das Werk verlassen** : Erfassen Sie den Zustand des fertigen Produkts als Grundlage für Logistikanprüche.
- **Volle Transportversicherung** : Sie können eine „Vollwert-Transportversicherung“ wählen, um Verlust, Beschädigung, verspätete Lieferung usw. abzudecken.
- **Logistik-Kooperationsvereinbarung** : Unterzeichnen Sie einen Vertrag mit dem Transportunternehmen, um die Zuständigkeitsgrenzen klar zu definieren und Unklarheiten bei den Verantwortlichkeiten zu vermeiden.
- **Verwenden Sie ein GPS-Logistik-Trackingsystem** : Echtzeitüberwachung der Transportrouten für wichtige Bestellungen.

#### V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten gehören zu den Gliedern der gesamten Lieferkette, die besonders anfällig für Umwelt- und Managementeinflüsse sind. Von der nationalen bis zur internationalen Lieferkette, von Verpackungsmethoden bis zu Deklarationsprozessen ist eine mehrdimensionale Koordination erforderlich, um Sicherheit, Konformität und Effizienz in Bezug auf Physik, Vorschriften und Kundenzufriedenheit zu gewährleisten. Für exportorientierte Unternehmen wird die Einführung eines ausgereiften Transportstandardsystems, einer Vorlagenbibliothek für Zolldeklarationsdokumente und eines Mechanismus zur Reaktion auf logistische Risiken das Kundenvertrauen und die Marktlieferfähigkeit deutlich verbessern.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Kapitel 9 Industriestruktur und Markttrend von Wolframlegierungsplatten

### 9.1 Globaler Wolfram-Ressourcenstatus und Plattenverarbeitungskette

Wolfram ist ein strategisches Edelmetall. Aufgrund seines hohen Schmelzpunkts, seiner hohen Dichte, seiner hohen Härte und seiner guten thermischen, elektrischen und mechanischen Eigenschaften findet es breite Anwendung in Schlüsselbereichen wie der Landesverteidigung, der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergie, der Elektronik und der Medizin. Wolframlegierungsplatten sind ein wichtiger Bestandteil von Wolfram-Tiefverarbeitungsprodukten und ein wichtiges Zwischenprodukt für die Hochleistungs-, Struktur- und Funktionsanwendung von Wolframmaterialien. Die Entwicklung der industriellen Kette ist eng mit der weltweiten Verteilung der Wolframressourcen verbunden.

#### 1. Globale Wolframressourcenverteilung und Reservenmuster

Laut den Statistiken des United States Geological Survey (USGS) aus dem Jahr 2024 belaufen sich die weltweit nachgewiesenen Wolframreserven auf etwa 3,5 Millionen Tonnen Metall, wobei die Verteilung eine **regionale Konzentration und länderspezifische Merkmale** aufweist:

| Land/Region | Wolframerzreserven<br>(10.000 Tonnen) | Globaler<br>Anteil | Hauptabbaugebiete                                  |
|-------------|---------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|
| China       | 190                                   | Etwa 54 %          | Dayu, Jiangxi, Shizhuyuan, Hunan, Luanchuan, Henan |
| Russland    | 120                                   | Etwa 34 %          | Transbaikalregion, Ferner Osten                    |
| Vietnam     | 9                                     | < 3 %              | Perey-Mine                                         |
| Bolivien    | 5                                     | < 2 %              | Provinz Oruro                                      |

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                                                     |                 |                |   |
|-----------------------------------------------------|-----------------|----------------|---|
| Andere Länder (Portugal, Österreich, Südkorea usw.) | Weniger als 5 % | Mehr verstreut | — |
|-----------------------------------------------------|-----------------|----------------|---|

**China ist der weltweit größte Eigentümer und Hauptproduzent von Wolframressourcen**. Es kontrolliert nicht nur mehr als die Hälfte der Bodenschätze, sondern beherrscht auch mehr als 70 % der weltweiten Wolfram-Rohstoffexporte und Primärverarbeitungskapazitäten und hat einen wichtigen Einfluss auf die globale Wolfram-Industriekette.

## 2. Abbau und Primärschmelzprozess von Wolframerzressourcen

Wolfram kommt hauptsächlich in Wolframatmineralien vor, darunter Wolframit (hoher  $WO_3$ -Gehalt), Scheelit und Wolframit. Der industrielle Gewinnungsprozess läuft wie folgt ab:

1. **Bergbau und Erzaufbereitung** : Im Untertagebau und im Tagebau wird durch Schwerkrafttrennung, Flotation und elektromagnetische Trennung hochwertiges Wolframkonzentrat gewonnen;
2. **Chemische Umwandlung** : Wolframkonzentrat wird durch alkalische Zersetzung, saure Fällung und Kristallisation in **Ammoniumparawolframat (APT) oder Natriumwolframat umgewandelt**.
3. **Reduktionsschmelzen** : APT wird mit Wasserstoff reduziert, um hochreines Wolframpulver zu erzeugen;
4. **Vorbereitung des Pulvers für die Tiefenverarbeitung** : Wolframpulver wird nach Partikelgröße klassifiziert und zum Pulvermetallurgiepressen oder Hochtemperaturgießen verwendet;

Dieser Prozess stellt die vorgelagerte Ressourcenbasis für die Herstellung von Wolframlegierungsplatten dar.

## 3. Produktionskettenstruktur von Wolframlegierungsplatten

Wolframlegierungsplatten bestehen aus „Mineralressourcen → metallurgische Reinigung → Legierungsdesign → Plattenformung → Oberflächenbehandlung → Anwendungsintegration“, die in die folgenden Links unterteilt werden können:

### 1. Rohstoffe

- Einschließlich APT, Wolframmetallpulver, Wolfram-Nickel-Eisen-Legierungspulver, Wolfram-Kupfer-Legierungspulver usw.;
- Es erfordert eine hohe Reinheit, eine kontrollierbare Partikelgröße und eine gute Gleichmäßigkeit der Verteilung.

### 2. Legieren und Pressen

- Molybdän und andere Bindemetalle im Verhältnis;
- Die Platte wird durch Formpressen oder isostatisches Pressen geformt.

### 3. Sintern und thermische Verarbeitung

- Hochtemperaturesintern (1300–1600 °C) in Wasserstoff- oder Inertatmosphäre;
- Zu den nachfolgenden Sekundärverarbeitungsprozessen gehören Warmwalzen, heißisostatisches Pressen, Vakuumbehandlung usw.

### 4. Plattenoberflächenbearbeitung und Leistungsoptimierung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Einschließlich Polieren, Beizen, Galvanisieren, physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) usw.
- Zur Verbesserung der Oberflächenbeschaffenheit, Wärmeleitfähigkeit, Oxidationsbeständigkeit und anderer Eigenschaften.

#### 5. Nachgelagerte integrierte Anwendungen

- Strukturteile für die Luft- und Raumfahrt, Strahlenschutzpanzerungen, Strahlentherapiemasken, Strukturteile für Hochtemperatur-Vakuumöfen, elektronische Kühlkomponenten und andere Bereiche.

#### 4. Merkmale der globalen Industriekettenaufteilung von Wolframlegierungsplatten

Wolframlegierungsplatten spiegeln offensichtliche Merkmale der **globalen Arbeitsteilung und regionalen Koordination wider** :

- **China** : Das Land verfügt über die umfassendste Wolfram-Industriekette, einschließlich Bergbau, Schmelzen, Legieren und Plattenformen, und ist die wichtigste Bezugsquelle der Welt.
- **Europäische und amerikanische Länder** : Sie sind gut in Anwendungen mit hoher Wertschöpfung, Militärtechnologie und Teststandardsystemen. Einige spezielle Wolframlegierungsplatten sind auf Importe oder kundenspezifische Verarbeitung angewiesen.
- **Japan und Südkorea** : Spezialisiert auf die Präzisionsverarbeitung von Wolframlegierungen, Vakuumwärmebehandlung und Oberflächenbeschichtungstechnologie. Die Produkte werden in der High-End-Elektronik und der Medizinbranche eingesetzt.
- **Entwicklungsländer** (wie Vietnam und Bolivien): Sie sind reich an Ressourcen, verfügen jedoch nur über geringe Verarbeitungskapazitäten und dienen hauptsächlich als Exportländer für Rohstoffe.

#### V. Zusammenfassung

Die Wolframressourcen bestimmen die hohen Anforderungen und den hohen Technologiegehalt der Wolframlegierungsplattenindustrie. Als Land mit den weltweit größten Wolframressourcen und als Zentrum der Wolframverarbeitung verfügt China über Vorteile in der gesamten Kette von der Mine bis zur Platte, steht aber auch vor zahlreichen Herausforderungen wie **der Verbesserung der technischen Standards, der Diversifizierung der nachgelagerten Nachfrage und einem verschärften internationalen Marktwettbewerb** . In diesem Zusammenhang werden der Aufbau eines umweltfreundlichen, effizienten und wertschöpfenden Wolframplattenverarbeitungssystems und die Ausweitung des internationalen High-End-Marktes die zentralen Richtungen der zukünftigen Entwicklung sein.

#### 9.2 Wolframlegierungsplatte Marktkapazität und zukünftige Wachstumsanalyse

Wolframlegierungsplatten sind aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften in vielen High-End-Bereichen unersetzlich. In den letzten Jahren hat sich die Marktkapazität für Wolframlegierungsplatten stetig erweitert, was auf die globale High-End-Fertigungsindustrie, die Rüstungsindustrie und die strategische Ausrichtung auf

Energiesicherheit sowie die wachsende Nachfrage in Schwellenländern wie der Medizin- und Elektronikbranche zurückzuführen ist. In diesem Abschnitt werden die Produktionskapazität, die Nachfragestruktur, die Marktwachstumstreiber und die zukünftigen Entwicklungstrends von Wolframlegierungsplatten auf beiden Ebenen des globalen und des chinesischen Marktes analysiert.

## 1. Globaler Marktüberblick über Wolframlegierungsplatten

Laut Angaben der International Tungsten Industry Association (ITIA) und mehrerer Marktforschungsinstitute wird die globale Marktkapazität für Wolframlegierungsplatten bis 2024 bei etwa **1,4 bis 1,6 Milliarden US-Dollar liegen**, mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von **6 bis 8 %** und wird die folgenden Merkmale aufweisen:

### 1. Diversifizierte Marktstruktur

Platten aus Wolframlegierungen werden in vielen Bereichen eingesetzt, darunter in der Landesverteidigung, der Luft- und Raumfahrt, im Energiebereich, in der medizinischen Behandlung, im Maschinenbau und in der Präzisionselektronik.

| Industrie                                                   | Anteil (geschätzt im Jahr 2024) |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Luft- und Raumfahrt und Militär                             | 30 %                            |
| Kernenergie und neue Energien                               | 20 %                            |
| Medizinische Strahlung und Abschirmung                      | 15 %                            |
| Hochtemperaturmetallurgie und Gerätebau                     | 10 %                            |
| Halbleiter- und Elektronikverpackungen                      | 15 %                            |
| Sonstiges (Schimmelpilze, wissenschaftliche Forschung usw.) | 10 %                            |

Insbesondere bei **Strahlenschutzplatten, Wärmeableitungsstrukturplatten und Hochtemperatur-Wärmefeldkomponenten** bieten Platten aus Wolframlegierungen Vorteile, die durch herkömmliche Materialien wie Blei, Stahl und Kupfer nicht ersetzt werden können.

### 2. Der Anteil der Produkte mit hoher Wertschöpfung stieg

Da die Anwendungsbereiche immer präziser und funktionaler werden, steigt die Marktnachfrage nach hochreinen, hochfesten und hochdichten Wolframlegierungsplatten weiter an. Der Anteil nanostrukturierter Platten, funktionaler Gradientenmaterialien und beschichteter Verbundplatten nimmt von Jahr zu Jahr zu.

## 2. Entwicklungstrend des Marktes für Wolframlegierungsplatten in China

Als weltweit größter Wolframproduzent und -lieferant hat sich Chinas Wolframlegierungsplattenindustrie im letzten Jahrzehnt von einem Rohstoffexporteur zu einer Industrie für die tiefgehende Materialverarbeitung gewandelt. Der chinesische Markt für Wolframlegierungsplatten wird derzeit auf über **3 Milliarden RMB (ca. 400 Millionen US-Dollar) geschätzt** und wächst in den folgenden Bereichen weiter:

### 1. Starke Nachfrage nach High-End-Gerätefertigung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nationale Strategien wie „High-End-Fertigung 2025“ und „Militärisch-zivile Integration“ haben das starke Wachstum von Wolframlegierungsplatten in den folgenden Bereichen gefördert:

- Gegengewicht und Hitzeschutzstruktur für Hyperschallfahrzeuge;
- Schutzplatten für Kernkraftwerke und Neutronenabsorptionsplatten;
- Präzisions-Abschirmkomponenten in Strahlentherapie- und CT-Bildgebungssystemen;
- Wärmeisolierende Komponenten in Laserbearbeitungsgeräten und Plasmageräten.

## **2. Schneller Ausbau der Produktionskapazität und kontinuierliche technologische Iteration**

Eine Reihe von Schlüsselunternehmen, vertreten durch China Tungsten High-Tech, AVIC Matt, Xiamen Golden Heron, CTIA GROUP LTD und andere Unternehmen, haben ihre Investitionen im Bereich der Wolframlegierungsplatten weiter erhöht und Folgendes dargelegt:

- Produktionslinie für hochdichte Pulvermetallurgieplatten;
- Produktionslinie für Vakuum-Warmwalzplatten;
- Prozesslinie für Oberflächenbeschichtungsverbundstoffe;
- Hochreines Präzisionsplatten-Produktionssystem für medizinische Nuklearschutzplatten.

Diese Reihe von Investitionen verbesserte nicht nur die Versorgungskapazität des Inlandsmarktes, sondern steigerte auch die internationale Exportwettbewerbsfähigkeit.

## **3. Kernantriebskraft des Marktwachstums**

Der Markt für Wolframlegierungsplatten wird hauptsächlich von den folgenden Aspekten bestimmt:

### **1. Es entstehen weiterhin neue Anwendungsanforderungen**

Beispielsweise stellen Kernenergie der dritten Generation, Kernfusionsanlagen, Kernenergie für die Luft- und Raumfahrt, Hochtemperaturmetallurgie und Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit für die Verpackung elektronischer Chips höhere Leistungsanforderungen an Wolframlegierungsplatten und treiben den Bedarf an diesem Material voran.

### **2. Globale Reshoring- und Inlandssubstitutionsstrategie für die Produktion**

Produktionsstarke Länder wie die USA, Deutschland und Japan fördern die Rückkehr von High-End-Industrien und kaufen kontinuierlich Funktionsmaterialien auf Wolframbasis. Gleichzeitig führt China im Inland einen Ersatz für „Engpassmaterialien“ durch und beschleunigt den Durchbruch bei Hochleistungsplatten aus Wolframlegierungen in Schlüsselbereichen.

### **3. Materielle Verbesserungen durch grüne Umweltschutzpolitik**

Unter den Einschränkungen von Umweltvorschriften wie RoHS und REACH haben Wolframlegierungsplatten offensichtliche Vorteile als Bleiersatz im Strahlenschutz und in elektronischen Materialien, und ihre Marktdurchdringungsrate nimmt weiter zu.

## **IV. Marktwachstumsprognose für die nächsten fünf Jahre (2025-2030)**

Unter Berücksichtigung der globalen politischen Vorgaben, der nachgelagerten Nachfrageintensität und der Geschwindigkeit der technologischen Entwicklung wird erwartet, dass der Markt für Wolframlegierungsplatten **in den nächsten fünf Jahren einen mittleren bis hohen Wachstumstrend beibehält** :

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

| Jahre | Globale Marktgröße<br>(Milliarden<br>US-Dollar) | Marktgröße<br>China<br>(100<br>Millionen Yuan) | Hinweise                                                                           |
|-------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 2024  | 15,5                                            | 30                                             | Aktuelle Schätzungen                                                               |
| 2025  | 16,8                                            | 34                                             | Die Nachfrage nach Kernenergie und Elektronik ist deutlich gestiegen               |
| 2026  | 18,5                                            | 39                                             | Medizin und neue Energien treiben die Freigabe neuer Produktionslinien voran       |
| 2027  | 20,3                                            | 44                                             | Mehrelementlegierungen und intelligente Fertigungsintegration                      |
| 2028  | 22,0+                                           | 50+                                            | Nanofolien und Funktionsverbundwerkstoffe erfreuen sich immer größerer Beliebtheit |

Zu den am schnellsten wachsenden Marktsegmenten zählen **hochdichte Schutzplatten für medizinische Zwecke**, supraleitende **Platten für elektronische Kühlstrukturen** und **Platten mit Beschichtungen zum thermischen Schutz von Lasern**.

## V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten gewinnen in der globalen High-End-Fertigungsindustrie zunehmend an Bedeutung und spielen insbesondere an der Schnittstelle zwischen strategischen und funktionalen Materialien eine Schlüsselrolle. Mit der kontinuierlichen Erweiterung der Anwendungsszenarien, der kontinuierlichen Verbesserung der Leistungsstandards und der stetigen Verschärfung der Umweltauflagen wird sich der Markt für Wolframlegierungsplatten in Richtung **hoher Präzision, Funktionalität und Effizienz entwickeln**. Die Nutzung der Chance auf eine Modernisierung der industriellen Kette und die globale Nachfrage wird für Unternehmen, die Wolframlegierungsplatten herstellen, in den nächsten fünf Jahren der Schlüssel zum Erfolg sein.

## 9.3 CTIA GROUP LTD Wolframlegierungsplatte

Als wichtiger Förderer im Bereich neuer Wolframlegierungen in China ist die CTIA GROUP LTD konzentriert auf die Forschung und Entwicklung, Produktion und industrielle Anwendung von Wolfram und seinen Legierungsmaterialien für die Tiefenverarbeitung. Insbesondere im Bereich der Wolframlegierungsplatten hat das Unternehmen eine systematische und vollständige technische System- und Produktmatrix mit starken technischen Integrationsfähigkeiten, Fähigkeiten zur Geräteentwicklung und Brancheneinfluss aufgebaut und nimmt eine wichtige Position auf dem inländischen Markt für hochwertige Wolframlegierungsplatten ein.

## 1. Unternehmensübersicht und strategische Positionierung

CTIA GROUP LTD ist ein Anbieter von Hochleistungslösungen aus Wolframlegierungen. Basierend auf Chinas industriellen Vorteilen bei Wolframressourcen, metallurgischer Technologie und Pulvermetallurgieanlagen konzentriert sich das Unternehmen auf die systematische Entwicklung von **hochdichten Wolframlegierungen, hochreinen Wolframplatten und speziell geformten Bauteilen aus Wolframlegierungen**. Die Produkte des Unternehmens finden breite

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendung in anspruchsvollen Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergietechnik, der Medizintechnik, Hochtemperaturgeräten und der Präzisionselektronik.

Das Unternehmen setzt auf differenzierte Wettbewerbsstrategien und orientiert sich an folgenden strategischen Stoßrichtungen:

- **Substitution von hochwertigen Wolframplatten:** Erzielen Sie im Inland Durchbrüche bei Wolframplattenarten, die auf Importe angewiesen sind, wie z. B. nukleare Abschirmplatten, Präzisions-Wärmekontrollplatten, medizinische Schutzplatten usw.;
- **Vielfältige kundenspezifische Dienstleistungen :** Wir können verschiedene Legierungssysteme (wie W-Ni-Fe, W-Ni-Cu, W-Mo-Ti usw.) und Größenspezifikationen von Platten gemäß den Kundenanforderungen entwickeln.
- **Intelligente Prozessverbesserung: Förderung** des Aufbaus integrierter intelligenter Produktionslinien für die Pulververarbeitung – Pressen – Sintern – Walzen – Veredelung;
- **Umweltfreundliche Herstellung und konforme Exporte:** Halten Sie Umweltschutzsysteme wie RoHS, REACH und ISO14001 strikt ein und etablieren Sie Qualitätskanäle für internationale Märkte wie Europa, Amerika, Japan und Südkorea.

## 2. Hauptproduktsystem für Wolframlegierungsplatten

China Tungsten Intelligence deckt hauptsächlich die folgenden Typen ab:

| Board-Kategorie                              | Legierungssystem                | Typische Dichte (g/cm³) | Anwendungsbereiche                                            |
|----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Wolframplatte mit hohem spezifischem Gewicht | W-Ni-Fe, W-Ni-Cu                | 17,0 bis 18,5           | Luft- und Raumfahrt, Trägheitskomponenten, Ausgleichsgewichte |
| Medizinische Schutzplatte                    | W-Ni-Cu, nicht magnetischer Typ | 17,0 bis 17,8           | Strahlentherapiegeräte, CT-Strahlenschutz                     |
| Abschirmplatte für Nukleartechnik            | Mi-Mo, Mi-Re                    | 18,0 bis 19,0           | Schutz von Kernreaktoren, Neutronenabsorptionsstruktur        |
| Präzisionskühlkörper                         | Hochreines W oder W-Cu          | 17,5 bis 19,0           | Mikroelektronik-Kühlkörper, Verpackungssubstrat               |
| Ultrahochtemperatur-Strukturplatten          | W-Ti-Cr                         | 18,0 bis 18,8           | Wärmefeldkomponenten, Reaktionsgeräteauskleidung              |
| Funktional abgestufte Platten                | W-FGM-Verbundstruktur           | Gestaltbar              | Multifunktionale Laminatstruktur                              |

Der Produktgrößenbereich umfasst **Dicken von 0,3 mm bis 50 mm, Breiten von 10 mm bis 300 mm, Längen von 20 mm bis 1500 mm**, und speziell geformte Platten, Lochplatten, Rillenplatten, beschichtete Platten und andere Strukturteile können gemäß Zeichnungen individuell angepasst werden.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Vorteile der Kerntechnologie

Die technischen Vorteile der CTIA GROUP LTD im Bereich der Wolframlegierungsplatten spiegeln sich hauptsächlich in den folgenden Aspekten wider:

#### 1. Pulveraufbereitung und Sortierkontrolle

- Eigenständige Entwicklung eines mehrstufigen Reduktionsverfahrens zur Herstellung von Wolframpulver;
- Erreichen Sie eine Partikelgrößenkontrolle im Bereich von 0,5 bis 10 µm und unterstützen Sie benutzerdefinierte Verteilungsparameter.
- Optimieren Sie den aktiven Dispersionsmechanismus entsprechend den unterschiedlichen Legierungssystemverhältnissen.

#### 2. Fähigkeit zur Pfadbildung für mehrere Prozesse

- Formpressen: geeignet für Standardgrößen und Massenproduktion;
- Isostatisches Pressen: wird bei hohen Dichte- und komplexen Formanforderungen verwendet;
- Warmwalzen + Vakuumglühen: Verbesserung der Plattengleichmäßigkeit und Verarbeitungsleistung;
- Die Oberflächenschleif-/Beiz-/Vakuum-PVD-Verbundbehandlung erfüllt mehrere Leistungsanforderungen wie Wärmeleitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

#### 3. Intelligentes Produktionssystem

- Einführung des MES-Managementsystems, um die Rückverfolgbarkeit der Daten im gesamten Produktionsprozess zu erreichen;
- Einrichten eines automatischen Bilderkennungssystems für Plattenfehler;
- Selbst entwickeltes Schutzgerät gegen niedrigen Sauerstoffgehalt zur Verbesserung der Reinheit der Platine.

### IV. Branchenkooperation und Marktanwendungsergebnisse

Die Wolframlegierungsplatten der CTIA GROUP LTD wurden in zahlreichen wichtigen nationalen und Unternehmensprojekten eingesetzt, darunter:

- Gemeinsame Entwicklung von Platten mit ultrahoher Dichte für Trägheitsgegengewichte mit der **China Aerospace Science and Technology Corporation**;
- Bereitstellung von Abschirmplatten in Nuklearqualität für **CGN- und CNNC-Engineering**;
- Schutzplatten aus Wolframlegierungen an Hersteller medizinischer Geräte wie **Shanghai United Imaging und Mindray Medical**;
- Liefern Sie wärmeleitende Wolframplatten und wärmeableitende Verbundstrukturteile an **Huawei, BYD Electronics usw.**

### V. Entwicklungsherausforderungen und -perspektiven

Obwohl sich die CTIA GROUP LTD auf dem heimischen Markt eine solide Position erarbeitet hat, steht sie in Zukunft noch vor folgenden Herausforderungen:

- Hochreine Rohstoffe sind auf Importe angewiesen und unterliegen Kostenbeschränkungen.
- Zwischen uns und den internationalen Giganten besteht hinsichtlich der Testsysteme und technischen Barrieren noch immer eine Lücke.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Grundlagenforschung in Spezialbereichen wie Neutronenabsorption und Hochfrequenz-Wärmeableitung muss verstärkt werden.

Zu diesem Zweck wird sich das Unternehmen auf die folgenden Bereiche konzentrieren:

- Bauen Sie **Ihre eigene Produktionslinie für hochreines Pulver**, um Kosten zu senken und Risiken zu kontrollieren.
- Enge Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Forschungsinstituten, um die Spitzenforschung und -entwicklung im Bereich **der Wolfram-Funktionsplatten voranzutreiben** ;
- Stärken Sie die kundenspezifische Zusammenarbeit mit Endkunden und entwickeln Sie eine integrierte Lösung aus „Wolframplatte + Verarbeitung + Verpackung + Anwendung“.

## VI. Zusammenfassung

In der Wolframlegierungsplattenindustrie entwickelt sich die CTIA GROUP LTD von einem traditionellen Materialhersteller zu einem umfassenden Lösungsanbieter. Durch die kontinuierliche Optimierung der Produktlinien, Prozesskapazitäten und Anwendungsentwicklung hat sie nicht nur die Gesamtqualität der im Inland produzierten Hochleistungswolframplatten verbessert, sondern durch die Strategie „China-Produktionskapazität + China-Intelligente Fertigung“ auch der globalen Wolframlegierungsplattenindustrie neuen Schwung verliehen.

### 9.4 Analyse der Zusammenhänge zwischen Rohstoffkosten, Energiepreisen und Blechpreisen

Wolframlegierungsplatten werden durch Preisschwankungen der vorgelagerten Rohstoffe, Energiekosten, Komplexität des Herstellungsprozesses und Nachfrageschwankungen der nachgelagerten Produktion beeinflusst. Rohstoffe (Wolframpulver, Bindemetall), Energie (Strom, Atmosphärendruck), Anlageninvestitionen und Arbeitskosten spielen eine zentrale Rolle in der Kostenstruktur von Wolframplatten. In diesem Abschnitt werden die internen Mechanismen der Preisbildung von Wolframlegierungsplatten eingehend analysiert und der Übertragungsweg und Reaktionszyklus von Rohstoff- und Energiepreisänderungen auf die Marktpreise von Wolframlegierungsplatten untersucht.

#### 1. Kostenstrukturanalyse der Wolframlegierungsplatte

Im Allgemeinen setzen sich die Herstellungskosten einer Wolframlegierungsplatte aus den folgenden Teilen zusammen:

| Kostenbestandteile                              | Prozentbereich (typische Schätzung) |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Rohstoffkosten (APT, Wolframpulver, Ni/Cu/Fe)   | 45 % ~ 60 %                         |
| Energieverbrauch (Strom, Wasserstoff, Inertgas) | 10 % bis 20 %                       |
| Prozessfertigung und Anlagenabschreibung        | 10 % ~ 15 %                         |
| Arbeits- und Verwaltungskosten                  | 5 % bis 10 %                        |
| Oberflächenbehandlung und Qualitätsprüfung      | 5 % bis 10 %                        |

Es ist ersichtlich, dass **die Rohstoffpreise und der Energieverbrauch** die Hauptvariablen sind, die die Preisschwankungen von Wolframlegierungsplatten dominieren.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Übertragungsmechanismus des APT- und Wolframpulverpreises auf den Plattenpreis

### 1. Wirkungspfad von Rohstoffpreisschwankungen

Wolframlegierungsplatten bestehen hauptsächlich aus APT (Ammoniumparawolframat), das durch Wasserstoffreduzierung zu Wolframpulver verarbeitet wird. Anschließend werden Ni, Cu und andere Bindemetalle hinzugefügt. Der APT-Preis hängt eng mit dem Preis des Wolframkonzentrats zusammen und weist eine gewisse Periodizität und Plötzlichkeit auf. Preisschwankungen von Wolframpulver wirken sich auf folgende Weise auf den Endpreis der Wolframlegierungsplatten aus:

**Preis für Wolframkonzentrat  $\uparrow \rightarrow$  APT-Preis  $\uparrow \rightarrow$  Preis für Wolframpulver  $\uparrow \rightarrow$  Kosten für Legierungspulver  $\uparrow \rightarrow$  Preisanstieg für Platteneinheiten**

**gibt es eine Verzögerung von etwa 2 bis 4 Wochen**. Handelt es sich jedoch um eine langfristige Trendänderung, verringern Fertigungsunternehmen die Risiken häufig, indem sie vierteljährliche/jährliche Beschaffungsverträge abschließen und ihre Lagerstrategien anpassen.

### 2. Synergie der Bindungsmetallpreise

- **Die Nickelpreise (Ni) schwanken stark** und wurden in den letzten Jahren erheblich von der Nachfrage nach neuer Energie (Batterien) beeinflusst.
- **Die Preise für Kupfer (Cu) und Eisen (Fe) ähneln eher den zyklischen Schwankungen der Industriemetalle**, ihre Gesamtschwankungen haben jedoch weniger Auswirkungen als bei Wolframpulver.

Obwohl die Kostenänderungen beim Bindemetall nicht so drastisch sind wie die beim Wolframpulver, wirken sich die Schwankungen bei Massenlegierungsplatten (wie etwa dem W-Ni-Cu-System) ebenfalls erheblich auf die Endpreise aus.

### 3. Der Einfluss der Energiepreise auf die Blechproduktionskosten

Die Herstellung von Wolframlegierungsplatten ist ein äußerst energieintensiver Prozess, wobei der Hauptenergieverbrauch auf folgende Bereiche konzentriert ist:

- **Sinterphase in Wasserstoff-Schutzatmosphäre** ;
- **Hochtemperatur-Elektroöfen zum Warmwalzen und Glühen erforderlich** ;
- **Für die Kaltbearbeitung und Oberflächenbehandlung sind Druckluft, Kühlwasser und Elektrolytwartung erforderlich** .

**Die Energiepreise für Wolframplatten betragen:**

**Strom- und Wasserstoffpreise  $\uparrow \rightarrow$  Energiestückkosten für Blech  $\uparrow \rightarrow$  Grenzkosten der Blechproduktion  $\uparrow \rightarrow$  Marktpreissteigerungen**

Nehmen wir als Beispiel die Veränderungen der industriellen Strompreise in einigen Provinzen Chinas zwischen 2022 und 2024: Eine Erhöhung der Strompreise um 15 bis 30 % kann die Energiekosten pro Einheit für Platten aus Wolframlegierungen um 3 bis 5 % erhöhen, insbesondere für Unternehmen, die Vakuumelektroöfen und isostatische Press-Sinterverfahren verwenden.

### 4. Zyklische Schwankungen und Marktverknüpfungen bei Wolframlegierungsplatten

Wolframlegierungsplatten weisen die folgenden **regelmäßigen Eigenschaften** auf :

#### 1. Zyklischer Typ: Der Überlagerungseffekt von Rohstoffkreislauf und Industriebestand

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wenn APT oder Wolframpulver in den steigenden Kanal eintritt, bereiten Unternehmen Materialien im Voraus vor, was den Preis der Platten in die Höhe treibt.
- Wenn die Nachfrage in den nachgelagerten Bereichen nicht ausreicht und sich die Lagerbestände häufen, fallen die Plattenpreise mit Verzögerung.

## 2. Bauart: Preisdifferenzierung zwischen High-End-Modulen und Standardmodulen

- hochreine, hochdichte, dünne Platten und kleine kundenspezifische Platten schwanken stärker und sind stärker vom Arbeits- und Energieverbrauch betroffen;
- Standardmodule weisen starke Skaleneffekte und relativ stabile Preise auf, sodass sie leicht zu Referenzpreisen in der Branche werden können.

## 3. Regional: Verschiedene Länder haben unterschiedliche Preisübertragungsmechanismen

- In China wird hauptsächlich eine kostenbasierte Preisgestaltung angewendet, und die Preise werden stark durch die Verknüpfung zwischen APT und Energie beeinflusst.
- Europäische und amerikanische Unternehmen tendieren dazu, langfristige Lieferverträge abzuschließen und funktionale Preise festzulegen (beispielsweise Preise, die auf der Effizienz der Strahlenabschirmung basieren), wodurch Preisschwankungen „abgemildert“ werden.

## 5. Zusammenfassung und Trendausblick

Die Preisgestaltung für Wolframlegierungsplatten spiegelt eine dreifache Beziehung wider: **Rohstoffe spielen eine führende Rolle, Energie eine synergetische Rolle und der Markt eine regulatorische Rolle**. Es wird erwartet, dass die Preise für Wolframplatten in den nächsten fünf Jahren angesichts der Verschärfung der globalen Strategien zur Wolframressourcennutzung und der anhaltend hohen Preise für Strom und Wasserstoff weiterhin innerhalb eines Musters „starker Schwankungen und struktureller Differenzierung“ schwanken werden.

Hersteller von Wolframlegierungsplatten sollten:

- Stärkung der Einkaufs-, Verhandlungs- und Reservekapazitäten für APT und Wolframpulver;
- Verbessern Sie die Energieeffizienz der Prozesse und den Automatisierungsgrad der Geräte.
- Vermeiden Sie Preisrisiken durch funktionale Preisgestaltung und differenzierte Produktstrategien.

Nur auf diese Weise können wir in einem volatilen Rohstoff- und Energieumfeld stabile Gewinne erzielen und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Marktrisiken erhöhen.

## 9.5 Technische Barrieren und detaillierte Entwicklungsstrategie für die Industriekette

Als Vertreter hochwertiger metallischer Funktionswerkstoffe finden Wolframlegierungsplatten breite Anwendung im Nuklearschutz, in der Luft- und Raumfahrt, in der Medizintechnik, in der Präzisionselektronik, in der Hochtemperaturfertigung und in anderen Bereichen, in denen extrem hohe Anforderungen an Leistung, Präzision, Konsistenz und Zuverlässigkeit gestellt werden. Daher bestehen in diesem Bereich erhebliche technische Barrieren und Markteintrittsbarrieren. Gleichzeitig dehnt sich die globale Industriekette in Richtung Hochpräzision, Individualisierung und Ökologisierung aus, was die integrierten Koordinationsfähigkeiten von Upstream, Midstream und Downstream vor größere Herausforderungen stellt.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Hindernisse und strategischen Reaktionspläne der Wolframlegierungsplattenindustrie aus der Perspektive technischer Schwellenwerte, Kernprozessschwierigkeiten, vor- und nachgelagerter Koordinierungsmechanismen, Engpässe bei der inländischen Substitution und detaillierter Entwicklungspfade analysiert.

### **1. Analyse der wichtigsten technischen Barrieren von Wolframlegierungsplatten**

Wolframlegierungsplatten umfassen mehrere interdisziplinäre Disziplinen wie Metallurgie, Wärmetechnik, Materialwissenschaft und Oberflächentechnik. Die technischen Barrieren spiegeln sich hauptsächlich in den folgenden Aspekten wider:

#### **1. Technologie zur Kontrolle der Rohstoffreinheit und des Pulvers**

- Die Herstellung von Hochleistungsplatten aus Wolframlegierung muss auf hochreinem APT basieren und die Verunreinigungen (wie Mo, Si, P, O, C) müssen auf ppm-Niveau kontrolliert werden;
- Die Pulverpartikelgrößenverteilung muss im Bereich von 1 bis 10  $\mu\text{m}$  präzise kontrolliert werden. Unterschiedliche Partikelgrößen haben einen erheblichen Einfluss auf die Verdichtungsrate, die Sinterdichte und die organisatorische Gleichmäßigkeit.
- Die Kontrolle der Pulveraktivität (wie etwa der Sauerstoffgehalt an der Oberfläche) steht in direktem Zusammenhang mit der Duktilität der Platte und der Kontrolle der Sinterschrumpfung.

#### **2. Sinter- und Verdichtungstechnologie**

- Hochtemperatur- und Hochdruck-Isostatsintergeräte sind teuer und komplex zu steuern.
- Die Steuerung der Wasserstoff-Schutzatmosphäre erfordert eine präzise Einstellung des Sauerstoffpotenzials, der Durchflussrate und der thermischen Feldverteilung.
- Bei Platten mit Sonderformen und Platten mit besonders großen Abmessungen gibt es Probleme, beispielsweise die Schwierigkeit, die Sinterverformung zu kontrollieren, und die Gefahr von Spannungsrissen.

#### **3. Blechwalz- und Wärmebehandlungsprozess**

- Wolframlegierungen führen zu einem sehr engen Warmwalzfenster, das anfällig für Defekte wie Kantenrisse, Verwerfungen und grobe Körner ist;
- Das Kaltwalzen muss mit einem Zwischenglühen kombiniert werden, um zu verhindern, dass Spannungskonzentrationen Risse verursachen.
- Eine präzise Kontrolle der Blechdicke, Ebenheit und Toleranz (innerhalb von  $\pm 0,02\text{ mm}$ ) ist für Märkte mit hoher Wertschöpfung wie medizinische Platten ein Muss.

#### **4. Oberflächenbehandlung und Funktionskontrolle des Verbundwerkstoffs**

- Hochtemperaturoxidation, Kontrolle der Oberflächenrauheit und hohe Anforderungen an die Haftung der Galvanik/Beschichtung;
- Die Technologien für funktional abgestufte Platten und mehrschichtige Verbundplatten befinden sich noch in der Pilotphase und wurden noch nicht im großen Maßstab kommerzialisiert.
- Die Regulierung der Oberflächenaktivität (hydrophil/hydrophob, Strahlungsresistenz) beruht weiterhin auf importierten Hochleistungsmembranmaterialien.

## **2. Die wichtigsten Engpässe in der Tiefe der Wolframlegierungsplatten-Industriekette**

### **1. Das Engpassphänomen in der Rohstoffverbindung**

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

- Die Produktion von hochreinem APT und hochaktivem Wolframpulver ist noch immer auf einige wenige führende Unternehmen konzentriert, und die Reinheit und Stabilität der Rohstoffe haben einen großen Einfluss auf die Ausbeute der nachgelagerten Produkte.
- Bindemetalle (wie Ni, Re und Mo) werden größtenteils importiert oder sind auf die Schmelze kleiner Mengen angewiesen, sind preiseempfindlich und haben fragile Lieferketten.

## 2. Moderne Ausrüstung ist auf Importe angewiesen

- Die meisten wichtigen Prozessgeräte, wie Hochtemperatur-Vakuumsinteröfen, Präzisionswalzwerke, Plasma-PVD-Systeme und CT-Geräte zur zerstörungsfreien Prüfung, sind auf Importe aus Europa, den USA, Japan und Südkorea angewiesen und weisen Probleme auf, wie beispielsweise lange Wartungszyklen der Geräte, technische Vertraulichkeit und hohe Modernisierungskosten.

## 3. Unvollkommenes Qualitätskontrollsystem

- High-End-Kunden (Kernenergie, Militärindustrie und Medizin) haben extrem hohe Anforderungen an Konsistenz und Chargenstabilität, aber die Qualitätssysteme einiger inländischer Unternehmen können da nicht mithalten.
- Es mangelt an standardisierten zerstörungsfreien Prüfplattformen und hochpräzisen physikalischen Simulationssystemen.

## 3. Internationaler Vergleich: Technologielücke und Durchbruchrichtung

| Projekt                                                | Europa, Amerika, Japan und Südkorea (repräsentative Unternehmen) | Aktuelle Situation in China (Repräsentative Unternehmen)                     | Spaltrichtung                                                                |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Plattenreinheit und Gewebegleichmäßigkeit              | Plansee, Tosoh, Hitachi                                          | CTIA GROUP LTD Herstellung                                                   | Kontrollieren Sie die Konsistenz der Partikelgröße und die Sinterverdichtung |
| Verbundstrukturplatten und Funktionsintegration        | Toshiba, MolyWorks                                               | Bei den meisten handelt es sich um experimentelle oder militärische Projekte | PVD-Beschichtung, FGM-Technologie                                            |
| Präzisions-Inspektions- und Prüfsystem                 | GE, Bruker, Zeiss                                                | Abhängigkeit von bestimmten Importen                                         | Hochwertige CT/NDT-Ausrüstung                                                |
| Militärisches/nukleares Qualitätszertifizierungssystem | Perfekt (AS9100, MIL-SPEC, ISO13485)                             | Beschleunigter Fortschritt                                                   | Die meisten befinden sich noch in der Matching- und Konvertierungsphase      |

## 4. Vorschläge zur detaillierten Entwicklungsstrategie der Industriekette für Wolframlegierungsplatten

### 1. Upstream-Erweiterung: Aufbau einer Autarkie mit hochreinem Wolframpulver und hochwertigen Bindemetallen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Förderung der Integration von Möglichkeiten zur Tiefenverarbeitung von Wolframressourcen und Verbesserung der Möglichkeiten zur APT-Raffination und mehrstufigen Reduktion;
- Unterstützung des Aufbaus inländischer Produktionslinien für Mikrolegierungen aus seltenen und wertvollen Metallen (wie Re und Ta);
- Bauen Sie ein komplettes Produktionssystem für Wolframlegierungspulver auf, um eine integrierte Kontrolle der Partikelgröße/Reinheit/Fließfähigkeit zu erreichen.

## **2. Midstream-Durchbruch: intelligente Produktionstechnologie und unabhängige Entwicklung von Schlüsselausrüstung**

- Einführung eines intelligenten Steuerungssystems zur Erzielung einer geschlossenen Regelkreisregelung für Sintern, Walzen, Kaltverformen und Wärmebehandlung.
- Überwindung des Problems der Substitution isostatischer Press-/Vakuumsinteröfen im Inland und Förderung der digitalen Integration von Geräten;
- Erstellen Sie eine Plattform für „Pilottests auf Produktionsliniensebene und gemeinsame Tests mit Kunden“, um die Überprüfung der Chargenproduktion neuer Materialien zu beschleunigen.

## **3. Downstream-Zusammenarbeit: Funktionale Panelentwicklung und gemeinsame Innovation mit Endnutzern**

- Integrieren Sie Unternehmen aus den Bereichen Elektronik, Kernenergie und medizinische Geräte umfassend und entwickeln Sie maßgeschneiderte Produkte, deren Schwerpunkt auf „Leistungsintegration + struktureller Gewichtsreduzierung + präziser Anpassung“ liegt.
- Entwickeln Sie integrierte Lieferkapazitäten, von Rohstoffen über Wolframlegierungsplatten bis hin zu halbfertigen Geräten oder Montageeinheiten;
- Fördern Sie das digitale Qualitätsrückverfolgbarkeitssystem und schaffen Sie die Möglichkeit, den gesamten Lebenszyklus von Materialien, Produkten und Anwendungen zu verfolgen.

## **4. Standardsystem- und Talentprojektaufbau**

- Formulieren Sie technische Standards und Prüfspezifikationen, die die gesamte Kette von Pulver-Platten-Verbundstrukturen abdecken.
- Bauen Sie ein Verbundwerkstoff-F&E-Team auf, das die Wolfram-Materialwissenschaft, Oberflächentechnik, physikalische Simulation usw. abdeckt.
- Ermöglichen Sie Universitäten, Forschungsinstitute und Unternehmen, gemeinsam das „Forschungszentrum für fortschrittliche Fertigungstechnologie für Wolframlegierungsplatten“ aufzubauen.

## **V. Zusammenfassung**

Die Wolframlegierungsplattenindustrie muss den Wandel von „ressourcenbasierten Vorteilen“ zu „technologiegetrieben“ vollziehen und dabei eine Reihe technischer Barrieren wie hochreine Rohstoffe, dichtes Sintern, Funktionsverbundwerkstoffe, Oberflächentechnik und Präzisionsverarbeitung überwinden und die kollaborative Innovation über die gesamte Industriekette hinweg fördern. Nur durch eine tiefgreifende Integration der Industriekette, die Einführung intelligenter Fertigungssysteme und die Verbesserung des Standardsystems können die

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

Markenwettbewerbsfähigkeit und die strategische Initiative von Wolframlegierungsplatten „Made in China“ im harten globalen Marktwettbewerb aufgebaut werden.

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

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

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

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

#### 100,000+ customers

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

#### Service commitment

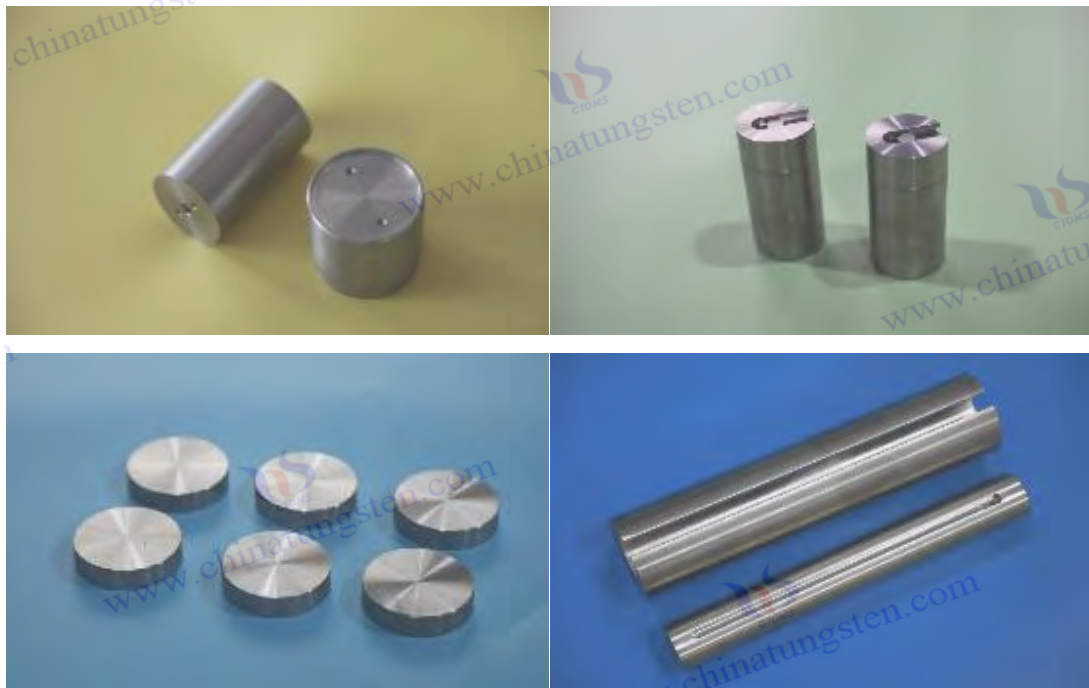
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

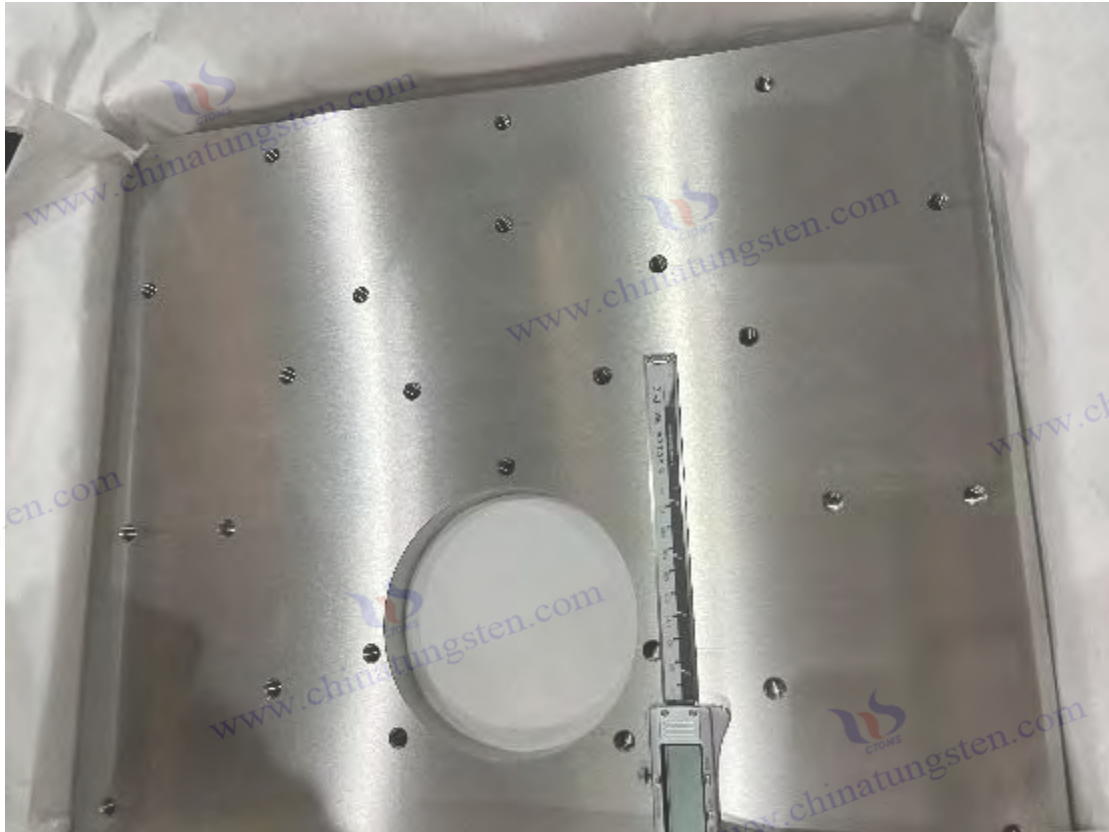
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



## Kapitel 10 Forschungsgrenzen und Entwicklungsrichtungen von Wolframlegierungsplatten

### 10.1 Verdichtungsmechanismus einer Wolframlegierungsplatte mit ultrahoher Dichte

Angeichts des extremen Strebens nach höherer Materialdichte in den Bereichen Kernenergieschutz, Absorption hochenergetischer Partikel, Trägheitsgegengewichte und hochpräzise medizinische Geräte rücken ultrahochdichte Wolframlegierungsplatten (Dichte  $\geq 18,5 \text{ g/cm}^3$ ) in den Fokus der Wolframmaterialforschung. Wolfram selbst hat eine extrem hohe Eigendichte ( $19,25 \text{ g/cm}^3$ ). Beim Legieren und Formen der Platten liegt die endgültige Produktdichte jedoch aufgrund von Faktoren wie Strukturporosität, Verunreinigungseinschlüssen oder einem ungünstigen Verhältnis der Bindemetalle oft unter dem theoretischen Wert. Das Erreichen der maximalen Verdichtung (nahezu vollständige Verdichtung) von Wolframlegierungsplatten ist einer der größten Engpässe bei der industriellen Anwendung hochwertiger Wolframplatten.

In diesem Abschnitt werden der mikroskopische Mechanismus, die Einflussfaktoren, die wichtigsten Methoden und die neuesten Forschungsfortschritte bei der Verdichtung von Wolframlegierungsplatten systematisch erörtert.

#### 1. Grundlagen und Definitionen der Verdichtung

Unter Verdichtung versteht man den Vorgang, bei dem während des pulvermetallurgischen Formgebungsprozesses durch Erhitzen und Druckbeaufschlagung Poren zwischen Partikeln

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beseitigt und der Abstand zwischen Atomen verringert wird, wodurch die Volumendichte und die strukturelle Integrität des Materials verbessert werden.

Die **\*\*relative Dichte\*\*** ist ein wichtiger Indikator zur Messung der Qualität von Wolframlegierungsplatten. Die Berechnungsmethode lautet wie folgt:

$$\text{Dichte (\%)} = \text{tatsächliche Dichte} / \text{theoretische Dichte} \times 100 \%$$

Bei Platten aus Wolframlegierungen hängt die theoretische Dichte vom Verhältnis von Wolfram zu Bindemetall (wie Ni, Cu) ab, während die tatsächliche Dichte von Faktoren wie Partikelmorphologie, Sinterschrumpfung und Restporen beeinflusst wird.

## 2. Mikroskopischer Mechanismus des Verdichtungsprozesses

### 1. Pulverpartikelumlagerung und Kontaktoptimierung

Während des Pressvorgangs werden die Lücken zwischen den Partikeln durch Formen oder isostatisches Pressen minimiert, der Kontaktwinkel zwischen den Partikeln optimiert und ein vorläufiges Strukturgerüst gebildet.

### 2. Oberflächendiffusion und Halsbildung

Zu Beginn der Erwärmung kommt es an der Partikeloberfläche zu Diffusion, wodurch ein „Sinterhals“ entsteht, und Atome wandern entlang der Oberfläche in den Niedrigenergiebereich, wodurch die Poren verkleinert werden.

### 3. Interpartikuläre Bindung und Volumendiffusion

In der Hochtemperaturphase kommt es zur Korngrenzendiffusion und Volumendiffusion, die Poren schrumpfen, zwischen den Partikeln bilden sich intermetallische Bindungen und es bildet sich allmählich eine dichte Struktur.

### 4. Porenverschluss und -kontraktion

Im weiteren Sinterstadium diffundieren die geschlossenen Poren Gas nach außen, die Mikroporen schrumpfen, die Organisation wird homogen und es entsteht eine Mikrostruktur nahe der theoretischen Dichte.

## 3. Schlüsselfaktoren, die die Verdichtung beeinflussen

### 1. Pulvereigenschaften

- **Partikelgrößenverteilung** : Feines Pulver ist für eine hohe Verdichtung besser geeignet, oxidiert jedoch leicht; grobes Pulver verringert die Sinteraktivität;
- **Morphologie und Struktur** : Kugelförmiges Pulver hat eine gute Fließfähigkeit, die sich gut pressen und formen lässt und eine gleichmäßige Dichte aufweist.
- **Sauerstoffgehalt und Verunreinigungen** : Ein hoher Sauerstoffgehalt führt zur Bildung von WO<sub>3</sub>-Rückständen, die die Verdichtung behindern und die Gewebestabilität beeinträchtigen.

### 2. Bindephasenverhältnis

- Metalle wie Ni und Cu als Bindephasen können die Dichte und Plastizität deutlich verbessern, ein zu hoher Anteil verringert jedoch die endgültige Dichte;
- Das optimale Verhältnis erfordert eine ausgewogene Auslegung der Plattenstärke, Duktilität und Dichte.

### 3. Unterdrückungsdruck und -methoden

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Eine gute Anfangsdichte kann durch die Kontrolle des Formdrucks bei 150–300 MPa erreicht werden.
- Durch isostatisches Pressen (CIP) kann die Richtungsabhängigkeit der Formgebung wirksam beseitigt und die Konsistenz der Dichte verbessert werden.

#### 4. Sintertemperatur und Atmosphäre

- Die Wolframlegierungsplatte hat eine Temperatur von 1350 bis 1550 °C und muss in einer Umgebung mit hochreinem Wasserstoff oder Vakuum hergestellt werden.
- Die Sinterzeit beeinflusst den Porenverschluss und die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur.

#### 5. Nachbearbeitung

- Durch Heißisostatisches Pressen (HIP) wird die Verdichtungsrate nach dem Sintern weiter verbessert.
- Zwischenwalzen und erneutes Glühen helfen, Mikroporen zu beseitigen und die Korndichte zu verbessern.

#### 4. Wichtigste technische Wege zur Verbesserung des Verdichtungsgrades

| Technischer Pfad                                                              | Vorteile                                                                                     | Wichtige Punkte                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>KVP</b>                                                                    | Gleichmäßiger Druck und hohe Toleranz gegenüber komplexen Formen                             | Hochfeste Form + präzise Pulververpackungstechnologie                                                  |
| <b>Flüssigphasensintern</b>                                                   | Fügen Sie ein niedrigschmelzendes Bindemetall hinzu, um die Diffusion zu unterstützen        | Kontrolle des Bindungsmetallverhltnisses + Optimierung des Temperaturfensters                         |
| <b>Heißisostatisches Pressen (HIP)</b>                                        | Beseitigen Sie verbleibende Mikroporen und verbessern Sie die mikroskopische Gleichmäßigkeit | Kontrolle der Umgebungsbedingungen bei hohen Temperaturen und hohem Druck + luftdichtes Hohlraumdesign |
| <b>Nanopulverhomogenisierung + ultrafein</b>                                  | Erhöhen Sie die Diffusionsrate und verbessern Sie die Effizienz der Halsbildung              | Kontrolle der Nanoagglomeration + Oberflächenbehandlung zur Verhinderung von Oxidation                 |
| <b>Mehrfaches Kaltwalzen + Zwischenglühen</b>                                 | Reduzieren Sie die Porosität und verbessern Sie die Texturdichte                             | Kontrollierte Verformungsrate + Restspannungsfreisetzung                                               |
| <b>Laserumschmelzen/Elektroschlackeumschmelzen und weitere neue Verfahren</b> | Oberflächenverdichtung + Mikrostrukturumgestaltung                                           | Gleichmäßigkeit der Wärmezufuhr + Kontrolle der Oberflchenkrnung                                     |

#### 5. Neueste Forschung und zukünftige Richtungen

##### 1. Multiskalige Sintermodellierung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mithilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM), der Molekulardynamik (MD), der Phasenfeldsimulation (Phase-Field) und anderer Technologien werden die Porenentwicklung und der Spannungsleitungspfad während des Sinterprozesses von Wolframlegierungsplatten simuliert und der Verdichtungspfad optimiert.

## **2. Schnelle Konsolidierungstechnologie (wie SPS)**

Das Funkenplasmasintern bietet die Vorteile einer hohen thermischen Wirkung und einer hohen Kompressionsrate und kann in kurzer Zeit eine Dichte erreichen, die nahezu der theoretischen Dichte entspricht, was für die schnelle Herstellung und experimentelle Prüfung von Wolframplatten geeignet ist.

## **3. Entwicklung hochdichter Verbundstrukturplatten**

Entwickeln Sie eine Struktur mit Gradientendichte, eine Sandwichplatte aus Wolframlegierung (hohe Dichte in der Mitte, Zähigkeit an der Oberfläche) oder eine beschichtete Platte, um ein Gleichgewicht mehrerer Eigenschaften zu erreichen.

## **4. Forschung zum Prozesspfad mit hoher Verdichtung und geringer Verformung**

Durch die Kombination von Vorsintern bei mittlerer bis niedriger Temperatur und hohem Druck mit sekundärem Vakuumglühen, Hilfsdrucksintern und anderen Verbundprozessen wird der Widerspruch zwischen ultrahoher Dichte und Verformungsstabilität gelöst, was für die Herstellung von Platten mit ultragroßer Fläche geeignet ist.

## **VI. Zusammenfassung**

Die Entwicklung von Wolframlegierungsplatten ist nicht nur ein wichtiger Weg zur Verbesserung ihrer strukturellen Festigkeit, Strahlungsbeständigkeit und Wärmemanagementeigenschaften, sondern stellt auch die Kernwettbewerbsfähigkeit der Wolframlegierungsverarbeitungstechnologie dar. In der Zukunft wird die eingehende Forschung zum Verdichtungsmechanismus weiterhin technologische Durchbrüche in Schlüsselbereichen wie der Kontrolle der Pulvereigenschaften, physikalischen Sintermodellen und Verbundpressprozessen fördern und so die breitere Anwendung von Wolframlegierungsplatten in extremen Umgebungen und High-End-Geräten ermöglichen.

## **10.2 Additive Fertigung und intelligente Wolframlegierungsplatte**

Mit der Entwicklung der Fertigungsindustrie von der traditionellen Chargenfertigung hin zu Digitalisierung, Individualisierung und intelligenter Fertigung dringt die additive Fertigungstechnologie (AM) zunehmend in Hochleistungswerkstoffsysteme, darunter auch Wolframlegierungen, vor. Insbesondere für Wolframlegierungsplattenkomponenten mit komplexen Strukturen, individuellen Anforderungen und hohen Leistungsanforderungen bietet AM einen neuen Weg, die Grenzen konventioneller Verfahren zu überwinden. Darüber hinaus etablieren mit der Entwicklung von Industrie 4.0 intelligente Fertigungssysteme mit intelligenter Sensorik, datengetriebener Entwicklung und geschlossener Regelkreise das Produktionsparadigma der nächsten Generation für Wolframlegierungsplatten.

In diesem Abschnitt werden die disruptiven Veränderungen, die Intelligenz und additive Fertigung im Bereich der Wolframlegierungsplatten mit sich bringen, systematisch erörtert, und zwar unter den Gesichtspunkten der Prinzipien der additiven Fertigungstechnologie, der Anpassungsfähigkeit

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

von Wolframlegierungsplatten, der Integration intelligenter Fertigungssysteme und ihrer industriellen Aussichten.

## 1. Anwendungspotenzial der additiven Fertigungstechnologie bei Wolframlegierungsplatten

### 1. Einführung in die additive Fertigung

Additive Fertigung ist ein **schichtweiser** Herstellungsprozess, bei dem mithilfe von Laser-, Elektronenstrahl-, Jetting-, Schmelzauftragsverfahren usw. eine dreidimensionale Struktur anhand eines digitalen Modells aufgebaut wird. Es eignet sich für die Herstellung von Metallblechen, komplexen Schalen, inneren Hohlraumstrukturen und funktionalen integrierten Teilen.

### 2. Herausforderungen und Fortschritte der additiven Fertigung in Wolframlegierungen

Der hohe Schmelzpunkt ( $> 3400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), die hohe Wärmeleitfähigkeit und die geringe Plastizität von Wolframlegierungen führen zu folgenden Herausforderungen bei der herkömmlichen AM-Technologie:

- Es besteht die Gefahr von Rissen und Verwerfungen und Verformungen sind schwerwiegend.
- Laser-/Elektronenstrahlen haben ein hohes Reflexionsvermögen und eine geringe Energieabsorptionsrate.
- Das Pulver lässt sich nur schwer zu Kugeln formen und weist eine schlechte Fließfähigkeit auf.

Mit der Ausgereiftheit der folgenden Technologien hat AM jedoch Durchbrüche bei der Herstellung von Wolframlegierungsplatten erzielt:

- **Elektronenstrahlschmelzen (EBM)** : schmilzt Wolframpulver im Vakuum, um Oxidation und Rissbildung zu reduzieren;
- **Gerichtete Energieabscheidung (DED): Geeignet für die Reparatur** und die nahezu fertige Formgebung großer Wolframlegierungsplatten;
- **Laser Powder Bed Fusion (LPBF):** Hervorragende Dichte ( $>98\%$ ) bei der Herstellung kleiner Wolframteile mit hoher Dichte;
- **Plasmabeschichtung** : Realisierung des Verbunds aus funktional abgestufter Wolframschicht und Substrat.

## 2. Vorteile der additiven Fertigung bei der Verbesserung der Leistung von Wolframlegierungsplatten

| Einschränkungen traditioneller Prozesse                    | Additive Fertigung bringt Durchbruch                                              |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Schwierige Kontrolle der Konsistenz der Plattendicke       | Kann in Schichten gedruckt werden, mit präziser Kontrolle von Dicke und Textur    |
| Komplexe Strukturen sind schwer zu verarbeiten             | Poröse Strukturen und funktionelle Hohlräume können gleichzeitig aufgebaut werden |
| Hohe Materialabfallrate                                    | Nahezu endkonturierte Form, hohe Materialausnutzungsrate (bis zu $90\%$ )         |
| Die Konstruktion von Formen mit langem Zyklus hängt ab von | Eliminieren Sie Formschritte und iterieren Sie Prototypen schnell                 |
| Die Einheitlichkeit der Zutaten ist schwer                 | Individuelle Zusammensetzung der Inhaltsstoffe und                                |

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                  |                                        |
|------------------|----------------------------------------|
| zu kontrollieren | Gradientenzusammensetzung sind möglich |
|------------------|----------------------------------------|

Funktionsstrukturen wie **Wärmeleitungskanäle, Mikrostrukturschichten und Kühlsysteme** in die Platte, um die Entwicklung der „Struktur-Funktionsintegration“ von Wolframlegierungsplatten zu erreichen.

3. Integrationstrend der intelligenten Fertigung in der Produktion von Wolframlegierungsplatten

1. Datengesteuertes Qualitätskontrollsystem

Der Sinter-/Walzprozess wird durch Sensorüberwachung (Temperaturfeld, Laserleistung, Schmelzbadmorphologie) und Feedback des digitalen Zwillingsmodells gesteuert, was die Fertigungskonsistenz von Wolframplatten deutlich verbessert.

2. Fertigungsprozesse autonom optimieren

additive Parameter (Scanpfad, Laserleistung) usw. basierend auf historischen Daten und selbstlernenden Algorithmen, um eine adaptive Fertigung zu erreichen.

3. Produktionslinienintegration und flexible Fertigungseinheiten

Durch die Integration von MES (Manufacturing Execution System), ERP- und CAM-Systemen haben wir eine intelligente Produktionslinie für den gesamten Prozess „Wolframpulver → Wolframplatte → Präzisionskomponenten“ aufgebaut, um den Anforderungen von Kleinserien, Großserien und hochpräzisen Aufträgen gerecht zu werden.

4. KI-gesteuertes Materialdesign und Defektidentifizierung

- Verwenden Sie **Algorithmen des maschinellen Lernens** , um die Auswirkungen der Legierungsformulierung auf die Leistung vorherzusagen und den Materialdesignzyklus zu beschleunigen.
- Verwenden Sie Bilderkennungsmodelle zur Analyse von CT- oder metallografischen Bildern, um eine schnelle, zerstörungsfreie Erkennung von Defekten wie Mikrorissen und Einschlüssen zu erreichen.

4. Wichtige technische Engpässe und Gegenmaßnahmen bei der additiven Fertigung von Wolframlegierungsplatten

| Technische Schwierigkeiten                                      | Ursachenanalyse                                                                                              | Antwortpfad                                                                |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Schwierig zuzubereitendes Pulver                                | Metalle mit hohem Schmelzpunkt lassen sich nicht leicht zerstäuben und weisen eine schlechte Sphärizität auf | Entwicklung von Geräten zur Inertgaszerstäubung und Plasmasphäroidisierung |
| Es kommt häufig zu Rissen und die thermische Belastung ist groß | Großer Temperaturgradient + schlechte Duktilität                                                             | Optimierte Scanstrategie + Wärmebehandlung + Nanolegierung                 |
| Schwer kontrollierbare Plattenverformung                        | Die Materialschrumpfrate ist groß und die Formsicht ist dünn                                                 | Stützstrukturen anwenden, Scanpfade optimieren und mit Sandwichplatten     |

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                                              |                                                                                             |                                                                                             |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              |                                                                                             | drucken                                                                                     |
| Die Konsistenz von AM-Produkten ist instabil | Pulverchargenvariation + enges Prozessfenster                                               | Einführung eines Online-Überwachungssystems + Daten-Closed-Loop-Feedback                    |
| Fehlende Standards und Testmethoden          | Die AM-Wolframlegierungsplattenindustrie befindet sich noch in der frühen Entwicklungsphase | Förderung der Formulierung von ISO/ASTM-bezogenen Standards + Aufbau einer Prozessdatenbank |

## 5. Zukünftige Trends und bahnbrechende Entwicklungen

### 1. Hybridfertigung: Traditionelles Walzen + additive Rekonstruktion

Durch das Walzen der großen Plattenmatrix konstruiert AM funktionale lokale Bereiche, um die Einheit aus struktureller Festigkeit und funktionalen Anforderungen zu erreichen.

### 2. Kollaborative Fertigung mehrerer Materialien

Mittels lasersynchroner Pulverzufuhr werden multifunktionale Wolfram-Verbundplatten, beispielsweise aus **Wolfram-Kupfer** und **Wolfram-Keramik**, hergestellt, die sich an komplexe Belastungen und extreme Arbeitsbedingungen anpassen können.

### 3. Digitale Zwillinge und Material-Gentechnik

Durch die Integration der Parameterdatenbank zur additiven Fertigung, der Big Data zur Unternehmensleistung und des Leistungsvorhersagemodells wird ein intelligenter geschlossener Regelkreis für den gesamten Zyklus von Wolframlegierungsplatten mit dem Konzept „Design-Fertigung-Leistung“ erstellt.

### 4. Design von Wolframpulver für die additive Fertigung

Durch die Entwicklung von Wolframlegierungspulver mit hoher Sphärizität, hoher Fließfähigkeit und niedrigem Sauerstoffgehalt speziell für die additive Fertigung werden die Produktkonsistenz und die Formqualität erheblich verbessert.

## VI. Zusammenfassung

Additive Fertigung und intelligente Fertigung entwickeln sich zu den wichtigsten Motoren für die Transformation und Modernisierung der Wolframlegierungsplattenindustrie. Sie erweitern nicht nur die Grenzen der Plattenstrukturkomplexität und Leistungsintegration, sondern ermöglichen auch einen umfassenden Sprung in der Produktionseffizienz, der Materialausnutzung und den personalisierten Fertigungsmöglichkeiten. Durch die tiefe Integration von Lasern, Steuerungssystemen, KI-Algorithmen und Pulvermetallurgie wird in Zukunft eine neue Generation leistungsstarker, anpassbarer und intelligent steuerbarer Wolframlegierungsplatten entstehen, die den vielfältigen Anforderungen der Kernenergie, der High-End-Ausrüstung, der Luft- und Raumfahrt und anderer Bereiche an „leichte, präzise, starke und intelligente“ Materialien voll gerecht werden.

### 10.3 Integration und Anwendungserweiterung multifunktionaler Verbundplatten

Im Kontext der Entwicklung von High-End-Fertigung, Geräten für extreme Umgebungen und Funktionsgeräten mit Mehrfeldkopplung können Metallplatten mit Einzelleistung die vielfältigen und systematischen technischen Anforderungen nicht mehr erfüllen. \*\*Multifunktionale

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verbundplatten auf Wolframbasis\*\*, eine neue Generation technischer Strukturmaterialien, fördern die Weiterentwicklung von Wolframlegierungsplatten von „struktureller Unterstützung“ zu „Struktur + Funktion“ durch Strukturdesign, Schnittstellentechnik und Funktionsintegration.

In diesem Abschnitt werden die Typen, Schnittstellenverbindungsmechanismen, Herstellungsmethoden und das Erweiterungspotenzial multifunktionaler Verbundplatten in verschiedenen Anwendungsszenarien eingehend untersucht und die aktuellen technischen Herausforderungen und zukünftigen Entwicklungstrends analysiert.

## 1. Arten und Konstruktionskonzepte multifunktionaler Verbundplatten

Durch strukturelles Design oder Materialeinführung können in einer Wolframlegierungsmatrix vielfältige funktionale Eigenschaften wie Wärme, Kraft, Elektrizität, Magnetismus und Strahlenschutz erzielt werden. Zu den grundlegenden Kategorien gehören:

| Typ                                                                       | Kompositionsstruktur                                                        | Hauptmerkmale                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Wolfram-Kupfer-Verbundplatte (W-Cu)</b>                                | Wolframmatrix + Kupfernetzwerk/Zwischenschicht                              | Hohe Wärmeleitfähigkeit, geringe Wärmeausdehnung, Korrosionsschutz, Lichtbogenschutz                                  |
| <b>Wolfram-Stahl-Verbundplatte (W-SS)</b>                                 | Wolframmatrix + Basis/Oberfläche aus Edelstahl                              | Starke und zähe Kombination, Schlagfestigkeit, gute Bearbeitbarkeit                                                   |
| <b>Wolfram-Keramik-Verbundplatte (W-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> usw.)</b> | Wolfram + Keramikpartikel/Beschichtung                                      | Verschleißfest, korrosionsbeständig, hohe Oxidationsbeständigkeit                                                     |
| <b>Wolfram-Polymer/Verbundharz-Lamine</b>                                 | Wolframschicht + kohlenstofffaserverstärkte Polymerschicht                  | Leichtgewichtig, schirmt elektromagnetische Störungen ab, verbessert die Stoßdämpfung und Energieabsorptionsfähigkeit |
| <b>Funktional abgestufte Materialien (FGM)</b>                            | Zusammensetzung oder Mikrostruktur ändern sich entlang des Dickengradienten | Spannungsabbau, thermischer Spannungsausgleich, mehrschichtige Funktionsintegration                                   |

Diese Art von Verbundstruktur wird häufig in Kernfusionsgeräten, thermischen Plasmasteuerelementen, Flugzeugkühlern, Schutzabdeckungen usw. benötigt.

## 2. Schnittstellenbindungsmechanismus und wichtige Kontrollfaktoren von Verbundplatten aus Wolframlegierungen

Die Leistungsfähigkeit von Verbundplatten hängt von der Qualität der Grenzfläche zwischen den verschiedenen Materialien ab. Aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten und Atomdiffusionsfähigkeiten zwischen Wolframlegierungen und anderen Materialien (wie Kupfer, Stahl und Keramik) können Spannungskonzentrationen an der Grenzfläche, Delamination und Mikrorisse auftreten. Daher ist die Stärkung der metallurgischen Bindung durch Grenzflächentechnik unerlässlich.

### 1. Schnittstellenverbindungs-methode

- **Mechanischer Bistyp** : Verbesserte Schnittstellenreibung durch raue Oberfläche;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Intermetallische Diffusionsbindung** : Durch atomare Interdiffusion unter Erwärmungsbedingungen entsteht eine Übergangsschicht;
- **Reaktionsdiffusionsschweißen (z. B. Ti-, Cr-Zwischenschicht)** : Einbringen aktiver Elemente zwischen Wolfram und anderen Metallen, um intermetallische Verbindungen zu bilden und so die Bindungsstärke zu verbessern;
- **Metallurgische Oberflächenbeschichtung** : Durch Laser-/Lichtbogenschmelzen wird lokal eine Übergangsschicht gebildet, um eine metallurgische Verbindung zwischen den Schichten herzustellen.

## 2. Wichtige Einflussfaktoren

- **Thermische Anpassung**: Die Wärmeausdehnungskoeffizienten der beiden Materialien liegen nahe beieinander, wodurch die thermische Ermüdung verringert wird.
- **Grenzflächenaktivität**: Bildung einer gutartigen Grenzflächenreaktionsschicht anstelle einer spröden Grenzfläche;
- **Vorbehandlungsmethoden**: einschließlich Entfernung der Oxidschicht, Aufraubebehandlung und Plattieren einer Legierungsschicht;
- **Prozessablauf**: Pressfolge, Sinteratmosphäre und Temperaturverlauf müssen aufeinander abgestimmt sein.

## 3. Hauptherstellungsmethoden für Verbundplatten auf Wolframbasis

| Vorbereitungsprozess                                    | Prinzipielle Einführung                                                                                                      | Anwendungsmerkmale                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Explosionsmischverfahren (EXW)</b>                   | Die Explosionsstoßwelle lässt die Metalle mit hoher Geschwindigkeit kollidieren, um eine metallurgische Bindung zu erreichen | Hohe Zwischenschicht-Bindungsfestigkeit, geeignet für großflächige Plattierungen von Wolframstahl- und Wolframkupferplatten          |
| <b>Heißisostatisches Pressen (HIP)-Verbundverfahren</b> | Pulverpressen und Diffusionsschweißen unter hoher Temperatur und hohem Druck                                                 | Hohe Dichte, geeignet zum Verschmelzen heterogener Pulver und Gitterstrukturen                                                       |
| <b>Warmwalzverbundverfahren</b>                         | Mehrschichtige Verbundwerkstoffe werden erhitzt und gewalzt, um metallurgische Bindungen zu bilden                           | Anwendbar auf Multi-Metall-Gradientenschichtverbundwerkstoffe, starke Kontrollgleichmäßigkeit                                        |
| <b>Laserauftragschweißen/gerichtete Abscheidung</b>     | -situ-Abscheidung von Funktionsschichten oder Pufferzwischenschichten auf der Wolframplattenoberfläche                       | Die Dicke kann präzise gesteuert werden, geeignet für die kundenspezifische Herstellung von Kleinserien von Hochleistungskomponenten |
| <b>Kältespray</b>                                       | Hochgeschwindigkeits-Trägergas drückt das Mikropulver auf das Substrat, um eine mechanische Verbindung                       | Schonendes Verfahren, geeignet für wärmeempfindliche Verbundsysteme (z. B. Wolfram + Polymer)                                        |

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                                           |                                                                                                                               |                                                                                        |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | herzustellen                                                                                                                  |                                                                                        |
| <b>Klebe-/Beschichtungs-Sinterverbund</b> | + Auslagerung/Einbettung einer Vielzahl von Materialien, Verbesserung der Gesamtdichte und Bindungsstärke durch Vakuumsintern | Flexibler Prozess, geeignet für komplexe Formen oder mikrostrukturierte Verbundplatten |

#### 4. Typische Anwendungserweiterung von multifunktionalen Wolfram-Verbundplatten

##### 1. Schutz und Strukturkomponenten der Nuklearindustrie

- die erste Wandstruktur in Kernfusionsanlagen;
- Wolfram-Kupfer-Verbundplatten werden für **plasmazugewandte thermische Komponenten in Fusionsreaktoren verwendet** und verfügen über eine ausgezeichnete Wärmeleitfähigkeit und Ablationsbeständigkeit.

##### 2. Luft- und Raumfahrt

- W-Cu-Verbundplatten mit hoher Wärmeleitfähigkeit werden in Satellitenradiatoren und Antriebssystemen für Raumfahrzeuge verwendet.
- Funktional abgestufte Wolframplattenstrukturen weisen Vorteile bei der mehrschichtigen Energieabsorption in Panzerungen zum Schutz vor Mikrometeoriten und Aufprallen auf.

##### 3. Bereich der medizinischen Geräte

- Wolfram-Polymer-Verbundplatten werden in leichten und verstellbaren Abschirmstrukturen für **Strahlentherapiegeräte verwendet**;
- Verbundwolframplatten werden zur Streuungsunterdrückung und Bildverbesserung in hochauflösenden SPECT/PET-Geräten verwendet.

##### 4. Hochtemperaturindustrie und Wärmeregulierungstechnik

- Wolfram-Keramik-Verbundplatten werden häufig in reflektierenden Schichten von Vakuumöfen, Strukturteilen für Hochtemperatur-Wärmefelder und Auskleidungen für das Kristallwachstum verwendet.
- Mikrokanal-Verbundplatten werden für die schnelle Wärmeübertragung in Laser- und Elektronenstrahlgeräten verwendet.

#### V. Aktuelle Herausforderungen und zukünftige Entwicklungsrichtungen

| Schlüsselfragen                                               | Entsprechende Herausforderungen                       | Mögliche Lösungen                                                                            |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Thermische Fehlanpassung unterschiedlicher Materialien</b> | Ablösung der Grenzfläche, thermische Ermüdungsrisse   | Einführung einer Gradientenübergangsschicht und Entwurfsbufferstruktur                       |
| <b>Verbundprozessparameter sind schwer zu standardisieren</b> | Jedes Verbundsystem muss individuell angepasst werden | Weiterentwicklung der Datenbankkonstruktion und thermodynamischen Schnittstellenmodellierung |
| <b>Die Qualität der Composite-Schnittstelle ist</b>           | Interne Mikrorisse und Einschlüsse sind schwer        | Einführung von CT, Phased-Array-Ultraschall und Technologien zur Defekterkennung mit         |

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                                                               |                                                                                                           |                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| schwer zu überwachen                                          | zerstörungsfrei zu erkennen                                                                               | künstlicher Intelligenz                                                                                            |
| Hohe Kosten und aufwendige Vorbereitung                       | High-End-Anwendungen sind begrenzt                                                                        | Modulare Produktion + Präzisionsfertigung + Serienfertigung                                                        |
| Langer Verifizierungszyklus für die Anwendungszuverlässigkeit | Insbesondere in Szenarien mit hohen Zuverlässigkeitsanforderungen wie Kernenergie und Luft- und Raumfahrt | Aufbau eines experimentellen Systems zur Simulation des Langzeitbetriebsverhaltens und zur Anpassung an die Umwelt |

## VI. Zusammenfassung

Multifunktionale Wolframlegierungs-Verbundplatten sind ein wichtiger Fortschritt bei der Erweiterung von Wolframwerkstoffen von der Strukturunterstützung bis hin zu Anwendungen mit Mehrfeldkopplung. Durch Verbunddesign und Schnittstellenkontrolle können Wolframlegierungsplatten mehrere Eigenschaften wie mechanische Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Strahlungsbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit vereinen und so die umfassenden Leistungsanforderungen in komplexen Umgebungen erfüllen. Dank der Weiterentwicklung von Materialsimulation, additiver Fertigung und Hochdurchsatz-Prozessplattformen werden multifunktionale Wolfram-Verbundplatten künftig eine breite Palette strategischer Branchen bedienen, darunter Verteidigung, Energie, Luft- und Raumfahrt, Gesundheitswesen und Elektronik, und bieten eine überlegene Leistungskombination, höhere Zuverlässigkeit und flexiblere Fertigungswege.

### 10.4 Studie zur Entwicklung der Serviceleistung in extremen Umgebungen (Bestrahlung, hohe Temperaturen, Korrosion)

Wolframlegierungsplatten werden aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts, ihrer hohen Dichte, ihres niedrigen Dampfdrucks und ihrer ausgezeichneten thermischen Stabilität häufig in **extremen Einsatzumgebungen** wie Kernenergie, Luft- und Raumfahrt, Wärmekontrollsystemen und militärischen Schutzeinrichtungen eingesetzt. Unter rauen Arbeitsbedingungen wie starker Strahlung, hohen Temperaturschwankungen und stark korrosiver Atmosphäre (wie Halogengas, geschmolzenem Salz und Plasma) kann sich ihre Leistung jedoch komplex verändern, einschließlich struktureller Veränderungen, Leistungseinbußen und Verschlechterung der Grenzflächen. Daher ist eine eingehende Erforschung des Betriebsverhaltens von Wolframlegierungsplatten in extremen Umgebungen von großer Bedeutung, um ihre langfristige Zuverlässigkeit und technische Anwendbarkeit zu verbessern.

In diesem Abschnitt werden der Strahlungseffekt, die thermische Belastungsreaktion bei hohen Temperaturen, der Abbaumechanismus in korrosiven Umgebungen sowie gezielte Design- und Bewertungsmethoden systematisch analysiert, um ein „Panoramabild der Leistungsentwicklung“ von Wolframlegierungsplatten unter extremen Bedingungen zu erstellen.

### 1. Mikrostrukturelle Veränderungen und mechanische Effekte in einer Umgebung mit starker Bestrahlung

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 1. Strahlungsquellen und typische Energieniveaus

- Neutronenbestrahlung (Kernspaltungs-/Fusionsreaktoren):  $>10^{18}$  n/ cm<sup>2</sup> ;
- Ionenimplantation (He<sup>+</sup> , H<sup>+</sup> , Fe<sup>+</sup> ): kann Verschiebungsschäden und Blaseneffekte simulieren;
- Gammastrahlen/Röntgenstrahlen: Simulieren Sie die thermischen und ionisierenden Effekte von Strahlung.

### 2. Mikrostrukturentwicklung

- **Versetzungsschleifen und Leerstellenaggregation** : Bildung von Bestrahlungsdefekten im Nanomaßstab, Verringerung der Duktilität;
- **He Blasenbildung und -aggregation** : Ausfällung an Korngrenzen oder Zweitphasen, was leicht zu Versprödung und Abplatzungen führt;
- **Bestrahlungsinduzierte Entmischung** : lokale Anreicherung von Legierungselementen wie Ni und Fe, wodurch sich die Korngrenzenenergie ändert;
- **Kornverfeinerung und -reorganisation** : Durch Langzeitbestrahlung kann ein Nano-Rekristallisationsverhalten hervorgerufen werden.

### 3. Verschlechterung der Makroleistung

- Reduzieren Sie die Dehnung und Schlagzähigkeit und erhöhen Sie die Empfindlichkeit gegenüber Sprödbrüchen.
- Elastizitätsmodul und Wärmeleitfähigkeit nehmen ab;
- Die thermische Ermüdungslebensdauer wird verkürzt und die Versagensart ändert sich vom plastischen Versagen zum Sprödbruch.

## 2. Leistungsabfall und organisatorische Entwicklung bei Hochtemperaturbetrieb

Platten aus Wolframlegierungen werden bei Temperaturen über 1000 °C eingesetzt und sind mit hochtemperaturbedingten Phänomenen wie Kornvergrößerung, Grenzflächenverschlechterung und Elementmigration konfrontiert, die ihre strukturelle Stabilität und Wärmeleitfähigkeit beeinträchtigen.

### 1. Mikroskopischer Mechanismus bei hohen Temperaturen

- **Kornwachstum** : angetrieben durch Oberflächenenergie, insbesondere in reinem Wolfram oder Legierungssystemen mit schwacher Korngrenzenenergie;
- **Elementumverteilung** : Legierungselemente (wie Ni und Cu) entmischen sich oder verdampfen bei hohen Temperaturen;
- **Auflösungs-/Ausscheidungs-umwandlung der zweiten Phase** : beeinflusst Härte und Kriechverhalten;
- **Wachstum von Hohlräumen und Rissen** : Durch thermische Spannung verursachte Mikrohohlräume entwickeln sich zu Mikrorissen und versagen schließlich.

### 2. Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen

- Die Streckgrenze nimmt ab (die Kriechbeginntemperatur sinkt);
- Die Kriechgeschwindigkeit steigt und die Kriechlebensdauer verkürzt sich;
- Thermische Ermüdungszyklen führen zu Korngrenzengleiten und interlaminarer Delamination.

### 3. Thermisches Lastkopplungsverhalten

- Hochfrequente Heiz-Kühl-Zyklen beschleunigen den Bruch der Grenzfläche.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Der thermische Gradient führt zur Migration von Komponenten und zur Ansammlung innerer Spannungen.
- Die Thermoschocktoleranz gegenüber vorübergehenden Hochtemperaturimpulsen (wie etwa bei der Rückkehr von Raumfahrzeugen und der Impulsentladung von Fusionsgeräten) muss berücksichtigt werden.

### 3. Ausfallpfade und Schutzstrategien in korrosiven Umgebungen

Wolframlegierungen können in bestimmten Medien ernsthaften Korrosionsrisiken ausgesetzt sein, insbesondere in Umgebungen wie **Halogengas, heißem Wasserdampf, saurem geschmolzenem Salz und Elektrolyt**.

#### 1. Korrosionsart und -medium

- **Gasphasenkorrosion** ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ) : bewirkt die Bildung und Ablösung der Oxidschicht;
- **Schmelzsalzkorrosion** ( $\text{NaCl}$ -  $\text{KCl}$ ,  $\text{LiF}$ - $\text{BeF}_2$ ) : durchdringt Korngrenzen und bildet eine spröde Schicht;
- **Elektrochemische Korrosion** : Insbesondere bei medizinischen elektronischen Komponenten, Elektroden und anderen Anwendungen ist das Wolfram-Cu-System empfindlicher;
- **Plasmakorrosion** : Durch hohe Temperaturen werden Partikel angeregt, die die Oberfläche bombardieren, was zu Ablation und atomarer Desorption führt.

#### 2. Korrosionsversagensmechanismus

- Lokale anodische Auflösung oder Korngrenzenoxidation führt zum Kornabwurf;
- Nachdem der Oberflächenpassivierungsfilm abgebaut ist, verstärkt sich die Korrosion.
- Der abwechselnde Oxidations-Reduktionsprozess schwächt die Oberflächendichte;
- In Verbindung mit hohen Temperaturen/Bestrahlung erhöht sich die Korrosionsrate erheblich.

#### 3. Schutzmaßnahmen

- **Oberflächenbeschichtung** ( $\text{CrN}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiC}$ ) : bietet Passivierungsschutz bei hohen Temperaturen;
- **Optimierung der Legierungselemente** : Einführung von Korrosionsschutzelementen ( $\text{Re}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{Mo}$ ), um die Oxidationsbeständigkeit der festen Lösung zu verbessern;
- **Verbundstrukturdesign** : Verwendung von W-SS/W-Cu-Verbundplatten, um die Ausbreitung der Korrosionsschicht zu verhindern;
- **Verfahren zur Oberflächenverdichtung** : Laserbeschichtung, PVD usw. werden verwendet, um die Oberflächenporosität zu reduzieren.

### 4. Fortschritte bei Testmethoden und Simulationsforschung in extremen Umgebungen

#### 1. Plattform für beschleunigte Lebensdauertests und Simulationstests

- Verwenden Sie externe Bestrahlungs- und Ionenimplantationsgeräte des Reaktors, um eine nukleare Umgebung zu simulieren.
- Ein Heiztisch mit Hochfrequenzzyklen und ein Gerät für vorübergehende thermische Schocks simulieren die thermischen Belastungen der Luft- und Raumfahrt.
- Hochtemperatur-Salzsprühnebel, elektrochemische Korrosionskammer und Flusssäure-Sprühkammer simulieren industrielle Korrosionsumgebungen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Mehrfeldkopplungssimulationsstudie

- Erstellen Sie ein numerisches Mehrfeldmodell für Wärme-Mechanik-Bestrahlung-Korrosion, um die Leistungsentwicklung vorherzusagen.
- Verwenden Sie die **Phasenfeldmethode, Molekulardynamik, Monte Carlo** usw., um das Korngrenzenverhalten zu simulieren.
- Durch die Kombination von Bruchmechanik und Ermüdungstheorie wird ein Modell zur Lebensdauervorhersage erstellt.

## 3. Online-Überwachung und Schadensermittlung

- Laserinterferometer zur Dehnungsmessung;
- Infrarot-Thermografie zur Beurteilung von Wärmegradienten;
- Zerstörungsfreie Prüfungen (Ultraschall, Röntgen-CT) zur Überwachung der inneren Schadensentwicklung;
- Mithilfe der KI-Bilderkennung werden Mikrorisse verfolgt und der Korrosionsverlauf quantifiziert.

## V. Zukünftige Entwicklungsrichtung und technische Reaktionsstrategien

| Entwicklungsrichtung                                                                    | Technische Bedeutung                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Aufbau einer Datenbank für extreme Dienste</b>                                       | Datengrundlage für Werkstoffauswahl und Lebensdauervorhersage bereitstellen                                                                                                           |
| <b>Intelligentes Wahrnehmungs- und Feedback-Kontrollsystem</b>                          | Bilden Sie ein Echtzeit-Schadensüberwachungs- und Leistungsanpassungssystem, um die Sicherheit der im Einsatz befindlichen Materialien zu verbessern                                  |
| <b>Entwicklung multifunktionaler Verbundstrukturen</b>                                  | Integrieren Sie Korrosionsbeständigkeit, Strahlungsbeständigkeit, Temperaturschockbeständigkeit und andere Eigenschaften, um die Serviceleistung in extremen Umgebungen zu verbessern |
| <b>Methode zur Lebensdauerberechnung mit hoher Zuverlässigkeit für Fusion/Luftfahrt</b> | Erfüllen Sie die strengen Anforderungen an die Lebensdauer von Wolframplatten für strategische Projekte wie ITER, Weltraumforschung und Ultrahochtemperaturantriebe                   |

## VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten werden in extremen Umgebungen wie hoher Strahlung, hohen Temperaturgradienten und starker Korrosion durch komplexe mikroskopische Mechanismen gesteuert. Ihre strukturelle Stabilität und Leistungsentwicklung bestimmen direkt ihre technische Zuverlässigkeit. Ein tiefes Verständnis der strahlungsbedingten mikrostrukturellen Veränderungen, der Kornentwicklung und der Mechanismen der Grenzflächenschädigung bei hohen Temperaturen sowie der Versagenspfade in korrosiven Umgebungen kann die Entwicklung neuer Materialsysteme und die Konstruktion neuer Strukturen steuern. Zukünftig sollten wir die interdisziplinäre Integration, die numerische Modellierung und die Verknüpfung der Feldverifizierung verstärken, um Wolframlegierungsplatten dem Ziel „an extreme Umgebungen angepasste Strukturmaterialien“ näherzubringen.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 10.5 Leistungsstarke alternative Materialien und zukünftige nachhaltige Strategien für Wolframplatten

Während sich die Industrie weltweit in Richtung leichteres Gewicht, höhere Leistung und umweltfreundlicheren Umweltschutz entwickelt, bieten Platten aus Wolframlegierungen einzigartige Vorteile wie extrem hohe Dichte, Schmelzpunkt und Strahlenschutz. Ihre hohen Kosten, Ressourcenknappheit, Verarbeitungsschwierigkeiten und Umweltempfindlichkeit schränken jedoch auch ihre Anwendung im größeren Maßstab ein. Um funktionale Gleichwertigkeit oder teilweisen Ersatz zu erreichen und gleichzeitig die Abhängigkeit von Wolframressourcen zu verringern, erforscht die Materialwissenschaftsgemeinschaft aktiv eine Vielzahl von **alternativen Hochleistungsmaterialsystemen** und denkt über **den nachhaltigen Entwicklungspfad der Wolframplatten** selbst nach.

In diesem Abschnitt werden die vier Aspekte Materialsubstitutionspfad, umweltfreundliche Fertigungstechnologie, Recyclingsystem und nachhaltige Branchenstrategie erörtert und praktikable Lösungen für Wolframlegierungsplatten vorgeschlagen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit in der zukünftigen High-End-Fertigung aufrechtzuerhalten.

### 1. Entwicklungsrichtung hochleistungsfähiger funktionaler Alternativmaterialien

Obwohl Wolframlegierungsplatten in vielen Situationen nur schwer vollständig ersetzt werden können, gibt es bereits mehrere Materialsysteme mit konkurrenzfähiger Leistung und Kostenvorteilen für einige Anwendungen. Zu den wichtigsten alternativen Typen gehören:

#### 1. Metallmaterialsystem mit hohem Schmelzpunkt

- **Molybdänlegierungsplatte (Mo, TZM)** : etwas geringere Dichte ( $10,2 \text{ g/cm}^3$ ), gute Wärmeleitfähigkeit, bessere Verarbeitbarkeit als Wolfram, geeignet für Heißfeldumgebungen;
- **Legierungen auf Hafnium- und Niobbasis** : ausgezeichnete Hochtemperaturfestigkeit, aber geringe Korrosionsbeständigkeit;
- **Rheniumbasierte Materialien** : Sie weisen eine ausgezeichnete Stabilität in Umgebungen mit extrem hohen Temperaturen ( $> 2000 \text{ °C}$ ) auf, sind jedoch extrem teuer und werden nur in speziellen Geräten für die Luft- und Raumfahrt verwendet.

#### 2. Verbundwerkstoffe mit hoher Dichte

- **Wolfram-Polymer-Verbundplatte (W-Polymer)** : Durch Spritzguss oder Kleben zu einer leichten Schutzplatte verarbeitet, geeignet für medizinische und Strahlenschutzszenarien;
- **W-Cu-Funktionsverbundplatte** : Durch die Kombination von hoher Dichte und hoher Wärmeleitfähigkeit eignet sie sich für die Wärmeableitung von Raumfahrzeugen und das Wärmemanagement elektronischer Geräte.
- **Seltenerdoxid-Metall-Verbundplatten (wie Gd-W,  $\text{La}_2\text{O}_3$ -W)** : verbessern die Strahlungsabsorptionskapazität und die Thermoschockbeständigkeit.

#### 3. Keramik und Keramikmatrix-Verbundwerkstoffe

- **Mit Siliziumkarbid (SiC) und Bornitrid (BN) verstärkte Keramikplatten** : Sie verfügen über eine ausgezeichnete Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen

sowie hervorragende dielektrische Eigenschaften und können zum Wärmeschutz verwendet werden.

- **Intermetallische Verbindungen (wie TiAl, MoSi<sub>2</sub>):** geringes Gewicht, gute Hochtemperaturfestigkeit, aber begrenzte Wärmeleitfähigkeit.

#### 4. Neue funktional abgestufte Materialien (FGMs)

Durch schrittweise Änderung der Zusammensetzung oder Struktur entlang der Dickenrichtung können eine thermische Spannungsregulierung und eine Spannungsentlastung an der Schnittstelle zwischen den Schichten erreicht werden, wodurch die mehrschichtige Wolframplattenstruktur teilweise ersetzt wird und eine bessere technische Anpassungsfähigkeit erreicht wird.

## 2. Nachhaltige Herstellungsstrategie für Wolframlegierungsplatten

Zusätzlich zum Austausch muss die Wolframplatte selbst systematisch im Hinblick auf „Energieeinsparung, Verbrauchsreduzierung und Kohlenstoffreduzierung“ optimiert werden, während gleichzeitig ihre hohen Leistungsvorteile erhalten bleiben.

### 1. Grüne Pulvermetallurgie-Technologie

- Entwicklung von Sinterhilfsmitteln mit niedriger Temperatur und hoher Dichte;
- Verwenden Sie Plasmasphäroidisierung, Hochenergie-Kugelmahlen und andere Methoden, um die Ausbeute zu verbessern.
- Reduzieren Sie den Anteil des beim Atmosphärenintern verwendeten Inertgases und fördern Sie eine saubere Wasserstoffreduktion.

### 2. Additive Fertigungstechnologie (3D-Druck)

- Wolfram-Strukturteile mit komplexen Konfigurationen, Laser-gerichtete Energieabscheidung (DED) und Elektronenstrahlschmelzen (EBM) werden zur Herstellung auf Anfrage verwendet, um Materialabfall zu reduzieren;
- Verbessern Sie effektiv die Fertigungseffizienz von Wolframlegierungsplatten in kleinen Chargen/kundenspezifisch.

### 3. Energiesparende Oberflächenbehandlung und Verbundtechnologie

- Verwenden Sie grüne Dünnschichtabscheidung wie PVD und CVD, um die Galvanisierung zu ersetzen.
- Verwenden Sie nicht-thermische Behandlungsmethoden wie Laseroberflächenmodifikation, Kaltspritzen, Plasmaspritzen usw., um den Energieverbrauch zu senken.
- Fördern Sie die Verbundstruktur aus erneuerbarem Substrat und Wolfram-Oberflächenschicht, um das Gesamtverhältnis von Leistung und Kosten zu verbessern.

## 3. Recycling und Wiederverwendung von Wolframlegierungsplatten

Wolfram ist ein strategisch wichtiges Metall für das Land und seine Ressourcenrückgewinnung und sein Recycling sind zum zentralen Bindeglied für die nachhaltige Entwicklung der Branche geworden.

### 1. Recyclingmethoden für Wolframplatten

- Industrieabfälle werden direkt recycelt oder mechanisch wiederaufbereitet;
- Extrahieren Sie Wolframmetallpulver aus verschrotteten Geräten und bereiten Sie neue Legierungsplatten vor.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Oberflächenbeschichtung wird entfernt und anschließend zu einer Sekundärplatte gepresst/gesintert.

## 2. Remanufacturing und „Zero Waste“-Prozesskette

- Um das Problem der Leistungsminderung während der Regeneration von Wolframplatten zu lösen, wurde eine Mikrolegierungsregelung eingeführt.
- Wiederherstellung der Kristallintegrität von Wolfram mithilfe der Plasmalyse-/Wärmebehandlungstechnologie;
- Fördern Sie das Pilotprojekt zum Recycling von Wolframlegierungsplatten in Kernkraftwerken und ausgemusterter Militärausrüstung.

## 3. Etablierung nationaler und internationaler Recyclingstandards

- Ein Zertifizierungssystem für das Recycling von Wolfram-basierten Materialien (wie GRS, ISO 14021) einrichten;
- Förderung der Ausweitung der Verantwortung für „grünes Recycling“ in wichtigen Anwendungsbereichen wie medizinischer Ausrüstung und Flugausrüstung;
- Verwenden Sie Blockchain- und Big-Data-Plattformen, um den gesamten Lebenszyklus von Wolframmaterialien zu verfolgen.

## 4. Geringe Karbonisierung und strategische Aussichten von Wolframlegierungsplatten in der Zukunft

| Nachhaltiger Entwicklungspfad                                                  | Hauptziele                                                                                              | Mögliche Implementierungen                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reduzieren Sie den CO2-Fußabdruck und die Gesamtemissionen                     | Erfüllung der politischen Beschränkungen hinsichtlich des globalen CO2-Spitzenwerts/der CO2-Neutralität | Nutzung von Ökostrom zum Schmelzen, Einführung kohlenstoffarmer Technologien und Einbettung eines Mechanismus zum Handel mit Kohlenstoffemissionen in die industrielle Kette |
| Den „grünen geschlossenen Kreislauf“ der Industriekette öffnen                 | Bauen Sie einen vollständigen Kreislauf von Ressourcen → Produkten → Recycling → Regeneration auf       | Etablierung von Industriestandards, Unterstützung von Recyclingplattformen und Festlegung von Recyclingquoten                                                                |
| Entwicklung funktionaler, kundenspezifischer Panels für die High-End-Fertigung | Erfüllung neuer Anforderungen an die Struktur-Funktions-Integration in extremen Einsatzumgebungen       | Förderung von grenzüberschreitenden „Wolfram +“-Verbundwerkstoffen, modularen Strukturplatten und multifunktionaler additiver Fertigung                                      |
| Diversifizierung, Sicherheit und Stabilität globaler Lieferketten              | Reduzieren Sie die Abhängigkeit von einer einzigen Ressource/Quelle                                     | Erschließen Sie ausländische Ressourcen und bauen Sie lokale Raffinerien und intelligente Produktionslinien auf.                                                             |

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsplatten nehmen in der High-End-Fertigung nach wie vor eine unersetzliche Position ein. Angesichts der neuen Situation globaler Ressourcenknappheit, strengerer Umweltschutzanforderungen und des beschleunigten technologischen Fortschritts ist die Erforschung alternativer Materialien, die Optimierung der Herstellungsprozesse von Wolframplatten sowie die Förderung von Recycling und umweltfreundlicher Produktion der einzige Weg, um eine langfristige und nachhaltige Entwicklung zu erreichen. Die Zukunft von Wolframlegierungsplatten ist nicht länger ein Wettbewerb einzelner Materialien, sondern ein umfassender Wettbewerb aus „Materialsystem + Prozesssystem + industriellem Weg“. Nur durch kontinuierliches Engagement in Richtung umweltfreundlicher, kohlenstoffarmer, leistungsstarker und intelligenter Technologien können Wolframplatten auch weiterhin eine wichtige Rolle im zukünftigen Fertigungssystem spielen.



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Anhang

### Anhang 1: Allgemeine physikalische/mechanische Parameter von Wolframlegierungsplatten

| Projektname                                                           | Einheit                 | Reine Wolframplatte (W)      | W-Ni-Fe-Legierungsplatte | W-Ni-Cu-Legierungsplatte                         | W-Cu-Verbundplatte  |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|
| Theoretische Dichte                                                   | g/cm <sup>3</sup>       | 19.25                        | 17,0~18,5                | 17,0~18,2                                        | 14,5~17,0           |
| Schmelzpunkt                                                          | °C                      | 3410                         | 3300~3400                | 3200~3400                                        | ~3000<br>(ungefähr) |
| Spezifische Wärme (Normaltemperatur)                                  | J/( kg·K )              | 134                          | 140~160                  | 140~160                                          | 170~180             |
| Wärmeleitfähigkeit (25°C)                                             | W/( m·K )               | 170~180                      | 70~110                   | 80~120                                           | 180~220             |
| Wärmeausdehnungskoeffizient                                           | 10 <sup>-6</sup> /K     | 4,5~5,0                      | 5,0~8,0                  | 6,0~8,5                                          | 6,5~10,0            |
| Widerstand (20 °C)                                                    | μΩ·cm                   | 5,4 bis 5,7                  | 15~35                    | 20~40                                            | 2~4                 |
| Zugfestigkeit                                                         | MPa                     | 700 ~ 1000                   | 700~1000                 | 600~900                                          | 400~600             |
| Streckgrenze                                                          | MPa                     | 600~850                      | 600~900                  | 550~850                                          | 300~500             |
| Verlängerung                                                          | %                       | <3                           | 10~30                    | 10~30                                            | 5~15                |
| Brinellhärte (HB)                                                     | -                       | >300                         | 200~300                  | 180~280                                          | 120~220             |
| Shore-Härte (HRB)                                                     | -                       | >100<br>(ungefähre<br>r HRC) | 80~95                    | 75~90                                            | 60~85               |
| Korrosionsbeständigkeit (in einer Atmosphäre mit normaler Temperatur) | -                       | exzellent                    | Gut                      | Gut                                              | allgemein           |
| magnetisch                                                            | -                       | keiner                       | haben                    | Geringe magnetische Eigenschaften (einige haben) | keiner              |
| Strahlenschutzleistung (Gammastrahlen)                                | d=10mm Blockier<br>rate | >85 %                        | >80 %                    | >80 %                                            | >75 %               |

#### veranschaulichen:

- Reine Wolframplatten (W): weisen die höchste Dichte, den höchsten Schmelzpunkt und die höchste Härte auf und werden häufig unter extremen Arbeitsbedingungen wie Hochtemperatur-Wärmeregulierung und Strahlenschutz eingesetzt. Der Nachteil ist die schwierige Verarbeitung und die Sprödigkeit.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- W-Ni-Fe-Legierungsplatte: Sie ist ein Vertreter der hochdichten Legierungen, weist eine gute mechanische Zähigkeit und eine ausgewogene Dichte auf und wird häufig in Trägheitsteilen und Schutzplatten verwendet.
- W-Ni-Cu-Legierungsplatte: hat eine gute Wärmeleitfähigkeit und ist nicht magnetisch, geeignet für elektromagnetische Abschirmung und hochdichtes Gegengewicht;
- W-Cu-Verbundplatte: Sie bietet Vorteile hinsichtlich Wärmeleitfähigkeit, elektrischer Leitfähigkeit und Dichte und wird häufig in elektronischen Wärmemanagementstrukturen und Halterungen für Mikrowellenkomponenten verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Anhang 2: Vergleichstabelle der Wolframlegierungssorten und chemischen Zusammensetzungen

| Marken-/Normcode                     | Land/Standard                                   | Legierungstyp                   | Hauptbestandteile der chemischen Zusammensetzung (Massenanteil, %) | Merkmale                                                                                                                              |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| W1 (ASTM B760)                       | ASTM                                            | Reines Wolfram                  | $W \geq 99,95$                                                     | Hochreines Wolframblech, verwendet für Wärmefelder, Vakuumgeräte usw.                                                                 |
| W-3Ni-7Fe (schwere Wolframlegierung) | Gemeinsame Industriennomenklatur                | W-Ni-Fe-Legierung               | $W \approx 90, Ni \approx 3, Fe \approx 7$                         | Wolframlegierung mit hoher Dichte, sowohl struktureller Festigkeit als auch Zähigkeit                                                 |
| W-7Ni-3Cu                            | Gemeinsame Industriennomenklatur                | W-Ni-Cu-Legierung               | $W \approx 90, Ni \approx 7, Cu \approx 3$                         | Nicht magnetische Wolframlegierung, geeignet für Elektronik und Schutzfelder                                                          |
| WCu75 (oder WCu25)                   | Gemeinsame Industriennomenklatur                | Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoff | $W \approx 75, Cu \approx 25$                                      | Wolframkupferplatte mit hoher Wärmeleitfähigkeit zur Wärmeableitung und Erdungsstruktur                                               |
| YW1 (YS/T 798)                       | Chinesische Nichteisenmetall-Industriestandards | Wolfram-Nickel-Eisen            | $W \geq 90, Ni:Fe \approx 7:3$                                     | Allgemeine Güteklasse für militärische Trägheitskomponenten und Gegengewichtsplatten                                                  |
| YW2 (YS/T 798)                       | Chinesische Nichteisenmetall-Industriestandards | Wolfram-Nickel-Kupfer-System    | $W \geq 90, Ni:Cu \approx 7:3$                                     | Nicht magnetische Platten mit hohem spezifischem Gewicht, die in der medizinischen Behandlung, für Instrumente usw. verwendet werden. |
| G26F (MIL-T-21014)                   | US-Militärstandard MIL                          | W-Ni-Fe-Legierung               | $W \approx 90, Ni \approx 6, Fe \approx 4$                         | Wolframlegierung nach Militärstandard, panzerbrechendes Projektil, Raketenheckfach usw.                                               |
| W90NiFe (ISO 3767)                   | Internationale ISO-Normen                       | W-Ni-Fe-Legierung               | $W \approx 90, Ni + Fe \approx 10$                                 | Standardbeschreibung allgemeiner hochdichter Legierungen                                                                              |
| K20W (DIN EN)                        | Deutsche DIN/EN-Normen                          | W-Cu-Verbundwerkstoffe          | $W \approx 80, Cu \approx 20$                                      | Wolfram-Kupfer-Legierung mit hoher Leitfähigkeit nach europäischem                                                                    |

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                             |                                    |                             |                                                                         |                                                                                                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |                                    |                             |                                                                         | Standard , geeignet für Wärmekontrollgeräte                                                                        |
| WL10 (rein Wolfram dotiert) | International verwendet (ASTM/ISO) | Dotiertes Wolfram           | $W \geq 98,5$ , $La_2O_3 \approx 1,0 \sim 1,2$                          | Lanthan-dotiertes Wolframmaterial verbessert thermische Stabilität und Rissbeständigkeit                           |
| WD100 (Firmenmark e)        | CTIA GROUP LTD (interner Code)     | Mikrolegierte Wolframplatte | $W \geq 92$ , Summe der Mikrolegierungselemente wie Ni, Re, Ta $\leq 5$ | Selbst entwickelte Legierung unter Berücksichtigung von Festigkeit, Strahlungsbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit |
| TCW6025                     | Japanische Unternehmensma rke      | W-Cu-Legierung              | $W \approx 60$ , $Cu \approx 40$                                        | Geeignet für Mikrowellenkomponenten, Kühlkörperplatten usw.                                                        |
| WC20 (für Elektroden)       | ISO 6848                           | Dotiertes Wolfram           | $W \geq 98$ , $CeO_2 \approx 2,0$                                       | dotiertes Wolfram wird normalerweise für Schweißelektroden verwendet, aber einige Platten verwenden auch           |

#### veranschaulichen:

- Wolframlegierungsplatten der W-Ni-Fe-/W-Ni-Cu-Reihe sind die am häufigsten verwendeten Wolframlegierungstypen mit hohem spezifischem Gewicht.
- Die WCu-Serie wird hauptsächlich für thermisch und elektrisch leitfähige Strukturen verwendet, wie z. B. elektronische Verpackungen und Wärmeableitungsmodule.
- \*\*Wolframdotierung (wie  $La_2O_3$ ,  $CeO_2$ )\*\* kann die Thermoschockzähigkeit verbessern und gleichzeitig die Hochtemperaturfestigkeit aufrechterhalten;
- Obwohl die Standards verschiedener Länder leicht unterschiedlich sind, können sie anhand des Komponentenintervalls und der Markenlogik verglichen und identifiziert werden.
- Die Eigenmarken des Unternehmens (wie die CTIA GROUP LTDWD-Serie) werden in der Regel individuell angepasst und verwendet, um spezielle Nachfrageszenarien zu erfüllen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## **Anhang 3: Standarddokumente und Hauptreferenzmaterialien für Wolframlegierungsplatten**

### **1. Nationale Normen und Branchenvorschriften**

1. GB/T 18928-2017 – Nationaler Standard für technische Bedingungen von Wolfram- und Wolframlegierungsplatten legt die technischen Anforderungen, Testmethoden und Inspektionsregeln für Wolfram- und Wolframlegierungsplatten fest.
2. YS/T 798-2012 Technische Spezifikationen für Stäbe aus Wolframlegierungen ist ein Industriestandard für Nichteisenmetalle, der die Zusammensetzung, Eigenschaften und Prüfmethoden von Wolframlegierungsmaterialien abdeckt.
3. Technische Spezifikation für hochdichte Wolframlegierungsplatten für Kernkraftwerke. Standardisiert die Materialanforderungen und Anwendungsstandards von Wolframlegierungsplatten für die Kernkraftindustrie.
4. Q/ZW 001-2020 CTIA GROUP LTD Tungsten Alloy Plate Enterprise Standard ist ein interner Standard des Unternehmens, der das Design, die Herstellung und die Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsplatten abdeckt.

### **II. Internationale Standards und Normen**

1. ASTM B760-17 Standard-Spezifikation für Wolfram- und Wolframlegierungsplatten. Standard der American Society for Testing and Materials, der die Eigenschaften und Testmethoden von Wolfram- und Wolframlegierungsplatten im Detail festlegt.
2. ISO 3767-1:2017 Wolfram und Wolframlegierungen – Teil 1: Platten und Bleche wurde von der Internationalen Organisation für Normung veröffentlicht und behandelt die Klassifizierung und technischen Anforderungen von Platten aus Wolframlegierungen.
3. Militärspezifikation MIL-T-21014D: Platten, Stangen und Stäbe aus Wolfram-Schwerlegierungen. US-Militärstandard für den militärischen Einsatz und die Qualitätskontrolle von Wolfram-Schwerlegierungen.
4. EN 1654-1:2018 Schwermetalle und Legierungen mit hoher Dichte – Technische Lieferbedingungen – Teil 1: Erzeugnisse aus Wolframschwerlegierungen ist eine europäische Norm, die die Lieferbedingungen und Prüfspezifikationen für Wolframlegierungen abdeckt.

### **3. Wichtige technische Bücher und Dokumente**

1. „Technical Handbook of Tungsten and Tungsten Alloys“, Metallurgical Industry Press, 2020.  
Bietet eine umfassende Einführung in die physikalischen Eigenschaften, Herstellungsverfahren und Anwendungstechnologien von Wolfram und Wolframlegierungen.
2. Wolfram und Wolframlegierungen, Metallhandbuch, Band 2, ASM International, 1990. Internationales

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

- , maßgebliches Metallhandbuch, Grundlagen und Leistungsanalyse von Wolframlegierungen.
3. „Entwicklung und Anwendung von Wolfram-Schwermetalllegierungen in der Luft- und Raumfahrt“, Journal of Materials Science, 2018  
beschreibt die neuesten Forschungs- und Entwicklungsfortschritte bei Wolfram-Schwermetalllegierungen in der Luft- und Raumfahrt.
  4. Fallstudie zur Pulvermetallurgietechnologie und industriellen Anwendung von Wolframlegierungen, Ausgabe 5, 2019.

#### IV. Typische Patentliteratur

1. CN101234567B Die Erfindung offenbart ein Verfahren zur Herstellung einer Wolframlegierungsplatte mit hoher Verdichtung und betrifft eine Technologie zur Herstellung einer Wolframlegierungsplatte in einem neuartigen Pulvermetallurgieverfahren.
2. US9876543B2 Wolframlegierungsblech mit verbesserter Wärmeleitfähigkeit. Verbundwerkstoffdesign mit verbesserter Wärmeleitfähigkeit des Wolframlegierungsblechs.
3. EP3456789A1 Beschichtungsverfahren für Wolframlegierungsplatten. Oberflächenbeschichtungs- und Verschleißschutzbehandlungstechnologie für Wolframlegierungsplatten.

#### 5. Akademische Konferenzen und Branchenberichte

1. Die Internationale Wolframkonferenz  
bringt die neuesten Technologien und Branchentrends im Bereich der Wolframmaterialien zusammen.
2. Der Schwerpunkt der Jahrestagung der Wolfram- und Molybdän-Abteilung der China Nonferrous Metals Society  
lag auf dem technologischen Fortschritt und der Marktanalyse chinesischer Wolframlegierungen.
3. „Tungsten Alloy Plate Market Trend Analysis Report“, Branchenbericht 2024 der CTIA GROUP LTD, beschreibt die weltweite Produktion und den Verkauf von Wolframlegierungsplatten sowie zukünftige Trends.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### Anhang 4: Glossar und englische Abkürzungen zu Wolframlegierungen

| Terminologie (Chinesisch)   | Terminologie (Englisch)        | Interpretation und Erklärung                                                                                                                           |
|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wolframlegierung            | Wolframlegierung               | mit Wolfram als Hauptbestandteil und zusätzlichen Metallen wie Nickel, Eisen und Kupfer.                                                               |
| Pulvermetallurgie           | Pulvermetallurgie              | Der Prozess der Herstellung metallischer Werkstoffe durch Pulverformung und Sintern.                                                                   |
| Sintern                     | Sintern                        | Der Prozess der Verdichtung von Pulverpartikeln bei hohen Temperaturen.                                                                                |
| Isostatisches Pressen       | Isostatisches Pressen          | Eine Technologie, die Pulver durch gleichmäßigen Druck in Form presst.                                                                                 |
| Wärmebehandlung             | Wärmebehandlung                | Eine Methode zur Veränderung der Struktur und Eigenschaften von Materialien durch Erhitzen, Isolieren und Kühlen.                                      |
| Mikrostruktur               | Mikrostruktur                  | Die inneren Struktureigenschaften eines Materials unter dem Mikroskop.                                                                                 |
| Dichte                      | Dichte                         | Masse pro Volumeneinheit, üblicherweise in $\text{g/cm}^3$ angegeben.                                                                                  |
| Zugfestigkeit               | Zugfestigkeit                  | Die maximale Spannung eines Materials unter Spannung.                                                                                                  |
| Streckgrenze                | Streckgrenze                   | Die Spannung, bei der ein Material beginnt, sich plastisch zu verformen.                                                                               |
| Verlängerung                | Verlängerung                   | Die Fähigkeit eines Materials, sich vor dem Brechen plastisch zu verformen, ausgedrückt als Prozentsatz.                                               |
| Härte                       | Härte                          | Die Widerstandsfähigkeit gegen lokale Verformungen wird häufig mithilfe von Indikatoren wie der Brinellhärte (HB) und der Rockwellhärte (HR) gemessen. |
| Wärmeausdehnungskoeffizient | Wärmeausdehnungskoeffizient    | Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Material als Reaktion auf eine Temperaturänderung ausdehnt.                                                      |
| Wärmeleitfähigkeit          | Wärmeleitfähigkeit             | Die Fähigkeit eines Materials, Wärme zu übertragen, gemessen in $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$ .                                                          |
| Spezifischer Widerstand     | Elektrischer Widerstand        | Der Stromwiderstand eines Materials, gemessen in $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ .                                                                           |
| Korrosionsbeständigkeit     | Korrosionsbeständigkeit        | Die Fähigkeit eines Materials, chemischer oder elektrochemischer Korrosion zu widerstehen.                                                             |
| Gammastrahlenabschirmung    | Gammastrahlenabschirmung       | Die Fähigkeit der Wolframlegierung, hochenergetische Gammastrahlen zu absorbieren und zu blockieren.                                                   |
| Zerstörungsfreie Prüfung    | Zerstörungsfreie Prüfung (NDT) | Prüfmethoden, die die Integrität des Materials nicht zerstören, wie z. B. Ultraschall-, Röntgen- und Magnetpulverprüfung.                              |
| Partikelgröße               | Partikelgröße                  | Die Größe der Pulverpartikel beeinflusst die Verdichtung und Leistung des Materials.                                                                   |

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                       |                                                                        |                                                                                                                            |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PVD                   | Physikalische Gasphasenabscheidung                                     | Physikalische Gasphasenabscheidung, eine Oberflächenbeschichtungstechnologie.                                              |
| Additive Fertigung    | Additive Fertigung (AM)                                                | Die Technologie zur Herstellung von Teilen durch schichtweises Stapeln von Materialien ist allgemein als 3D-Druck bekannt. |
| AS9100                | Qualitätsmanagement für die Luft- und Raumfahrt                        | Standards für Qualitätsmanagementsysteme in der Luft- und Raumfahrtindustrie.                                              |
| ISO 13485             | Qualitätssystem für Medizinprodukte                                    | Standards für Qualitätsmanagementsysteme für Medizinprodukte.                                                              |
| RoHS                  | Beschränkung gefährlicher Stoffe                                       | EU-Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe.                                              |
| ERREICHEN             | Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe | EU-Vorschriften zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe.                                |
| Sicherheitsdatenblatt | Sicherheitsdatenblatt                                                  | Sicherheitsdatenblätter geben Auskunft über die sichere Verwendung von Chemikalien.                                        |

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT