

Wolframlegierungsrohr-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 Seltene Erden-
Industrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung der intelligenten, integrierten und flexiblen Entwicklung und Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erster erstklassiger Website für Wolframprodukte – gegründet, ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes mit Schwerpunkt auf den Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Industrien. CTIA GROUP nutzt fast drei Jahrzehnte umfassende Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän, übernimmt 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 Wolfram und Molybdän in mehr als 20 Sprachen eingerichtet, die über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen zu Wolfram, Molybdän und Seltenen Erden enthalten. Seit 2013 wurden auf dem offiziellen WeChat-Konto „CHINATUNGSTEN ONLINE“ über 40.000 Informationen veröffentlicht, die fast 100.000 Follower erreichen und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen bieten. Mit Milliarden von Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto hat sich das Unternehmen zu einem anerkannten globalen und maßgeblichen Informationszentrum für die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Branche entwickelt, das rund um die Uhr mehrsprachige Nachrichten, Produktleistung, Marktpreise und Markttrenddienste bietet.

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

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1: Grundkonzepte und Klassifizierung von Wolframlegierungsrohren

- 1.1 Definition und Grundstruktur von Wolframlegierungsrohren
- 1.2 Einführung in das Materialsystem von Wolframlegierungsrohren mit hohem spezifischen Gewicht (W-Ni-Fe / W-Ni-Cu)
- 1.3 Hauptabmessungsparameter, Wanddickenbereich und Standardformen von Wolframlegierungsrohren
- 1.4 Klassifizierung von Wolframlegierungsrohren (nach Zusammensetzung, Anwendung und Verfahren)
- 1.5 Vergleichende Analyse von Wolframlegierungsrohren mit Wolframstäben, Wolframplatten und Wolfram-Kupfer-Rohren

Kapitel 2: Physikalische und mechanische Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren

- 2.1 Dichte, spezifisches Gewicht und Maßgenauigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen
- 2.2 Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchzähigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen
- 2.3 Härte, Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen
- 2.4 Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient und Hochtemperaturstabilität von Rohren aus Wolframlegierungen
- 2.5 Elektrische Eigenschaften, magnetisches Verhalten und Strahlungsbeständigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen
- 2.6 Analyse der Korrosionsbeständigkeit und chemischen Stabilität von Rohren aus Wolframlegierungen

Kapitel 3: Herstellungs- und Formgebungstechnologie von Wolframlegierungsrohren

- 3.1 Rohmaterialaufbereitung und Pulvereigenschaftenanalyse für Wolframlegierungsrohre
- 3.2 Pulvermetallurgische Presstechnologie für Wolframlegierungsrohre (Formen, isostatisches Pressen)
- 3.3 Hohlformungsprozess und Schlüsselmatrizendesign für Wolframlegierungsrohre
- 3.4 Sintertechnologie und Optimierung der Atmosphärenkontrolle für Wolframlegierungsrohre
- 3.5 Wärmebehandlungsprozess und Technologie zur Verbesserung der Verdichtung für Wolframlegierungsrohre
- 3.6 Innere und äußere Oberflächenbehandlung von Wolframlegierungsrohren (Polieren, Galvanisieren, PVD usw.)
- 3.7 Neue Fertigungstechnologien für Wolframlegierungsrohre: Extrusion, Walzen und additive Fertigung

Kapitel 4: Leistungsprüfung und Qualitätsbewertung von Wolframlegierungsrohren

- 4.1 Prüfmethode für Aussehen und geometrische Abmessungen von Wolframlegierungsrohren
- 4.2 Dichteprobe und Charakterisierung der Mikrostrukturdichte von Wolframlegierungsrohren
- 4.3 Prüfnormen für die mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren (ASTM, GB, ISO)
- 4.4 Metallografische Analyse und mikrostrukturelle Beobachtung von Wolframlegierungsrohren
- 4.5 Prüfung der chemischen Zusammensetzung und Verunreinigung von Wolframlegierungsrohren (ICP, XRF, ONH)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.6 Methoden zur Beurteilung der Gleichmäßigkeit und Koaxialität der Wanddicke von Wolframlegierungsrohren

4.7 Techniken zur Erkennung von Oberflächen- und Innenwandfehlern von Wolframlegierungsrohren (Wirbelstrom, CT, Ultraschall)

Kapitel 5: Typische Anwendungsgebiete von Wolframlegierungsrohren

5.1 Wolframlegierungsrohre für Abschirmungen und Strukturgehäuse in der Nuklearindustrie

5.2 Wolframlegierungsrohre für Struktur- und Schutzfunktionen in militärischen Waffensystemen

5.3 Wolframlegierungsrohre für Schutz und Positionierung in medizinischen Strahlentherapiegeräten

5.4 Wolframlegierungsrohre für Trägheitskomponenten und Hochtemperatur-Strömungskanäle in der Luft- und Raumfahrt

5.5 Wolframlegierungsrohre für Wärmeableitungskanäle in Elektronik- und Kommunikationsgeräten

5.6 Wolframlegierungsrohre für strukturelle Unterstützung in Industrieformen und verschleißfesten Auskleidungen

Kapitel 6: Forschung und Entwicklung sowie Innovationsrichtung für spezielle Wolframlegierungsrohre

6.1 Herstellung und Leistungsoptimierung von nanopartikelverstärkten Wolframlegierungsrohren

6.2 Designstrategien und Mikrostrukturkontrolle von mikrolegierten Wolframlegierungsrohren

6.3 Zusammengesetzte elektrische, thermische und antimagnetische Eigenschaften von multifunktionalen Wolframlegierungsrohren

6.4 Mikrostrukturelle thermische Stabilität und Wärmebehandlungspfade von Hochtemperatur-Wolframlegierungsrohren

6.5 Untersuchung des Grenzflächenbindungsmechanismus von W-Cu/W-Ni-Verbund-Wolframlegierungsrohren

6.6 Oberflächenbeschichtungen und Technologien zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit für funktionalisierte Wolframlegierungsrohre

Kapitel 7: Internationale Normen und Konformitätssystem für Wolframlegierungsrohre

7.1 Chinesische nationale/Industriestandards für Wolframlegierungsrohre (GB/T, YS/T)

7.2 Interpretation des US-Standardsystems (ASTM, MIL) für Wolframlegierungsrohre

7.3 Internationale Standardanforderungen der EU und ISO für Wolframlegierungsrohre

7.4 Umweltkonformitätsanforderungen für Wolframlegierungsrohre (RoHS, REACH, MSDS)

7.5 Qualitätssysteme für Wolframlegierungsrohre in der Luftfahrt, Kernenergie und medizinischen Anwendungen (AS9100, ISO13485)

Kapitel 8: Verpackungs-, Lagerungs- und Transportspezifikationen für Wolframlegierungsrohre

8.1 Auswahl des Verpackungsmaterials und Schutzdesign (Vakuum, Trocknung, Pufferung) für Wolframlegierungsrohre

8.2 Lagerbedingungen und Anforderungen an Korrosions- und Oxidationsschutz für Wolframlegierungsrohre

8.3 Internationale Transportspezifikationen für Wolframlegierungsrohre

8.4 Zollaufsicht und Lizenzantrag für den Export von Wolframlegierungsrohren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kapitel 9: Industriestruktur und Markttrend von Wolframlegierungsrohren

9.1 Globaler Überblick über Wolframressourcen und Analyse der Industriekette für Wolframlegierungsrohre

9.2 Prognose der Marktkapazität und des Nachfragewachstumstrends für Wolframlegierungsrohre

9.3 Einführung in die Wolframlegierungsrohre der CTIA GROUP

9.4 Auswirkungen von Preisschwankungen und Kostenstruktur der Rohstoffe für Wolframlegierungsrohre

9.5 Neue Nachfrage und politische Ausrichtung für Wolframlegierungsrohre in der High-End-Fertigung

9.6 Technische Barrieren und weitere Entwicklungspfade für die Wolframlegierungsrohrindustrie

Kapitel 10: Forschungsgrenzen und zukünftige Entwicklung von Wolframlegierungsrohren

10.1 Forschung zur Hochverdichtung und komplexen Formgebung von Wolframlegierungsrohren

10.2 Erforschung der Integration additiver Fertigung und intelligenter Fertigung von Wolframlegierungsrohren

10.3 Integrierte Entwicklung und Anwendungserweiterung multifunktionaler Wolframlegierungs-Verbundrohre

10.4 Leistungsentwicklung von Wolframlegierungsrohren in extremen Einsatzumgebungen

10.5 Strategien zur nachhaltigen Entwicklung und Forschung zu alternativen Materialien für Wolframlegierungsrohre

Anhang

- Anhang 1: Allgemeine physikalische/mechanische Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren
- Anhang 2: Vergleich gängiger Marken und chemischer Zusammensetzungen von Wolframlegierungsrohren
- Anhang 3: Zusammenstellung relevanter Standarddokumente und technischer Daten zu Wolframlegierungsrohren
- Anhang 4: Glossar und englische Abkürzungen zu Wolframlegierungsrohren

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/cm³), 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

Tel: +86 592 5129696

Official website: 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

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



Kapitel 1 Grundkonzepte und Klassifizierung von Wolframlegierungsrohren

1.1 Definition und Grundstruktur von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre sind ein fortschrittliches funktionales Konstruktionsmaterial, das hauptsächlich aus hochschmelzendem, hochdichtem Wolfram (W) besteht, das in bestimmten Anteilen mit anderen Metallelementen wie Nickel (Ni), Eisen (Fe), Kupfer (Cu) und Molybdän (Mo) legiert ist. Diese Rohre werden durch Pulvermetallurgie oder andere Umformungsverfahren zu hohlen, zylindrischen oder geformten Rohren hergestellt. Wolframlegierungsrohre vereinen die hohe Dichte und Hochtemperaturstabilität von Wolfram mit der Duktilität, Bearbeitbarkeit und den umfassenden physikalischen Eigenschaften der Legierungselemente. Sie finden breite Anwendung in der Nuklearindustrie, der Luft- und Raumfahrt, militärischer Ausrüstung, medizinischem Schutz, elektronischen Verpackungen und Hochtemperatur-Prozesssystemen.

1. Definieren Sie hierarchisches Parsen

Aus Sicht der Zusammensetzungsstruktur besteht der Kern eines Wolframlegierungsrohrs zu 90 % bis 98 % aus Wolfram. Durch die Bildung einer dichten und gleichmäßigen Metallmatrix mit 1 % bis 10 % Metallelementen wie Ni, Fe und Cu wird nicht nur das hohe spezifische Gewicht von Wolfram (die Dichte kann 17,0 bis 18,5 g/cm³ erreichen) beibehalten, sondern auch ein gewisses Maß an Plastizität und Bearbeitbarkeit erreicht.

Aus struktureller Sicht erscheinen Wolframlegierungsrohre typischerweise als Hohlrohre mit kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitt. Ihre Wandstärke, Länge, Innendurchmesser und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Außendurchmesser können flexibel an die Anwendungsanforderungen angepasst werden. Typische Wandstärken reichen von 0,5 mm bis 10 mm, die Längen können mehrere zehn Zentimeter oder sogar mehrere Meter erreichen. Je nach Betriebsumgebung können Querschnittsformen auch als elliptische, polygonale oder geschichtete Verbundstrukturen gestaltet werden, um den Anforderungen an die Spannungsverteilung unter bestimmten Arbeitsbedingungen gerecht zu werden.

Wolframlegierungsrohre werden hauptsächlich pulvermetallurgisch hergestellt. Dabei wird Wolframpulver proportional mit Legierungselementen gemischt, gepresst und geformt und anschließend unter einer Hochtemperatur-Schutzatmosphäre verdichtet und gesintert, um einen hochdichten, hochfesten Wolframlegierungsblock zu bilden. Dieser wird anschließend bearbeitet, gewalzt oder extrudiert, um ein Hohlrohr mit den gewünschten Abmessungen und der gewünschten Oberflächengenauigkeit zu erzeugen. Darüber hinaus wurden in den letzten Jahren auch fortschrittliche Fertigungsverfahren wie kalisostatisches Pressen (CIP), heißisostatisches Pressen (HIP) und die additive Laserfertigung für die Hochleistungsproduktion von Wolframlegierungsrohren eingesetzt.

2. Strukturelle Eigenschaften und Leistungsvorteile

Rohre aus Wolframlegierungen bieten aufgrund ihrer röhrenförmigen Struktur erhebliche Vorteile bei funktionalen Anwendungen:

- 1. Synergistische Eigenschaften von hohem spezifischen Gewicht und hohlem Design :**
Die hohe Dichte von Wolfram ermöglicht es Wolframlegierungsrohren, eine große Massenverteilung in einem kleinen Volumen zu erreichen, wodurch sie sich besonders für den Einsatz als Trägheitsteile, Gegengewichtselemente, Strahlenschutzgehäuse usw. eignen. Die röhrenförmige Struktur trägt dazu bei, die Belastung nicht funktionaler Bereiche zu verringern und die Integrationseffizienz des Systems zu verbessern.
- 2. Gute thermische und elektrische Eigenschaften :** Wolframlegierungsrohre weisen eine ausgezeichnete thermische Stabilität und Wärmeleitfähigkeit bei hohen Temperaturen auf und eignen sich daher für den Einsatz als Hochtemperatur-Flüssigkeitsleitungen, Wärmefeldstrukturen und Wärmeabschirmgehäuse in Vakuumgeräten. Darüber hinaus sind sie aufgrund ihres niedrigen spezifischen Widerstands für bestimmte elektromagnetische Abschirmungen, Entladungsgeräte und elektrische Heizelemente geeignet.
- 3. Starke Steuerbarkeit bei der Strukturverarbeitung :** Im Vergleich zu reinem Wolfram weist Wolframlegierungen aufgrund der Einführung von Legierungselementen mit besserer Duktilität eine gewisse Bearbeitbarkeit auf, während die Grundfestigkeit erhalten bleibt. Durch Drehen, Innendurchmesserschleifen, Polieren usw. können hochpräzise Innen- und Außendurchmesserabmessungen sowie Oberflächenrauheiten erzielt werden, wodurch anspruchsvolle Montageanforderungen erfüllt werden.
- 4. Hohe Strahlungsbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Ermüdungsbeständigkeit :** Wolframlegierungsrohre werden vor allem in strahlungsintensiven Umgebungen wie Kernkraftwerken und Strahlentherapiegeräten eingesetzt. Ihre hervorragenden Abschirmeigenschaften und ihre strukturelle Stabilität

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

machen sie zu einem bevorzugten Material für neutronenabsorbierende Hülsen und Gammastrahlen blockierende Komponenten. Oberflächenbehandlungen (wie Vernickelung und PVD-Beschichtung) können die Korrosionsbeständigkeit weiter verbessern und die Lebensdauer verlängern.

3. Strukturelle Unterschiede aus klassifikatorischer Sicht

Rohre aus Wolframlegierungen weisen je nach Klassifizierungsmethode häufig unterschiedliche Merkmale in der Strukturkonstruktion auf, beispielsweise:

- **dem Verhältnis Innendurchmesser/Wandstärke** : Dünnwandige Rohre aus Wolframlegierungen (Wandstärke < 1 mm) werden meist in Situationen mit strengen Qualitäts- und Platzanforderungen verwendet, wie etwa bei Trägerteilen in der Luft- und Raumfahrt; dickwandige Rohre aus Wolframlegierungen werden in drucktragenden und schlagfesten Umgebungen verwendet, wie etwa bei Kernmänteln und Druckzylindern.
- **Klassifizierung nach Formgebungsverfahren** : Formtyp , Hohlextrusionstyp, Walzschweißstyp usw., jeweils entsprechend unterschiedlicher Maßgenauigkeit und Kostenkontrollmöglichkeiten.
- **Klassifizierung nach Anwendungsfunktion** : Strukturträgertyp (z. B. Führungsrohre, Rahmenrohre), Abschirmungs- und Schutztyp (z. B. Strahlenschutzabdeckungen), Wärmeübertragungstyp und elektrische Leitfähigkeitstyp (z. B. Hochtemperatur-Wärmefeldrohre) usw.

4. Unterschiede zwischen Wolframlegierungsrohren und herkömmlichen Rohren

Im Vergleich zu herkömmlichen Rohren aus Edelstahl, Kupferlegierungen und Titanlegierungen sind Rohre aus Wolframlegierungen in folgenden Punkten einzigartig:

- Höhere Dichte, stärkere Strahlungsbeständigkeit und mit dünneren Rohrwänden kann die gleiche oder eine höhere Barrierewirkung erreicht werden;
- Der hohe Schmelzpunkt (Wolfram erreicht 3410 °C) verleiht ihm eine ausgezeichnete strukturelle Stabilität bei hohen Temperaturen.
- Aufgrund der elektromagnetischen Opazität eignet es sich für Abschirm- und Unterdrückungsstrukturen in speziellen Bändern.
- Die strukturelle Festigkeit ist höher als bei einer Titanlegierung, die Verschleißfestigkeit ist besser als bei einer Kupferlegierung und die Korrosionsbeständigkeit kann durch eine Beschichtung verbessert werden.

V. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wolframlegierungsrohre ein hohles Strukturmaterial sind, das hohe Dichte, hohe Festigkeit, ausgezeichnete thermische Stabilität und funktionale Vielfalt vereint. Ihre Definition beschränkt sich nicht nur auf die Form eines „Rohrs“, sondern stellt auch ein technisches Materialsystem mit extrem starken Verbundeigenschaften dar. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Herstellungstechnologie und der Anwendungsanforderungen werden sich die Strukturform und die Funktionskonfiguration von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsrohren weiterentwickeln und in Richtung höherer Präzision, geringerem Gewicht und stärker integrierter Ausrichtung gehen.

1.2 Einführung in das Rohrmaterialsystem aus schwerer Wolframlegierung (W-Ni-Fe / W-Ni-Cu)

Wolframlegierungsrohre mit hoher Dichte sind ein mehrphasiges Metallmaterial, das aus Wolfram (W) als Hauptelement (normalerweise 85 % bis 98 %) besteht und durch einen bestimmten Anteil Nickel (Ni), Eisen (Fe) oder Kupfer (Cu) ergänzt wird. Aufgrund seiner extrem hohen Dichte (normalerweise $\geq 17,0 \text{ g/cm}^3$), seiner hervorragenden mechanischen Festigkeit und guten Bearbeitbarkeit wird es häufig in anspruchsvollen Bereichen wie Schutzstrukturen, Trägheitskomponenten, strahlungsbeständigen Gehäusen und Leitungen in der Nuklearindustrie eingesetzt.

Unter den Wolframlegierungsrohrmaterialsystemen sind **W-Ni-Fe** und **W-Ni-Cu** derzeit die beiden beliebtesten hochdichten Wolframlegierungssysteme. Durch unterschiedliche Elementverhältnisse und Methoden zur Mikrostrukturkontrolle erreichen sie ein organisches Gleichgewicht zwischen mechanischen Eigenschaften, elektromagnetischen Eigenschaften und Betriebsstabilität bei gleichzeitig hoher Dichte.

1. Einführung in das W-Ni-Fe-System Wolframlegierungsrohr

1. Systemeigenschaften

W-Ni-Fe-Legierungssysteme bestehen typischerweise aus Wolfram (90 % bis 97 %) als Primärmatrix, während Nickel und Eisen das Bindemetall bilden (typischerweise Ni:Fe = 7:3 bis 1:1). Sie weisen eine zwei- oder dreiphasige Struktur auf, wobei Wolframpartikel von einer kontinuierlichen Matrix aus γ -Ni-Fe-Legierung umgeben sind. Diese Struktur verleiht **hohe Festigkeit, hohe Duktilität und gute Bearbeitbarkeit**.

2. Anwendungsvorteile

- **Hohe Festigkeit und hohe Zähigkeit** : Die typische Zugfestigkeit kann 800–1000 MPa erreichen und die Dehnung liegt zwischen 10 % und 30 %, geeignet für Strukturkomponenten, die komplexen Belastungsumgebungen ausgesetzt sind.
- **Hervorragende Schweißbarkeit und Bearbeitbarkeit** : Im Vergleich zu reinen Wolframmaterialien weist das W-Ni-Fe-System eine bessere Verarbeitungsleistung auf, was für die Bearbeitung tiefer Löcher, das Polieren von Innen- und Außenkreisen sowie das Präzisionsschweißen praktisch ist.
- **Hohe Strahlungsbeständigkeit** : Der hohe Wolframgehalt verleiht ihm eine hervorragende Abschirmung gegen Gamma- und Röntgenstrahlen und wird in der Nuklearindustrie häufig in Hohlstrukturen, Schutzgehäusen, Wärmekontrollkanälen usw. verwendet.

3. Typische Anwendungsszenarien

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Neutronenabsorptionsrohre von Kernreaktoren und Abschirmhülsen von Anlagen zur Behandlung nuklearer Abfälle;
- Schutzzylinder eines medizinischen Strahlentherapiegeräts ;
- Trägheitshülsen mit hoher Dichte oder Strukturstabilisatoren in Raketen oder Raumfahrzeugen.

2. Einführung in das W-Ni-Cu-System aus Wolframlegierungsrohren

1. Systemeigenschaften

Auch das W-Ni-Cu-System verwendet Wolfram als Hauptkomponente, ergänzt durch Nickel und Kupfer als Bindephase. Das Cu/Ni-Verhältnis liegt typischerweise zwischen 1:1 und 3:7. In diesem System ersetzt Cu Fe als Sekundärelement und bildet **eine nichtmagnetische Bindephase**. Dies führt typischerweise zu einer gleichmäßigeren Struktur und einer besseren elektrischen und thermischen Leitfähigkeit.

2. Anwendungsvorteile

- **Nichtmagnetisches Materialsystem** : Die eisenfreie Struktur macht es für Umgebungen mit hochempfindlichen Magnetfeldern geeignet, wie z. B. MRT, magnetempfindliche Detektion und andere Geräte.
- **Bessere elektrische und thermische Leitfähigkeit** : Es hat einen niedrigeren spezifischen Widerstand und eine höhere Wärmeleitfähigkeit als das W-Ni-Fe-System und kann eine wichtige Rolle bei der elektromagnetischen Abschirmung und bei Wärmeleitungs Kanälen spielen.
- **Steuerbarer Dichtebereich** : Der Dichtesteuerbereich ist breit (16,5 bis 18,0 g/cm³) und kann entsprechend den Anforderungen verschiedener Rohrstrukturen fein abgestimmt werden.

3. Typische Anwendungsszenarien

- Wärmekontrollkanäle für Avionikverpackungen;
- Nichtmagnetische Detektorkomponenten für Geräte der Hochenergiephysik;
- Strahlungsabschirmschicht in Hochfrequenzgeräten oder Mikrowellenschutzsystemen.

3. Vergleichende Analyse zweier wichtiger Systeme (anwendbar auf Wolframlegierungsrohre)

Vergleichsdimension	W-Ni-Fe-System	W-Ni-Cu-System
Organisationsstruktur	Wolframpartikel + Ni-Fe-Bindephase	Wolframpartikel + Ni-Cu-Bindungsphase
Festigkeit/Zähigkeit	Höher (Zugfestigkeit 800–1000 MPa, Dehnung 15–30 %)	Hoch (Zugfestigkeit 600–800 MPa, Dehnung 10–20 %)
Verarbeitungsleistung	Gut, geeignet für die Bearbeitung und das Schweißen	Besser, besonders geeignet für Präzisionsumformung und Tieflochbohren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Elektromagnetische Eigenschaften	schwacher Magnetismus	Nicht magnetisch
Elektrische und thermische Leitfähigkeit	Medium	Besser
Anwendungshinweise	Strukturelle Tragkonstruktionen, Schutzrohrleitungen, Militärstrukturen	Medizinische Abschirmung, elektronische Wärmekontrolle, magnetische Controllerkennung

4. Erforschung anderer Materialsysteme

Zusätzlich zu den W-Ni-Fe- und W-Ni-Cu-Systemen wird die Forschung an Wolframlegierungsrohren auch auf andere Mehrelementlegierungssysteme ausgeweitet, darunter:

- **W-Ni-Co- Legierungsrohr** : wird für korrosionsbeständige Strukturen in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hohem Druck verwendet;
- **W-Mo-Ni- Legierungsrohr** : Die Molybdänschmelze verbessert die Leistung bei hohen Temperaturen;
- **Wolfram-Molybdän-Nickel-Eisen- Verbundrohr** : Mehrphasen-Koexistenzstruktur mit besserer Wärmeschockbeständigkeit und Haltbarkeit.

Diese Art von mehrelementkontrolliertem Legierungssystem wird in hochmodernen Bereichen wie Kernfusionsgeräten und Komponenten zum Schutz vor extremen Umwelteinflüssen eingesetzt und wird in Zukunft zu einer der wichtigsten Forschungsrichtungen im Bereich der Wolframlegierungsrohre werden.

V. Zusammenfassung

Die Schwerlegierungssysteme W-Ni-Fe und W-Ni-Cu sind die beiden Grundpfeiler der Produktion und Anwendung von Wolframlegierungsrohren. Bei ersterem liegt der Schwerpunkt auf Festigkeit und struktureller Sicherheit, weshalb es sich für Hochleistungsanwendungen beispielsweise im Militär- und Atombereich eignet. Letzteres ist für seine nichtmagnetischen Eigenschaften und seine ausgezeichnete thermische und elektrische Leitfähigkeit bekannt und wird häufig in der Elektronik, Medizintechnik und Feinmechanik eingesetzt. Jedes dieser Systeme bietet Vorteile hinsichtlich Leistung und Anwendung und bildet eine duale Struktur für das Materialsystem der Wolframlegierungsrohre. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung von Technologien wie Pulvermetallurgie, Verbundwerkstoffen und additiver Fertigung wird auch das Materialsystem der Wolframlegierungsrohre tendenziell vielfältiger, intelligenter und funktionell integrierter, um den komplexeren und sich ändernden industriellen Herausforderungen gerecht zu werden.

1.3 Hauptabmessungsparameter, Wanddickenbereich und Standardformen von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre, funktionale Metallrohre mit hoher Dichte, robuster Struktur und Korrosionsbeständigkeit, finden breite Anwendung im Militär, in der Kernenergie, der Medizin, der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Luft- und Raumfahrt sowie in der Herstellung hochwertiger Geräte. Da ihre Verwendung oft extrem hohe strukturelle Präzision, Betriebsstabilität und Prozessanpassung erfordert, ist die Maßkontrolle von Wolframlegierungsrohren ein zentraler Qualitätsindikator. Dieser Abschnitt erläutert systematisch die wichtigsten Maßparameter, den Wandstärkenbereich und die Standardformmerkmale von Wolframlegierungsrohren in der realen Produktion und in technischen Anwendungen und bietet eine detaillierte Grundlage für Materialdesign, -auswahl und standardisierte Produktion.

1. Definition und Messmethoden der wichtigsten Dimensionsparameter

Wolframlegierungsrohre bestehen aus den folgenden Schlüsselparametern:

1. **Außendurchmesser (OD)** : bezieht sich auf den maximalen Durchmesser des Außenumfangs des Wolframlegierungsrohrs. Üblicherweise verwendete Einheiten sind Millimeter (mm) oder Zoll (in).
2. **Innendurchmesser (ID)** : bezieht sich auf den Durchmesser der inneren Poren des Wolframlegierungsrohrs, der ein wichtiger Indikator für den Flüssigkeitsfluss und die Penetrationsfähigkeit innerhalb des Rohrs ist.
3. **Wandstärke** : die Hälfte der Differenz zwischen Außendurchmesser und Innendurchmesser. Die Wandstärke bestimmt die strukturelle Festigkeit, Druckfestigkeit und Strahlungsbeständigkeit des Wolframlegierungsrohrs.
4. **Länge** : Die axiale Abmessung des Wolframlegierungsrohrs, die je nach Bedarf in feste Längen (z. B. 100 mm, 300 mm, 500 mm) und kundenspezifische Längen unterteilt werden kann.

Normalerweise werden bei der Produktherstellung oder Qualitätsprüfung Instrumente wie **Laserdurchmessermessgeräte, Innendurchmesser-Mikrometer, Ultraschalldickenmessgeräte, optische Bildmesssysteme** usw. verwendet, um hochpräzise Maßprüfungen durchzuführen und sicherzustellen, dass sie den Konstruktionsanforderungen entsprechen.

2. Gemeinsame Größenangaben und Standardbereich

Je nach Branchenpraxis und Kundenbedarf liegen die Maßparameter von Wolframlegierungsrohren normalerweise in den folgenden Bereichen:

Projekt	Gängige Bereiche (metrische Einheiten)	veranschaulichen
Außendurchmesser	$\phi 1 \text{ mm} \sim \phi 150 \text{ mm}$	Spezielle Anwendungen können mehr als $\phi 200 \text{ mm}$ erreichen
Innendurchmesser	$\phi 0,5 \text{ mm} \sim \phi 145 \text{ mm}$	Stellen Sie sicher, dass die Wandstärke $\geq 0,25 \text{ mm}$ beträgt, im Allgemeinen nicht weniger als 10 % des Außendurchmessers
Wandstärke	0,25 mm bis 30 mm	Ultradünnwandige Rohre werden für die Präzisionsbehandlung in der Medizin verwendet, während dickwandige Rohre für Schutzstrukturen geeignet sind.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Länge	10 mm bis 2000 mm	Normalerweise ≤ 500 mm, lange Rohre benötigen eine heißsostatische Pressunterstützungskontrolle
Wanddickenabweichung	$\pm 0,01$ mm bis $\pm 0,2$ mm	Präzisionsprodukte unterliegen strengeren Toleranzstandards

Wolframlegierungsrohre für unterschiedliche Zwecke haben unterschiedliche Anforderungen an die Maßgenauigkeit, zum Beispiel:

- **Wolframlegierungsrohre für die Strahlentherapie** : Die Toleranz des Innendurchmessers darf nicht mehr als $\pm 0,02$ mm betragen, um die Dichtheit der Steckstruktur zu gewährleisten.
- **Trägheitsgewichtsrohr aus Wolframlegierung** : Normalerweise liegt der Schwerpunkt auf der Konsistenz von Gesamtmasse und Wandstärke, und die Toleranz des Außendurchmessers kann auf $\pm 0,1$ mm gelockert werden;
- **Kernreaktorkomponenten** : Konzentrieren Sie sich auf die Kontrolle der Rauheit der Innenwände und der axialen Geradheit, um Spannungskonzentrationen während des Betriebs zu vermeiden.

3. Zusammenhang zwischen Wandstärkengestaltung und Nutzungsanforderungen

Wolframlegierungsrohre hängen nicht nur mit ihrer Tragfähigkeit zusammen, sondern beeinflussen auch die Verarbeitungsschwierigkeiten, die Kühlleistung, die Wärmeleitfähigkeit und die Lebensdauer. Allgemein gesagt:

- **Dünnwandige Struktur (Wandstärke < 1 mm)** : Geeignet für kleine medizinische Geräte, Mikrokanalkühlung, Präzisionsströmungsführung und andere Bereiche. Die Verarbeitung ist schwierig, die Wärmeregulierung ist jedoch hervorragend.
- **Mittelwandstruktur (1 mm – 5 mm)** : Am gebräuchlichsten, geeignet für Mehrzweckanwendungen wie hochdichte Gegengewichte, militärische Zwingen, nukleare Abschirmkomponenten usw., wobei sowohl Festigkeit als auch Verarbeitbarkeit berücksichtigt werden.
- **Dickwandige Strukturen (> 5 mm)** : werden meist in Bereichen eingesetzt, in denen hohe Stoßfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und hoher Strahlenschutz gefragt sind, wie z. B. Raketenheckkammern, Verpackungen für Atommüll und andere Strukturen. Um innere Restspannungen zu beseitigen, ist üblicherweise heißsostatisches Pressen erforderlich.

Bei der tatsächlichen Konstruktion muss die Wandstärke umfassend anhand der folgenden Faktoren bestimmt werden:

- Erforderliche Festigkeits- und Steifigkeitsindikatoren;
- Maximale interne und externe Druckdifferenz;
- Anforderungen an die Wärmeübertragungseffizienz;
- begrenzte Platzverhältnisse;
- Kontrolle der Materialkosten.

4. Standardgeometrie von Wolframlegierungsrohren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Obwohl die Grundform eines Wolframlegierungsrohrs ein zylindrisches Rohr ist, kann es je nach Verwendungsumgebung und Verarbeitungsmethode in verschiedene geometrische Strukturen gebracht werden:

1. Standard-Rundrohr

- Der gebräuchlichste Typ, geeignet für alle Arten von Ferrulen-, Durchfluss- und Koaxialstrukturen.
- Eine gute Konzentrität kann durch den Einsatz von Rotationswerkzeugen oder isostatischem Pressen erreicht werden.

2. Vierkantrohre und Sonderformrohre

- Es wird häufig in Bereichen mit strengen Anforderungen an die strukturelle Kombination und Positionierung verwendet.
- Der Herstellungsprozess ist relativ kompliziert und die Formgebung erfordert ein gerichtetes Pressen der Form.

3. Mehrkanal-Wolframlegierungsrohr

- Ein Rohr mit poröser Struktur zur Luftstromverteilung und Mikrostrukturunterstützung;
- Es kommt häufig bei Experimenten in der Hochenergiephysik und in Kühlsystemen für Nuklearanlagen vor.

4. Funktionsrohr mit Gewinde oder Positioniernut

- Erleichtert die spätere Montage, Verbindung oder Befestigung;
- Meist handelt es sich dabei um Sonderkonstruktionen.

5. Maßgenauigkeitsstandards und internationaler Vergleich

einheitlicher globaler Produktstandard für Rohre aus Wolframlegierungen. Für die Konstruktion oder Abnahme werden häufig die folgenden Standardsysteme verwendet:

- **China:** GB/T 3874, YS/T 798 usw.
- **Vereinigte Staaten:** ASTM B777, MIL-T-21014 usw. . ;
- **Europa/ISO:** ISO 2768, ISO 286 Toleranzklassen usw.

Je nach tatsächlichem Bedarf kann es in die folgenden Genauigkeitsstufen unterteilt werden:

Grad	Wanddickentoleranz	AD/ID-Toleranz	Anwendungsbereiche
Normal	±0,2 mm	±0,3 mm	Gegengewicht, allgemeine Strukturteile
Präzisionsqualität	±0,05 mm	±0,1 mm	Medizin, nukleare Abschirmung, Trägheitskomponenten für die Luft- und Raumfahrt
Ultrapräzisionsqualität	Innerhalb von ±0,01 mm	Innerhalb von ±0,02 mm	Laserinstrumentkomponenten, Hochenergielichtquellengeräte

Wolframlegierungsrohre in der Materialverarbeitung und Produkthanwendung zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

, extrem enge Maßtoleranzen und komplexe Strukturformen zu erreichen und gleichzeitig eine extrem hohe Dichte und Festigkeit zu gewährleisten. Die richtige Auswahl von Außendurchmesser, Innendurchmesser, Wandstärke und Länge sowie geeignete Umformungs- und Prüftechnologien sind entscheidend, um sicherzustellen, dass sie den technischen Anforderungen entsprechen. Mit der Weiterentwicklung der additiven Fertigung, der Präzisionsbearbeitung und intelligenter Prüftechnologien wird sich die Synergie zwischen Maßstandardisierung und individueller Anpassung von Wolframlegierungsrohren weiter verbessern und ihre umfassende Anwendung in der High-End-Fertigung und bei extremen Belastungen vorantreiben.

1.4 Klassifizierung von Wolframlegierungsrohren (nach Zusammensetzung, Anwendung und Verfahren)

Wolframlegierungsrohre spielen als Spezialrohrmaterial mit hoher Dichte, hohem Schmelzpunkt, ausgezeichneter mechanischer Festigkeit und guter Korrosionsbeständigkeit in verschiedenen Bereichen eine Schlüsselrolle. Um verschiedenen technischen Anwendungen, Verarbeitungsanforderungen und Materialstandards besser gerecht zu werden, werden Wolframlegierungsrohre bei der Herstellung und Verwendung sorgfältig in verschiedene Typen eingeteilt. Diese Klassifizierungsstandards konzentrieren sich typischerweise auf **das Legierungssystem, typische Anwendungsbereiche und Herstellungsverfahren**, um die Designauswahl, Leistungsbewertung und standardisierte Produktion zu steuern.

In diesem Abschnitt werden die gängigen Klassifizierungsmethoden für Wolframlegierungsrohre in der technischen Praxis systematisch vorgestellt. Damit wird eine grundlegende Basis für Leistungsvergleiche, Technologieauswahl und Anwendungsanpassung in den folgenden Kapiteln geschaffen.

1. Klassifizierung nach Komponentensystem

Je nach Kombination und Anteil der Metallelemente werden Wolframlegierungsrohre hauptsächlich in die folgenden Kategorien unterteilt:

1. W-Ni-Fe-Wolframlegierungsrohr (Wolfram-Nickel-Eisen-Rohr)

- **Eigenschaften** : Hohe Dichte, gute Zähigkeit und starke magnetische Leitfähigkeit.
- **Typisches Verhältnis** : Wolfram macht 90–97 % aus, der Rest sind Ni und Fe im Verhältnis 7:3 oder 1:1.
- **Anwendung** : Trägheitsgegengewicht, kugelsicherer Einsatz, panzerbrechendes Projektil, nukleares Schutzrohr usw.
- **Prozessanpassung** : Geeignet für Pulvermetallurgie + Heißisostatisches Pressen (HIP).

2. W-Ni-Cu-Wolframlegierungsrohr (Wolfram-Nickel-Kupfer-Rohr)

- **Eigenschaften** : nicht magnetisch, bessere Leitfähigkeit als W-Ni-Fe, starke Korrosionsbeständigkeit.
- **Typische Anteile** : 90–95 % Wolfram, 5–10 % kombiniert aus Ni und Cu.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Anwendungen** : Abschirmung von Röntgengeräten, MRI-kompatible Komponenten, elektronische Wärmerohrgehäuse.
- **Prozessanpassungsfähigkeit** : **geeignet** für isostatisches Pressen und Präzisionsbearbeitung, mit guten Oberflächenbehandlungseigenschaften.

3. W-Cu-Legierungsrohr (Wolfram-Kupfer-Rohr)

- **Eigenschaften** : Verbundstruktur, hohe Wärmeleitfähigkeit, niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient.
- **Anwendung** : Wird in Hochfrequenz-Wärmereglergeräten, Elektrodenschutzhüllen, Raketendüsen usw. verwendet.
- **Verfahrensschwierigkeiten** : ungleichmäßige Struktur, schwierige Warmbearbeitung und häufig **wird** zur Herstellung die Kupferinfiltrationstechnologie verwendet.

4. Rohre aus Seltenerd- oder mikrolegierten Wolframlegierungen

- **Hinzugefügte Elemente** : La, Y, Zr, Re, Ti und andere Spurenelemente.
- **Verstärkungseffekt** : Verbessert die Kornverfeinerung, die Wärmeermüdungsbeständigkeit und die Hochtemperaturfestigkeit.
- **Anwendung** : Wird in Plasmageräten, Geräten für extreme Wärmefelder und Innenrohren mit Mikrostruktur verwendet.

2. Klassifizierung nach Zweck

Verschiedene Branchen haben spezifische strukturelle und Leistungsanforderungen an Rohre aus Wolframlegierungen, die je nach Verwendungszweck in die folgenden Kategorien unterteilt werden können:

1. Wolframlegierungsrohr zum Schutz und zur Abschirmung

- **Typische Szenarien** : Neutronen-/Gammastrahlenschutzrüstung in Kernkraftwerken, Strahlentherapieausrüstung und Röntgengehäuse.
- **Leistungsanforderungen** : hohe Dichte, nicht magnetisch **und** stabile Strahlungsabsorption.
- **Repräsentative Legierungen** : Hauptsächlich W-Ni-Cu-System, einige W-Cu-Legierungen sind ebenfalls anwendbar.

2. Strukturmanagement im Militär- und Luft- und Raumfahrtbereich

- **Typische Anwendungen** : Kerngehäuse panzerbrechender Projektile, innerer Hohlraum für Raketengegengewichte, äußeres Rohr eines Trägheitskreisels.
- **Leistungsanforderungen** : hohe Festigkeit, Schlagfestigkeit, hohes spezifisches Gewicht und Stabilität bei hohen Temperaturen .
- **Repräsentative Legierungen** : hauptsächlich W-Ni-Fe-System, das sowohl strukturelle als auch kinetische Energiekontrollfähigkeiten besitzt.

3. Wolframlegierungsrohre für elektronische und thermische Steuergeräte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Typische Anwendungen** : Glühlampen, Wärmerohre, Mikrowellengeräte, Entladungselektrodenröhren.
- **Leistungsschwerpunkt** : hohe Wärmeleitfähigkeit, **geringe** Wärmeausdehnung und gute Schweißleistung.
- **Legierungsempfehlung** : Nicht magnetische Wolframlegierungsrohre W-Cu und W-Ni-Cu werden bevorzugt .

4. Medizinische und hochpräzise Konstruktionsrohre

- **Anwendungen** : Kanülen zur Tumorbehandlung, CT-/Röntgenscanner, Präzisionsferrulen.
- **Fokus** : Extrem kleine Toleranzen bei Außen- und Innendurchmessern, nicht magnetisch, sicher und ungiftig.
- **Auswahlkriterien** : nichtmagnetische W-Ni-Cu - Legierung oder kundenspezifische Mikroröhren mit ultradünner Wand.

3. Klassifizierung nach Verarbeitungsmethode

Wolframlegierungsrohre wirken sich direkt auf die innere Struktur, die mechanischen Eigenschaften und den Anwendungsbereich aus. Verschiedene Verarbeitungsmethoden werden in folgende Kategorien unterteilt:

1. Pulvermetallurgisch gepresstes Wolframlegierungsrohr

- **Prozessablauf** : **Dosierung** des Metallpulvers → Formpressen oder isostatisches Pressen → Hochtemperaturesintern → Endbearbeitung.
- **Vorteile** : gute Dichtkontrolle, geeignet für komplexe Rohrformen und große Flexibilität bei kleinen Chargen.
- **Nachteile** : begrenzte Strukturdichte, schwierig zu verarbeitende dünnwandige und überlange Rohre.

2. Spinnendes Wolframlegierungsrohr

- **Anwendbare Objekte** : Rundrohre mit mittlerer Länge und gleichmäßiger Wandstärke.
- **Eigenschaften** : Verbessert die organisatorische Konsistenz, verbessert die mechanischen Eigenschaften und ist für militärische Schalenstrukturen geeignet.

3. Extrusion und Warmwalzen von Wolframlegierungsrohren

- **Prozessübersicht** : Wolframlegierungsblöcke werden im erhitzten Zustand extrudiert oder zu Rohren gewalzt.
- **Vorteile** : Hoher Wirkungsgrad, stabile Rohrform, geeignet für standardisierte Massenproduktion.
- **Einschränkungen** : Hohe Gerätekosten und hohe Anforderungen an die Materialplastizität.

4. Additive Fertigung (AM) von Wolframlegierungsrohren

- **Technische Mittel** : Selektives Laserschmelzen (SLM), Elektronenstrahlschmelzen (EBM) usw.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Innovative Anwendungen** : Komplexe geometrische Strukturen (wie z. B. Mehrlumenschläuche) und Gradientenkomponenten können realisiert werden.
- **Aussichten** : Geeignet für extreme Arbeitsbedingungen und personalisierte High-End-Geräteanwendungen.

IV. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre spiegeln die hohe Individualität ihres Materialdesigns, die vielfältigen Anwendungsszenarien und die spezialisierten Herstellungsverfahren wider. Die Klassifizierung nach Zusammensetzung ermöglicht eine präzise Abstimmung der geforderten Leistung; die Klassifizierung nach Anwendung verdeutlicht die Endnutzungsziele; und die Klassifizierung nach Verfahren spiegelt die Produktionsanpassungsfähigkeit und die technischen Möglichkeiten wider. Mit der Weiterentwicklung funktionaler Wolframlegierungen und der breiten Anwendung intelligenter Fertigungstechnologien wird das Klassifizierungssystem für Wolframlegierungsrohre zukünftig noch weiter verfeinert und bietet leistungsstarke und hochzuverlässige Metallrohrlösungen für verschiedene anspruchsvolle Projekte.

1.5 Vergleichende Analyse von Wolframlegierungsrohren mit Wolframstäben, Wolframplatten, Wolframkupferrohren und anderen Materialien

Wolfram und seine Legierungsprodukte nehmen aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften eine wichtige Stellung in Schlüsselsektoren wie der Herstellung hochwertiger Geräte, der Kernenergie, der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und dem Militär ein. Unter den zahlreichen wolframbasierten Materialien sind Rohre, Stäbe, Platten und Wolframkupferrohre aus Wolframlegierungen die gängigsten. Diese Materialien weisen Ähnlichkeiten in Struktur, Funktion, Leistung und Verarbeitung auf, besitzen jedoch jeweils unterschiedliche Eigenschaften.

In diesem Abschnitt werden Wolframlegierungsrohre systematisch mit den oben genannten Materialien verglichen, um Designern, Materialauswahlingenieuren und Herstellern zu helfen, wissenschaftlichere Entscheidungen hinsichtlich der Materialanpassung und -substitution zu treffen.

1. Vergleich der Strukturmorphologie

Materialbezeichnung	Grundform	Typische Strukturbeschreibung
Wolframlegierungsrohr	Hohlzylinder, speziell geformter Mehrkammerkörper	Außendurchmesser, Innendurchmesser und Wandstärke sind wichtige Parameter
Wolframstab	Vollzylinder	Häufig verwendet für Durchmesserkontrolle, flexible Längen Anpassung
Wolframplatte	Feste flache Platte	Breite × Länge × Dicke Kontrolle, geeignet für Pflasterstrukturen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframkupferrohr	Kupferbeschichtete Wolfram-Verbund-Hohlstruktur	Normalerweise W-Cu-Verbundwerkstoff, die Wärmeleitfähigkeit ist besser als bei Wolframlegierungsrohren
--------------------------	---	--

Wolframlegierungsrohre sind hohl. Diese Hohlheit verleiht ihnen unersetzliche Vorteile in Szenarien wie Qualitätskontrolle, Wärmemanagement, Medienkanälen und Schutzhüllen.

2. Vergleich der Leistungsparameter

Projekt	Wolframlegierungsrohr	Wolframstab	Wolframplatte	Wolframkupferrohr
Dichte	17,0–18,8 g/cm ³	18,0–19,2 g/cm ³	18,0–19,2 g/cm ³	14,5–17,0 g/cm ³
Stärke und Zähigkeit	Hohe Festigkeit, mittlere Zähigkeit	Hohe Festigkeit und hohe Steifigkeit	Hohe Steifigkeit, geringe Zähigkeit	Mittlere Festigkeit, hervorragende Wärmeleitfähigkeit
Wärmeleitfähigkeit	Medium	Niedrig bis mittel	Niedrig bis mittel	Hoch (>200 W/ m · K)
Leitfähigkeit	allgemein	allgemein	allgemein	Hoch (nur für Funkenentladung)
Nicht magnetisch	Wolfram-Nickel-Kupfer-System verfügbar	Meistens magnetisch	Meistens magnetisch	Nicht magnetisch
Strahlungsbeständigkeit	Sehr stark	Sehr stark	Sehr stark	leistungsstark
Unterstützung der Formkomplexität	Hoch (kann zu speziell geformten Mehrlumenschläuchen verarbeitet werden)	allgemein	allgemein	allgemein

Rohre aus Wolframlegierungen zeichnen sich durch umfassende Festigkeit, geringes Gewicht und Strahlenschutz aus und eignen sich besonders für spezielle Szenarien, die **Hohlstrukturen** oder **gewichtsoptimierte Designs** erfordern.

3. Vergleich der Verarbeitungstechnologien

Materialbezeichnung	Formgebungsverfahren	Verarbeitungsschwierigkeiten	Sekundärverarbeitungsmethode
Wolframlegierungsrohr	Pulvermetallurgie, isostatisches Pressen, Spinnen usw.	Hoch (insbesondere dünnwandige Rohre)	Innen- und Außenschleifen, Feindreihen, Oberflächenpolieren
Wolframstab	Pulverpressen, Sintern, Schmieden	Untere	Schneiden, Schleifen, Walzen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframplatte	Warmgewalzte oder kaltgewalzte, gesinterte Platten	Medium	Schneiden, Laserformen, Schweißen
Wolframkupferrohr	Kupferinfiltration, Extrusion oder Pulverinjektion	Höher	Elektrodenbearbeitung, Wärmebehandlung, Schweißen

Wolframlegierungsrohre sind aufgrund ihrer Hohlstruktur und der hohen Materialdichte im Allgemeinen schwieriger zu verarbeiten als massive Strukturen wie Wolframstäbe und -platten. Insbesondere bei der Konstruktion präziser Innenlöcher und extrem dünner Wände werden extrem hohe Anforderungen an Ausrüstung und Prozesse gestellt.

4. Vergleich der Nutzungsszenarien

Anwendungsbereiche	Wolframlegierungsrohr	Wolframstab	Wolframplatte	Wolframkupferrohr
Militärindustrie	Panzerbrechende Granate, Raketenheckraum-Innenrohr	Kern, Gegengewichtsstange	Schutzpanzerung	Mündungselektrode, Wärmeaustauschhülse
Kernenergie	Neutronenabsorptionsröhren, Beschichtungsröhren für Atommüll	Steuerstäbe, Abschirmblöcke	Reflektorschirm, Ofenwand	Kühlmantel
Medizinisch	Strahlentherapie-Hülle, Gamma-Knife-Kollimator	Gegengewichtsstange	Röntgenschutz	Transparente Röhre für elektromagnetische Wellen
Elektronik und Wärmekontrolle	Wärmerohrgehäuse, Lasergeräterohr	Wärmequellenkern	Mikrowellen-Absorptionsplatte	Hochfrequenzelektroden, Wärmediffusoren
Luft- und Raumfahrt	Trägheitsgewichtsrohr für die Lageregelung des Satelliten, Hochtemperaturhohlraum des Triebwerks	Gyro-Schwungradstange	Strahlenschutzplatten für die Luft- und Raumfahrt	Wärmekontrollplatte, Elektrodensatz

Rohre aus Wolframlegierungen eignen sich besser für Anwendungsszenarien, die ein Gleichgewicht zwischen Festigkeit und Massenverhältnis, symmetrische Trägheitsstrukturen, Wärmeübertragungskanäle oder Strahlenschutzhüllen erfordern, und zeigen ihre unersetzlichen technischen Vorteile.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre basieren hinsichtlich ihrer grundlegenden Leistung auf demselben wolframbasierten Materialsystem wie Wolframstäbe, Wolframplatten und Wolfram-Kupfer-Rohre, unterscheiden sich jedoch erheblich in strukturellem Design, Verwendung und Prozessabläufen. Aufgrund ihrer einzigartigen hohlen, hochfesten Struktur bieten Wolframlegierungsrohre eine größere Anwendungsflexibilität hinsichtlich ihres **hohen spezifischen Gewichts, ihrer**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nichtmagnetischen Eigenschaften, ihrer Schutz- und Strömungsführungseigenschaften sowie ihrer präzisen Passung . Der Trend zu leichteren und multifunktionalen Wolframlegierungsrohren ist besonders in der Kernenergie-, Luftfahrt- und Militärbranche ausgeprägt.

Das Verständnis der Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen verschiedenen Materialien auf Wolframbasis hilft nicht nur bei der effizienten Auswahl, sondern verbessert auch die Innovation und Zuverlässigkeit des Produktstrukturdesigns.



Kapitel 2 Physikalische und mechanische Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren

2.1 Dichte, spezifisches Gewicht und Maßgenauigkeit von Wolframlegierungsrohren

Als technischer Werkstoff mit hohem spezifischen Gewicht, hoher Temperaturbeständigkeit und struktureller Stabilität bestimmen die physikalischen Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren direkt ihre Leistung in wichtigen Anwendungen wie der Herstellung hochwertiger Geräte, dem Schutz von Kernkraftwerken, der Luft- und Raumfahrt und der Präzisionsinstrumentierung. **Dichte, spezifisches Gewicht und Maßgenauigkeit** sind Schlüsselindikatoren zur Beurteilung der Qualität und Leistung von Wolframlegierungsrohren.

1. Dichte- und spezifischer Gewichtsbereich von Wolframlegierungsrohren

Die Dichte von Wolframlegierungsrohren liegt im Allgemeinen zwischen **16,8 und 18,8 g/cm³**, abhängig von der Zusammensetzung des Legierungssystems, der Dichte und dem Formgebungsprozess. Typische Legierungssysteme sind:

Legierungstyp	Hauptbestandteile (Massenanteile)	Theoretische Dichte (g/cm ³)
W-Ni-Fe-Serie	W ≈ 90–97 %, Ni ≈ 2–7 %, Fe ≈ 1–3 %	17,5–18,5
W-Ni-Cu-Serie	W ≈ 85–95 %, Ni/Cu ≈ 5–15 %	17,0–18,3
Hochdichtes W-Verbundsystem	W > 97 %, andere Metalle in geringen Mengen hinzugefügt	18.8 und höher

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Dichte ist ein wichtiger Indikator für Verdichtung und Materialgleichmäßigkeit. Wolframlegierungsrohre werden im pulvermetallurgischen Press- und Sinterverfahren hergestellt. Die endgültige Dichte wird durch Faktoren wie Pulverpartikelgröße, Pressverfahren (kaltisostatisches Pressen oder Gesenkpressen), Sinteratmosphäre und Temperaturregelung beeinflusst. Mikroporosität und ungleichmäßige Verdichtung können die Dichte erheblich beeinträchtigen, insbesondere bei Wolframlegierungsrohren mit dünnen Innenwänden oder großen Abmessungen. Dies erfordert eine Optimierung durch heißisostatisches Pressen (HIP) oder Verdichtung.

Spezifisches Gewicht und technische Bedeutung von Wolframlegierungsrohren:

Das „spezifische Gewicht“ ist ein relatives Maß für die Dichte, definiert als das Verhältnis der Dichte eines Materials zur Dichte von Wasser (bei 4 °C). Wolframlegierungsrohre haben typischerweise ein spezifisches Gewicht zwischen **17,0 und 18,8** und zählen somit zu den Schwermetalllegierungen. Ihr hohes spezifisches Gewicht bietet folgende wichtige technische Vorteile:

- **Erhöhung des Trägheitsgewichts** : Bei Gegengewichten und Kreiselkomponenten von Flugzeugen kann es die Systemträgheit effektiv erhöhen und die Stabilität verbessern.
- **Hohe Raumnutzungseffizienz** : Im Vergleich zu anderen Schutzmaterialien (wie Stahl und Blei) kann bei geringerem Volumen der gleiche oder sogar höhere Schutz oder die gleiche oder sogar höhere strukturelle Belastung erreicht werden .
- **Hervorragende Vibrationsdämpfung und Energieabsorption** : Das Material mit höherem spezifischen Gewicht verfügt über eine stärkere Dämpfungs- und Absorptionskapazität für kinetische Energie und ist für kugelsichere und stoßfeste Anwendungen geeignet.

3. Maßkontrolle und Verarbeitungsgenauigkeit von Wolframlegierungsrohren

Die Maßgenauigkeit von Wolframlegierungsrohren spiegelt sich hauptsächlich in den folgenden Schlüsselparametern wider:

- **Toleranz des Außendurchmessers** : normalerweise innerhalb von $\pm 0,01$ mm bis $\pm 0,05$ mm kontrolliert, abhängig von den Produktspezifikationen;
- **Toleranz des Innendurchmessers** : Beeinflusst durch Sinterschrumpfung und Bearbeitung liegt die Toleranz im Allgemeinen im Bereich von $\pm 0,02$ mm bis $\pm 0,10$ mm;
- **Gleichmäßigkeit der Wandstärke** : Sie ist eine wichtige Garantie für die strukturelle Integrität. Bei hochpräzisen Produkten darf der Unterschied in der Wandstärke nicht mehr als ± 5 % betragen.
- **Geradheit und Rundheit** : Insbesondere bei langen Rohrprodukten ist die Geradheitskontrolle auf $0,1$ mm/m genau der Luftfahrt-/Militärstandard.

Wolframlegierungen weisen eine hohe Härte, große Sprödigkeit und hohe Verarbeitungsschwierigkeiten auf. Die Genauigkeit der Verarbeitungsmaße muss durch folgende Verfahren gewährleistet werden:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Durch hochpräzises Formenpressen** wird eine einheitliche Ausgangsform und -größe gewährleistet.
- **Gleichmäßige Temperaturkontrolle beim Hochtemperaturesintern**, um ungleichmäßige Sinterschrumpfung zu vermeiden;
- **Sekundäres Präzisionsdrehen, Innen- und Außenschleifen**, um letztendlich präzise Innenlöcher und glatte Außenwände zu erhalten;
- **Berührungslose Laser-/optische Messsysteme** werden zur vollständigen oder stichprobenartigen Prüfung der Abmessungen des fertigen Produkts verwendet.

4. Einfluss der Dimensionskontrolle auf die Serviceleistung

Die Maßgenauigkeit spielt eine entscheidende Rolle für die Betriebsstabilität von Rohren aus Wolframlegierungen:

- **Präziser Innendurchmesser** : beeinflusst die Effizienz von Flüssigkeitskanälen, Gammastrahlenfokussierern, Wärmetauschern usw.
- **Wanddickenkonsistenz** : im Zusammenhang mit der Wärmespannungsverteilung, der Gleichmäßigkeit des Schutzes und der strukturellen Festigkeit ;
- **Formfehlerkontrolle** : kann die Gesamtstabilität des Systems bei der Komponentenmontage und der parallelen Mehrrohrstruktur verbessern ;
- **Dimensionsstabilität** : Die Beibehaltung der Abmessungen in Umgebungen **mit** hohen Temperaturen und hohem Druck ist der Schlüssel zur Gewährleistung einer langen Lebensdauer.

Daher müssen Wolframlegierungsrohre nicht nur eine hohe Dichte aufweisen und dürfen keine inneren Defekte aufweisen, sondern es muss auch eine strenge Kontrolle der geometrischen Abmessungen und Formen erreicht werden, um den Anforderungen einer präzisen Anpassung und hohen Zuverlässigkeit in komplexen Umgebungen gerecht zu werden.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre sind mit ihrer hohen Dichte, ihrem hohen spezifischen Gewicht und ihrer außergewöhnlichen Maßgenauigkeit zu unverzichtbaren Kernbauteilen in zahlreichen High-End-Bereichen geworden. Dank der Weiterentwicklung des isostatischen Pressens, des hochpräzisen Formenbaus, des CNC-Schleifens und berührungsloser Prüftechnologien nähert sich die Maßkontrolle von Wolframlegierungsrohren stetig in Richtung Submikrometertoleranzen. Zukünftige Anwendungen in der Nuklearmedizin, Ultrahochtemperatur-Energiesystemen und Extremlastgeräten werden noch vielversprechender sein.

2.2 Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchzähigkeit von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre spielen aufgrund ihrer hohen Dichte, ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften eine wichtige Rolle in der Luft- und Raumfahrt, der nuklearen Abschirmung, dem militärischen Schutz und der Herstellung hochwertiger Geräte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchzähigkeit sind wichtige mechanische Indikatoren zur Bewertung ihrer strukturellen Stabilität und Betriebszuverlässigkeit.

1. Übersicht über Zugfestigkeit und Streckgrenze

- **Zugfestigkeit (σ_b)** : Dies ist die maximale Spannung, der ein Material bei einem Zugversuch standhalten kann. Sie gibt die maximale Zugkraft an, der das Material standhalten kann, bevor es bricht.
- **Streckgrenze (σ_s)** : Bezieht sich auf den Spannungspunkt, an dem das Material beginnt, eine offensichtliche plastische Verformung zu erfahren und ist der Standard zur Beurteilung der Elastizitätsgrenze des Materials.

Rohre aus Wolframlegierungen wie W-Ni-Fe und W-Ni-Cu weisen eine Zugfestigkeit und Streckgrenze auf, die eng mit der Legierungszusammensetzung, der Mikrostruktur, dem Verdichtungsgrad und der anschließenden Wärmebehandlung zusammenhängen.

Legierungssystem	Zugfestigkeit (MPa)	Streckgrenze (MPa)	Dehnung (%)
W-Ni-Fe (90 W)	700–1000	500–800	10–25
W-Ni-Cu (90 W)	600–900	400–700	15–30
Hochfeste W-Legierung	1000–1200+	800–1000	5–15

2. Einfluss des Legierungsdesigns auf die Festigkeitseigenschaften

1. **Wolframgehalt** : Erhöhte Hochtemperaturfestigkeit und spezifisches Gewicht, aber verringerte Plastizität ;
2. **Anpassung des Ni/Fe -Verhältnisses** : Verbesserung der Phasengrenzbindungsfähigkeit und des Festlösungsverfestigungsgrads;
3. **Korngrößenverfeinerung** : Eine **Kornverfeinerung** kann die Streckgrenze erhöhen, aber die Duktilität verringern.
4. **Sinterverdichtung und Wärmebehandlung** : können die innere Porosität verringern und die Festigkeit und strukturelle Konsistenz verbessern.

Beispielsweise kann die Dichte von Wolframlegierungsrohren nach dem ****Heißisostatischen Pressen (HIP)****-Verfahren über 99,5 % erreichen und die Streckgrenze um 15 bis 20 % erhöht werden.

3. Bruchzähigkeit und ihre Bewertung

Die Bruchzähigkeit (KIC) beschreibt die Fähigkeit eines Materials, der Rissausbreitung bei Defekten oder Rissen zu widerstehen. Sie spiegelt seine Fähigkeit wider, Sprödbrüchen standzuhalten. Für Materialien wie Wolframlegierungsrohre, die in komplexen Spannungsfeldern arbeiten, ist die Bruchzähigkeit von entscheidender technischer Bedeutung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungen liegen typischerweise im Bereich von $15\text{--}35 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ und sind damit deutlich höher als bei reinem Wolfram ($<10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$). Die Leistung wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- **Gehalt an zäher Phase (Ni/Cu)** : Die zähe Metallmatrix bietet einen Kanal für die Risspassivierung und Energiedissipation;
- **Mehrphasige Grenzflächenverteilung** : Dispersionsverstärkte Partikel und diskontinuierliche Strukturen können die Rissausbreitung behindern;
- **Mikroriss-Absorptionsmechanismus** : fördert die Bildung einer Pufferzone an der Rissspitze.

Zu den Verbesserungsmaßnahmen gehören: Hinzufügen von Seltenerdelementen (wie La und Ce) durch Mikrolegierungen oder Erreichen einer „stark-zähen“ Synergie durch die Gestaltung einer Zweiphasenstruktur.

4. Einfluss der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften

Rohre aus Wolframlegierungen sind temperaturempfindlich:

- Im Bereich von **600–800 ° C** bleibt die Zugfestigkeit relativ stabil ;
- Temperaturen über **1000 ° C** kommt es bei einigen Legierungssystemen aufgrund von Korngrenzenschwächung, Phasenausscheidung und anderen Phänomenen zu einem Festigkeitsverlust.
- Einige hochtemperaturbeständige W-Legierungssysteme (wie W-Re-Ni-Fe) können im Bereich von **1200–1500 ° C immer noch eine Festigkeit von über 500 MPa aufrechterhalten** .

Daher ist es bei Rohren aus Wolframlegierungen unter Hochtemperatur-Betriebsbedingungen notwendig, Strategien zur Wärmebehandlungsverstärkung und Mikrostrukturkontrolle zu kombinieren, um die Leistungsver schlechterung zu verzögern.

5. Vergleich der Festigkeitsanforderungen in typischen Anwendungsszenarien

Anwendungsbereiche	Typische Festigkeitsanforderungen (MPa)	veranschaulichen
Schubzubehör für die Luft- und Raumfahrt	>900	Hält Hochgeschwindigkeitsrotation/Stößen/Temperaturunterschieden stand
Militärische panzerbrechende/kinetische Energiekomponenten	800–1000	Hohe Schlagfestigkeit und stabile Trägheitsleistung
Nukleare Abschirmkomponenten	600–800	Ausgewogene Festigkeit und Zähigkeit, beständig gegen Strahlung/thermische Ermüdung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Medizinische Hochleistungsgeräte (Strahlentherapie)	500–700	Stabile Unterstützung/Abschirmung, keine maximale Festigkeit erforderlich
---	---------	---

VI. Zusammenfassung

Rohre aus Wolframlegierungen beweisen ihre Kernkompetenz als „strukturell-funktioneller Hochleistungsverbundwerkstoff“. Unterstützt durch mehrdimensionale Technologien wie Legierungssystemoptimierung, pulvermetallurgische Verdichtungskontrolle, Wärmebehandlungsregelung und Mikrostrukturdesign vereinen moderne Rohre aus Wolframlegierungen heute **hohe Festigkeit und Bearbeitbarkeit** und erfüllen so die hohen Anforderungen wichtiger Branchen wie der Kernenergie, der Luft- und Raumfahrt, des Militärs und der Medizin.

2.3 Härte, Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre werden aufgrund ihrer hohen Dichte und hervorragenden mechanischen Eigenschaften häufig in der Luft- und Raumfahrt, im Nuklearschutz, in der militärischen Ausrüstung und im High-End-Maschinenbau eingesetzt. Härte, Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit sind wichtige Indikatoren für die Bewertung der Leistung von Wolframlegierungsrohren unter realen Arbeitsbedingungen und wirken sich direkt auf ihre Lebensdauer, Sicherheit und Zuverlässigkeit aus.

1. Härteeigenschaften von Wolframlegierungsrohren

Die Härte spiegelt die Fähigkeit eines Materials wider, lokaler plastischer Verformung zu widerstehen und ist ein wichtiger Indikator für die Verschleißfestigkeit und Belastbarkeit von Rohren aus Wolframlegierungen. Die Härte von Rohren aus Wolframlegierungen wird hauptsächlich durch die Legierungszusammensetzung, den Herstellungsprozess und den Wärmebehandlungsprozess beeinflusst.

- **Härtearten und -messmethoden**

werden üblicherweise anhand der Rockwellhärte (HRC), Vickershärte (HV) und Brinellhärte (HB) gemessen. Der typische Härtebereich für W-Ni-Fe-Wolframlegierungsrohre liegt bei **HV250–450**, entsprechend **HRC30–45**.

- **Faktoren, die die Härte beeinflussen**

1. **Wolframgehalt** : Ein hoher Wolframgehalt erhöht im Allgemeinen die Härte, da Wolfram selbst extrem hart und starr ist.
2. **der Metallbindungsphasen** : Wenn das Verhältnis der Zähigkeitsphasen wie Ni und Fe zu hoch ist, verringert sich die Gesamthärte, die Zähigkeit wird jedoch verbessert.
3. **Wärmebehandlung und Kaltbearbeitung** : Durch geeignete Wärmebehandlung kann die Struktur verfeinert und verstärkt und die Härte verbessert werden; durch Kaltbearbeitung kann die Versetzungsdichte erhöht und der Härtewert weiter erhöht werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. **Mikrostrukturmorphologie** : Gleichmäßige und feine Körner und **eine** dichte, porenfreie Struktur tragen zur Verbesserung der Härte bei.

2. Verschleißfestigkeit von Wolframlegierungsrohren

Rohre aus Wolframlegierung weisen eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit in Umgebungen mit hoher Abriebbelastung auf und eignen sich für Anwendungen, die mechanischer Reibung, Stößen und Verschleiß ausgesetzt sind.

- **Verschleißschutzmechanismus**
 1. **Dispersionsverstärkung der Phase mit hoher Härte** : Die Wolframphasenpartikel in der Wolframlegierung haben eine hohe Härte und widerstehen Oberflächenverschleiß wirksam.
 2. **Zähigkeitsunterstützung der Metallmatrix** : Nickel- und Eisenmatrix bieten eine gewisse Plastizität, um äußere Kräfte abzupuffern und zu verhindern, dass das Material reißt und sich ablöst.
 3. **Oberflächendichte** : Die dichte und porenfreie Materialstruktur reduziert wirksam das Eindringen von Schleifpartikeln und korrosiven Medien und verlängert so die Lebensdauer .
- **Bewertungsindex für die Verschleißfestigkeit**
 - **Verschleißrate ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{h}$ oder $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)**
 - **Verschleißkoeffizient**
 - **Reibungskoeffizient**
- **Beispiel für experimentelle Forschungsdaten:**

W-Ni-Fe-Wolframlegierungsrohre weisen bei Schleifscheiben-Verschleißtests eine geringe Verschleißrate auf, etwa 1/5 der von gewöhnlichem Stahl, und weisen damit eine extrem hohe Verschleißfestigkeit auf.

3. Schlagfestigkeit von Wolframlegierungsrohren

Schlagfestigkeit ist die Fähigkeit eines Materials, plötzlichen Belastungen oder dynamischen Aufprallschäden standzuhalten, was in direktem Zusammenhang mit der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsrohren unter komplexen Arbeitsbedingungen steht.

- **Schlüsselfaktoren für die Schlagfestigkeit von Wolframlegierungsrohren**
 1. **Matrixzähigkeit** : Ni und Fe wirken als metallische Bindungsphasen, sorgen für plastische Verformungsfähigkeit und verteilen Spannungskonzentrationen.
 2. **Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur** : Gleichmäßige Korngröße und Phasengrenzfläche reduzieren Rissbildungspunkte und verbessern die Schlagzähigkeit.
 3. **Verdichtungsgrad** : Eine hohe Dichte reduziert Defekte wie Löcher und Risse und verbessert so effektiv die Schlagfestigkeit.
 4. **Verstärkende Wirkung zugesetzter Elemente** : Mikrolegierungselemente wie Titan und Niob können die Körner verfeinern und die Zähigkeit verbessern.
- **Testmethode**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Schlagprüfungen** (wie der Charpy-Schlagversuch) messen die absorbierte Schlagenergie (J).
- **Dynamische Ermüdungstests** untersuchen das Versagensverhalten von Materialien unter zyklischer Belastung
- **Typische Leistungsdaten:**
Die Charpy-Schlagzähigkeit von Standardrohren aus W-Ni-Fe-Wolframlegierungen liegt im Allgemeinen zwischen **5 und 15 J/ cm²**. **Hochzähe Legierungen können** durch Wärmebehandlung und Mikrolegierung auf über 20 J/cm² erhöht werden.

4. Synergistische Optimierung von Härte, Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit

Bei Rohren aus Wolframlegierungen müssen Härte, Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit häufig in einem optimalen Gleichgewicht stehen, um eine erhöhte Sprödigkeit aufgrund übermäßiger Härte oder eine erhöhte Zähigkeit auf Kosten der Verschleißfestigkeit zu vermeiden.

- **Legierungsdesignstrategie**
 1. Durch die Anpassung des Verhältnisses von W und Ni/Fe können sowohl Härte als auch Zähigkeit erreicht werden.
 2. Durch die Einführung von Nanopartikeln und Mikrolegierungstechnologie können Körner verfeinert und die mechanischen Gesamteigenschaften verbessert werden.
 3. Verbund oberfläche beschichtung technologie (wie TiN , CrN usw.) wird verwendet, um die Oberflächenhärte und Verschleißfestigkeit zu verbessern und gleichzeitig die Zähigkeit des Substrats zu schützen .
- **Prozesskontrolle:**
Kontrollieren Sie die Pulverpartikelgrößenverteilung, den Verdichtungsdruck und den Sinterprozess präzise, um inhärente Defekte zu reduzieren und die Dichte und Leistungskonsistenz zu verbessern.

5. Anwendungsbeispiele

- **Hochfeste Rohre für die Luft- und Raumfahrt** : Das Material muss sowohl eine hohe Härte als auch Schlagfestigkeit aufweisen. Rohre aus Wolframlegierungen bieten hervorragenden mechanischen Schutz und Dimensionsstabilität.
- **Kernschutzrohre** : weisen eine hervorragende Verschleißfestigkeit und strukturelle Belastbarkeit in Umgebungen mit hoher Strahlung auf und gewährleisten so die Sicherheit der Ausrüstung .
- **Militärische panzerbrechende Hülle** : Härte und Verschleißfestigkeit sind Schlüsselfaktoren zur Gewährleistung der panzerbrechenden Wirkung und der strukturellen Integrität.

VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre sind ihre wichtigsten Wettbewerbsvorteile in einer Vielzahl von Anwendungen. Durch wissenschaftliches Materialdesign und fortschrittliche Herstellungsverfahren erreichen Wolframlegierungsrohre eine optimale Kombination aus Härte und Zähigkeit, verlängern die Lebensdauer und Sicherheit und erfüllen gleichzeitig anspruchsvolle Betriebsbedingungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.4 Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient und Hochtemperaturstabilität von Wolframlegierungsrohren

Rohre aus Wolframlegierungen spielen bei zahlreichen Hochtemperatur- und extremen Arbeitsbedingungen eine Schlüsselrolle. Ihre Wärmeleitfähigkeit, ihr Wärmeausdehnungskoeffizient und ihre Hochtemperaturstabilität wirken sich direkt auf ihre strukturelle Stabilität und Lebensdauer aus, was sie besonders wichtig für die Luft- und Raumfahrt, die Nuklearindustrie und Hochtemperaturofenrohre macht.

1. Wärmeleitfähigkeit von Wolframlegierungsrohren

Die Wärmeleitfähigkeit bezeichnet die Fähigkeit eines Materials, Wärmeenergie zu leiten. Eine hohe Wärmeleitfähigkeit trägt dazu bei, Wärme schnell abzuleiten und Materialschäden durch lokale Überhitzung zu vermeiden.

- Reines Wolfram hat eine extrem hohe Wärmeleitfähigkeit von etwa $170 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Die Zugabe von Bindephasen wie Nickel und Eisen zu Wolframlegierungen verringert diese Wärmeleitfähigkeit jedoch. Typische W-Ni-Fe- **Rohren** aus **Wolframlegierungen** haben eine Wärmeleitfähigkeit von etwa $50\text{--}70 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, immer noch deutlich höher als bei den meisten Metallen.
- **Einflussfaktoren**
 1. **Zusammensetzungsverhältnis** : Je höher der Wolframgehalt, desto besser die Wärmeleitfähigkeit; je höher der Bindephasengehalt, desto geringer die Wärmeleitfähigkeit.
 2. **Mikrostruktur und Dichte** : Eine dichte, feinkörnige und porenfreie Struktur fördert die Wärmeleitung.
 3. **Temperatur** : Die Wärmeleitfähigkeit nimmt im Allgemeinen mit steigender Temperatur ab, Wolframlegierungen behalten jedoch weiterhin eine gute Wärmeleitfähigkeit.
- **Anwendungsbedeutung:**

Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit eignen sich Wolframlegierungsrohre für Hochtemperatur-Wärmetauscher, Wärmeableitungsrohre und Kühlsysteme elektronischer Geräte, um einen thermisch stabilen Betrieb der Geräte zu gewährleisten.

2. Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframlegierungsrohren

Der Wärmeausdehnungskoeffizient spiegelt die Eigenschaft der Dimensionsänderung eines Materials aufgrund von Temperaturänderungen wider und ist ein wichtiger Parameter, der bei der Konstruktion von Hochtemperatur-Strukturteilen berücksichtigt werden muss.

- **Der**

lineare Ausdehnungskoeffizient von Rohren aus Wolframlegierungen liegt typischerweise im Bereich von $4,5 \times 10^{-6} / \text{K}$ bis $6,5 \times 10^{-6} / \text{K}$ (Raumtemperatur bis ca. $800 \text{ }^\circ\text{C}$). Dieser Wert ist niedriger als der der meisten Stahlmaterialien, was auf eine gute Dimensionsstabilität hindeutet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Einflussfaktoren**

1. **Legierungszusammensetzung** : Die geringe Wärmeausdehnung von Wolfram und Molybdän dominiert die Gesamtleistung, während **metallische** Bindephasen wie Ni und Fe den Wärmeausdehnungskoeffizienten leicht erhöhen.
2. **Mikrostruktur** : Gleichmäßige Kornstruktur und dichte Struktur reduzieren lokal ungleichmäßige Wärmeausdehnung und -kontraktion.
3. **Wärmebehandlungsstatus** : Eine angemessene Wärmebehandlung hilft, innere Spannungen abzubauen und die Verformung durch Wärmeausdehnung zu verringern .

- **Überlegungen zur technischen Anwendung:**

Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient ermöglicht es Rohren aus Wolframlegierungen, ihre Dimensionsstabilität in Umgebungen mit hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten, wodurch thermische Spannungsrisse und Verformungen vermieden werden, und ist besonders für Präzisions-Hochtemperaturrohrleitungen und mechanische Komponenten geeignet.

3. Hohe Temperaturstabilität von Wolframlegierungsrohren

Unter Hochtemperaturstabilität versteht man die Fähigkeit eines Materials, seine physikalischen und mechanischen Eigenschaften sowie seine chemische Struktur unter Hochtemperaturbedingungen beizubehalten. Sie ist entscheidend für die Beurteilung, ob Rohre aus Wolframlegierungen über einen langen Zeitraum in extremen Umgebungen funktionieren.

- **Thermische Stabilitätsleistung**

1. **Vorteil des hohen Schmelzpunkts** : Der Schmelzpunkt von Wolfram liegt bei bis zu 3422 °C und Rohre aus Wolframlegierung weisen eine extrem hohe Temperaturbeständigkeit auf.
2. **Oxidationsbeständigkeit** : Reines Wolfram bildet in einer oxidierenden Umgebung mit hohen Temperaturen leicht eine Oxidschicht. Rohre aus **Wolframlegierungen** verbessern ihre Oxidationsbeständigkeit durch Zusammensetzungskontrolle und Oberflächenbeschichtungstechnologie.
3. **Erhaltung der mechanischen Eigenschaften** : Rohre aus Wolframlegierungen können bei hohen Temperaturen ihre hohe Festigkeit und Härte bewahren und so die strukturelle Stabilität gewährleisten.

- **Einflussfaktoren**

1. **Legierungsdesign** : Angemessene Mengen an Ni, Fe und Mikrolegierungselementen wie Titan und Niob verbessern die Hochtemperaturleistung und Oxidationsbeständigkeit .
2. **Oberflächenbehandlung** : Oxidationsbeschichtung, Keramikbeschichtung usw. zur Verbesserung des Oberflächenschutzes .
3. **Betriebsumgebung** : Die Leistung im Vakuum und in einer hochreinen Argonumgebung ist besser als in **einer** sauerstoffreichen Umgebung.

- **Anwendungsfälle:**

Rohre aus Wolframlegierungen weisen eine ausgezeichnete thermische Stabilität in

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hochtemperatur-Ofenrohren, Kühlrohren von Flugzeugtriebwerksturbinen und Hochtemperatur-Strukturteilen von Kernreaktoren auf.

4. Umfassende Strategie zur Optimierung der thermischen Leistung von Wolframlegierungsrohren

Um die Leistung von Wolframlegierungsrohren in Umgebungen mit extrem hohen Temperaturen zu verbessern, werden üblicherweise die folgenden Optimierungsmethoden verwendet:

- **Das Materialdesign**
kombiniert einen hohen Wolframgehalt mit einem geeigneten Bindephasenverhältnis, um ein Gleichgewicht zwischen hoher Wärmeleitfähigkeit und geringer Wärmeausdehnung zu erreichen.
- **Durch die Regulierung der Mikrostruktur**
werden Körner verfeinert, Poren reduziert und Sinter- und Wärmebehandlungsprozesse optimiert.
- **Die Oberflächentechnologie**
verwendet eine Antioxidationsbeschichtung zur Verlängerung der Lebensdauer.
- **Das an die Umwelt anpassbare**
Design passt sich an Legierungssysteme in verschiedenen Hochtemperaturumgebungen an, um unterschiedliche industrielle Anforderungen zu erfüllen.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre haben sich mit ihrer hervorragenden Wärmeleitfähigkeit, ihrem niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten und ihrer außergewöhnlichen Hochtemperaturstabilität zu einem unverzichtbaren Schlüsselmaterial für Hochtemperaturumgebungen entwickelt. Durch wissenschaftliche Zusammensetzungsgestaltung und Prozessoptimierung kann die thermische Leistung weiter verbessert werden, um die strengen Anforderungen an Hochleistungsrohre in Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie und dem Hochtemperaturmaschinenbau zu erfüllen.

2.5 Elektrische Eigenschaften, magnetische Reaktion und Strahlungsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre werden aufgrund ihrer hervorragenden elektrischen Eigenschaften, magnetischen Reaktionseigenschaften und Strahlungsbeständigkeit häufig in modernen Hightech-Bereichen eingesetzt, insbesondere in der Nuklearindustrie, der Luft- und Raumfahrt und der Elektronik. Ein tiefes Verständnis und die Optimierung dieser Eigenschaften sind entscheidend für den stabilen Betrieb von Wolframlegierungsrohren in extremen Umgebungen.

1. Elektrische Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren

- **Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand**
Da Wolframmetall selbst eine gute elektrische Leitfähigkeit besitzt, beträgt der spezifische Widerstand von reinem Wolfram etwa $5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$. Rohre aus Wolframlegierungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

werden jedoch üblicherweise mit Nickel, Eisen und anderen Bindephasen dotiert. Diese Elemente haben einen hohen spezifischen Widerstand, wodurch die Gesamtleitfähigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen niedriger ist als die von reinem Wolfram und im Allgemeinen zwischen 10^{-7} und 10^{-6} liegt. Im Bereich von $\Omega \cdot m$.

- **Einflussfaktoren**

1. **Zusammensetzungsverhältnis** : Je höher der Wolframgehalt, desto besser die Leitfähigkeit; je höher der Gehalt der Bindephase, desto höher der spezifische Widerstand .
2. **Mikrostruktur** : Eine dichte und porenfreie Struktur fördert die Elektronenleitung, während Poren oder Risse den Widerstand deutlich erhöhen.
3. **Temperatureffekt** : **Der** spezifische Widerstand steigt mit zunehmender Temperatur. Besondere Aufmerksamkeit sollte der Widerstandsänderung von Wolframlegierungsrohren in Hochtemperaturumgebungen gewidmet werden.

- **Anwendungsbedeutung**

Wolframlegierungsrohre eignen sich für Hochtemperatur-Elektronikgeräte und Elektrodenmaterialien, die eine bestimmte elektrische Leitfähigkeit erfordern. Sie spielen auch im Bereich der elektromagnetischen Abschirmung eine wichtige Rolle.

2. Magnetische Reaktionseigenschaften von Wolframlegierungsrohren

- **ist**

ein paramagnetisches Metall mit einer schwachen magnetischen Reaktion, aber die ferromagnetischen Elemente wie Eisen und Nickel, die in die Legierung dotiert sind, verbessern die gesamten magnetischen Eigenschaften, wodurch das Wolframlegierungsrohr eine gewisse magnetische Reaktion aufweist.

- **Magnetische Leistung**

1. **Mischung aus Paramagnetismus und Ferromagnetismus** : Das Verhältnis der ferromagnetischen Komponenten in Wolframlegierungsrohren bestimmt die Stärke ihrer magnetischen Eigenschaften.
2. **Magnetische Permeabilität** : Mit steigendem Eisen- und Nickelgehalt steigt die magnetische Permeabilität, was sich positiv auf die Abschirmung magnetischer Felder auswirkt.
3. **Hysterese und Koerzitivkraft** : Die Hystereseschleifeneigenschaften des Legierungsrohrs beeinflussen seinen Energieverlust und seine Leistung in einem wechselnden Magnetfeld.

- **Anwendungsbereiche**

Aufgrund ihrer magnetischen Reaktionseigenschaften eignen sich Rohre aus Wolframlegierungen möglicherweise als Neutronenabsorptionsmaterialien für die elektromagnetische Abschirmung, als Magnetfeldsensoren und in der Nuklearindustrie.

3. Strahlungsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren

- **Stabilität in Strahlungsumgebungen: Rohre aus Wolframlegierungen**

verfügen aufgrund der hohen Ordnungszahlen der Elemente Wolfram und Molybdän über

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hervorragende Strahlungsabschirmungseigenschaften und können Gammastrahlen, Neutronen und andere hochenergetische Teilchen wirksam blockieren.

- **Strahlungsinduzierte Materialveränderungen**

1. **Strahlenschäden** : Hochenergetische Strahlung kann Gitterdefekte, vermehrte Versetzungen und mikrostrukturelle Veränderungen verursachen, die die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigen .
2. **Strahleninduzierte Verhärtung und Versprödung** : Bei längerer Bestrahlung nimmt die Härte des Materials zu, die Duktilität jedoch ab, was zur Gefahr eines Sprödbruchs führen kann.
3. **Legierungsstabilität** : Durch eine vernünftige Konstruktion können Legierungssysteme wie Wolfram, **Molybdän** , Nickel und Eisen Phasenänderungen und Leistungseinbußen durch Strahlung wirksam verhindern.

- **Technische Anwendungen:**

Rohre aus Wolframlegierungen werden häufig in Abschirmmaterialien für Kernreaktoren, in Transportleitungen für Radioisotope und in Strukturteilen von Strahlentherapiegeräten verwendet, um die Sicherheit von Geräten und Personal zu gewährleisten.

4. Leistungsoptimierung und zukünftige Forschungsrichtungen

- **Eine verbesserte elektrische Leistung wird**

durch Reinheitsverbesserung und Mikrostrukturkontrolle erreicht, um Verunreinigungen und Poren zu reduzieren, den spezifischen Widerstand zu senken und die Stabilität zu verbessern.

- **Die magnetische Reaktionssteuerung**

passt den Eisen- und Nickelgehalt präzise an, um die magnetischen Eigenschaften zu optimieren und so unterschiedliche Abschirmungs- und Sensoranforderungen zu erfüllen.

- **Die Strahlungstoleranz wird**

durch den Einsatz von Mikrolegierungs-, Nanoverstärkungs- und Oberflächenbeschichtungstechnologien verbessert, um die Beständigkeit gegen Strahlungsschäden zu verbessern und die Lebensdauer zu verlängern.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre weisen einzigartige Vorteile hinsichtlich elektrischer Eigenschaften, magnetischer Reaktion und Strahlungsbeständigkeit auf und sind daher ein unverzichtbarer Werkstoff in der anspruchsvollen Kernenergie-, Luft- und Raumfahrt- und Elektronikindustrie. Durch kontinuierliche Materialentwicklung und Prozessoptimierung wird die Leistung von Wolframlegierungsrohren weiter verbessert, um den vielfältigen Anforderungen zukünftiger extremer Arbeitsbedingungen gerecht zu werden.

2.6 Analyse der Korrosionsbeständigkeit und chemischen Stabilität von Wolframlegierungsrohren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsrohre werden aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften häufig in der Nuklearindustrie, der Luft- und Raumfahrt, der Elektronik und anderen Bereichen eingesetzt. Im praktischen Einsatz sind Wolframlegierungsrohre jedoch häufig verschiedenen korrosiven Medien und komplexen chemischen Umgebungen ausgesetzt. Daher ist eine eingehende Untersuchung ihrer Korrosionsbeständigkeit und chemischen Stabilität von großer Bedeutung.

1. Überblick über die Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren

Wolfram selbst ist ein äußerst stabiles Übergangsmetall mit hoher chemischer Inertheit und Korrosionsbeständigkeit. Der Wolframgehalt in Wolframlegierungsrohren ist üblicherweise hoch, wodurch sie in verschiedenen korrosiven Umgebungen eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Die Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren beruht hauptsächlich auf folgenden Aspekten:

- **Die Korrosionsbeständigkeit von Wolfram**

Wolfram hat einen hohen Schmelzpunkt (3422 °C) und eine extrem starke chemische Stabilität. Es bleibt in einer Vielzahl von sauren und alkalischen Umgebungen stabil, insbesondere in neutralen und schwach sauren und alkalischen Umgebungen, und zeigt eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit.

- **Einfluss der Legierungszusammensetzung:**

Obwohl die Bindungsphasen wie Nickel, Eisen und Kupfer in Wolframlegierungsrohren die mechanischen Eigenschaften und die Verarbeitungsleistung verbessern, ist ihre Korrosionsbeständigkeit geringer als die von Wolfram. Daher haben das Legierungszusammensetzungsverhältnis und die Elementverteilung einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtkorrosionsbeständigkeit.

- **Die dichte Mikrostruktur wird**

durch hochdichtes Sintern und optimierte Wärmebehandlung erreicht, wodurch Poren und Risse reduziert werden, das Eindringen korrosiver Medien wirksam verhindert und die Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren verbessert wird.

2. Leistung von Wolframlegierungsrohren in verschiedenen korrosiven Medien

1. **Korrosionsverhalten in sauren Umgebungen:**

Wolframlegierungsrohre weisen eine gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber den meisten Mineralsäuren (wie Schwefelsäure und Salzsäure) auf. In Umgebungen mit konzentrierten Säuren und hohen Temperaturen kann sich jedoch ein Schutzfilm, beispielsweise aus Wolframoxid, auf der Wolframoberfläche bilden, der einen gewissen Passivierungsschutz bietet. Bindephasen wie Nickel und Eisen weisen eine schlechte Korrosionsbeständigkeit auf und neigen zu lokaler Korrosion, was die Gesamtleistung beeinträchtigt.

2. **Wolframlegierungsrohre sind auch in alkalischen Umgebungen gut verträglich. Die chemische Stabilität von Wolfram sorgt dafür, dass es durch alkalische Lösungen nicht leicht korrodiert.**

Die Eisen- und Nickelbestandteile in der Legierung können jedoch zu unterschiedlich starker Korrosion führen, die durch Legierungsdesign und Oberflächenbehandlung verbessert werden muss.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Salznebel und Meeresumwelt

stellen eine Herausforderung für die Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren dar, insbesondere von solchen mit Chloridionen. Oberflächen von Wolframlegierungen sind anfällig für mikroskopische Lochfraß, und eine langfristige Einwirkung von Meeresklima kann zu einer Verringerung der Korrosionsbeständigkeit führen. Eine geeignete Oberflächenbeschichtung und Schutzmaßnahmen sind entscheidend für die Lebensdauer von Wolframlegierungsrohren in solchen Umgebungen.

4. hohen

Temperaturen bildet sich ein dichter WO_3 -Oxidfilm. Dieser Film schützt vor weiterer Oxidation. Bei extrem hohen Temperaturen und in einer stark oxidierenden Umgebung kann der Film jedoch instabil werden, was zu einer beschleunigten Oxidation führt. Daher muss die Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen durch Legierungselemente und Oberflächenschutz verbessert werden.

3. Faktoren, die die chemische Stabilität von Wolframlegierungsrohren beeinflussen

- **Durch die Verteilung der Legierungselemente und**
die gleichmäßige Verteilung der Bindephasen wie Nickel und Eisen an der Grenzfläche und deren gute Bindung mit der Wolframmatrix kann das Eindringen des korrosiven Mediums entlang der Grenzfläche wirksam verhindert werden.
- **Mikrostruktur und Porosität: Rohre aus Wolframlegierungen mit hoher Dichte und geringer Porosität**
verbessern die Korrosionsbeständigkeit erheblich. Poren und Mikrorisse sind die Hauptkanäle für das Eindringen korrosiver Medien.
- **Oberflächenzustand und Beschichtungstechnologie**
Die Oberfläche von Wolframlegierungsrohren wird durch Schleifen, Polieren und Beschichten dichter und glatter, wodurch die Korrosionsbeständigkeit deutlich verbessert wird.
- **da die chemischen Eigenschaften des Umgebungsmediums,**
Temperatur, pH-Wert, Redoxpotential usw. die Korrosionsrate und Korrosionsform von Wolframlegierungsrohren direkt beeinflussen.

4. Strategien zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren

1. **Optimieren Sie die Legierungszusammensetzung und fügen Sie durch Mikrolegierung Spuren korrosionsbeständiger Elemente (wie Molybdän, Vanadium, Chrom usw.) hinzu, um die allgemeine chemische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit des Wolframlegierungsrohrs zu verbessern.**
2. **Der verbesserte Herstellungsprozess**
nutzt fortschrittliche Pulvermetallurgie-Technologie, heißisostatische Presstechnologie usw., um eine dichte und gleichmäßige Legierungsstruktur zu erhalten und Porosität und Defekte zu reduzieren.
3. **In der Oberflächenbehandlungs- und Beschichtungstechnologie**
werden Keramikbeschichtungen, Metalloxidbeschichtungen, PVD/CVD und andere

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

physikalische Gasphasenabscheidungstechnologien verwendet, um die Oberflächenhärte und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.

4. **Wartung und Kontrolle der Einsatzumgebung**

Kontrollieren Sie die Feuchtigkeit, Temperatur und Konzentration korrosiver Medien in der Einsatzumgebung und kombinieren Sie regelmäßige Wartung, um die Lebensdauer von Wolframlegierungsrohren zu verlängern.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre bieten hervorragende Korrosionsbeständigkeit und chemische Stabilität, insbesondere in neutralen und leicht korrosiven Umgebungen. Durch rationales Legierungsdesign, fortschrittliche Herstellungsverfahren und Oberflächenbehandlungstechnologien wurde die Stabilität von Wolframlegierungsrohren in rauen korrosiven Umgebungen deutlich verbessert. Durch die kontinuierliche Entwicklung neuer Materialien und Verfahren wird die Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren auch in Zukunft den strengen Anforderungen hochwertiger Anwendungen gerecht.

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/cm³), 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

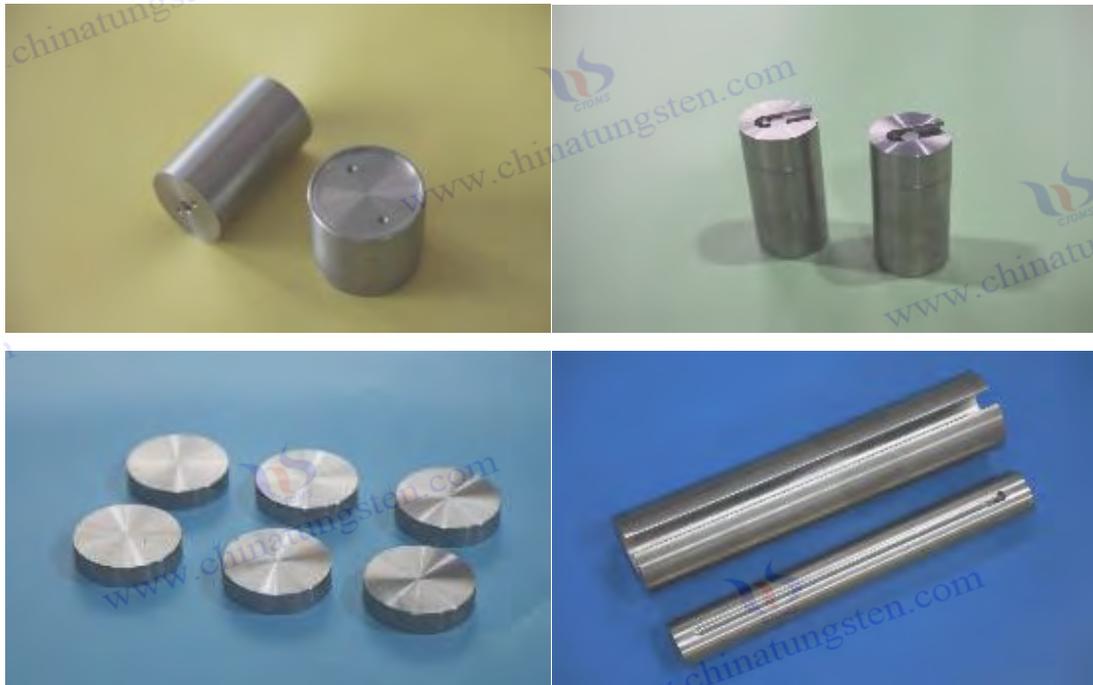
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: 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

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



Kapitel 3 Herstellungs- und Formtechnologie von Wolframlegierungsrohren

3.1 Rohstoffvorbereitung und Pulvereigenschaftenanalyse von Wolframlegierungsrohren

Qualität von Wolframlegierungsrohren hängt nicht nur von der Legierungszusammensetzung, sondern auch von der Auswahl der Rohstoffe und den Eigenschaften des Pulvers ab. Die Qualität der Rohstoffe und die Eigenschaften des Pulvers wirken sich direkt auf die Stabilität des nachfolgenden Herstellungsprozesses sowie auf die Dichte, die mechanischen Eigenschaften und die Mikrostruktur des Endprodukts aus. Daher sind die Rohstoffvorbereitung und die Analyse der Pulvereigenschaften entscheidende Ausgangspunkte im Herstellungsprozess.

1. Auswahl der Rohstoffe für Wolframlegierungsrohre

Wolframlegierungsrohre enthalten hochreines Wolframpulver und Bindemetallpulver (z. B. Nickelpulver, Eisenpulver, Kupferpulver usw.). Wolframpulver als Matrixelement bestimmt die Dichte und die grundlegenden physikalischen Eigenschaften der Legierung; während das Bindemetall die Bearbeitbarkeit, Zähigkeit und die allgemeinen mechanischen Eigenschaften der Legierung beeinflusst.

- **Qualitätsanforderungen für Wolframpulver:**

Wolframpulver sollte hochrein (typischerweise Wolframgehalt $\geq 99,95\%$) und arm an Sauerstoff und Verunreinigungen sein, um durch Verunreinigungen verursachte Leistungseinbußen zu vermeiden. Das Pulver sollte eine gleichmäßige und mäßig verteilte Partikelgröße (in der Regel 1–10 Mikrometer) aufweisen und eine kugelförmige oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

subsphärische Form haben, was eine gute Fließfähigkeit und Verdichtungsdichte des Pulvers fördert.

- **Pulver**

als primäre Bindemetalle müssen eine geeignete Partikelgrößenverteilung und gute Reinheit aufweisen. Sie sind typischerweise kleiner als Wolframpulver, um eine gleichmäßige Verteilung zu gewährleisten und beim Sintern eine gute Bindungsphase zu bilden. Manchmal wird Kupferpulver hinzugefügt, um die Wärmeleitfähigkeit und die mechanischen Eigenschaften zu verbessern.

2. Analyse der physikalischen Eigenschaften von Wolframlegierungsrohrpulver

Die physikalischen Eigenschaften des Pulvers sind Schlüsselfaktoren, die den Formungsprozess beeinflussen. Dazu gehören vor allem die Partikelgrößenverteilung, die spezifische Oberfläche, die Fließfähigkeit, die Schüttdichte und die Partikelmorphologie.

- **Partikelgrößenverteilung und -morphologie**

wirken sich direkt auf die Gleichmäßigkeit und Dichte der Verdichtung aus. Feine Pulver erleichtern die Sinterverdichtung, zu feine Pulver neigen jedoch zur Agglomeration und weisen eine schlechte Fließfähigkeit auf, was die Verdichtung erschwert. Sphärische oder nahezu kugelförmige Pulver erleichtern aufgrund ihrer hervorragenden Fließeigenschaften eine gleichmäßige Füllung während der Verdichtung.

- **Die Oberfläche**

vergrößert die Kontaktfläche zwischen den Pulvern, was sich positiv auf die Sinterdiffusion und die Bindung auswirkt, führt aber auch leicht zur Feuchtigkeitsaufnahme, Agglomeration und Oxidation des Pulvers und die Lagerumgebung des Pulvers muss streng kontrolliert werden.

- **Die Fließfähigkeit**

gewährleistet eine gleichmäßige Füllung der Form und eine effiziente Formgebung. Eine unzureichende Fließfähigkeit führt zu einer ungleichmäßigen Pulveransammlung und instabilen Abmessungen des Formprodukts.

- **Dichte**

und Klopfdichte des Ausgangspulvers beeinflussen die Dichte des Grünkörpers nach dem Pressen und somit die endgültige Dichte und Leistung des Rohrs nach dem Sintern.

3. Chemische Zusammensetzung des Pulvers und Verunreinigungskontrolle

Wolframlegierungsrohre reagieren äußerst empfindlich auf Verunreinigungen im Pulver. Insbesondere nichtmetallische Verunreinigungen wie Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff können das Sinterverhalten und die mechanischen Eigenschaften der Legierung erheblich beeinflussen. Um die Leistungsfähigkeit von Wolframlegierungsrohren sicherzustellen, sind strenge Prüfungen der chemischen Zusammensetzung und eine Kontrolle der Verunreinigungen im Pulver unerlässlich.

- **Kontrolle des Sauerstoffgehalts:**

Sauerstoff fördert die Oxidation von Wolframpulver zu Wolframat und beeinflusst den Sinterverdichtungsprozess. Der Schlüssel zur Reduzierung des Sauerstoffgehalts liegt im

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schutz der Atmosphäre, in der sauerstoffarmen Aufbereitung und in der Kontrolle der Pulverlagerumgebung.

- **Der Einfluss von Verunreinigungselementen Die Verunreinigungselemente in** Eisen- und Nickelpulvern müssen streng begrenzt werden, um die Einführung schädlicher Elemente wie Schwefel und Phosphor zu vermeiden und so die Verschlechterung der Legierungseigenschaften und eine Beeinträchtigung der Korrosionsbeständigkeit zu verhindern.

4. Pulvervorbehandlungstechnologie

Um die Fließfähigkeit und die Sintereigenschaften des Pulvers zu verbessern, werden bei der Herstellung von Wolframlegierungsrohren häufig die folgenden Vorbehandlungstechnologien verwendet:

- **Durch das Kugelmahlen**
wird die Pulverpartikelgröße durch mechanisches Kugelmahlen verfeinert, die Partikelgrößenverteilung verbessert, die Pulverpartikelgröße gleichmäßiger gemacht und die Press- und Formleistung verbessert.
- **Sieben**
wird das Pulver sortiert und gesiebt, um große Partikel und Agglomerate zu entfernen und so die Stabilität der Pulverpartikelgröße zu gewährleisten.
- **der Gaszerstäubung**
wird die Gaszerstäubungstechnologie verwendet, um kugelförmiges Wolframpulver herzustellen, das die Vorteile einer gleichmäßigen Partikelgröße, guten Fließfähigkeit und hohen Dichte aufweist.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre haben direkten Einfluss auf deren Qualität und Leistung. Durch die richtige Mischung von hochreinem, gleichmäßigem Wolframpulver mit dem Bindemetallpulver und die strenge Kontrolle von Parametern wie Pulverpartikelgröße, Fließfähigkeit und Verunreinigungsgehalt können die Stabilität des Wolframlegierungsrohr-Herstellungsprozesses und die hervorragende Leistung des Endprodukts gewährleistet werden. Mit der Entwicklung fortschrittlicher Pulveraufbereitungs- und Verarbeitungstechnologien verbessert sich die Qualität der Rohstoffe für Wolframlegierungsrohre kontinuierlich und schafft eine solide Grundlage für die industrielle Produktion von Hochleistungs-Wolframlegierungsrohren.

3.2 Pulvermetallurgische Presstechnologie für Wolframlegierungsrohre (Formen, isostatisches Pressen)

Wolframlegierungsrohre sind hochdichte und hochfeste Funktionswerkstoffe. Pulvermetallurgisches Pressen ist ein wichtiger Schritt bei ihrer Herstellung. Durch rationelles Pressen von Pulvern lassen sich komplexe Formen, hohe Maßgenauigkeit und gleichmäßige Dichte erreichen, was die Grundlage für anschließendes Sintern und Wärmebehandlung bildet. Zu den gängigen Pulverpressverfahren gehören das Gesenkpressen und das isostatische Pressen, die jeweils

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ihre eigenen Vorteile und Anwendungsbereiche bieten und in der industriellen Produktion von Wolframlegierungsrohren weit verbreitet sind.

1. Formpresstechnologie

Beim Formpressen wird mithilfe einer speziellen Form unidirektionaler Druck auf Wolframlegierungspulver ausgeübt, wodurch das Pulver im Formhohlraum zu einer kompakten Form verdichtet wird. Formpressen ist ein einfaches Verfahren mit hoher Produktionseffizienz und eignet sich daher für die Massenproduktion von Wolframlegierungsrohren in Standardgrößen.

- **Verfahren**

1. **Pulverfüllung** : Das vorgemischte Wolframlegierungspulver wird in eine spezielle zylindrische oder röhrenförmige Form gefüllt .
2. **Formpressen** : Verwenden Sie eine hydraulische oder mechanische Presse , um hohen Druck (im Allgemeinen im Bereich von einigen zehn bis hundert MPa) auszuüben und das Pulver in der Form zu einem dichten Grünkörper zu verdichten.
3. **Entformen und Rohlingsentnahme** : Nach der Druckentlastung wird der geformte Rohling entnommen und für den anschließenden Sinterprozess vorbereitet.

- **Vorteile**

- Die Ausrüstung ist einfach, der Prozess ausgereift und eine automatisierte Produktion lässt sich leicht realisieren.
- Der Produktionszyklus ist kurz und für die Massenproduktion geeignet.
- Die Der gebildete Grünkörper ist höher und die Größenkontrolle ist besser.

- **Herausforderung**

- Einseitiger Druck kann zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Pulverdichte führen und einen Dichtegradienten im Grünkörper verursachen.
- Bei Wolframlegierungsrohren mit dünnen Wänden oder komplexen Querschnitten ist es schwierig, die Gleichmäßigkeit während der Formgebung sicherzustellen.
- Die Form nutzt sich schnell ab und die Wartungskosten sind hoch.

2. Kaltisostatisches Pressen (CIP)

Beim isostatischen Pressen wird Wolframlegierungspulver in eine flexible Form (Gummikapsel) gegeben und durch eine Hochdruckflüssigkeit (Flüssigkeit oder Gas) gleichmäßiger Druck in alle Richtungen ausgeübt. Dieses Verfahren verbessert effektiv die Dichte und Gleichmäßigkeit des Rohlings und eignet sich zur Herstellung von Wolframlegierungsrohren mit komplexen Formen und dünnen Wänden.

- **Verfahren**

1. **Befüllen und Verpacken** : Füllen Sie das Wolframlegierungspulver in die Gummiform, verschließen Sie diese und stellen Sie sicher, dass keine Luft eingeschlossen ist.
2. **Isostatisches Pressen** : Der Formbeutel wird in einen Autoklaven gelegt und eine komprimierte Flüssigkeit (wie Öl oder Wasser) wird eingespritzt, um einen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

isostatischen Druck auszuüben, der normalerweise zwischen 100 und 300 MPa liegt.

3. **Entformen** : Nach dem Ablassen des Drucks wird die weiche Form herausgenommen und die Gummibeschichtung entfernt, um einen gleichmäßigen und dichten Grünkörper zu erhalten.

- **Vorteile**

- Der ausgeübte Druck ist gleichmäßig, der Grünkörper weist eine gute Dichte und gleichmäßige Struktur auf.
- Es verfügt über eine starke Anpassungsfähigkeit und kann komplexe Querschnitte und dünnwandige Rohre formen.
- Es kann Formfehler wie Dichtegradienten und Risse wirksam reduzieren.

- **Herausforderung**

- Die Ausrüstungsinvestitionen sind hoch, der Prozessablauf komplex und der Produktionszyklus lang.
- Um die genauen Maßanforderungen zu erfüllen, ist eine anschließende Bearbeitung erforderlich.
- Das Material und die Versiegelungstechnologie des Formbeutels müssen gewährleistet sein, um ein Auslaufen zu vermeiden, das die Qualität beeinträchtigt.

3. Umfassende Anwendung von Formgebung und isostatischem Pressen

Bei der modernen Produktion von Wolframlegierungsrohren werden die Vorteile des Gesenkpressens und des isostatischen Pressens häufig kombiniert, um eine bessere Produktleistung zu erzielen. Beispielsweise wird zunächst durch Gesenkpressen schnell die Grundform des Rohlings geformt, gefolgt vom isostatischen Pressen zur Optimierung von Dichte und Gleichmäßigkeit und schließlich der mechanischen Bearbeitung und Wärmebehandlung.

4. Schlüsselfaktoren, die die Qualität des Pulverpressens beeinflussen

- **Verteilung der Pulverpartikel** : Eine gleichmäßige und moderate Partikelgröße unterstützt den Pulverfluss und die Füllung und verbessert die Pressdichte.
- **Pulververhältnis und Benetzbarkeit** : Die angemessene Mischung und Benetzbarkeit des Legierungspulvers beeinflussen die Bindung und den Verdichtungseffekt zwischen den Partikeln.
- **Druck und Geschwindigkeit** : Bei zu geringem Druck ist die Dichte unzureichend, bei zu hohem Druck können Risse entstehen, die Pressgeschwindigkeit beeinflusst den Fluss und die Gleichmäßigkeit der Verdichtung des Pulvers.
- **Formdesign** : Form, Größe und Schmierdesign der Form stehen in direktem Zusammenhang mit der Leichtigkeit der Entformung und der Maßgenauigkeit der Formgebung.

V. Fazit

Wolframlegierungsrohre sind für ihre hohe Leistungsfähigkeit von entscheidender Bedeutung. Das Gesenkpressverfahren, bekannt für seine hohe Produktionseffizienz und einfache Ausrüstung,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eignet sich für die Herstellung von Standard-Dickwandrohren. Das isostatische Pressen, bekannt für seine dichte und gleichmäßige Qualität sowie die Anpassungsfähigkeit an komplexe Strukturen, eignet sich ideal für hochwertige dünnwandige oder spezielle Formen. Die kombinierte Anwendung dieser beiden Verfahren kann die vielfältigen Anforderungen an Wolframlegierungsrohre für verschiedene Anwendungen erfüllen. Zukünftig wird das Pulverpressen mit Fortschritten bei Pulvermaterialien und Gerätetechnologie noch präziser und effizienter werden und die Leistungssteigerung und industrielle Entwicklung von Wolframlegierungsrohren maßgeblich unterstützen.

3.3 Wichtige Punkte zum Hohlformungsprozess und zur Matrizenkonstruktion für Wolframlegierungsrohre

Wolframlegierungsrohre werden häufig in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie, der Elektronik und anderen Bereichen eingesetzt. Aufgrund ihrer einzigartigen Materialeigenschaften und komplexen Herstellungsverfahren sind Hohlformtechnologie und Formdesign wichtige technische Komponenten bei der Herstellung von Wolframlegierungsrohren. Effektive Umformprozesse und ein sinnvolles Formdesign gewährleisten nicht nur die strukturelle Integrität und Maßgenauigkeit von Wolframlegierungsrohren, sondern verbessern auch die mechanischen Eigenschaften und die Lebensdauer des Endprodukts.

1. Übersicht über den Hohlformungsprozess

von Rohren aus Wolframlegierungen erfolgt typischerweise durch Gesenkpressen, isostatisches Pressen und anschließende maschinelle Bearbeitung und Wärmebehandlung. Im Vergleich zu Produkten aus massiver Wolframlegierung erschwert die Hohlstruktur die Formgebung, vor allem im Hinblick auf eine gleichmäßige Pulverfüllung, die Kontrolle der Wandstärke und den Schutz der inneren Hohlräume während der Formgebung.

- **Pulverfüllung:**
Eine gleichmäßige Pulverfüllung ist die Voraussetzung für eine gleichmäßige Wandstärke von Hohlrohren ohne Poren und Defekte. Spezielle Vibrationsvorrichtungen oder rotierende Formen werden häufig in Verbindung mit der Fülltechnologie eingesetzt, um sicherzustellen, dass das Wolframlegierungspulver vollständig auf der Innenwand der Form verteilt wird und eine gleichmäßige Pulverschicht bildet.
- **Beim Formpressen**
wird ein Zwei-Matrizen-Kompressionsverfahren verwendet. Dabei wird das Pulver durch äußeren Druck verdichtet und ein hohles Rohr aus Wolframlegierung geformt. Die innere Matrize behält die Form und Größe des Rohrhohlraums bei und verhindert so ein Kollabieren oder eine Verformung des Rohrs.
- **Durch isostatisches Pressen**
wird das Hohlrohr nach der Pulvereinkapselung durch gleichmäßigen Druck verdichtet. Diese Methode ermöglicht eine hervorragende Kontrolle der Gleichmäßigkeit der Rohrwanddicke und reduziert effektiv Dichtegradienten und Strukturdefekte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Bearbeitung und Wärmebehandlung**

Nach der Formgebung muss der Rohrblock normalerweise präzisionsbearbeitet werden, um die geplante Größe und Oberflächenqualität zu erreichen. Außerdem wird die Mikrostruktur durch einen Wärmebehandlungsprozess optimiert, um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern.

2. Wichtige Punkte des Formendesigns

Bei der Herstellung von Hohlrohren aus Wolframlegierungen müssen die Materialeigenschaften, der Umformprozess und die Struktureigenschaften des Produkts berücksichtigt werden. Zu den wichtigsten Designelementen gehören:

1. Aufgrund der hohen Härte und Sintertemperatur von Wolframlegierungspulver muss die

Form

eine hohe Verschleißfestigkeit und thermische Stabilität aufweisen. Gängige Materialien sind Hartmetall, Schnellarbeitsstahl und hitzebeständige Legierungen. Die Formoberfläche erfordert außerdem eine spezielle Behandlung, wie z. B. eine Beschichtung oder Oberflächenhärtung, um ihre Lebensdauer zu verlängern.

2. **zwischen**

dem Innen- und Außendurchmesser der Form wirkt sich direkt auf die Gleichmäßigkeit der Rohrwandstärke und die Maßgenauigkeit aus. Normalerweise werden hochpräzise Bearbeitungs- und Montagetechniken verwendet, um sicherzustellen, dass die Innen- und Außenformen koaxial sind und keine Lücken oder Fehlausrichtungen aufweisen.

3. **Gestaltung der Formentlüftung und des Pulverfüllkanals**

: Richtig gestaltete Entlüftungsöffnungen und Pulverfüllkanäle verhindern Gasstau in der Form und vermeiden so die Bildung von Poren und Einschlussfehlern. Der Entlüftungskanal sollte auf die Formstruktur abgestimmt sein, um die spätere Demontage und Reinigung zu erleichtern.

4. **Kühl- und Heizsysteme sind**

in den Form- oder Sinterprozess integriert. Die Form muss gleichmäßig temperiert werden, um lokale thermische Spannungen zu vermeiden, die Verformungen oder Risse verursachen. Eingebaute Kühlkanäle oder Heizelemente sorgen für eine präzise Temperaturregelung.

5. Aufgrund des engen Kontakts zwischen dem Wolframlegierungsrohr **und**

der Form muss ein effizientes Entformungssystem entwickelt werden, beispielsweise eine Schubstange, ein Schieber oder eine pneumatische Vorrichtung, um sicherzustellen, dass das Rohr vollständig und reibungslos ausgeworfen wird, um Schäden zu vermeiden.

6. **Lebensdauer und Wartungsfreundlichkeit der Form:**

Aufgrund der rauen Arbeitsbedingungen von Rohrformen aus Wolframlegierungen sollte bei der Konstruktion der Austausch von Verschleißteilen und die schnelle Wartung der Form berücksichtigt werden, um Ausfallzeiten und Produktionskosten zu reduzieren.

3. Prozesskontrolle beim Umformen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Durch die Druckgleichmäßigkeit**
wird eine gleichmäßige Druckverteilung beim Formen oder isostatischen Pressen gewährleistet, wodurch ungleichmäßige Wandstärken und Risse vermieden werden.
- **Die Kontrolle der Pulverfülldichte**
steuert die Füllmenge präzise, um zu verhindern, dass zu wenig Pulver zu einer schwachen Wandstärke führt oder zu viel Pulver zu Verformungen führt.
- Der Temperaturgradient während **der temperaturgesteuerten Formgebung und des Sinterns beeinflusst die Struktur und Leistung des Rohrs und muss streng überwacht und angepasst werden.**
- **Die Kontrolle der Entformungsalterung**
verhindert eine Verformung des Rohlings durch vorzeitiges Entformen. Die Entformungszeit sollte in Kombination mit den Abkühl- und Aushärtungseigenschaften des Materials optimiert werden.

4. Zukünftige Technologieentwicklungstrends

Mit der Weiterentwicklung der Fertigungstechnologie werden auch das Design und der Formungsprozess von Hohlrohrformen aus Wolframlegierungen ständig weiterentwickelt, darunter:

- **Digitales Design und Simulation**
nutzen die Finite-Elemente-Analyse (FEA), um den Formungsprozess zu simulieren, die Formstruktur und Prozessparameter zu optimieren und die Produktqualität zu verbessern.
- **Intelligente Form- und Sensorintegration**
: Die in die Form eingebetteten Sensoren überwachen Druck, Temperatur und Verschiebung in Echtzeit, um eine intelligente Rückkopplungssteuerung zu erreichen.
- **Bei der additiven Fertigung von Formen**
wird 3D-Drucktechnologie verwendet, um Formen mit komplexen Kühlkanälen und optimierten Strukturen zu erstellen, um die Effizienz der Wärmeableitung und die Gleichmäßigkeit der Formgebung zu verbessern.
- **der fortschrittlichen Pulverfülltechnologie**
kommen automatisierte Füllgeräte und rheologisch unterstützte Technologien zum Einsatz, um die Gleichmäßigkeit und Dichte der Pulververteilung zu verbessern.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre sind entscheidend für ihre hohe Leistung und Stabilität. Durch geeignete Pulverfüllung, Optimierung der Formstruktur und Kontrolle der Prozessparameter können Dichte, mechanische Eigenschaften und Maßgenauigkeit des Rohrs effektiv verbessert werden. Mit der Einführung digitaler und intelligenter Fertigungstechnologien wird der Hohlformungsprozess für Wolframlegierungsrohre verfeinert und automatisiert, um den zunehmend komplexeren Anwendungsanforderungen gerecht zu werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4 Optimierung der Sintertechnologie und Atmosphärenkontrolle von Wolframlegierungsrohren

Die Sinterung von Wolframlegierungsrohren ist einer der kritischsten Schritte im Herstellungsprozess und beeinflusst direkt die Dichte, die mechanischen Eigenschaften und die Mikrostruktur des Produkts. Aufgrund des hohen Schmelzpunkts und der einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Wolframlegierung erfordert der Sinterprozess eine präzise Kontrolle von Temperatur, Atmosphäre und Zeit, um eine hohe Verdichtung, eine gleichmäßige Struktur und hervorragende Leistung zu erreichen. Eine geeignete Atmosphäre verhindert Oxidation, Entkohlung und andere schädliche Reaktionen und verbessert so die Qualität und Lebensdauer des Endprodukts.

1. Überblick über die Sintertechnologie von Wolframlegierungsrohren

Sintern ist ein Prozess, bei dem Materialpartikel durch Diffusion zwischen Pulverpartikeln bei hohen Temperaturen verbunden und verdichtet werden. Für Rohre aus Wolframlegierungen muss das Sintern folgende Anforderungen erfüllen:

- **Hohe Dichte** : Reduziert die Porosität, verbessert die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit;
- **Gleichmäßige Struktur** : Vermeiden Sie Entmischung und grobe Körner, um die Konsistenz der mechanischen Eigenschaften zu gewährleisten.
- **Dimensionsstabilität** : Kontrollieren Sie die Sinterschrumpfung , um die Dimensionsgenauigkeit des Rohrs sicherzustellen.
- **Oberflächenqualität** : verhindert Oberflächendefekte und die Bildung von Oxidschichten .

Wolframlegierungsrohre werden hauptsächlich durch traditionelles Hochtemperatur-Vakuumsintern, Wasserstoffreduktionssintern und Heißisostatisches Pressen (HIP) hergestellt.

2. Sintertemperatur und Zeitkontrolle

- **Temperaturbereich**
von 1400 °C bis 1600 °C. Eine zu niedrige Temperatur führt zu einer unzureichenden Dichte, was sich auf Festigkeit und Härte auswirkt; eine zu hohe Temperatur kann Kornwachstum verursachen und die Zähigkeit verringern.
- **Die Haltezeit**
kann die Korngrenzendiffusion und den Porenverschluss fördern und beträgt im Allgemeinen mehrere Stunden. Eine unzureichende Haltezeit führt zu einer unzureichenden Dichte, während eine zu lange Haltezeit den Energieverbrauch erhöht und zu einer Überhitzung führen kann.
- **Durch die Heizrate**
kann eine übermäßige thermische Spannung im Material verhindert werden, die zu Rissen führen kann. Um eine schnelle Porenschrumpfung zu verhindern, wird üblicherweise langsam erhitzt, insbesondere beim Übergang von niedrigeren zu höheren Temperaturen.

3. Atmosphärenumgebung und Atmosphärenkontrolle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Wahl der Sinteratmosphäre für Wolframlegierungsrohre ist äußerst wichtig, um die Oxidation des Materials zu verhindern und die chemische Stabilität zu erhalten. Gängige Atmosphären sind:

- **Eine Vakuumumgebung**
(10^{-3} bis 10^{-5} Pa) kann Oxidation und Verunreinigung wirksam verhindern und die Legierung rein halten. Dies erfordert jedoch eine aufwendige Ausrüstung und ist kostspielig.
- **Eine reduzierende Atmosphäre**
enthält typischerweise Wasserstoff (wie H_2 oder ein $H_2 + Ar$ Mischung), die Oberflächenoxide während des Sinterns reduziert, die Verdichtung fördert und gleichzeitig eine Entkohlung verhindert. Die Reinheit und Strömung der Atmosphäre müssen streng kontrolliert werden, um das Risiko einer Wasserstoffexplosion zu vermeiden.
- **Schutzatmosphäre Eine**
Schutzatmosphäre aus Argon oder Stickstoff wird in einigen Prozessen auch verwendet, um die Oberflächenoxidation zu verringern und eignet sich für Prozesse, die weniger strenge Anforderungen an die Atmosphäre als Vakuum stellen.
- Bei einigen Verfahren **wird bei der Atmosphärenumwandlungstechnologie zunächst ein Vakuum oder eine reduzierende Atmosphäre zum Sintern verwendet und dann zum Kühlen auf eine Schutzatmosphäre umgeschaltet**, um eine thermische Oxidation zu verhindern.

4. Anwendung der Heißisostatischen Presstechnologie (HIP)

Heißisostatisches Pressen (HIP) ist eine fortschrittliche Methode zur Verdichtung von Wolframlegierungsrohren. Durch die gleichzeitige Anwendung von Wärmeenergie und isostatischem Druck in einer Hochtemperatur- und Hochdruckgasumgebung werden die Sinterdichte und die mechanischen Eigenschaften deutlich verbessert.

- **Druckbereich**
Der üblicherweise im HIP-Prozess verwendete Druck beträgt 50–200 MPa, wodurch Restporosität wirksam beseitigt wird.
- **Die Temperaturregelungstemperatur**
ist ähnlich wie beim herkömmlichen Sintern, aber aufgrund der Druckzugabe ist die Materialverdichtungsgeschwindigkeit schneller und die Kornkontrolle besser.
- **Anwendungseffekt: Durch**
HIP-Sintern kann eine äußerst gleichmäßige Feinkornstruktur erzielt werden, wodurch die Zugfestigkeit, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren erheblich verbessert wird, was sie besonders für High-End-Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt sowie der Nuklearindustrie geeignet macht.

5. Fehlerkontrolle beim Sinterprozess

Wolframlegierungsrohre weisen Porosität, Risse, Kornvergrößerung und Entmischung auf. Gezielte Optimierungsmaßnahmen umfassen:

- **Bei der Pulvervorbehandlung**
wird sphärisches hochreines Pulver verwendet, um Einschlüsse zu reduzieren und die Anfangsdichte zu verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Optimieren Sie die Druckverteilung und**
gestalten Sie die Form sinnvoll, um einen gleichmäßigen Druck während des Sinterns zu gewährleisten und lokale Dichtedefizite zu vermeiden.
- durch die Verwendung von hochreinem Gas und Reinigungsgeräten **verbessert, um Oxidation und das Eindringen von Verunreinigungen zu verhindern.**
- **Der mehrstufige Sinterprozess**
beseitigt schrittweise Poren und optimiert die Kornstruktur durch eine mehrstufige Temperaturgradientensteuerung.

6. Zukünftige Entwicklungstrends der Sinterertechnologie

- **Die intelligente Sintersteuerung**
nutzt Sensoren und Online-Überwachungstechnologie, um eine Echtzeitregelung des Sinterprozesses zu erreichen und die Ausbeute zu verbessern.
- **Die Niedertemperatur- und Hocheffizienz-Sinterertechnologie**
untersucht neue Sinterhilfsmittel und Aktivatoren, um die Sintertemperatur und den Energieverbrauch zu senken.
- **Sintern und additive Fertigung In Kombination**
mit der additiven Fertigungstechnologie kann die integrierte Formung und das Sintern komplexer Rohre aus Wolframlegierungen erreicht werden.
- **Das umweltfreundliche Atmosphärensystem**
entwickelt eine grüne und umweltfreundliche Atmosphäre, um herkömmlichen Wasserstoff zu ersetzen und Sicherheitsrisiken zu reduzieren.

VII. Zusammenfassung

Sinterertechnologie und Atmosphärenkontrolle sind entscheidende Faktoren für die Materialleistung und -qualität bei der Herstellung von Wolframlegierungsrohren. Durch die Optimierung von Sintertemperatur, -zeit und -atmosphäre, kombiniert mit fortschrittlichen heißisostatischen Pressverfahren (HIP) und intelligenten Steuerungsmethoden, können Dichte, mechanische Eigenschaften und Lebensdauer von Wolframlegierungsrohren deutlich verbessert werden, um die hohen Anforderungen anspruchsvoller Anwendungen zu erfüllen. Durch weitere Prozessinnovationen und intensive Materialforschung wird die Sinterertechnologie für Wolframlegierungsrohre zukünftig noch effizienter, umweltfreundlicher und intelligenter weiterentwickelt.

3.5 Wärmebehandlungsprozess und Verdichtungsverbesserungstechnologie von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre werden typischerweise einem wissenschaftlich entwickelten Wärmebehandlungsprozess unterzogen, um ihre Mikrostruktur zu optimieren, den Verdichtungsgrad des Materials zu erhöhen und seine mechanischen Gesamteigenschaften zu verbessern. Die Wärmebehandlung beseitigt nicht nur innere Spannungen und verbessert die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kornmorphologie, sondern erhöht auch die Festigkeit, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit des Rohrs. Sie ist ein Schlüsselprozess zur Verbesserung der Gesamtqualität von Wolframlegierungsrohren.

1. Der Hauptzweck der Wärmebehandlung von Wolframlegierungsrohren

1. Durch Pressen

, Sintern und Bearbeitungsprozesse entstehen im Inneren des Wolframlegierungsrohrs Eigenspannungen. Durch eine geeignete Wärmebehandlung können diese Spannungen wirksam abgebaut, das Risiko von Materialverformungen und Rissen verringert und die Dimensionsstabilität des Rohrs sichergestellt werden.

2. fördert die Kornverfeinerung und Homogenisierung

durch Steuerung der Heiztemperatur und Abkühlrate, Anpassung der Korngröße und -morphologie, Hemmung des Kornwachstums, Erzielung einer gleichmäßigen Struktur und somit Verbesserung der mechanischen Festigkeit und Zähigkeit.

3. Dichte verbessern und Porosität reduzieren

Durch entsprechende Wärmebehandlungsverfahren werden das Schließen und die Beseitigung von Restporen gefördert, die Dichte des Materials erhöht und dadurch Zugfestigkeit, Härte und Lebensdauer verbessert.

4. Verbesserung der chemischen Stabilität und Korrosionsbeständigkeit

Durch Wärmebehandlung kann die gleichmäßige Diffusion und feste Lösung von Legierungselementen gefördert, die chemische Stabilität der Legierung verbessert und ihre Beständigkeit gegenüber Oxidation und Korrosion erhöht werden.

2. Gängige Wärmebehandlungsverfahren für Wolframlegierungsrohre

1. Glühbehandlung

- Temperaturbereich: normalerweise zwischen 800 °C und 1200 °C, die spezifische Temperatur wird entsprechend der Legierungszusammensetzung und den strukturellen Eigenschaften ausgewählt.
- Wirkungsmechanismus: Durch Glühen können innere Spannungen abgebaut, die Rekristallisation gefördert, Körner verfeinert und Strukturdefekte reduziert werden.
- Typischer Prozessablauf: Langsames Aufheizen auf die Zieltemperatur, mehrere Stunden warmhalten und anschließend langsam abkühlen, um thermischen Stress zu vermeiden.

2. Lösungsbehandlung

- Es wird hauptsächlich verwendet, um die Verteilung von Legierungselementen zu optimieren und eine Entmischung der Zusammensetzung zu vermeiden.
- Im Allgemeinen wird eine hohe Temperatur (über 1200 °C) zur kurzfristigen Isolierung und zum schnellen Abkühlen verwendet, um die feste Lösungsstruktur zu fixieren.
- Es hat einen erheblichen Einfluss auf die Verbesserung der Festigkeit und der thermischen Stabilität.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Alterungsbehandlung

- Durch die Aufrechterhaltung einer geeigneten Temperatur scheidet die übersättigte feste Lösung eine zweite Phase aus, wodurch das Material gestärkt wird.
- Die Alterungstemperatur liegt üblicherweise bei 400–700 °C, was häufig bei Rohren aus Wolframlegierungen vorkommt, die Nickel, Eisen und andere Elemente enthalten.

4. Heißisostatisches Pressen (HIP)

- Die Kombination aus hoher Temperatur und isostatischem Druck fördert den Porenverschluss und die Optimierung der Mikrostruktur.
- Verbessert die Dichte und die mechanischen Eigenschaften erheblich und wird häufig bei der Herstellung hochwertiger Wolframlegierungsrohre verwendet.

3. Einfluss der Wärmebehandlungsprozessparameter auf die Verdichtung

• Die Wärmebehandlungstemperatur

beeinflusst direkt die Korngröße und die Porenverschlusseffizienz des Wolframlegierungsrohrs. Bei zu niedriger Temperatur ist die Diffusionsrate unzureichend und die Verdichtung unzureichend; bei zu hoher Temperatur nimmt die Korngröße zu und die Zähigkeit des Materials ab.

• Die Haltezeit

ist für den vollständigen Abschluss der Mikrostrukturumwandlung und des Diffusionsprozesses von Vorteil, eine zu lange Haltezeit führt jedoch zu Energieverschwendung und kann zu einer unerwünschten Kornvergrößerung führen.

• Abkühlmethode:

Langsames Abkühlen trägt zur Bildung einer gleichmäßigen Struktur bei und reduziert die thermische Spannung. Schnelles Abkühlen (z. B. Wasserkühlung) eignet sich für die Lösungsbehandlung, um die Verstärkungsphase zu fixieren.

• Die atmosphärische

Wärmebehandlung wird üblicherweise in einem Vakuum oder einer Schutzatmosphäre durchgeführt, um eine Oxidation des Materials und eine Entkohlung der Oberfläche zu verhindern.

4. Fortschrittliche Technologie zur Verbesserung der Verdichtung

1. Der mehrstufige Wärmebehandlungsprozess

fördert durch die Entwicklung mehrstufiger Heiz-, Isolier- und Kühlprozesse effektiv die Homogenisierung der Mikrostruktur und die Beseitigung von Porosität und verbessert so die Gesamtleistung des Materials erheblich.

2. Durch heißisostatisches Pressen in Kombination mit einer Alterungsbehandlung

wird zunächst die Dichte durch HIP erhöht und anschließend eine Alterungsverfestigung durchgeführt, um ein Gleichgewicht zwischen Festigkeit und Zähigkeit zu erreichen.

3. Bei der Wärmebehandlung mit Laser- oder Elektronenstrahlen

wird eine lokale Erwärmung mit hoher Energiedichte verwendet, um eine

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächenverdichtung und Eigenschaftsgradienten zu erreichen und so die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.

4. **der mikrowellenunterstützten Wärmebehandlung**

wird Mikrowellenstrahlung verwendet, die einen hohen thermischen Wirkungsgrad und eine gleichmäßige Erwärmung aufweist und so dazu beiträgt, die Verarbeitungszeit zu verkürzen und die Struktur zu verfeinern.

V. Zusammenfassung

von Wolframlegierungsrohren ist ein entscheidender Schritt für deren hohe Leistungsfähigkeit. Durch eine rationelle Wärmebehandlung und optimierte Prozessparameter können nicht nur die Dichte und die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur von Wolframlegierungsrohren effektiv verbessert, sondern auch ihre mechanische Festigkeit, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit deutlich gesteigert werden. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung und Anwendung fortschrittlicher Wärmebehandlungstechnologien wird die Leistung von Wolframlegierungsrohren zukünftig weiter gesteigert, um den steigenden industriellen und High-End-Anforderungen gerecht zu werden.

3.6 Innere und äußere Oberflächenbehandlung von Rohren aus Wolframlegierungen (Polieren, Galvanisieren, PVD usw.)

Wolframlegierungsrohre werden häufig in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie, der Medizintechnik und der High-End-Fertigung eingesetzt. Die Qualität ihrer inneren und äußeren Oberflächen beeinflusst Leistung, Haltbarkeit und Funktionalität der Rohre direkt. Daher ist ein wissenschaftlicher und rationaler Oberflächenbehandlungsprozess entscheidend für die Verbesserung der Gesamtleistung von Wolframlegierungsrohren. Dieser Abschnitt beschreibt die wichtigsten Technologien zur inneren und äußeren Oberflächenbehandlung von Wolframlegierungsrohren, einschließlich Polieren, Galvanisieren und physikalische Gasphasenabscheidung (PVD), mit Schwerpunkt auf den Prozessprinzipien, technischen Eigenschaften und Anwendungsergebnissen.

1. Bedeutung der Oberflächenbehandlung von Wolframlegierungsrohren

1. **Verbesserte Oberflächenbeschaffenheit**

Eine gute Oberflächenbeschaffenheit trägt zur Verringerung von Reibung und Verschleiß bei und verbessert die Strömungsdynamik sowie die Abdichtung, was insbesondere bei Innenwandanwendungen von entscheidender Bedeutung ist.

2. **Verbesserte Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit Durch die Technologie der Oberflächenmodifizierung**

kann die Beständigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen gegenüber chemischer Korrosion und mechanischem Verschleiß deutlich verbessert und so ihre Lebensdauer verlängert werden.

3. **Verbesserung der Haftung von Funktionsbeschichtungen**

Durch die Vorbehandlung wird eine gleichmäßige und saubere Oberfläche für nachfolgende

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beschichtungsprozesse geschaffen und sichergestellt, dass die Beschichtung fest haftet und ihre vorgesehene Funktion erfüllt.

4. **Erfüllen Sie spezifische industrielle Anforderungen,**

beispielsweise wenn medizinische Geräte ungiftig und unbedenklich sein müssen, die Luft- und Raumfahrt hohe Festigkeit und Hitzebeständigkeit erfordert und die Elektronikindustrie hohe Leitfähigkeit und Schutz vor elektromagnetischen Störungen erfordert.

2. Polierprozess für Wolframlegierungsrohre

1. Polierprozess und -methoden

- **mechanischen Polieren**

werden mit Schleifpapier, Poliertuch und Polierpaste nacheinander grobe, mittlere und feine Polierschritte durchgeführt, um die Oxidschicht und Bearbeitungsspuren auf der Oberfläche zu entfernen und einen Spiegeleffekt zu erzielen.

- **Beim elektrolytischen Polieren**

werden durch elektrochemische Reaktionen mikroskopisch kleine Oberflächenvorsprünge entfernt, wodurch eine Glätte im Mikrometer- oder sogar Nanometerbereich erreicht wird. Es eignet sich zum Polieren komplexer Innenlöcher.

- **chemischen Polieren**

werden chemische Flüssigkeiten verwendet, um Unebenheiten auf der Oberfläche gleichmäßig aufzulösen, die Rauheit zu verbessern und die mechanische Belastung zu reduzieren.

2. Polierwirkung und Anwendung

- Das mechanische Polieren von Außenflächen wird häufig für dekorative und mechanische Anpassungsflächen verwendet.
- Das Polieren der Innenflächen beruht hauptsächlich auf elektrolytischem und chemischem Polieren, um die Flüssigkeitszufuhr und die Dichtungsleistung sicherzustellen.
- Nach dem Polieren kann die Oberflächenrauheit unter Ra0,1 μm liegen und erfüllt damit die Anforderungen hochwertiger medizinischer und Präzisionsinstrumente.

3. Galvanisierungsprozess von Wolframlegierungsrohren

1. Galvanisierungsart

- **Vernickeln**

Eine Vernickelung kann die Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Oberflächenhärte wirksam verbessern und ist eine häufig verwendete Schutzbeschichtung für Rohre aus Wolframlegierungen.

- **Die Verchromung**

weist eine hervorragende Härte und Verschleißfestigkeit auf und wird häufig in Umgebungen mit hoher Beanspruchung eingesetzt.

- **Kupferbeschichtungen und andere Metallbeschichtungen**

dienen hauptsächlich dazu, die Leitfähigkeit zu verbessern und eine gute Haftgrundlage für nachfolgende Beschichtungen zu schaffen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Galvanisierungsprozess

- Oberflächenvorbehandlung (Entfetten, Beizen, Aktivieren);
- Tauchen Sie es in den Galvanisierungsbehälter ein und legen Sie einen konstanten Strom an, um eine Metallionenreduktionsabscheidung durchzuführen.
- Reinigung, Trocknung und Nachbearbeitung sichern die Qualität der Beschichtung.

3. Vorteile der Galvanotechnik

- Hohe Effizienz, relativ niedrige Kosten, geeignet für die Massenproduktion;
- Die Beschichtung ist gleichmäßig und die Dicke ist steuerbar, um unterschiedlichen Nutzungsanforderungen gerecht zu werden.
- Die Verbundschutzfunktion wird durch eine mehrschichtige Verbundbeschichtung erreicht.

4. PVD-Verfahren (Physical Vapor Deposition) für Wolframlegierungsrohre

1. Einführung in die PVD-Technologie

Bei der physikalischen Gasphasenabscheidung handelt es sich um eine Technologie, bei der physikalische Prozesse (Verdampfung, Sputtern) genutzt werden, um Materialien in Form von Dampf auf der Oberfläche eines Substrats abzuschleiden und so einen dünnen Film zu bilden. Sie wird häufig bei der Herstellung von Hartbeschichtungen, dekorativen Beschichtungen und Funktionsbeschichtungen eingesetzt.

2. Gängige PVD-Beschichtungsarten

- Hartbeschichtungen wie Titanitrid (TiN), Chromnitrid (CrN) und Titancarbid (TiC) verbessern die Verschleißfestigkeit deutlich;
- Mehrschichtige Verbundfolie verbessert die Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit der Beschichtung;
- Leitfähige Beschichtung zur Verbesserung der elektrischen Oberflächeneigenschaften.

3. PVD-Prozesseigenschaften

- Die Folie hat eine starke Haftung und eine gleichmäßige und einstellbare Dicke.
- Umweltfreundlich und schadstofffrei, keine chemische Abfallbehandlung erforderlich;
- Geeignet zum Beschichten komplexer Innenlöcher und Außenflächen.

4. Anwendungsvorteile

- Die Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Lebensdauer von Wolframlegierungsrohren wird deutlich verbessert.
- Realisieren Sie funktionale Oberflächen, um spezielle industrielle Anforderungen zu erfüllen.
- Geeignet für die High-End-Luftfahrt, Medizin und Präzisionsfertigung.

5. Andere Oberflächenbehandlungstechnologien von Wolframlegierungsrohren

- **Kugelstrahlen**
werden kleine Partikel mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche gesprüht, wodurch eine Druckspannungsschicht entsteht und die Dauerfestigkeit sowie Verschleißfestigkeit verbessert werden.
- **Bei der Laseroberflächenbehandlung**
wird durch Lasererhitzung und -beschichtung eine lokale Oberflächenverdichtung und -härtung erreicht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Die chemische Gasphasenabscheidung (CVD)**
wird zur Herstellung hochreiner, hochdichter Beschichtungen für den Einsatz in Hochtemperatur- und korrosiven Umgebungen verwendet.

6. Umfassende Anforderungen an die innere und äußere Oberflächenbehandlung von Wolframlegierungsrohren

- Die Innenwand muss glatt und frei von Verunreinigungen sein, um Flüssigkeitswiderstand und Korrosion zu verhindern.
- Bei der Behandlung der Außenwände stehen Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und optische Qualität im Vordergrund.
- Bei der Auswahl eines geeigneten Oberflächenbehandlungsverfahrens ist eine umfassende Berücksichtigung des Rohrdurchmessers, der Anwendungsumgebung und der Wirtschaftlichkeit erforderlich.
- Kombinieren Sie mehrere Prozesse (wie Polieren + Galvanisieren + PVD), um die Leistung zu maximieren.

VII. Zusammenfassung

Die Technologien zur Oberflächenbehandlung von Wolframlegierungsrohren umfassen ein breites Spektrum an Methoden, vom traditionellen mechanischen Polieren bis hin zu modernen PVD-Beschichtungen. Jede Methode bietet einzigartige Vorteile und wechselseitige Vorteile. Eine sinnvolle Prozessgestaltung und präzise Betriebssteuerung können nicht nur die Oberflächenqualität und Leistung von Wolframlegierungsrohren deutlich verbessern, sondern auch den vielfältigen Anforderungen verschiedener Industriezweige gerecht werden. Mit dem technologischen Fortschritt werden Oberflächenbehandlungsprozesse umweltfreundlicher, effizienter und intelligenter und bilden eine solide Grundlage für die High-End-Anwendung von Wolframlegierungsrohren.

3.7 Neue Technologien zur Herstellung von Wolframlegierungsrohren: Extrusion, Walzen und additive Fertigung

Da die Anforderungen an Materialleistung und Fertigungseffizienz bei der Herstellung von Wolframlegierungsrohren stetig steigen, stößt die traditionelle Pulvermetallurgie, obwohl ausgereift und zuverlässig, bei komplexen Formen, leistungsstarker Anpassung und schneller Produktion an ihre Grenzen. In den letzten Jahren wurden neue Fertigungstechnologien wie Extrusion, Walzen und additive Fertigung schrittweise in den Herstellungsprozess von Wolframlegierungsrohren eingeführt und haben sich zu einem wichtigen Treiber für technologische Innovationen und Produktverbesserungen in der Branche entwickelt. In diesem Abschnitt werden die Prinzipien, Prozessmerkmale, Vorteile und Anwendungsaussichten dieser drei neuen Fertigungstechnologien in der Wolframlegierungsrohrproduktion detailliert erläutert.

1. Wolframlegierungsrohr-Extrusionstechnologie

1. Überblick über die Extrusionstechnologie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Extrusion ist ein plastisches Verarbeitungsverfahren, bei dem erhitzte Wolframlegierungsblöcke unter hohem Druck durch eine Düsenöffnung gepresst werden, um ein Rohr mit durchgehendem Querschnitt zu formen. Dieses Verfahren wird häufig in der Metallrohrherstellung eingesetzt und eignet sich zur Verbesserung der Mikrostrukturdichte und der mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren.

2. Extrusionsprozess

- **Rohlingsvorbereitung** : Erhitzen Sie den vorgesinterten Wolframlegierungsblock auf eine geeignete Temperatur für plastische Verformung (normalerweise über 1100 °C) .
- **Schimmel Design** : Eine speziell entwickelte Hohlform wird verwendet, um den Innen- und Außendurchmesser sowie die Wandstärke des Rohrs zu kontrollieren.
- **Extrusion** : Verwendung eines hydraulischen oder mechanischen Extruders, um das Material durch Druck durch eine Düsenöffnung zu pressen und so ein Rohr zu formen;
- **Weiterverarbeitung** : Das extrudierte Rohr muss normalerweise wärmebehandelt und bearbeitet werden, um die Anforderungen an Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität zu erfüllen .

3. Vorteile der Extrusionstechnologie

- Die Dichte und Korngleichmäßigkeit des Materials deutlich verbessern;
- Verfeinern Sie die Körner und verbessern Sie die mechanische Festigkeit und Plastizität von Wolframlegierungsrohren.
- Wolframlegierungsrohre mit komplexen Querschnitten und großen Durchmessern;
- Hohe Produktionseffizienz, geeignet für mittlere und große Chargenproduktion.

2. Rohrwalztechnologie aus Wolframlegierungen

1. Überblick über die Walztechnologie

Beim Walzen wird Druckspannung durch Walzen aufgebracht, wodurch der Wolframlegierungsblock schrittweise komprimiert und verformt wird, um dünnwandige Rohre zu bilden. Sowohl Warm- als auch Kaltwalzverfahren können die Dicke und die mechanischen Eigenschaften des Rohrs effektiv anpassen.

2. Walzprozess

- **Erstes Warmwalzen** : Erhitzen des Rohrblocks aus Wolframlegierung auf die plastische Temperatur und anschließendes mehrmaliges Warmwalzen, um die Rohrwandstärke zu verringern;
- **Kaltwalzen** : Durch Kaltwalzen werden die Oberflächenqualität und Maßgenauigkeit weiter verbessert und die mechanischen Eigenschaften verbessert.
- **Glühen** : Glühen wird bei Bedarf durchgeführt, um Spannungen abzubauen und die Mikrostruktur zu optimieren.

3. Vorteile der Walztechnologie

- Durch mehrere Verformungsschritte werden eine präzise Größenkontrolle und eine gleichmäßige Wandstärke erreicht.
- Die Kornstruktur kann gesteuert werden, um die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit zu verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Hervorragende Oberflächenqualität, wodurch der Aufwand für die nachfolgende Bearbeitung reduziert wird;
- Geeignet zur Herstellung dünnwandiger, hochpräziser Rohre aus Wolframlegierungen.

3. Additive Fertigungstechnologie für Wolframlegierungsrohre

1. Überblick über die additive Fertigungstechnologie

Additive Fertigung (AM), auch als 3D-Druck bekannt, ermöglicht die Herstellung komplexer Teile durch schichtweises Ablegen von Material. Die Anwendung bei der Herstellung von Rohren aus Wolframlegierungen nimmt stetig zu und eignet sich besonders für kundenspezifische und komplexe Innenstrukturen.

2. Arten additiver Fertigungsverfahren

- **Selektives Laserschmelzen (SLM)** : Dabei werden Metallpulver mithilfe von Hochenergielasern Schicht für Schicht geschmolzen, um hochdichte Teile zu bauen.
- **Elektronenstrahlschmelzen (EBM)** : nutzt einen Elektronenstrahl zur Hochenergieabscheidung, geeignet für Materialien mit hohem Schmelzpunkt wie Wolframlegierungen;
- **Direkte Energieabscheidung (DED)** : Pulver oder Draht wird durch eine Düse ausgestoßen und sofort geschmolzen und abgeschieden, geeignet für Reparaturen und die Herstellung großer Teile.

3. Vorteile und Herausforderungen der additiven Fertigung

- **Vorteile** :
 - Es ist möglich, komplexe Innenkanäle und Rohre mit Sonderformen herzustellen.
 - Verkürzen Sie den F&E-Zyklus erheblich und unterstützen Sie die individuelle Anpassung kleiner Chargen.
 - Reduzieren Sie Materialabfälle und verbessern Sie die Ressourcennutzung.
- **Herausforderung** :
 - Wolframlegierung führt zu extrem hohen Anforderungen an die Ausrüstung während des Druckprozesses;
 - Es ist schwierig, die Porosität und Defekte in den gedruckten Teilen zu kontrollieren.
 - Um die mechanischen Eigenschaften und die Dimensionsstabilität sicherzustellen, ist ein vollständiger Nachbearbeitungsprozess erforderlich.

4. Umfassende Anwendung und Perspektive neuer Aufbereitungstechnologien

1. Technologien

eignen sich für die Massenproduktion und gewährleisten gleichbleibende mechanische Eigenschaften und Abmessungen von Wolframlegierungsrohren. Die additive Fertigung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hingegen eignet sich für die kundenspezifische Entwicklung komplexer Strukturen und funktional abgestufter Rohre. Die Kombination dieser drei Technologien schafft ein flexibleres und effizienteres Produktionssystem.

2. Raum für Leistungsverbesserungen:

Fortschrittliche Wärmebehandlungs- und Oberflächenbehandlungstechnologien in Kombination mit neuen Vorbereitungsprozessen können die Hochtemperaturbeständigkeit, Verschleißfestigkeit und Lebensdauer von Rohren weiter verbessern.

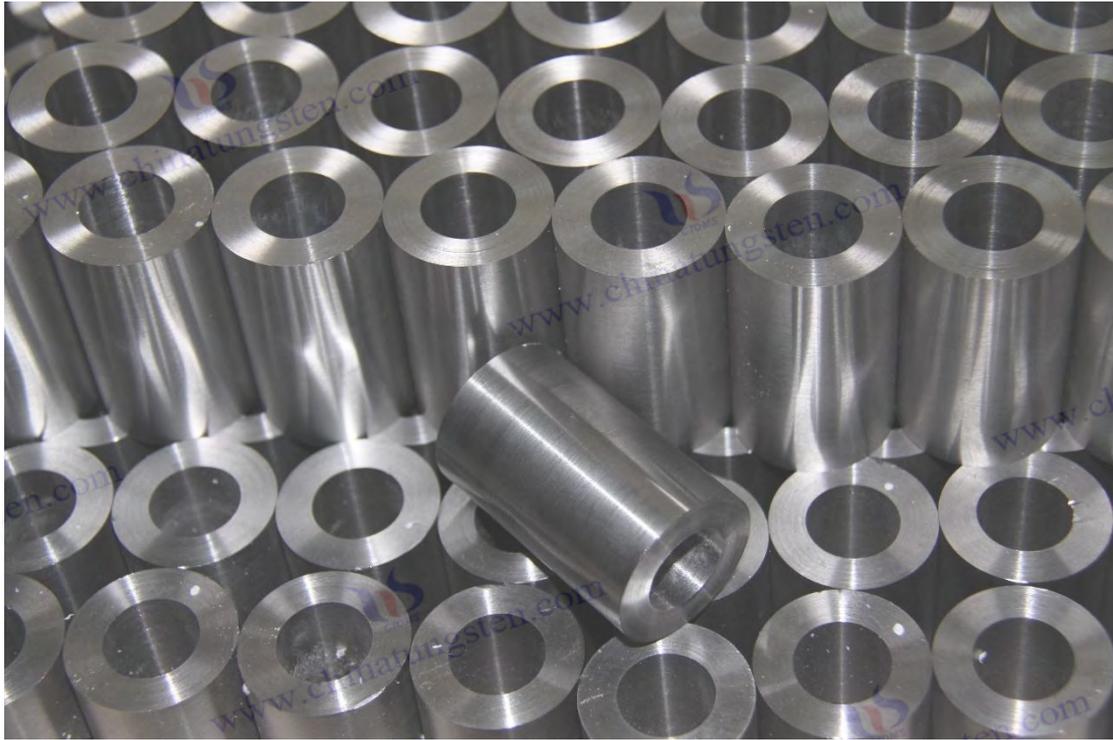
3. Aussichten für die industrielle Förderung:

Mit der Weiterentwicklung der Gerätetechnologie und der Verbesserung der Materialtechnologie werden die Extrusions-, Walz- und additiven Fertigungstechnologien für Wolframlegierungsrohre weiter ausgereift sein und die Anwendungserweiterung von Wolframlegierungsrohren in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie, der medizinischen Ausrüstung und der High-End-Fertigung fördern.

V. Zusammenfassung

Neue Fertigungstechnologien für Wolframlegierungsrohre, wie Extrusion, Walzen und additive Fertigung, haben die Engpässe traditioneller Fertigungsverfahren überwunden und sowohl die Produktleistung als auch die strukturelle Komplexität verbessert. Durch technologische Integration und Prozessoptimierung werden wir in Zukunft die zunehmend vielfältigeren und anspruchsvolleren Marktanforderungen effektiv erfüllen und der Wolframlegierungsrohrindustrie zu einer neuen Phase hochwertiger Entwicklung verhelfen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 4 Leistungsprüfung und Qualitätsbewertung von Wolframlegierungsrohren

4.1 Methoden zur Prüfung des Aussehens und der geometrischen Abmessungen von Rohren aus Wolframlegierungen

Als Schlüsselkomponente von Hochleistungswerkstoffen wirken sich die optische Qualität und die geometrischen Abmessungen von Wolframlegierungsrohren direkt auf die Weiterverarbeitung und die endgültige Anwendungsleistung aus. Strenge und genaue Prüfungen der optischen Eigenschaften und Abmessungen sind entscheidend für die Qualität von Wolframlegierungsrohren. Im Folgenden werden die wichtigsten Methoden, technischen Punkte und praktischen Anwendungen für die optische und geometrische Prüfung von Wolframlegierungsrohren beschrieben.

1. Methode zur Prüfung des Aussehens von Wolframlegierungsrohren

1. Sichtprüfung (Sichtprüfung)

- **Zweck der Inspektion** : Feststellen, ob sich auf der Oberfläche des Rohrs Risse, Poren, Einschlüsse, Oxidationsflecken, Kratzer, Verformungen und andere offensichtliche Mängel befinden.
- **Methoden und Werkzeuge** :
 - Künstliches Sehen kombiniert mit Lichtquellenunterstützung (natürliches Licht oder professionelle Beleuchtung);
 - Verwenden Sie eine Lupe oder ein Mikroskop, um kleine Defekte zu vergrößern und zu erkennen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Kombiniert mit Digitalkameras oder hochauflösenden Kamerasystemen zur Aufzeichnung und Analyse von Oberflächendefekten.
- **Inspektionsstandards** : Bestimmen Sie Art und Schwere von Mängeln anhand von Produktstandards oder Kundenanforderungen und verwalten Sie diese auf verschiedenen Ebenen .

2. Oberflächenglanzerkennung

- **Zweck des Tests** : Bewertung des Polier- oder Beschichtungseffekts der Oberfläche von Wolframlegierungsrohren und Berücksichtigung der Verarbeitungsqualität und des Oberflächenzustands.
- **Prüfwerkzeug : Glanzmesser** , der die Oberflächengüte durch Messung der Intensität des reflektierten Lichts bestimmt.

3. Oberflächenprofil- und Rauheitserkennung

- **Zweck der Prüfung** : Quantifizierung von Mikrowellen auf der Oberfläche und Bewertung der Auswirkungen von Oberflächenbehandlungsprozessen.
- **Prüfgeräte : Rauheitsmessgerät** , Profilometer und andere Präzisionsinstrumente, die Rauheitsparameter wie Ra und Rz ermitteln können.

2. Prüfverfahren für die geometrischen Abmessungen von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre umfassen wichtige Abmessungen wie Außendurchmesser, Innendurchmesser, Wandstärke, Länge, Konzentrizität, Geradheit und Rundheit. Gängige Prüfmethode sind wie folgt:

1. Messung des Außen- und Innendurchmessers

- **Werkzeuge** : Messschieber, Mikrometer, Bohrungsmessgerät, Koordinatenmessgerät (KMG).
- **Hinweise** :
 - Verwenden Sie hochpräzise Messwerkzeuge, um sicherzustellen, dass die Messfehler im Standardbereich liegen.
 - Um die Maßgleichmäßigkeit festzustellen, sollten die Messpunkte gleichmäßig auf verschiedenen Abschnitten des Rohrs verteilt sein.

2. Wanddickenmessung

- **Methode** :
 - **Mechanisches Dickenmessgerät** : z. B. ein Mikrometer, das zum Messen der Wanddicke des Probenrohrs verwendet wird;
 - **Ultraschall-Dickenmessgerät** : berührungslose Messung, geeignet für die Online-Erkennung und Rohre mit komplexer Struktur;
 - **Röntgenprüfung** : Wird zur hochpräzisen Analyse der Wanddicke und der Form innerer Hohlräume verwendet.
- **Anwendungsvorteile** : Ultraschall- und Röntgenverfahren eignen sich zur zerstörungsfreien Prüfung, um sicherzustellen, dass Rohre keine inneren Defekte aufweisen .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Längenmessung

- **Werkzeuge** : Stahlbandmaß, Laser-Entfernungsmesser usw.
- **Technische Punkte** : Bei der Längenmessung muss sichergestellt werden, dass die Endfläche des Rohrs eben ist, um Messfehler durch unregelmäßige Endflächen zu vermeiden.

4. Rundheits- und Konzentritätsprüfung

- **Bedeutung der Erkennung** : Stellen Sie die Rundheit des Rohrquerschnitts und die Konzentrität der Innen- und Außendurchmesser sicher, um ungleichmäßige Kräfte während der Verarbeitung oder Verwendung zu vermeiden.
- **Prüfgerät** : Rundheitsprüfgerät, Koordinatenmessgerät (KMG) , das durch Abtasten des Rohrquerschnitts Rundheitsfehler und Konzentritätsabweichungen berechnet.

5. Geradheits- und Krümmungserkennung

- **Zweck der Prüfung** : Bestätigung der linearen Form des Rohrs und Vermeidung von Verformungen, die zu Schwierigkeiten bei der Installation und Verwendung führen können.
- **Prüfmethode** : Verwenden Sie ein Geradheitslineal, einen Laserscanner oder ein spezielles Krümmungsmessgerät.

3. Testprozess und Qualitätskontrolle

1. Grundsätze der Stichprobennahme

- Entwickeln Sie Stichprobenpläne gemäß den relevanten Standards (wie GB/T, ASTM) oder Kundenvereinbarungen, um die Repräsentativität der Tests sicherzustellen.

2. Testumgebung

- Führen Sie die Messung in einer Umgebung mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit durch, um den Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Maßmessung zu reduzieren.
- Verhindern Sie Verschmutzungen und Kratzer und halten Sie die Rohroberfläche intakt.

3. Testdatenerfassung und -analyse

- Richten Sie ein vollständiges Inspektionsdatenverwaltungssystem ein, einschließlich Inspektionsergebnissen, Fehlerarten und Standortaufzeichnungen.
- Analysieren Sie den Trend der Größenschwankungen statistisch und passen Sie den Produktionsprozess rechtzeitig an.

4. Beurteilungskriterien

- Die Qualifikation wird anhand nationaler Normen, Branchenspezifikationen oder technischer Kundenanforderungen bestimmt.
- für nicht konforme Artikel, um sicherzustellen, dass die Produkte den Designspezifikationen entsprechen.

4. Anwendung fortschrittlicher Erkennungstechnologie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Koordinatenmessgerät (KMG)** : Erzielen Sie mit einem hohen Automatisierungsgrad eine hochpräzise dreidimensionale Messung komplexer geometrischer Abmessungen von Wolframlegierungsrohren.
- **Optischer Scanner** : Erfasst schnell dreidimensionale morphologische Daten der Rohroberfläche und des Querschnitts, geeignet für Rohre mit komplexen Formen.
- **Maschinelles Sichtsystem** : In Kombination mit der Bilderkennungstechnologie ermöglicht es die automatische Erkennung und Klassifizierung optischer Mängel.

V. Zusammenfassung

von Wolframlegierungsrohren ist für die Produktqualität von entscheidender Bedeutung. Durch den Einsatz modernster Prüfgeräte und -technologien, kombiniert mit einem rationalen Prüfprozess und strengen Kriterien, können wir die Leistungsstabilität und Zuverlässigkeit von Wolframlegierungsrohren während der Produktion und Anwendung effektiv gewährleisten. Mit der Entwicklung automatisierter und intelligenter Prüftechnologien wird die Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsrohren künftig noch präziser und effizienter und bietet eine solide Materialgarantie für High-End-Anwendungen.

4.2 Dichteproofung und Charakterisierung der Mikrostrukturdichte von Wolframlegierungsrohren

Dichte und Mikrostruktur von Wolframlegierungsrohren sind wichtige Indikatoren für Materialqualität und -leistung. Wolframlegierungsrohre mit hoher Dichte und hoher Mikrostruktur weisen typischerweise hervorragende mechanische Eigenschaften, Verschleißfestigkeit und stabile physikalische Eigenschaften auf, weshalb sie in anspruchsvollen Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie und im Militärbereich weit verbreitet sind. Daher sind die genaue Prüfung der Dichte von Wolframlegierungsrohren und die Charakterisierung ihrer Mikrostruktur und Mikrostruktur entscheidend für die Sicherstellung der Produktqualität.

1. Dichteproofverfahren für Wolframlegierungsrohre

1. Theoretische Dichteberechnung

- Entsprechend dem Massenanteil und der Dichte der einzelnen Komponenten im Wolframlegierungsrohr wird die theoretische Dichte der Legierung durch Berechnung des gewichteten Durchschnitts ermittelt.
- Die Formel lautet:
$$\rho_{\text{theoretisch}} = \sum (w_i \times \rho_i)$$
- wobei w_i der Massenanteil jeder Komponente und ρ_i die Dichte jeder Komponente ist.
- Die theoretische Dichte ist der Dichtemaßstab eines Materials unter idealen Bedingungen.

2. Tatsächliche Dichtemessung

- **Archimedische Methode** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Mithilfe des Auftriebsprinzips des Wassers wird der Massenunterschied des Wolframlegierungsrohrs in Luft und Wasser gemessen und seine tatsächliche Dichte berechnet.
- Anwendbar auf Rohrproben aus Wolframlegierungen mit regelmäßiger Form und messbarem Volumen.
- Die Messschritte sind einfach und die Genauigkeit hoch. Das Gerät wird häufig in Laboren und Produktionsstätten eingesetzt.
- **Gasverdrängungsmethode (Pyknometermethode) :**
 - Das Volumen der Probe wird durch Gas (z. B. Helium) ersetzt, das sich für Proben mit komplexen Formen oder solche, die sich nur schwer in Wasser eintauchen lassen, eignet.
- **Röntgenbeugung (XRD) und CT-Scan- Methoden :**
 - In Kombination mit hochpräzisen Instrumenten zur Erfassung von Volumen- und Massendaten eignet es sich für anspruchsvolle Testanforderungen.

3. Hinweise zur Dichtemessung

- Die Probe muss sauber und frei von Oberflächenanhaftungen gehalten werden.
- Die gemessene Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit müssen stabil sein, um Fehler zu vermeiden.
- Es wurden mehrere Messungen an mehreren Probenchargen durchgeführt und der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet, um die Datenzuverlässigkeit sicherzustellen.

2. Charakterisierungstechnologie der Mikrostrukturichte von Wolframlegierungsrohren

1. Mikrostrukturbeobachtung

- **Optische Mikroskopie (OM) :**
 - Beobachten Sie die Mikrostruktur nach dem Sintern, einschließlich Korngröße, Korngrenzenverteilung und Porosität.
 - Es kann die Dichte qualitativ beurteilen und makroskopische Poren und Defekte identifizieren.
- **Rasterelektronenmikroskopie (REM) :**
 - Bietet hochauflösende mikroskopische Morphologiebilder, mit denen winzige Poren, Einschlüsse und Korngrenzen sichtbar gemacht werden können.
 - In Kombination mit der energiedispersiven Spektralanalyse (EDS) kann die Elementverteilung erfasst und die Gleichmäßigkeit des Materials bestimmt werden.

2. Porositätsbestimmung

- Mithilfe einer Bildanalyse-Software wurde die Porosität mikroskopischer Bilder quantitativ gemessen und die Gewebedichte berechnet.
- Geringe Porosität (hohe Dichte) bedeutet bessere mechanische Eigenschaften und Stabilität.

3. Röntgen-Computertomographie (CT)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Mithilfe der zerstörungsfreien Prüftechnologie lassen sich Verteilung, Größe und Menge der inneren Poren präzise ermitteln, indem die innere Struktur des Rohrs dreidimensional rekonstruiert wird.
- Hohe Präzision und hohe Auflösung, geeignet für die Qualitätskontrolle von Wolframlegierungsrohren mit komplexen Formen.

4. Korrelationsanalyse zwischen Dichte und Kompaktheit

- Das Verhältnis der tatsächlichen Dichte zur theoretischen Dichte spiegelt den Dichtegrad des Wolframlegierungsrohrs wider.
- Je höher die Dichte, desto besser sind die mechanischen Eigenschaften, die Wärmeleitfähigkeit und die Lebensdauer des Materials.
- Durch die Kombination von Dichteprüfungen mit Gewebecharakterisierung können wir die Prozessoptimierung steuern und die Produktqualität verbessern.

3. Anleitung zur Qualitätskontrolle und Prozessverbesserung

- Basierend auf den Ergebnissen der Dichte- und Kompaktheitstests wurden die Auswirkungen der Sinterprozessparameter, der Rohstoffqualität und der Pulvereigenschaften auf die Verdichtung analysiert.
- Passen Sie Sintertemperatur, -zeit und -atmosphäre an, optimieren Sie die Pulverpartikelgrößenverteilung und verbessern Sie die Gesamtdichte des Rohrs.
- Zusätzliche Technologien wie das heißisostatische Pressen (HIP) werden eingesetzt, um die innere Porosität weiter zu beseitigen und die Dichte und strukturelle Gleichmäßigkeit zu verbessern.

IV. Zusammenfassung

Dichteprüfungen und die Charakterisierung der Mikrostruktur von Wolframlegierungsrohren sind für die Sicherstellung der Produktleistung von grundlegender Bedeutung. Die Kombination mehrerer Prüfmethoden und fortschrittlicher Charakterisierungstechniken ermöglicht eine genaue Beurteilung der Materialqualität und unterstützt die kontinuierliche Optimierung der Produktionsprozesse. Hochdichte Wolframlegierungsrohre verbessern nicht nur die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit, sondern erfüllen auch die Anforderungen an die Materialstabilität anspruchsvoller Anwendungen und bieten eine solide Grundlage für High-End-Anwendungen.

4.3 Prüfnormen für mechanische Eigenschaften von Rohren aus Wolframlegierungen (ASTM, GB, ISO)

Rohre aus Wolframlegierungen beeinflussen die Sicherheit und Lebensdauer des Produkts maßgeblich. Um sicherzustellen, dass die mechanischen Eigenschaften von Rohren aus Wolframlegierungen den Konstruktionsanforderungen entsprechen, müssen sie systematisch und streng nach international und national anerkannten Normen geprüft werden. Zu den wichtigsten Normen zählen die der American Society for Testing and Materials (ASTM), des Chinese National Standard (GB) und der International Organization for Standardization (ISO).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Schlüsselindikatoren für den Test der mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre decken im Allgemeinen die folgenden Aspekte ab:

- **Zugfestigkeit** : Ein Maß für die Widerstandsfähigkeit eines Materials gegenüber Zugversagen.
- **Streckgrenze** : Der Spannungswert, bei dem das Material beginnt, sich plastisch zu verformen .
- **Bruchzähigkeit** : Die Fähigkeit eines Materials, der Rissausbreitung zu widerstehen .
- **Dehnung** : Der Grad der plastischen Verformung eines Materials, bevor es unter Spannung bricht.
- **Härte** : Die Fähigkeit eines Materials, lokaler plastischer Verformung zu widerstehen.
- **Dauerfestigkeit** : Die Fähigkeit eines Materials, einem Bruch unter zyklischer Belastung standzuhalten .
- **Druckfestigkeit** : Die Fähigkeit eines Materials , Druckversagen zu widerstehen.

2. Einführung in die wichtigsten Prüfnormen

1. ASTM-Standards (American Society for Testing and Materials)

- **ASTM E8 / E8M** – „Standardmethoden für die Zugprüfung metallischer Werkstoffe“
legt Zugprüfverfahren für metallische Werkstoffe fest, die für die Prüfung der Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung von Rohrproben aus Wolframlegierungen gelten. Zu den wichtigsten Inhalten gehören Probenvorbereitung, Prüfgeräte, Prüfverfahren und Datenberechnungsmethoden.
- **ASTM E23** – „Standardmethode für die Schlagprüfung metallischer Werkstoffe (Charpy-Schlagversuch)“
wird zur Bewertung der Bruchzähigkeit und der Schlageigenschaften von Werkstoffen verwendet und eignet sich besonders zur Bewertung der Zähigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen.
- **ASTM E399** – „Standard zur Prüfung der Bruchzähigkeit metallischer Werkstoffe“
misst die Bruchzähigkeit von Werkstoffen und bietet sichere Konstruktionsparameter für hochwertige Rohre aus Wolframlegierungen.
- **ASTM E466** – „Ermüdungsprüfverfahren für metallische Werkstoffe“
bewertet die Ermüdungsleistung von Rohren aus Wolframlegierungen und eignet sich besonders für die zyklischen Belastungsanforderungen der Luft- und Raumfahrt- sowie der Militärindustrie.

2. GB (Chinesischer Nationalstandard)

- **GB/T 228.1** – „Zugversuchsverfahren für metallische Werkstoffe bei Raumtemperatur“
Dieser Standard, ähnlich wie ASTM E8, legt die Anforderungen und Verfahren zum Prüfen der Zugfestigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen fest und wird häufig in der heimischen Produktion und Qualitätskontrolle verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **GB/T 2975** – „Charpy-Schlagzähigkeitsprüfverfahren für metallische Werkstoffe“ wird verwendet, um die Schlagzähigkeit von Werkstoffen zu bestimmen und die Rissbeständigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen sicherzustellen.
- **GB/T 15248** – „Prüfverfahren für die Bruchzähigkeit metallischer Werkstoffe“ eignet sich für die quantitative Analyse der Bruchzähigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen.
- **GB/T 3075** – „Ermüdungsprüfverfahren für metallische Werkstoffe“ bewertet die Haltbarkeit von Werkstoffen unter Ermüdungsbelastung.

3. ISO (Internationale Organisation für Normung)

- **ISO 6892-1** – „Metallische Werkstoffe, Zugprüfverfahren“ ist auf die Prüfung der Zugfestigkeit und Dehnung von Rohren aus Wolframlegierungen anwendbar und entspricht international einheitlichen Prüfspezifikationen.
- **ISO 148-1** – „Schlagversuch nach Charpy für metallische Werkstoffe“ standardisiert das Verfahren zur Bestimmung der Schlagzähigkeit von Werkstoffen.
- **ISO 12135** – „Metallische Werkstoffe, Prüfung auf Bruchzähigkeit“ ist ein international anerkannter Test für die Bruchzähigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen.
- **ISO 1099** – „Ermüdungsversuche an metallischen Werkstoffen“ dient der Bestimmung der Ermüdungslebensdauer und der Dauerfestigkeit.

3. Anforderungen an die Probenvorbereitung für die Prüfung mechanischer Eigenschaften

- Um die Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Testergebnisse sicherzustellen, sollten die Proben entsprechend der in den entsprechenden Normen angegebenen Form und Größe verarbeitet werden.
- Rohrproben aus Wolframlegierungen müssen im Allgemeinen in Teststücke mit einer bestimmten Länge geschnitten werden, um sicherzustellen, dass der Querschnitt vollständig und fehlerfrei ist.
- Die Oberfläche der Probe sollte ordnungsgemäß behandelt werden, beispielsweise durch Entgraten und Polieren, um den Einfluss der Spannungskonzentration auf die Testergebnisse zu verringern.

4. Prüfgeräte und Umgebungsanforderungen

- Zug-, Druck-, Schlag- und Ermüdungsprüfgeräte sollten kalibriert werden, um genaue Daten zu gewährleisten.
- Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Testumgebung sollten den Standardanforderungen entsprechen. Bei normalen Temperaturtests wird üblicherweise eine Raumtemperatur von etwa 25 °C angenommen.
- Für die Prüfung mechanischer Eigenschaften bei hohen Temperaturen ist ein spezielles Hochtemperaturprüfgerät erforderlich.

5. Datenverarbeitung und Qualitätsbewertung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Prüfdaten zu den mechanischen Eigenschaften sollten nach Standardmethoden berechnet werden und Indikatoren wie Maximallast, Streckgrenze und Dehnung umfassen.
- Durch Vergleich mit den Standardanforderungen wird festgestellt, ob das Wolframlegierungsrohr die Konstruktions- und Verwendungsanforderungen erfüllt.
- Die statistische Analyse mehrerer Probenchargen hilft bei der Kontrolle und kontinuierlichen Verbesserung des Produktionsprozesses.

VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre müssen die strengen internationalen und nationalen Normen wie ASTM, GB und ISO einhalten, um einen wissenschaftlichen Prüfprozess und genaue Ergebnisse zu gewährleisten. Ein umfassendes Prüfsystem für mechanische Eigenschaften bietet nicht nur technische Unterstützung bei der Konstruktion, Produktion und Anwendung von Wolframlegierungsrohren, sondern auch eine zuverlässige Grundlage für Anwendersicherheit und Leistungsgarantie. Da sich die Materialeigenschaften von Wolframlegierungsrohren kontinuierlich verbessern, werden auch die entsprechenden Normen ständig aktualisiert. Die Branche sollte die Entwicklung der Normen weiterhin beobachten, um ihre technologische Führungsposition zu behaupten.

4.4 Metallografische Analyse und Mikrostrukturbeobachtung von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre sind ein wichtiges Mittel zur Bewertung der inneren Struktur von Materialien und zur Qualitätskontrolle. Sie können die mikrostrukturellen Eigenschaften, die Phasenverteilung, die Korngröße, Porendefekte und andere mikroskopische Defekte der Materialien intuitiv aufdecken. Sie sind von großer Bedeutung für das Verständnis der Leistung und des Ausfallmechanismus von Wolframlegierungsrohren und die Optimierung der Prozessparameter.

1. Zweck der metallografischen Analyse von Wolframlegierungsrohren

- **Beobachten Sie die Kornstruktur** : Bewerten Sie Größe, Form und Verteilung der Körner. Die Kornverfeinerung trägt im Allgemeinen zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Legierung bei.
- **Analysieren Sie die Phasenzusammensetzung und -verteilung** : Identifizieren Sie verschiedene Phasen, die von Elementen wie Wolfram, Nickel und Eisen gebildet werden, und bestimmen Sie die Gleichmäßigkeit und Phasenstabilität der Legierung.
- **Erkennung von Poren und Einschlüssen** : Aufdecken der Porosität und des Vorhandenseins nichtmetallischer Einschlüsse während des Sinterprozesses, die sich direkt auf die mechanischen Eigenschaften und die Dichte auswirken.
- **Effekt der Wärmebehandlung** : Optimieren Sie die Prozessparameter der Wärmebehandlung, indem Sie die organisatorischen Änderungen vor und nach der Wärmebehandlung vergleichen.
- **Überwachen Sie Mikrorisse und Deformationsstrukturen** : Analysieren Sie Rissausbruchsorte und Ausbreitungswege, um eine Grundlage für die Fehleranalyse zu schaffen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Probenvorbereitungsprozess

- 1. Schneiden und Probenahme: Nehmen Sie den Querschnitt und**
den Längsschnitt der Wolframlegierungsrohrprobe und verwenden Sie Präzisionsschneidegeräte, um thermische Effekte und mechanische Verformungen zu vermeiden.
- 2. Montage**
: Montieren Sie die Probe in Harz, um das anschließende Polieren und die mikroskopische Beobachtung zu erleichtern.
- 3. Beim Grob- und Feinschleifen**
wird Schleifpapier mit unterschiedlicher Körnung verwendet (stufenweises Schleifen von grob nach fein, z. B. 400, 800, 1200, 2000 Maschenweite), um oberflächliche Sägespuren zu entfernen und eine glatte Oberfläche zu erhalten.
- 4. Polieren:**
Verwenden Sie zum Hochglanzpolieren Diamantpoliermittel (weniger als 1 μm), um Schleifspuren zu beseitigen und die Oberflächenbeschaffenheit zu verbessern.
- 5. Die Korrosionsbehandlung**
erfordert die Auswahl einer geeigneten Korrosionslösung (z. B. einer Mischung aus Flusssäure und Salpetersäure) basierend auf den chemischen Eigenschaften der Wolframlegierung. Korrosionszeit und -konzentration müssen sorgfältig kontrolliert werden, um Korngrenzen und Phasenstruktur freizulegen. Bei der Herstellung und Verwendung der Korrosionslösung müssen die Sicherheitsvorschriften strikt eingehalten werden.

3. Mikroskopische Beobachtungstechniken

1. Optische Mikroskopie (OM)

- Beobachten Sie die gesamte Kornstruktur, Porenverteilung, Phasengrenzflächen und Makrodefekte.
- Die mikroskopische Morphologie wurde durch verschiedene Vergrößerungen verstanden und die Gewebegleichmäßigkeit wurde vorläufig analysiert.

2. Rasterelektronenmikroskopie (REM)

- Bietet hochauflösende Bilder der Oberflächenmorphologie zur detaillierten Beobachtung von Korngrenzen, Phasenverteilung und kleinen Defekten.
- Kombiniert mit energiedispersiver Spektrumanalyse (EDS), um eine qualitative Element- und Verteilungsanalyse zu erreichen.

3. Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)

- Wird verwendet, um Organisationsstrukturen im Nanomaßstab zu beobachten und Gitterdefekte, Unterstrukturen und Schnittstelleneigenschaften aufzudecken.
- Es wird normalerweise verwendet, um die Verteilung feiner Verstärkungsphasen und Spurenelemente in Wolframlegierungsrohren zu untersuchen.

4. Röntgenbeugung (XRD)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Analysieren Sie die Phasenzusammensetzung und Kristallstruktur von Wolframlegierungsrohren, erkennen Sie Änderungen der Gitterparameter und bestimmen Sie den Spannungszustand.

4. Zusammenhang zwischen mikrostrukturellen Eigenschaften und Leistung

- **Korngröße** : Kleine und gleichmäßige Körner tragen zur Verbesserung der Festigkeit und Zähigkeit von Wolframlegierungsrohren bei. Zu große Körner können zu Leistungseinbußen führen .
- **Gleichmäßigkeit der Phasenverteilung** : Gleichmäßig verteilte Bindungsphasen wie Nickel und Eisen tragen dazu bei, die Plastizität und Schlagfestigkeit der Legierung zu verbessern.
- **Porosität** : Geringe Porosität bedeutet hohe Dichte, was die mechanischen Eigenschaften und die Korrosionsbeständigkeit der Legierung verbessert.
- **Einschlüsse und Defekte** : Das Vorhandensein von Einschlüssen kann zum Ausgangspunkt von Rissen werden und die Lebensdauer des Materials verkürzen.
- **Auswirkungen der Wärmebehandlung** : Verschiedene Wärmebehandlungsprozesse führen zu Kornwachstum, Phasenumwandlung oder Spannungsabbau, und mikrostrukturelle Veränderungen spiegeln direkt eine Leistungsverbesserung oder -verschlechterung wider.

5. Die Bedeutung der metallographischen Analyse in der Praxis

Wolframlegierungsrohre sind bei der Verwendung in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie, der Medizintechnik und anderen Bereichen häufig komplexen Betriebsbedingungen ausgesetzt. Durch metallografische Analysen können wir:

- Bewerten Sie schnell die Materialqualität und erkennen Sie Produktionsfehler.
- Leiten Sie Prozessanpassungen und optimieren Sie Form- und Wärmebehandlungsprozesse.
- Sagen Sie die Leistung und Lebensdauer von Materialien voraus und warnen Sie frühzeitig vor Ausfällen.
- Unterstützen Sie die Forschung und Entwicklung neuer Materialien und überprüfen Sie die Auswirkungen von Modifikationstechnologien wie Nanoverstärkung und Mikrolegierung.

VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre sind wichtige Werkzeuge für ein tieferes Verständnis der Materialeigenschaften und die Gewährleistung der Qualitätskontrolle. In Kombination mit fortschrittlichen Mikroskopietechniken bieten diese Techniken eine wissenschaftliche mikroskopische Grundlage und technische Unterstützung für die Forschung, Entwicklung, Produktion und Anwendung von Wolframlegierungsrohren. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Mikroanalysetechniken werden die mikrostrukturellen Untersuchungen von Wolframlegierungsrohren in Zukunft noch detaillierter und bilden eine solide Grundlage für die Entwicklung und Herstellung von Hochleistungs-Wolframlegierungsrohren.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.5 Chemische Zusammensetzung und Verunreinigungsprüfung von Wolframlegierungsrohren (ICP, XRF, ONH)

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren sind entscheidend. Eine genaue und zuverlässige Analyse der chemischen Zusammensetzung gewährleistet ein angemessenes Materialverhältnis und eine gleichmäßige Zusammensetzung und verhindert gleichzeitig die negativen Auswirkungen schädlicher Verunreinigungen auf die Legierungseigenschaften. Zu den gängigen Prüfverfahren gehören die optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP), die Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) sowie Sauerstoff-, Stickstoff- und Wasserstoffanalysatoren (ONH). Diese eignen sich jeweils zum Nachweis verschiedener Elemente und Verunreinigungen, ergänzen sich gegenseitig und bilden das Kernsystem für die Qualitätskontrolle der chemischen Zusammensetzung von Wolframlegierungsrohren.

1. ICP (Induktiv gekoppelte Plasma-Optische Emissionsspektrometrie)

Prinzipien und Anwendungen:

ICP regt Atome oder Ionen in einer Probe an und bewirkt, dass sie Spektrallinien charakteristischer Wellenlängen emittieren. Die Intensität dieser Spektrallinien wird dann zur Bestimmung der Elementkonzentrationen verwendet. Diese Methode bietet eine hohe Empfindlichkeit und die Möglichkeit, mehrere Elemente gleichzeitig zu erfassen. Dadurch eignet sie sich für die genaue Analyse von Haupt- und Spurenelementen in Wolframlegierungsrohren.

Testinhalte

- Hauptelemente: Wolfram (W), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Molybdän (Mo) usw.
- Spurenelemente: Kupfer (Cu), Kobalt (Co), Mangan (Mn), Chrom (Cr) usw.
- Verunreinigungselemente: schädliche Verunreinigungen wie Schwefel (S), Phosphor (P), Blei (Pb) und Cadmium (Cd).

Vorteile

- Hohe Empfindlichkeit, kann Spurenelemente im ppm-Bereich erkennen.
- Die Analysegeschwindigkeit ist hoch und für Batchtests geeignet.
- Die gleichzeitige Erkennung mehrerer Elemente spart Zeit.

Probenvorbereitung:

Rohrproben aus Wolframlegierungen müssen normalerweise in Säure aufgelöst oder geschmolzen werden, um eine Lösung herzustellen, die die Einheitlichkeit der Probe gewährleistet und Elementverluste verhindert.

2. XRF (Röntgenfluoreszenzspektrometrie)

Prinzipien und Anwendungen:

XRF nutzt hochenergetische Röntgenstrahlen, um Elemente in einer Probe anzuregen, wodurch diese charakteristische Fluoreszenzstrahlen emittieren. Die Energie und Intensität der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fluoreszenzstrahlen werden für die qualitative und quantitative Elementanalyse genutzt. Es eignet sich für die schnelle Analyse der Elementzusammensetzung von Wolframlegierungsrohren, insbesondere für die Prüfung fester Proben.

Testinhalte

- Hauptlegierungselemente: Wolfram, Nickel, Eisen, Kupfer usw.
- Die Erkennungsmöglichkeiten für einige leichte Elemente sind begrenzt.

Vorteile

- Die Probenvorbereitung ist einfach und erfordert keine komplexe Auflösung.
- Durch die zerstörungsfreie Prüfung bleibt die Probe intakt.
- Geeignet für die schnelle Erkennung und Prozesskontrolle vor Ort.

Einschränkung

- Die Erkennung leichter Elemente (wie Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff) ist schwach.
- Die Nachweisempfindlichkeit ist etwas geringer als bei ICP, wodurch der Nachweis extrem geringer Verunreinigungen erschwert wird.

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

Prinzip und Anwendung:

Der ONH-Analysator misst den Sauerstoff-, Stickstoff- und Wasserstoffgehalt eines Gases durch Schmelzen einer Probe bei hoher Temperatur. Er eignet sich zur präzisen Bestimmung dieser leichten Elemente in Wolframlegierungsrohren. Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff haben einen erheblichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften, die Korrosionsbeständigkeit und die thermische Stabilität von Wolframlegierungsrohren.

Testinhalte

- Sauerstoffgehalt (O)
- Stickstoffgehalt (N)
- Wasserstoffgehalt (H)

Vorteile

- Die Messung ist empfindlich und genau.
- Unverzichtbar für die Erkennung von leichten Elementen und Verunreinigungen.

Zur Probenvorbereitung

wird normalerweise ein kleines Stück einer Wolframlegierungsrohrprobe entnommen, zum Schmelzen in einen Hochtemperaturofen gelegt und das Gas anschließend nach der Freigabe durch das Detektionssystem analysiert.

4. Umfassende Analyse und Qualitätskontrolle

Wolframlegierungsrohre werden häufig mit ICP-, XRF- und ONH-Technologie kombiniert, um ein mehrwinkeliges und mehrstufiges Zusammensetzungsanalyzesystem zu bilden. Mit diesen Methoden können wir:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Stellen Sie sicher, dass der Gehalt der Hauptlegierungselemente dem vorgesehenen Verhältnis entspricht.
- Überwachen Sie den Gehalt an schädlichen Verunreinigungen genau, um zu verhindern, dass diese die Leistung beeinträchtigen.
- Kontrollieren Sie leichte Elemente wie Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff, um eine hohe Leistung und Stabilität der Materialien sicherzustellen.
- Fördern Sie die Prozessoptimierung und verbessern Sie die Produktkonsistenz.

V. Fazit

von Wolframlegierungsrohren ist für die Sicherstellung der Produktqualität von grundlegender Bedeutung. Fortschrittliche Prüftechnologien wie ICP, XRF und ONH ermöglichen hochpräzise und effiziente Zusammensetzungsanalysen und liefern solide Datengrundlagen für Leistungssicherung, Prozesskontrolle sowie technologische Forschung und Entwicklung. Dank der kontinuierlichen Weiterentwicklung analytischer Instrumente werden zukünftige Prüfungen noch präziser und schneller und sichern so die qualitativ hochwertige Entwicklung der Wolframlegierungsrohrindustrie.

4.6 Bewertungsmethode für die Gleichmäßigkeit der Wanddicke und Koaxialität von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre erfordern eine gleichmäßige Wanddicke und Koaxialität. Diese Faktoren sind entscheidend für die mechanischen Eigenschaften, die Betriebssicherheit und die Verarbeitungsgenauigkeit des Rohrs. Die gleichmäßige Wanddicke beeinflusst die Festigkeitsverteilung und Druckfestigkeit des Rohrs, während die Koaxialität die Montagegenauigkeit und die mechanische Passgenauigkeit des Rohrs direkt beeinflusst. Wissenschaftliche und präzise Bewertungsmethoden sind für die Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung von Wolframlegierungsrohren von entscheidender Bedeutung.

1. Methode zur Bewertung der Wanddickengleichmäßigkeit

1. Ultraschall-Dickenmessung

- **Prinzip** : Der Zeitunterschied der Ultraschallwellenausbreitung in der Rohrwand aus Wolframlegierung wird zur Messung der Rohrwanddicke verwendet.
- **Vorteile** :
 - Zerstörungsfreie Prüfung.
 - Die Messgeschwindigkeit ist hoch und es ist ein schnelles Mehrpunkt-Scannen möglich.
 - Geeignet für Vor-Ort- und Online-Tests.
- **Umsetzung** :
 - Tragen Sie ein Kopplungsmittel auf die Rohroberfläche auf, um die Ultraschallkopplung sicherzustellen.
 - Verwenden Sie ein tragbares oder automatisches Ultraschall-Dickenmessgerät, um die Wanddicke an mehreren voreingestellten Punkten zu messen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Nach der Datenerfassung wird eine statistische Analyse durchgeführt, um Indikatoren für die Gleichmäßigkeit der Wanddicke zu berechnen (z. B. Maximal-Minimum-Differenz, Standardabweichung usw.).

2. Röntgen- oder Gammastrahlen-Durchleuchtung (radiographische Dickenmessung)

- **Prinzip** : Die Strahlung durchdringt das Rohr und die Änderung der Intensität der Strahlungsabsorption spiegelt die Änderung der Rohrwandstärke wider.
- **Vorteile** :
 - Kann Wandstärke und innere Defekte gleichzeitig erkennen.
 - Starke Anpassungsfähigkeit an komplex geformte Rohre.
- **Einschränkungen** :
 - Die Kosten für die Ausrüstung sind hoch.
 - Strahlenschutzmaßnahmen sind erforderlich.
- **Anwendung** :
 - Geeignet für die hochpräzise Erkennung der Wanddickenverteilung und Qualitätskontrolle in der F&E-Phase.

3. Mechanische Messung (mechanische Messschieber, Koordinatenmessgeräte)

- **Prinzip** : Messen Sie den Innen- und Außendurchmesser des Rohrs durch mechanischen Kontakt und berechnen Sie die Wandstärke.
- **Vorteil** :
 - Einfach und intuitiv, geeignet für große Rohrgrößen.
- **unzureichend** :
 - Die Probe muss zerlegt werden, wodurch die Oberfläche beschädigt werden kann.
 - Die Anzahl der Messpunkte ist begrenzt, sodass es schwierig ist, die Gleichmäßigkeit der Wanddicke vollständig wiederzugeben.

2. Methode zur Bewertung der Koaxialität

Koaxialität versteht man die relative Positionsgenauigkeit zwischen dem Innendurchmesser und dem Außendurchmesser des Wolframlegierungsrohrs, was die geometrische Genauigkeit und Verarbeitungsqualität des Rohrs widerspiegelt.

1. Koordinatenmessgerät (KMG)

- **Prinzip** : Verwenden Sie eine 3D-Messsonde, um Punktwolkendaten der Innen- und Außenflächen des Rohrs zu erfassen und die Koaxialität mithilfe einer Software zu berechnen.
- **Vorteile** :
 - Hochpräzise Messung.
 - Es können detaillierte Berichte über geometrische Abweichungen ausgegeben werden.
 - Geeignet für komplexe Rohre und strenge Toleranzanforderungen.
- **Schritt** :
 - Richten Sie das Messprogramm ein und erfassen Sie nach Bedarf mehrere Punkte des Innen- und Außendurchmessers.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Software passt die zylindrische Form an und berechnet die Achsenabweichung zwischen beiden.

2. Messmethode für Innen- und Außendurchmesser

- **Methode :**
 - Messen Sie die Mehrpunktdurchmesserwerte des Innendurchmessers bzw. Außendurchmessers des Rohrs.
 - Die Abweichung der Mittellinien der beiden Zylinder wird mit mathematischen Methoden geschätzt.
- **Anwendbarkeit :**
 - Geeignet für schnelle Beurteilungen vor Ort.
 - Die Genauigkeit wird durch das Messwerkzeug begrenzt.

3. Optische Messtechnik

- **Laserscanner** und **Bildmessgeräte** können eine berührungslose Koaxialitätserkennung realisieren .
- Zu den Vorteilen zählen hohe Präzision, Zerstörungsfreiheit und Eignung für dünnwandige oder Präzisionsrohre aus Wolframlegierungen.

3. Datenanalyse und Bewertungsindikatoren

- **Wanddickengleichmäßigkeitsindex :**
 - Maximaler Wanddickenunterschied (Max-Min)
 - Standardabweichung (σ)
 - Gleichmäßigkeitskoeffizient (Gleichmäßigkeitsprozentsatz)
- **Koaxialität Index :**
 - Achsenversatz (μm - Ebene)
 - Toleranzkonformitätsrate (ob die Konstruktionstoleranzanforderungen erfüllt werden)

4. Empfehlungen zur Qualitätskontrolle

- Es wird empfohlen, ein Online-Erkennungssystem für Wandstärke und Koaxialität einzurichten , um eine Echtzeitüberwachung zu erreichen.
- Kalibrieren Sie Messgeräte regelmäßig, um genaue Testdaten sicherzustellen.
- Basierend auf den Testergebnissen wird Feedback zu Prozessanpassungen gegeben, das Formendesign und der Formungsprozess werden optimiert und die Gesamtqualität der Wolframlegierungsrohre wird verbessert.

V. Zusammenfassung

Die Gleichmäßigkeit der Wanddicke und die Koaxialität sind zentrale Qualitätsindikatoren für Rohre aus Wolframlegierungen. Mithilfe verschiedener Techniken, darunter Ultraschall-Dickenmessung, Röntgenprüfung, dreidimensionale Koordinatenmessung und optische Messung, können wir eine umfassende und genaue Bewertung von Rohren aus Wolframlegierungen durchführen und so solide Daten zur Produktleistungssicherung und Prozessoptimierung liefern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.7 Technologie zur Erkennung von Oberflächen- und Innenwanddefekten bei Rohren aus Wolframlegierungen (Wirbelstrom, CT, Ultraschall)

Wolframlegierungsrohre weisen Oberflächen- und Innendefekte auf, die sich direkt auf ihre mechanischen Eigenschaften, Lebensdauer und Sicherheit auswirken. Daher ist der Einsatz hochpräziser zerstörungsfreier Prüfverfahren zur Prüfung dieser Rohre auf Oberflächen- und Innendefekte für die Qualitätskontrolle und Leistungssicherung von entscheidender Bedeutung. Im Folgenden werden die Anwendungen und Vorteile der Wirbelstromprüfung, der Computertomographie (CT) und der Ultraschallprüfung zur Defekterkennung in Wolframlegierungsrohren beschrieben.

1. Wirbelstromprüfung (ECT)

1. Prinzipielle Einführung

Bei der Wirbelstromprüfung wird das Prinzip der elektromagnetischen Induktion genutzt, um Oberflächenrisse, Löcher, Korrosion und andere Defekte zu identifizieren, indem Änderungen der induzierten Wirbelströme auf der Rohroberfläche und oberflächennahen leitfähigen Materialien erkannt werden.

2. Vorteile der Verwendung von Wolframlegierungsrohren

- **Hohe Empfindlichkeit** : Sehr empfindlich gegenüber winzigen Oberflächenrisen und Korrosion, kann Defekte im Submillimeterbereich erkennen.
- **Schnelles Scannen** : Geeignet für schnelle zerstörungsfreie Prüfungen und ermöglicht Online-Tests in der Massenproduktion.
- **Berührungslose Erkennung** : Vermeidet Schäden an der Rohroberfläche.
- **Geeignet für komplexe Geometrien** : Zur Erkennung der Rohrrinnenwand und komplexer Teile können unterschiedliche Sondenkonstruktionen eingesetzt werden.

3. Einschränkungen

- Die Erkennungstiefe ist begrenzt, was die Erkennung tiefer innerer Defekte erschwert.
- Zur Anpassung der Detektionsparameter sind einige Kenntnisse über die elektromagnetischen Eigenschaften des Materials erforderlich.

2. Computertomographie (CT)

1. Prinzipielle Einführung

Bei der CT werden Röntgenstrahlen um das Rohr gedreht, um Mehrwinkelprojektionsbilder zu erfassen. Mithilfe eines Computers wird die dreidimensionale Innenstruktur des Rohrs rekonstruiert, wodurch eine intuitive Abbildung innerer und äußerer Defekte erreicht wird.

2. Vorteile der Verwendung von Wolframlegierungsrohren

- **Dreidimensionale Bildgebungsfunktion** : Kann den Ort, die Größe, die Form und die räumliche Verteilung des Defekts genau anzeigen.
- **Hohe Auflösung** : geeignet zum Erkennen innerer Defekte wie feiner Risse, Poren, Einschlüsse usw.
- **Zerstörungsfrei** : Die Probe muss nicht zerstört werden, geeignet für die Qualitätsbewertung hochwertiger Wolframlegierungsrohre .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Multifunktionale Prüfung** : Neben der Fehlererkennung können auch strukturelle Integritätsanalysen und geometrische Dimensionsprüfungen durchgeführt werden.

3. Einschränkungen

- Die Investitions- und Wartungskosten für die Ausrüstung sind hoch.
- Der Erkennungszyklus ist lang und für die Online-Erkennung von Hochgeschwindigkeitsproduktionslinien nicht geeignet.
- Bei Materialien mit hoher Dichte wie Wolframlegierungen muss die Strahlungsenergie angepasst werden, um eine Durchdringung zu gewährleisten.

3. Ultraschallprüfung (UT)

1. Prinzipielle Einführung

Bei der Ultraschallprüfung werden hochfrequente Schallwellen verwendet, die sich durch Rohre ausbreiten und auf von Defekten reflektierte oder gestreute Schallwellensignale treffen, um innere Defekte zu erkennen.

2. Vorteile der Verwendung von Wolframlegierungsrohren

- **Starkes Eindringvermögen** : geeignet zum Erkennen tiefer Defekte im Inneren von Rohren, wie Risse, Poren, Einschlüsse und Zwischenschichtablösungen.
- **Mehrere Erkennungsmethoden** : einschließlich Impulsequenzmethode und Phased-Array-Technologie, um den Erkennungsanforderungen verschiedener Defekttypen gerecht zu werden.
- **Online-Erkennung möglich** : geeignet zur schnellen Erkennung von Produktionslinien.
- **Zerstörungsfreie Prüfung** : keine Beschädigung des Rohres.

3. Einschränkungen

- Es reagiert empfindlich auf Oberflächenbedingungen und erfordert ein gutes Kopplungsmittel, um die Erkennungsqualität sicherzustellen.
- Die Schallwellen in Materialien mit hoher Dichte werden stärker gedämpft und Frequenz und Leistung müssen angepasst werden, um die beste Wirkung zu erzielen.

4. Umfassende Erkennungsstrategie

Um die Qualität und Sicherheit von Wolframlegierungsrohren zu gewährleisten, wird üblicherweise eine Kombination verschiedener Prüftechnologien eingesetzt:

- **Die Wirbelstromprüfung** dient der schnellen Erkennung von Oberflächen- und oberflächennahen Defekten.
- **Durch Ultraschallprüfungen** können innere Defekte in Rohrwänden, insbesondere bei mittleren und dicken Rohren, gründlich erkannt werden.
- **Die CT-Untersuchung** wird zur hochpräzisen Defektbildung und quantitativen Analyse komplexer Defekte verwendet.

Dieses mehrstufige, technologieübergreifende kollaborative Erkennungssystem verbessert effektiv die Vollständigkeit und Genauigkeit der Erkennung.

5. Zusammenfassung:

Die Oberflächen- und Innendefekterkennung bei Wolframlegierungsrohren basiert auf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fortschrittlichen zerstörungsfreien Prüftechnologien wie Wirbelstrom, CT und Ultraschall, um Defekte unterschiedlicher Art und Tiefe vollständig zu erfassen. Durch die kontinuierliche Verbesserung und intelligente Weiterentwicklung von Prüfgeräten wird die Defekterkennung bei Wolframlegierungsrohren künftig effizienter und präziser, was die stabile Produktion und Anwendung von Hochleistungs-Wolframlegierungsrohren gewährleistet.

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/cm³), 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

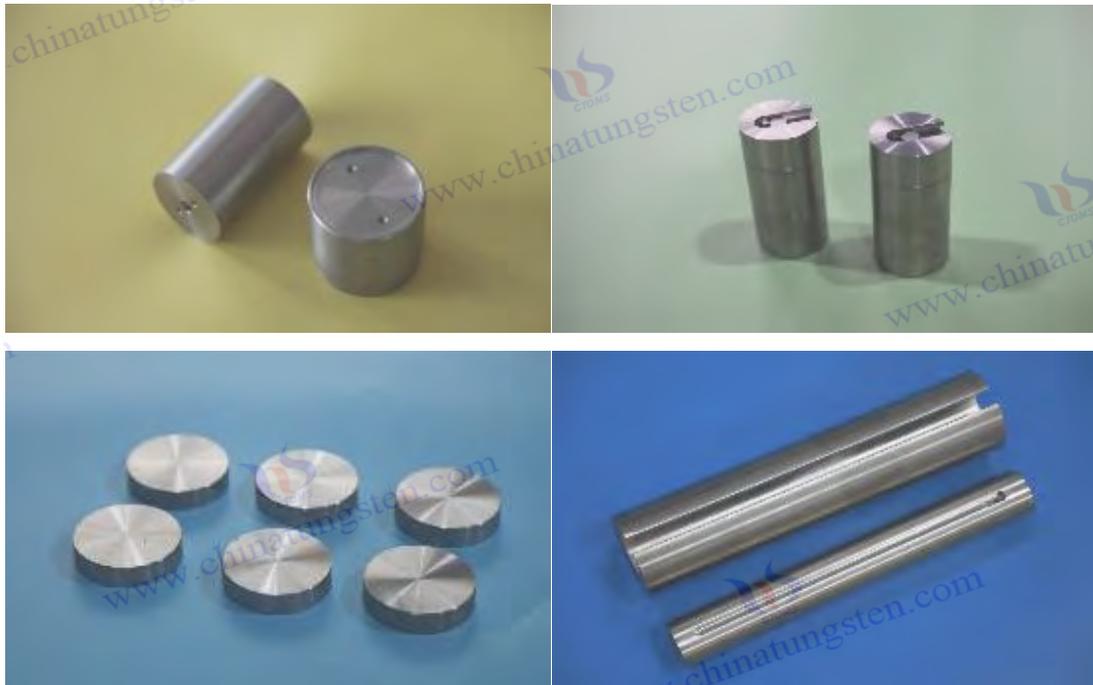
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: 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

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



Kapitel 5 Typische Anwendungsbereiche von Wolframlegierungsrohren

5.1 Anwendung von Wolframlegierungsrohren in Abschirmungen und Strukturgehäusen in der Nuklearindustrie

Wolframlegierungsrohre spielen mit ihrer extrem hohen Dichte, hervorragenden Strahlungsbeständigkeit und guten mechanischen Festigkeit eine unverzichtbare und wichtige Rolle in der Nuklearindustrie, insbesondere im Strahlenschutz und in der Strukturummantelung. Im Folgenden werden die wichtigsten Anwendungen und technischen Vorteile von Wolframlegierungsrohren in der Nuklearindustrie beschrieben.

1. Vorteile von Wolframlegierungsrohren als Abschirmmaterial für nukleare Strahlung

In nuklearindustriellen Umgebungen stellt radioaktive Strahlung eine erhebliche Bedrohung für die Sicherheit des Personals und den Betrieb der Anlagen dar. Die hohe Dichte (typischerweise über $17,0 \text{ g/cm}^3$) und die Ordnungszahl (74) von Wolframlegierungsrohren verleihen ihnen eine starke Abschirmung gegen Gamma- und Röntgenstrahlen. Dadurch wird die Strahlendurchlässigkeit effektiv reduziert und die Sicherheit von Kernreaktoren, Kernbrennelementen und Bedienern gewährleistet.

- **Abschirmung mit hoher Dichte** : Die Abschirmeffizienz von Rohren aus Wolframlegierungen ist besser als die von herkömmlichen Blei- und Stahlmaterialien und sie verfügen über bessere mechanische Eigenschaften und eine bessere Anpassungsfähigkeit an die Umwelt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Hohe mechanische Festigkeit** : Behält auch in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hohem Druck eine hervorragende strukturelle Stabilität bei .
- **Gute Korrosionsbeständigkeit** : geeignet für komplexe chemische Umgebungen und Strahlungsfelder in der Nuklearindustrie.

2. Anwendung von Wolframlegierungsrohren in Strukturgehäusen in der Nuklearindustrie

In Kernreaktoren und zugehörigen Anlagen werden Wolframlegierungsrohre häufig als strukturelle Gehäuse zum Schutz und zur Unterstützung wichtiger Komponenten eingesetzt. Zu den spezifischen Anwendungen gehören:

- **Beschichtung von Kernbrennelementen** : Rohre aus Wolframlegierungen können als Brennstabummantelung verwendet werden, um das Austreten radioaktiver Stoffe zu verhindern und die mechanische Integrität von Brennelementen zu verbessern .
- **Neutronenabsorptionsrohr** : Durch Optimierung der Legierungszusammensetzung kann das **Wolframlegierungsrohr** Neutronen wirksam absorbieren, die Kernreaktionsrate regulieren und die Sicherheitsleistung des Reaktors verbessern.
- **Rohre für Reaktorkühlsysteme** : Aufgrund ihrer hohen Temperaturbeständigkeit, Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit werden Rohre aus Wolframlegierungen in Kühlmittelrohren von Kernreaktoren verwendet, um einen stabilen Betrieb des Systems zu gewährleisten.

3. Technische Anforderungen an Wolframlegierungsrohre in der Nuklearindustrie

Für Anwendungen in der Nuklearindustrie müssen Rohre aus Wolframlegierungen die folgenden technischen Schlüsselindikatoren erfüllen:

- **Hohe Dichte und geringe Porosität** gewährleisten Abschirmleistung und mechanische Festigkeit.
- **Eine strenge Maßgenauigkeit** gewährleistet eine präzise Montage und Abdichtung in nuklearen Geräten.
- **Die Strahlungsbeständigkeit ist stabil und** die Materialeistung bleibt nach Langzeitbestrahlung unverändert .
- **Es weist eine hohe Korrosions- und Hitzebeständigkeit auf** und ist für hohe Temperaturen und korrosive Medien in nuklearen Umgebungen geeignet.

4. Typische Anwendungsfälle von Wolframlegierungsrohren in der Nuklearindustrie

- **Neutronenabsorptionsrohr für Reaktoren** : In einem Kernkraftwerk werden Rohre aus einer W-Ni-Fe-Wolframlegierung als Neutronenabsorptionsmaterial verwendet, wodurch die Regelgenauigkeit und der Sicherheitsfaktor des Reaktors erheblich verbessert werden.
- **Auskleidungsrohr für Atommüllbehälter** : Wolframlegierungsrohre werden als Auskleidung von Atommüllbehältern verwendet, um Strahlungslecks wirksam zu verhindern und die Umweltsicherheit zu gewährleisten.
- **Schutzschild für radioaktive Geräte** : Schilde aus Rohren aus Wolframlegierungen werden verwendet, um Mitarbeiter der Nuklearindustrie vor Strahlenschäden zu schützen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Zukünftige Entwicklungsrichtung

Mit der Weiterentwicklung der Nukleartechnologie werden die Anwendungsanforderungen für Wolframlegierungsrohre immer vielfältiger. Zukünftige Forschungsschwerpunkte sind:

- **Hochleistungsrohr aus Wolframlegierung** reduziert die strukturelle Belastung und gewährleistet gleichzeitig die Abschirmwirkung.
- **Durch die Optimierung der Nanostruktur von Rohren aus Wolframlegierungen** werden deren mechanische Eigenschaften und Strahlungsbeständigkeit verbessert.
- **Intelligente Überwachungs- und Qualitätskontrolltechnologie** gewährleistet den langfristig stabilen Betrieb von Wolframlegierungsrohren in nuklearen Umgebungen.

VI. Zusammenfassung

Rohre aus Wolframlegierungen spielen aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen Eigenschaften und Umweltbeständigkeit eine zentrale Rolle bei der Gewährleistung der nuklearen Sicherheit und der Stabilität der Ausrüstung. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Materialwissenschaft und Fertigungstechnologie werden sich für Rohre aus Wolframlegierungen in der Zukunft breitere Anwendungsaussichten im Bereich der Kernenergie ergeben.

5.2 Aufbau und Schutzfunktion von Wolframlegierungsrohren in militärischen Waffensystemen

Wolframlegierungsrohre spielen mit ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit sowie ausgezeichneten Hitze- und Korrosionsbeständigkeit eine wichtige strukturelle und schützende Rolle in modernen militärischen Waffensystemen. Diese entscheidenden Vorteile machen sie zu einem idealen Material für die Herstellung von Kernkomponenten in einer Vielzahl von Waffensystemen mit Anwendungen in einem breiten Spektrum von Bereichen, darunter Projektilhüllen, Raketengehäuse, panzerbrechende Panzerung und Schutzbarrieren.

1. Strukturelle Vorteile von Wolframlegierungsrohren in militärischen Waffensystemen

1. Hohe

mechanische Festigkeit und Härte, die extremen Stoßbelastungen und Vibrationen standhält und die strukturelle Integrität von Waffensystemen während Start, Flug und Explosionen gewährleistet. Seine hervorragende Ermüdungsbeständigkeit gewährleistet die langfristige Zuverlässigkeit von Waffenkomponenten.

2. Die Dichte

von Wolframlegierungsrohren (normalerweise über $17,0 \text{ g/cm}^3$) macht sie zu einem idealen Material für Trägheitsgegengewichte. Sie werden häufig in Lageregelungssystemen und ballistischen Stabilisierungsvorrichtungen von Raketen und Flugzeugen verwendet, um die Genauigkeit und Stabilität von Waffen zu verbessern.

3. Hervorragende thermische Stabilität

In Umgebungen mit hohen Temperaturen, explosiven Bedingungen und hohen Fluggeschwindigkeiten können Rohre aus Wolframlegierungen eine gute thermische

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Stabilität und gute mechanische Eigenschaften beibehalten und so strukturelle Ausfälle aufgrund von Wärmeausdehnung oder Erweichung verhindern.

2. Anwendung der Schutzfunktion von Wolframlegierungsrohren

1. werden Wolframlegierungsrohre häufig als **Gehäusematerial für panzerbrechende** Geschosse verwendet. Wolframlegierungsrohre können die Geschossenergie effektiv konzentrieren, die Durchschlagskraft von Panzerungen verbessern und die Tödlichkeit panzerbrechender Geschosse erhöhen.

2. und Raketenkörperstrukturen

, die nicht nur die mechanische Festigkeit und Stabilität des Körpers verbessern, sondern auch das Strukturvolumen effektiv reduzieren, um ein leistungsstarkes Leichtbaudesign zu erreichen.

3. Schutzpanzerung und Barrierematerialien

Als hochdichtes Schutzmaterial können Wolframlegierungsrohre zu Schutzrohrverbindungen verarbeitet und in Schlüsselteilen wichtiger Militäranlagen und Fahrzeuge eingebaut werden, um deren Widerstandsfähigkeit gegen Elastizität und Explosionswirkung zu erhöhen.

3. Technische Anforderungen an Wolframlegierungsrohre im militärischen Bereich

• Dichte und Gleichmäßigkeit

stellen sicher, dass das Rohr frei von Poren und Einschlüssen ist, wodurch die mechanischen Gesamteigenschaften und die Schlagfestigkeit verbessert werden.

• Die Maßgenauigkeit und geometrische Koaxialität

erfüllen die hohen Anforderungen im komplexen Waffensystembau und gewährleisten die Passgenauigkeit mechanischer Schnittstellen.

• Die Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit

passen sich der veränderten militärischen Umgebung an und verlängern die Lebensdauer der Waffensystemkomponenten.

• Strahlungsbeständigkeit und thermische Stabilität

erfüllen die Anforderungen von Kampfumgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Strahlung und sorgen für stabile Materialeigenschaften.

4. Typische Anwendungsfälle

• Ein bestimmter Typ eines modernen **panzerbrechenden Projektils mit Kern und Hülle verwendet**

als Kernhülle ein Rohr aus einer Wolframlegierung, durchdringt erfolgreich mehrschichtige Verbundpanzerungen und verbessert die Tödlichkeit der Munition erheblich.

• Hochpräzise Wolframlegierungsrohre **für Trägheitsgegengewichte von Raketen**

werden als Trägheitsgegengewichte in Lageregelungssystemen von Raketen verwendet und gewährleisten die Stabilität und Genauigkeit der Flugbahn der Rakete.

• **Die Schutzschicht des gepanzerten Fahrzeugs**

, Wolframlegierungsrohre für den Schutz gepanzerter Fahrzeuge, verbessern die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Explosions- und Durchschlagsfestigkeit des Fahrzeugs und verbessern die Sicherheit der Insassen.

5. Zukünftige Entwicklungstrends:

Bei der Entwicklung von

Hochleistungsrohrmaterialien aus Wolframlegierungen werden Nanoverstärkungs- und Mikrolegierungstechnologien kombiniert, um die Gesamtleistung des Materials zu verbessern und den zukünftigen Anforderungen an hohe Festigkeit und Zähigkeit gerecht zu werden.

- **Intelligente Fertigungs- und Präzisionsverarbeitungstechnologie**
nutzt fortschrittliche Fertigungstechnologien wie 3D-Druck und Laserverarbeitung, um die Herstellung von Wolframlegierungsrohren mit komplexen Formen zu erreichen und die Gesamtleistung von Waffensystemen zu verbessern.
- **Verbundstruktur aus Wolframlegierungsrohren.**
Verbundrohre aus Wolframlegierungen und anderen Funktionsmaterialien werden entwickelt, um eine multifunktionale Integration zu erreichen und den Schutz und die Kampffähigkeit von Waffensystemen zu verbessern.

VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre sind für die Struktur- und Schutzfunktionen militärischer Waffensysteme unverzichtbar. Ihre hohe Dichte, hohe Festigkeit und hervorragende Umweltbeständigkeit bilden eine solide Grundlage für moderne Waffensysteme. Mit Fortschritten in der Materialwissenschaft und den Herstellungsprozessen werden Wolframlegierungsrohre breitere Anwendungsperspektiven und technologische Vorteile im Militärssektor bieten.

5.3 Schutz und Positionierung von Wolframlegierungsrohren in medizinischen Strahlentherapiegeräten

Wolframlegierungsrohre spielen mit ihrer außergewöhnlich hohen Dichte und ihren Abschirmeigenschaften eine Schlüsselrolle beim Schutz und der Positionierung medizinischer Strahlentherapiegeräte. Während der Strahlentherapie sind eine präzise Strahlenexposition und der sichere Schutz von Personal und Geräten entscheidend für die Wirksamkeit der Behandlung und die Betriebssicherheit. Wolframlegierungsrohre werden aufgrund ihrer einzigartigen physikalischen Eigenschaften häufig bei der Entwicklung und Herstellung entsprechender Geräte verwendet.

1. Vorteile der hochdichten Abschirmleistung von Rohren aus Wolframlegierungen

1. Blockieren Sie effektiv hochenergetische Strahlung

. Die Dichte von Wolframlegierungsrohren liegt üblicherweise über $17,0 \text{ g/cm}^3$. Sie haben eine höhere Strahlungsdämpfungsfähigkeit als herkömmliche Abschirmmaterialien wie Blei. Sie können hochenergetische Strahlung wie Röntgen- und Gammastrahlen effektiv blockieren, Strahlungslecks reduzieren und die Sicherheit von Patienten und Bedienern gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Optimieren Sie Volumen und Gewicht der Geräte.

Im Vergleich zu herkömmlichen Bleimaterialien sind Rohre aus Wolframlegierungen kleiner und kompakter aufgebaut, bieten aber die gleiche Schutzwirkung. Dies ermöglicht die Entwicklung leichter und flexibler Strahlentherapiegeräte und verbessert deren Bedienkomfort und Haltbarkeit.

2. Typische Anwendungen von Wolframlegierungsrohren in Strahlentherapiegeräten

1. Wolframlegierungsrohre werden häufig als Mantelmaterial für den Strahlauslass von Strahlentherapiegeräten verwendet,

um die Richtung und Intensität der Strahlung präzise zu steuern, Strahlungsstreuung und unnötige Gewebelastung zu vermeiden und die Behandlungsgenauigkeit zu verbessern.

2. Strahlenschutzabdeckung und Abschirmbaugruppe

Der eingebaute Kontrollschild aus Wolframlegierung dient zum Schutz wichtiger elektronischer Komponenten und Bediener, verhindert das Austreten von Strahlung aus dem Gerät und gewährleistet einen stabilen Betrieb des Geräts und eine sichere Betriebsumgebung.

3. in Stützstrukturen zur Patientenpositionierung

machen sie zu einem wichtigen Strukturmaterial für Geräte zur Patientenpositionierung, das eine genaue Positionierung der Patienten während der Strahlentherapie gewährleistet und die Behandlungsergebnisse verbessert.

3. Physikalische Leistungsanforderungen an Wolframlegierungsrohre

• Hohe Dichte und Gleichmäßigkeit

gewährleisten die Kontinuität und Stabilität der Schutzwirkung und verhindern, dass die Abschirmwirkung durch Materialfehler nachlässt.

• Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität

gewährleisten die präzise Passform der inneren Struktur von Strahlentherapiegeräten und verbessern so die Gesamtstabilität und Haltbarkeit der Geräte.

• Durch die gute thermische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit

können sie sich an die hohen Umgebungstemperaturen sowie die Reinigungs- und Desinfektionsanforderungen während des Gerätebetriebs anpassen und so die Lebensdauer der Komponenten verlängern.

IV. Entwicklungstrends und technologische Innovationen

• Funktional abgestufte Wolframlegierungsrohre

erreichen eine optimale Leistung von Wolframlegierungsrohren an verschiedenen Stellen durch ein abgestuftes Design der Materialzusammensetzung und Organisationsstruktur, wobei sowohl die Abschirmeffizienz als auch die mechanische Festigkeit berücksichtigt werden.

• Rohre aus Wolframlegierungen und intelligente Überwachungssysteme in Kombination

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mit Sensortechnologie ermöglichen eine Echtzeitüberwachung des Schutzstatus in Strahlentherapiegeräten und verbessern so die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Geräte.

- **Bei der additiven Fertigungstechnologie**

wird 3D-Drucktechnologie verwendet, um Rohrkomponenten aus Wolframlegierungen mit komplexen Formen anzupassen und so den Designanforderungen personalisierter medizinischer Geräte gerecht zu werden.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre spielen mit ihrer außergewöhnlich hohen Dichte und ihren mechanischen Eigenschaften eine unersetzliche Rolle beim Schutz und der Positionierung medizinischer Strahlentherapiegeräte. Dank der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Materialtechnologie und der Herstellungsverfahren werden Wolframlegierungsrohre künftig ein größeres Potenzial zur Verbesserung der Leistung und Sicherheit medizinischer Geräte haben und so zur Entwicklung der Präzisionsmedizin beitragen.

5.4 Wolframlegierungsrohre für Trägheitsteile und Hochtemperatur-Durchflussrohre in der Luft- und Raumfahrt

Wolframlegierungsrohre spielen aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit und hervorragenden Hochtemperaturbeständigkeit eine Schlüsselrolle in Trägheitskomponenten und Hochtemperatur-Stromungskanälen in der Luft- und Raumfahrtindustrie. Diese Anwendungen stellen extrem hohe Anforderungen an die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Materials sowie an seine Umweltverträglichkeit. Wolframlegierungsrohre erfüllen diese strengen Bedingungen und gewährleisten so die Stabilität und Sicherheit von Flugzeug- und Triebwerkssystemen.

1. Vorteile von Wolframlegierungsrohren als Trägheitsteile in der Luft- und Raumfahrt

1. **Hohe Dichte führt zu hoher Trägheit.**

Wolframlegierungsrohre haben typischerweise eine Dichte zwischen 17 und 19 g/cm³ und eignen sich daher ideal als Gegengewichtsmaterial. Trägheitskomponenten wie Gyroskop-Gegengewichte und Ausgleichsgewichte in Trägheitsnavigationssystemen nutzen Wolframlegierungsrohre, um eine hohe Massenkonzentration zu erreichen und so die Systemstabilität und -genauigkeit zu verbessern.

2. **Hervorragende mechanische Festigkeit und Zähigkeit.**

Trägheitsteile in der Luft- und Raumfahrt müssen starken Vibrationen und Stoßbelastungen standhalten. Rohre aus Wolframlegierungen verfügen über eine ausgezeichnete Zugfestigkeit, Streckgrenze und Zähigkeit, sodass die Teile auch in Umgebungen mit extremen Vibrationen nicht brechen oder sich verformen.

3. **Dimensionsstabilität und Verarbeitungspräzision**

Hohe Dimensionspräzision und ausgezeichnete thermische Stabilität ermöglichen es Trägheitskomponenten aus Wolframlegierungsrohren, ihre strukturelle Stabilität in komplexen Umgebungen aufrechtzuerhalten und so den genauen Betrieb des Trägheitsnavigationssystems sicherzustellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Anwendungswert von Wolframlegierungsrohren in Hochtemperatur-Strömungsführungsrohren

1. mit ausgezeichneter Hochtemperaturbeständigkeit

behalten gute mechanische Eigenschaften und chemische Stabilität in Hochtemperaturumgebungen. Sie eignen sich für den Einsatz als Führungsrohre in Schlüsselbereichen wie Brennkammern von Flugzeugtriebwerken und Hochtemperatur-Abgassystemen, um die Stabilität und Effizienz des Gasflusses zu gewährleisten.

2. Beständigkeit gegen thermische Ermüdung und Anpassung an die Wärmeausdehnung:

Rohre aus Wolframlegierungen haben einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten und lassen sich gut mit anderen Hochtemperaturlegierungsmaterialien kombinieren, wodurch Risse und Ermüdung durch thermische Spannung reduziert und die Lebensdauer des Führungsrohrs verlängert wird.

3. Hervorragende Korrosionsbeständigkeit:

Die Brenngasumgebung in Flugzeugtriebwerken ist komplex und enthält eine Vielzahl korrosiver Gase. Rohre aus Wolframlegierung verfügen über hervorragende Antioxidations- und Korrosionsschutzeigenschaften und gewährleisten so den langfristig stabilen Betrieb des Führungsrohrs.

3. Fertigungstechnologie von Wolframlegierungsrohren in Luft- und Raumfahrtanwendungen

1. Technologien hochdichte

Wolframlegierungsrohre hergestellt, kombiniert mit Präzisionssintern und Wärmebehandlung, um hervorragende mechanische Eigenschaften und eine dichte Mikrostruktur zu erzielen.

2. Bei der hochpräzisen Bearbeitung und Oberflächenbehandlung

kommen Präzisionsschleif-, Polier- und Oberflächenbeschichtungstechnologien zum Einsatz, um sicherzustellen, dass die Rohrgröße und Oberflächenqualität den strengen Anforderungen von Luft- und Raumfahrtkomponenten entsprechen.

3. Bei der Erforschung additiver Fertigungstechnologien

wird additive Fertigungstechnologie kombiniert, um ein schnelles Prototyping komplex geformter Wolframlegierungsrohrkomponenten zu erreichen und so kundenspezifische und vielfältige Designanforderungen zu erfüllen.

IV. Zukünftige Entwicklungstrends und Herausforderungen

• Funktionsintegration und Leichtbau

erforschen die Kombination von Wolframlegierungsrohren und Verbundwerkstoffen, optimieren die strukturelle Gestaltung von Trägerteilen und Führungsrohren und erreichen ein Gleichgewicht zwischen hoher Leistung und geringem Gewicht.

• Verbesserte Leistung in Hochtemperaturumgebungen

Durch Mikrolegierung und Nanostrukturdesign werden die Hochtemperaturbeständigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und thermische Stabilität von Wolframlegierungsrohren weiter verbessert, um den Anforderungen zukünftiger extremer Luft- und Raumfahrtumgebungen gerecht zu werden.

- **Intelligente Überwachung und Lebensdauervorhersage**
integrieren Sensortechnologie, um den Status von Rohrkomponenten aus Wolframlegierungen in Echtzeit zu überwachen, die Ermüdungslebensdauer vorherzusagen und die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Luft- und Raumfahrtsystemen zu gewährleisten.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre bieten aufgrund ihrer einzigartigen physikalischen und mechanischen Eigenschaften breite Anwendungsmöglichkeiten in Trägheitskomponenten und Hochtemperatur-Strömungsführungsrohren für die Luft- und Raumfahrt. Dank der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Materialwissenschaft und Fertigungstechnologie werden Wolframlegierungsrohre die Entwicklung der Luft- und Raumfahrttechnologie weiter vorantreiben und so für höhere Leistung und Sicherheit sorgen.

5.5 Anwendung von Wolframlegierungsrohren als Wärmeableitungsrohre in elektronischen und Kommunikationsgeräten

Mit der Entwicklung von Elektronik- und Kommunikationsgeräten hin zu hoher Leistung, hoher Integration und Miniaturisierung wird die Wärmeableitung zu einem entscheidenden Faktor, der die Stabilität und Lebensdauer der Geräte einschränkt. Rohre aus Wolframlegierungen haben sich mit ihrer hervorragenden Wärmeleitfähigkeit, hohen Dichte und guten mechanischen Festigkeit zu einem idealen Material für Wärmeableitungsrohre in der Elektronik- und Kommunikationsbranche entwickelt.

1. Materialvorteile von Wärmeableitungsrohren aus Wolframlegierungen

1. **mit hoher Wärmeleitfähigkeit**
haben eine hohe Wärmeleitfähigkeit und können die von elektronischen Komponenten erzeugte Wärme schnell an den Kühlkörper oder die äußere Umgebung übertragen, wodurch lokale Überhitzung vermieden und der normale Betrieb des Geräts sichergestellt wird.
2. **Hervorragende Anpassung der Wärmeausdehnung:**
Der Wärmeausdehnungskoeffizient der Wolframlegierung liegt nahe an dem vieler Halbleiter- und Elektronikmaterialien, wodurch schlechter Kontakt und Materialermüdung durch thermische Belastung reduziert und die Stabilität des Wärmeableitungssystems verbessert wird.
3. **Mechanische Stabilität durch hohe Dichte**
Die hohe Dichte von Rohren aus Wolframlegierung verleiht ihnen eine gute mechanische Festigkeit und Vibrationsbeständigkeit, sodass sie ihre strukturelle Integrität auch bei Vibrationen oder Stößen der Geräte aufrechterhalten können.
4. **Chemische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit:**
In einer sich verändernden elektronischen Umgebung oxidieren oder korrodieren Rohre aus

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungen nicht so leicht, was eine langfristige und zuverlässige Nutzung der Wärmeableitungsrohre gewährleistet.

2. Spezifische Anwendungen von Wolframlegierungsrohren in elektronischen und Kommunikationsgeräten

1. Wärmeableitung von Hochleistungshalbleiterbauelementen

Leistungsverstärker, HF-Module und andere Hochleistungshalbleiterbauelemente erzeugen viel Wärme. Rohre aus Wolframlegierungen werden als Wärmeleitpfade verwendet, um die Wärmeableitungseffizienz zu verbessern und Leistungseinbußen durch zu hohe Temperaturen zu vermeiden.

2. Wärmeableitung von Kommunikationsbasisstationsgeräten

Verstärker, Verarbeitungseinheiten und andere wichtige Geräte in Kommunikationsbasisstationen benötigen ein stabiles Wärmeableitungssystem. Rohre aus Wolframlegierungen können Wärme effektiv übertragen und so einen kontinuierlichen und stabilen Betrieb der Geräte gewährleisten.

3. Rohre aus Wolframlegierungen werden als Kühlkanäle in hochwertigen elektronischen Instrumenten wie Lasern und Sensoren verwendet, um die Temperaturstabilität der Geräte aufrechtzuerhalten und die Messgenauigkeit sowie die Lebensdauer der Instrumente zu verbessern .

4. mit integrierter Mikro-Wärmeableitungsstruktur

ein Mikro-Wärmerohr hergestellt werden, das zur lokalen Wärmeableitung hochdichter integrierter Schaltkreise verwendet wird und die extremen Anforderungen mikroelektronischer Geräte an die Wärmeableitungsleistung erfüllt.

3. Herstellung und technische Herausforderungen von Wärmeableitungsrohren aus Wolframlegierungen

1. Hochpräzise Maßkontrolle

Die Wärmeableitungskanäle elektronischer Geräte müssen hinsichtlich Größe und Wandstärke streng kontrolliert werden, um eine effiziente Abstimmung mit anderen Wärmeableitungskomponenten zu gewährleisten. Rohre aus Wolframlegierungen müssen einer präzisen Verarbeitung und Prüfung unterzogen werden.

2. Die Glätte der Innen- und Außenflächen erfordert, dass

die Innenwand glatt ist, um den reibungslosen Fluss von Flüssigkeiten (wie Kühlmittel) zu erleichtern und den Widerstand zu verringern, während die Beschaffenheit der Außenfläche die Wärmeableitungseffizienz und die Kontaktleistung beeinflusst.

3. Verbundwerkstoffe und Beschichtungstechnologie

Für verschiedene Anwendungsumgebungen muss die Oberfläche von Wolframlegierungsrohren möglicherweise beschichtet werden, um die Wärmeleitfähigkeit, Korrosionsbeständigkeit oder elektrische Isolierung zu verbessern und so multifunktionale Verbundwerkstoffe zu erhalten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

IV. Zukünftige Entwicklungstrends

- **Das intelligente Kühlsystem**
integriert Sensoren und eine intelligente Steuerung, um eine Echtzeit-Temperaturüberwachung und -anpassung des Wärmeableitungskanals des Wolframlegierungsrohrs zu erreichen und so die Reaktionsgeschwindigkeit des Systems und die Kühleffizienz zu verbessern.
- **Bei der Optimierung des Mikrostrukturdesigns**
werden fortschrittliche Materialdesign- und Mikrobearbeitungstechnologien eingesetzt, um die innere Struktur von Wolframlegierungsrohren zu optimieren und so eine höhere Wärmeübertragungseffizienz und bessere mechanische Eigenschaften zu erzielen.
- **Die Entwicklung leichter und leistungsstarker Verbundwerkstoffe verbessert die Gesamtleistung von**
Wolframlegierungsrohren durch Technologien wie Nanopartikelverstärkung und Gradientenfunktionsdesign, um den Anforderungen elektronischer Geräte nach geringem Gewicht und hoher Zuverlässigkeit gerecht zu werden.

V. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre eignen sich aufgrund ihrer hervorragenden Wärmeleitfähigkeit, mechanischen Festigkeit und Umweltverträglichkeit ideal als Wärmeableitungsrohre in Elektronik- und Kommunikationsgeräten. Mit der kontinuierlichen Leistungssteigerung elektronischer Geräte und der Weiterentwicklung der Wärmeableitungstechnologie wird sich der Anwendungsbereich von Wolframlegierungsrohren weiter erweitern und die stetige Entwicklung leistungsstarker elektronischer Produkte vorantreiben.

zur strukturellen Unterstützung in Industrieformen und verschleißfesten Auskleidungen

Wolframlegierungsrohre werden aufgrund ihrer hohen Dichte, Härte und hervorragenden Verschleißfestigkeit häufig in Industrieformen und verschleißfesten Auskleidungen verwendet. Sie spielen eine Schlüsselrolle bei der strukturellen Unterstützung und dem Verschleißschutz und verbessern effektiv die Lebensdauer der Form und die Betriebsstabilität der Anlage.

1. Die Materialvorteile von Wolframlegierungsrohren spiegeln sich in Industrieformen wider

1. Hohe Härte und Verschleißfestigkeit

Wolframlegierungsrohre weisen eine extrem hohe Härte und Verschleißfestigkeit auf. Sie halten dem hohen Druck und der hohen Reibung der Materialien während des Formbildungsprozesses stand, wodurch die Lebensdauer der Form erheblich verlängert und die Kosten für häufigen Austausch oder Wartung reduziert werden.

2. Hohe Dichte und mechanische Festigkeit

Die hohe Dichte von Rohren aus Wolframlegierung verleiht ihnen eine hervorragende mechanische Festigkeit und Verformungsbeständigkeit und stellt sicher, dass die Form auch unter hoher Belastung und starken Aufprallbedingungen ihre strukturelle Stabilität und Maßgenauigkeit behält.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Gute thermische Stabilität:

Industrielle Formen arbeiten oft bei hohen Temperaturen. Rohre aus Wolframlegierungen weisen eine ausgezeichnete Hochtemperaturbeständigkeit auf, widerstehen effektiv thermischer Ermüdung und Wärmeausdehnung und reduzieren die Auswirkungen thermischer Verformung auf die Formqualität.

2. Die Schlüsselrolle von Wolframlegierungsrohren in verschleißfesten Auskleidungen

1. Strukturelle Unterstützung

der verschleißfesten Auskleidung: Das Kernlagermaterial der verschleißfesten Auskleidung ist ein Rohr aus Wolframlegierung. Es bietet eine starke strukturelle Unterstützung, um die Stabilität der Auskleidung in Umgebungen mit hoher Geschwindigkeit und hohem Verschleiß sicherzustellen und Leckagen und Schäden durch Rohrleitungsverbleiß zu reduzieren.

2. Korrosionsbeständigkeit und chemische Stabilität

In rauen Umgebungen wie der Chemie- und Bergbauindustrie weisen Rohre aus Wolframlegierungen eine erhebliche Korrosionsbeständigkeit auf und können korrosiven Medien wie Säuren, Laugen und Salzen standhalten, wodurch die Lebensdauer verschleißfester Auskleidungen verlängert wird.

3. Reduzieren Sie die Wartungshäufigkeit und Ausfallzeiten.

Die hervorragende Verschleißfestigkeit verringert effektiv die Austauschhäufigkeit der Auskleidung, verringert die Wartungskosten und Ausfallzeiten der Ausrüstung und verbessert die Produktionseffizienz.

3. Technische Anforderungen an Wolframlegierungsrohre in Industrieformen und verschleißfesten Auskleidungen: Maßgenauigkeit und Gleichmäßigkeit der Wanddicke.

Bei Rohren aus Wolframlegierungen müssen die Abmessungen und die Wandstärke streng kontrolliert werden, um die Genauigkeit der Formmontage und die gleichmäßige Verschleißfestigkeit der Auskleidung zu gewährleisten.

1. Oberflächenqualität und Fehlerkontrolle

Die Oberfläche des Rohrs sollte glatt und frei von Fehlern wie Rissen und Poren sein, um Spannungskonzentrationen zu vermeiden, die zu frühzeitigen Schäden führen. Gleichzeitig muss die Oberflächenrauheit den Bindungsanforderungen der verschleißfesten Schicht oder Beschichtung entsprechen.

2. Rohre aus Wolframlegierungen sollten gute Bearbeitungseigenschaften aufweisen und sich leicht zu komplexen Formen von Formkomponenten und Auskleidungsstrukturen verarbeiten lassen.

4. Typische Anwendungsfälle

• Kernstäbe und Buchsen für Extrusionsdüsen

werden für Kernstäbe und Buchsen von hochfesten Extrusionsdüsen verwendet, um die Verschleißfestigkeit und Dimensionsstabilität zu verbessern und so eine kontinuierliche, qualitativ hochwertige Produktion von Metallprofilen sicherzustellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **verschleißfeste Auskleidungen**
verwendet, um der Hochgeschwindigkeitserosion von Materialien wie Sand und Kies standzuhalten, die Lebensdauer der Leitung zu verlängern und die Wartungshäufigkeit zu verringern.
- **Kunststoff-Spritzgussbuchsen**
verbessern die Verschleißfestigkeit der Kernkomponenten der Spritzgussform und gewährleisten so Formgenauigkeit und Lebensdauer der Form.

V. Zukünftige Entwicklungstrends

- **Wolframlegierungsrohre mit Verbundstruktur**
kombinieren hochfeste Materialien, um Verbundrohre mit unterschiedlichen Eigenschaften der Innen- und Außenschichten zu entwickeln, wobei sowohl die Verschleißfestigkeit als auch die Schlagfestigkeit berücksichtigt werden .
- **Die Nanoverstärkungs- und Oberflächenbeschichtungstechnologie**
nutzt Nanotechnologie, um die Leistung der Rohrmatrix aus Wolframlegierung zu verstärken, und arbeitet mit einer verschleißfesten Beschichtung zusammen, um die umfassende Verschleißfestigkeit zu verbessern.
- **Intelligente Überwachung und Lebensdauervorhersage**
integrieren Sensortechnologie, um eine Echtzeitüberwachung und Lebensdauervorhersage des Nutzungsstatus von Rohrformen und -auskleidungen aus Wolframlegierungen zu erreichen und so die Wartungseffizienz zu verbessern.

VI. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre sind aufgrund ihrer außergewöhnlichen Verschleißfestigkeit, hohen Festigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit zu einem unverzichtbaren Strukturträgermaterial für Industrieformen und verschleißfeste Auskleidungen geworden. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Fertigungstechnologie werden sich die Leistungs- und Anwendungsbereiche von Wolframlegierungsrohren weiter erweitern und so eine solide Garantie für einen effizienten und stabilen Betrieb der industriellen Produktion bieten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 6 Forschung und Entwicklung sowie Innovationsrichtung für spezielle Wolframlegierungsrohre

Herstellung und Leistungsoptimierung von nanopartikelverstärkten Wolframlegierungsrohren

Nanopartikelverstärkte Wolframlegierungsrohre, eine bahnbrechende Innovation im Bereich der Wolframlegierungsrohre, verbessern die Materialeigenschaften deutlich, indem Nanopartikel in eine herkömmliche Wolframlegierungsmatrix eingebracht werden. Diese Technologie verbessert nicht nur die mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren, sondern optimiert auch deren Verschleißfestigkeit, thermische Stabilität und Strahlungsbeständigkeit und bietet so eine starke Materialunterstützung für High-End-Anwendungen.

Herstellungstechnologie für mit Nanopartikeln verstärkte Wolframlegierungsrohre

1. Auswahl und Herstellung von Nanopartikeln:

Zu den häufig zur Verstärkung verwendeten Nanopartikeln gehören Oxide (z. B. Zirkoniumoxid (ZrO_2) und Aluminiumoxid (Al_2O_3)), Carbide (z. B. Titancarbid (TiC) und Siliziumcarbid (SiC)) sowie Metallnanopartikel (z. B. Titan und Vanadium). Diese Partikel werden durch chemische Abscheidung, mechanisches Legieren oder Sol-Gel-Verfahren hergestellt. Die Partikelgröße wird normalerweise im Bereich von 10 bis 100 nm kontrolliert, um eine gute Dispersion und Verstärkung sicherzustellen.

2. Pulvermischung und gleichmäßige Dispersion:

Die gleichmäßige Mischung von Nanopartikeln mit Wolframpulver und Bindemetallpulver ist der Schlüssel zur Herstellung von Hochleistungs-Nanoröhren aus Wolframlegierungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kugelmahl- und Ultraschall-Dispersionstechniken werden eingesetzt, um die gleichmäßige Verteilung der Nanopartikel in der Metallmatrix zu verbessern und Partikelagglomeration und Grenzflächendefekte zu vermeiden.

3. **Die Optimierung des Pulvermetallurgie-Formgebungsprozesses umfasst**

die Verdichtung des gemischten Pulvers durch Formgebungsverfahren wie Gesenkpressen und isostatisches Pressen, gefolgt von Hochtemperaturesintern. Die Sinterparameter (Temperatur, Atmosphäre und Zeit) werden experimentell optimiert, um eine gute Bindung zwischen den Nanopartikeln und der Matrix zu fördern, gleichzeitig den Verdichtungsprozess zu steuern und Porosität und Risse zu reduzieren.

4. **die Wärmebehandlung wird**

das nanoverstärkte Wolframlegierungsrohr verstärkt. Durch die Wärmebehandlung wird die Mikrostruktur reguliert, die Grenzflächeninteraktion zwischen Nanopartikeln und Matrix gefördert, eine Verstärkungsphase gebildet und die Gesamtleistung der Legierung deutlich verbessert.

2. Leistungsvorteile von nanopartikelverstärkten Wolframlegierungsrohren

1. **Stärkung der mechanischen Eigenschaften:**

Nanopartikel verbessern die Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchzähigkeit von Rohren aus Wolframlegierungen erheblich, indem sie Versetzungsbewegungen und Korngrenzenwanderungen verhindern und so den Sprödbruchfehler herkömmlicher Rohre aus Wolframlegierungen wirksam verringern.

2. **Verbesserte Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit.**

Nanopartikel weisen eine hohe Härte auf und sind gleichmäßig verteilt, was die Verschleißfestigkeit der Matrix verbessert, mechanischer Reibung und Stoßbelastungen wirksam widersteht und für Bedingungen mit hohem Verschleiß geeignet ist.

3. **Verbessern Sie die thermische Stabilität und Wärmeleitfähigkeit.**

Nanoverstärkte Strukturen verbessern die Stabilität von Materialien in Hochtemperaturumgebungen, reduzieren die Wärmeausdehnung und thermische Ermüdungsschäden und behalten gleichzeitig eine gute Wärmeleitfähigkeit bei oder verbessern diese, um die Anforderungen für den Hochtemperaturbetrieb zu erfüllen.

4. **Nanopartikel mit erhöhter Strahlungsresistenz können durch Strahlung verursachte Defekte einfangen und passivieren, die durch Bestrahlung verursachte Verschlechterung der Materialeigenschaften verringern und eignen sich für Anwendungen mit hoher Strahlungsbelastung, beispielsweise in der Nuklearindustrie.**

3. Anwendungsaussichten von nanopartikelverstärkten Wolframlegierungsrohren

1. **Nanoverstärkte Wolframlegierungsrohre für Hochtemperatur-Strukturteile in der Luft- und Raumfahrt**

können als Materialien für Schlüsselkomponenten wie Hochtemperaturdüsen und Brennkammerauskleidungen verwendet werden und erfüllen die Anforderungen hinsichtlich hoher Temperatur, hoher Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Abschirm- und Strukturmaterialien im Bereich der Kernenergie**
weisen eine hervorragende Strahlungsbeständigkeit und hohe Festigkeitseigenschaften auf, sodass sie sich für interne Strukturteile und Strahlenschutzabschirmungen von Kernreaktoren eignen.
3. **Hochleistungsfähige panzerbrechende Projektilkerne und Schutzkomponenten in militärischer Ausrüstung**
verbessern die Festigkeit und Zähigkeit panzerbrechender Projektile und erhöhen die Verschleißfestigkeit und Schlagfestigkeit von Schutzpanzerungen.
4. **Verschleißfeste Buchsen und Lagerungen in hochpräzisen Instrumenten**
erhöhen die Lebensdauer und Leistungsstabilität von Instrumentenkomponenten und senken die Wartungskosten.

4. Herausforderungen und zukünftige Forschungsrichtungen bei der Herstellung nanopartikelverstärkter Wolframlegierungsrohre

1. **Die gleichmäßige Dispersionskontrolle von Nanopartikeln**
zur Vermeidung einer Partikelagglomeration bleibt eine zentrale technische Herausforderung im Herstellungsprozess, und es müssen effizientere Dispersionstechnologien und Verbundmethoden entwickelt werden.
2. **Die Untersuchung des Grenzflächenbindungsmechanismus**
ermöglicht ein tieferes Verständnis der Wechselwirkung zwischen Nanopartikeln und Wolframmatrix-Grenzflächen, was zur Entwicklung stabilerer und effizienterer Verstärkungsphasenstrukturen beitragen wird.
3. **Die Skalierung und Kostenkontrolle des Herstellungsprozesses**
fördern die industrielle Anwendung der Nanoverstärkungstechnologie, die die Lösung der Kosten- und Effizienzprobleme der Pulveraufbereitung, Formgebung und Wärmebehandlung erfordert.
4. **Die Entwicklung multifunktionaler Nanokomposite**
kombiniert mehrere Funktionen wie Leitfähigkeit und Antimagnetismus, um den höheren Anforderungen zukünftiger High-End-Geräte an die umfassende Leistungsfähigkeit von Materialien gerecht zu werden.

V. Zusammenfassung

Nanopartikelverstärkte Wolframlegierungsrohre weisen ein erhebliches Potenzial zur Verbesserung der mechanischen Festigkeit, Verschleißfestigkeit und thermischen Stabilität herkömmlicher Wolframlegierungsrohre auf. Mit kontinuierlichen Fortschritten in der Herstellungstechnologie und der theoretischen Forschung werden diese Materialien in der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergie, dem Militär und der High-End-Fertigung eine immer wichtigere Rolle spielen und technologische Innovationen und die industrielle Weiterentwicklung von Wolframlegierungsrohrmaterialien vorantreiben.

Designstrategie und Mikrostrukturkontrolle von mikrolegierten Wolframlegierungsrohren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mikrolegierte Wolframlegierungsrohre sind eine fortschrittliche Materialtechnologie, die die Mikrostruktur optimiert und die Leistung durch die Zugabe von Spurenlegierungselementen zur traditionellen Wolframlegierungsrohrmatrix verbessert. Dank präziser Elementkonstruktion und -steuerung verbessert diese Technologie effektiv die mechanischen Eigenschaften, die thermische Stabilität und die Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohren und bietet so eine solide Materialbasis für High-End-Anwendungen.

Designstrategie für mikrolegierte Wolframlegierungsrohre

1. Zu den üblicherweise bei Mikrolegierungen verwendeten Elementen gehören Titan (Ti), Niob (Nb), Vanadium (V), Aluminium (Al), Zirkonium (Zr) und geringe Mengen Seltenerdelemente (wie Lanthan La und Cer Ce). Diese **Elemente** haben im Allgemeinen eine hohe Mischkristall- und Ausscheidungsverfestigungswirkung, die die Mikrostrukturentwicklung und die Leistung der Legierung erheblich beeinflussen kann.
2. **Optimierung von Elementgehalt und -verhältnissen:**
Die Zugabe von Mikrolegierungselementen wird in der Regel zwischen 0,1 % und 1,0 % kontrolliert, um den Verstärkungseffekt zu maximieren und gleichzeitig Versprödung oder Fertigungsaufwand durch übermäßige Mengen zu vermeiden. Durch Berechnung des thermodynamischen Gleichgewichts und experimentelle Rückmeldungen wird das Verhältnis jedes Elements angepasst, um ein optimales Gleichgewicht zwischen Verstärkung und Zähigkeit zu erreichen.
3. **Bei der Entwicklung synergistischer Verstärkungsmechanismen**
werden die vielfältigen Verstärkungsmechanismen der Mikrolegierungselemente, wie etwa die Verstärkung durch feste Lösungen, die Kornverfeinerung und die Ausfällung der zweiten Phase, voll ausgenutzt, um feine und gleichmäßige Niederschläge zu bilden und die Gesamtleistung der Legierung zu verbessern.
4. **Überlegungen zur Prozessanpassungsfähigkeit: Bei der Entwicklung**
von Mikrolegierungen muss die Anpassungsfähigkeit der Formungs-, Sinter- und Wärmebehandlungsprozesse berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass die Legierungselemente während des Herstellungsprozesses keine nachteiligen Phasenänderungen oder Agglomerationen erfahren und eine gleichmäßige und stabile Struktur beibehalten.

2. Methode zur Kontrolle der Mikrostruktur von mikrolegierten Wolframlegierungsrohren

1. **Mikrolegierungselemente**
bilden feine Ausscheidungen, die die Korngrenzenwanderung verhindern, die Kornverfeinerung fördern und die Festigkeit und Zähigkeit des Materials verbessern. Darüber hinaus wird durch die Steuerung von Sinter- und Wärmebehandlungstemperatur und -dauer eine gleichmäßige Mikrostrukturverteilung erreicht.
2. **Durch die Kontrolle der Morphologie und Verteilung der ausgefällten Phase**
werden die Morphologie (wie Carbide, Nitride oder Oxide) und die Gleichmäßigkeit der Verteilung der ausgefällten Phase reguliert, die Aggregation grober Niederschläge verhindert und die schwache Schnittstelle und Defektquellen des Materials reduziert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. **Mechanismus zur Verstärkung der Grenzfläche:**

Mikrolegierungselemente können an der Grenzfläche zwischen der Matrix und der ausgefallten Phase eine starke Bindung bilden, wodurch die Festigkeit der Grenzflächenbindung verbessert und die Bruchfestigkeit des Materials erhöht wird.

4. **Anpassung des Wärmebehandlungsprozesses**

: Glüh-, Lösungs- und Alterungsprozesse rational gestalten, um die effektive Lösung und Ausfällung von Mikrolegierungselementen zu fördern und die Härte und Plastizität des Materials anzupassen.

Leistungsverbesserung von mikrolegierten Wolframlegierungsrohren

1. **Verbesserte mechanische Eigenschaften:**

Durch Mikrolegierungen werden Zugfestigkeit und Streckgrenze deutlich verbessert, während gleichzeitig eine gute Duktilität und Bruchzähigkeit erhalten bleiben, wodurch der Sprödigkeitsdefekt herkömmlicher Wolframlegierungen behoben wird.

2. **Verbesserte thermische Stabilität,**

verfeinerte Körner und eine gleichmäßige ausgefallte Phasenstruktur verbessern die organisatorische Stabilität von Wolframlegierungsrohren in Hochtemperaturumgebungen, reduzieren den Wärmeausdehnungskoeffizienten und verringern Schäden durch thermische Ermüdung.

3. **Verbesserte Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit:**

Die harte zweite Phase und der stabile schützende Oxidfilm, der durch Mikrolegierungselemente gebildet wird, verbessern die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit der Materialoberfläche und verlängern ihre Lebensdauer.

4. **Optimierung der Prozesseistung**

Nach der Mikrolegierung wird der Verdichtungseffekt von Wolframlegierungsrohren verbessert, die Verarbeitungsleistung verbessert, die Riss- und Defektbildungsrate reduziert und es kann an komplexere Form- und Verarbeitungsanforderungen angepasst werden.

Anwendungsaussichten von mikrolegierten Wolframlegierungsrohren

1. von Wolframlegierungsrohren **in der High-End-Geräteherstellung**

, der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie und im Militärbereich nimmt zu, und die Mikrolegierungstechnologie kann die Anforderungen rauer Betriebsumgebungen erfüllen.

2. Hochtemperaturreaktorkomponenten und Wärmetauscherauskleidungen unter **extremen Hochtemperaturbedingungen erfordern**

Rohre aus Wolframlegierungen mit ausgezeichneter thermischer Stabilität und Korrosionsbeständigkeit. Mikrolegierungen bieten eine effektive Materiallösung.

3. **Präzisionsmaschinen und Formen**

Mikrolegierte Wolframlegierungsrohre werden häufig in der Herstellung von Präzisionsmaschinen verwendet, insbesondere in verschleißfesten und schlagfesten Strukturteilen.

V. Zukünftige Entwicklungsrichtungen und Herausforderungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. **Durch das kollaborative Design von Mehrelement-Mikrolegierungen**

wird das Design von Mehrelement-Verbund-Mikrolegierungen weiterentwickelt, der synergistische Verstärkungseffekt verschiedener Elemente untersucht und Durchbrüche in der Materialeistung gefördert.

2. **Die Technologie zur Echtzeitüberwachung der Mikrostruktur**

wird mit fortschrittlichen Charakterisierungsmethoden wie Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und Synchrotronstrahlungs-Röntgenstrahlen kombiniert, um eine dynamische Überwachung der Entwicklung von Mikrolegierungselementen und ausgefallten Phasen zu erreichen und die Prozessoptimierung zu steuern.

3. **Die Prozessintegrationsoptimierung**

umfasst den gesamten Prozess der Pulveraufbereitung, Formgebung, Sinterung und Wärmebehandlung, um die Aufbereitungseffizienz und Konsistenz von mikrolegierten Wolframlegierungsrohren zu verbessern.

4. **Unter Berücksichtigung von**

Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit entwickeln wir umweltfreundliche und energiesparende Mikrolegierungsverfahren, senken die Produktionskosten und fördern die Umsetzung der Technologie in großindustrielle Anwendungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen

, dass die Mikrolegierungstechnologie die Gesamtleistung von Wolframlegierungsrohren durch präzises Design und effektive Kontrolle der darin enthaltenen Spurenelemente erheblich verbessert. Als wichtiger Ansatz zur Verbesserung der Leistung von Wolframlegierungsrohren und zur Erweiterung ihrer Anwendungsbereiche wird die Forschung und Entwicklung von mikrolegierten Wolframlegierungsrohren zu einer Schlüsselrichtung für die zukünftige Entwicklung von Hochleistungsmaterialien auf Wolframbasis .

Elektrische, thermische und antimagnetische Eigenschaften multifunktionaler Wolframlegierungsrohre

Multifunktionale Wolframlegierungsrohre sind fortschrittliche Materialien, die hohe Festigkeit, hohe Dichte und spezielle Funktionen vereinen. Sie zeichnen sich insbesondere durch hervorragende elektrische und thermische Leitfähigkeit sowie antimagnetische Eigenschaften aus. Mit der steigenden Nachfrage nach High-End-Geräten und extremen Betriebsbedingungen hat sich die Entwicklung von Wolframlegierungsrohren mit Verbundfunktionen zu einem innovativen Trend in der Materialwissenschaft entwickelt. Im Folgenden werden die kombinierten elektrischen, thermischen und antimagnetischen Eigenschaften multifunktionaler Wolframlegierungsrohre, ihre Einflussfaktoren, Herstellungsverfahren und Anwendungsvorteile detailliert beschrieben.

1. Leitfähigkeitseigenschaften von multifunktionalen Wolframlegierungsrohren

1. Leitfähigkeitsmechanismus und Einflussfaktoren:

Die Leitfähigkeit von Wolframlegierungsrohren wird hauptsächlich durch die Legierungszusammensetzung, die Mikrostruktur und den Verunreinigungsgehalt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beeinflusst. Wolfram hat von Natur aus eine hohe elektrische Leitfähigkeit. Die Zugabe von Bindemetallen wie Nickel und Eisen kann zwar die mechanischen Eigenschaften verbessern, verringert aber auch die Gesamtleitfähigkeit. Durch Manipulation des Legierungselementverhältnisses und Optimierung der Mikrostruktur kann die elektrische Leitfähigkeit erhöht und gleichzeitig die mechanische Festigkeit erhalten werden.

2. **Hochleitfähige Wolframlegierungsrohre werden**

aus verunreinigungsarmem, hochreinem Wolframpulver als Basismaterial hergestellt. Der Nickel-Eisen-Gehalt wird gezielt kontrolliert, um die Kornverfeinerung und gleichmäßige Verteilung zu fördern. Dies trägt zur Reduzierung der Elektronenstreuung und zur Verbesserung der Leitfähigkeit bei. Darüber hinaus optimiert die Einführung von Mikrolegierungselementen und Nanopartikelverstärkung den Elektronenübertragungsweg und erreicht eine hohe Leitfähigkeit.

3. **Der Einfluss des Herstellungsprozesses auf die Leitfähigkeit**

Die Kontrolle der Sintertemperatur und -atmosphäre sowie die Optimierung des Wärmebehandlungsprozesses können dazu beitragen, Grenzflächendefekte und Poren zu reduzieren, den Elektronenflusskanal zu verbessern und somit die Leitfähigkeit zu steigern.

2. **Wärmeleitfähigkeit von multifunktionalen Wolframlegierungsrohren**

1. **Wärmeleitfähigkeit:**

Wolframlegierungsrohre nutzen zur Energieübertragung hauptsächlich freie Elektronen und Gitterschwingungen. Hochreines Wolfram und ein optimiertes Legierungsdesign tragen dazu bei, Korngrenzenstreuung und Defektstreuung zu reduzieren und so die Wärmeleitfähigkeit zu verbessern.

2. **den wichtigsten Faktoren, die die Wärmeleitfähigkeit beeinflussen,**

gehören der Bindemetallgehalt der Legierung, die mikrostrukturelle Dichte, die Korngröße und die Qualität der Grenzflächenbindung. Nanoverstärkungs- und Mikrolegierungstechniken können die Wärmeleitfähigkeit effektiv verbessern.

3. **Prozessoptimierung der Wärmeleitfähigkeit:**

Hochtemperaturesintern und Wärmebehandlung können die Materialdichte und Kornkonnektivität verbessern und so den Wärmewiderstand verringern. Oberflächenbehandlungen (wie PVD-Beschichtungen) können ebenfalls zur Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit an Oberflächen beitragen.

3. **Antimagnetische Eigenschaften von multifunktionalen Wolframlegierungsrohren**

1. **Wolfram und seine Legierungen weisen im Allgemeinen gute diamagnetische Eigenschaften auf**

und eignen sich daher für Anwendungen, die geringe magnetische Interferenzen erfordern. Die Legierungsgestaltung moduliert die magnetische Reaktion des Materials durch Steuerung des Gehalts und der Verteilung magnetischer Elemente wie Eisen und Nickel.

2. **Die Strategie zur antimagnetischen Verbesserung**

optimiert das Verhältnis der Legierungselemente, reduziert den Gehalt an weichmagnetischen Phasen und nutzt Mikrolegierungen zur Bildung nichtmagnetischer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Phasen und Grenzflächenstrukturen zur Unterdrückung der Magnetisierung. Darüber hinaus können Wärmebehandlungsprozesse die magnetische Domänenstruktur anpassen und die antimagnetischen Eigenschaften verbessern.

3. **Anwendungsbedeutung antimagnetischer Eigenschaften**

Hoch antimagnetische Wolframlegierungsrohre werden häufig in Kernenergieanlagen, elektronischen Abschirmungen in der Luft- und Raumfahrt, antimagnetischen Komponenten hochpräziser Instrumente und in anderen Bereichen eingesetzt, um einen stabilen Betrieb der Geräte und die Signalintegrität zu gewährleisten.

4. **Verbundleistungskontrolle und Vorbereitungstechnologie für multifunktionale Wolframlegierungsrohre**

1. **Leitfähigkeit**

, Wärmeleitfähigkeit und antimagnetischen Eigenschaften erreicht. Dadurch werden negative Auswirkungen der Optimierung einer einzelnen Eigenschaft auf andere Eigenschaften vermieden. Multiskaliges Strukturdesign und funktionale Gradiententechnologie sind wichtige Werkzeuge.

2. **Bei der fortschrittlichen Herstellungstechnologie**

kommen fortschrittliche Verfahren wie Pulvermetallurgie, heißisostatisches Pressen, additive Fertigung usw. in Kombination mit Wärmebehandlung und Oberflächenmodifizierung zum Einsatz, um hochdichte, multifunktionale Verbundrohre aus Wolframlegierungen herzustellen.

3. **Nanoverstärkung und Schnittstellentechnik**

Nanopartikelverstärkungs- und Schnittstellenkontrolltechnologien verbessern effektiv die synergistische Leistung thermischer, elektrischer und magnetischer Eigenschaften und verbessern die Gesamtleistung und Anpassungsfähigkeit von Materialien.

5. **Anwendungsaussichten von multifunktionalen Wolframlegierungsrohren**

1. **Hochwertige Elektronik- und Kommunikationsgeräte**

für elektronische Verpackungen, Kühlkörper und Entstörungsabschirmung zur Verbesserung der Geräteleistung und -zuverlässigkeit.

2. **Nuklearindustrie und medizinische Geräte**

In Kernreaktoren und Strahlentherapiegeräten sorgen die Verbundeigenschaften von Rohren aus Wolframlegierungen für eine effiziente Abschirmung und Gerätestabilität.

3. **Hochleistungsrohre aus Wolframlegierungen in der Luft- und Raumfahrt sowie im Verteidigungsbereich**

erfüllen die strukturellen und funktionalen Anforderungen extremer Umgebungen, wie z. B. Trägheitsnavigationskomponenten, Durchflussrohre und Hochtemperatur-Schutzhülsen.

VI. **Zusammenfassung**

Multifunktionale Wolframlegierungsrohre vereinen hervorragende elektrische und thermische Leitfähigkeit mit antimagnetischen Eigenschaften und sind daher ein unverzichtbares Material für komplexe Arbeitsbedingungen und High-End-Anwendungen. Durch die Integration von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Legierungsdesign, Mikrostrukturkontrolle und fortschrittlichen Fertigungstechniken erzielen Wolframlegierungsrohre kontinuierlich Durchbrüche in der Verbundwerkstoffleistung und bilden eine solide Materialbasis für die zukünftige Entwicklung intelligenter Fertigungs- und Hochleistungsgeräte.

6.4 Thermische Stabilität von Rohren aus hochlegierten Wolframlegierungen und Wärmebehandlungspfaden

Hochtemperatur-Rohren aus Wolframlegierungen finden aufgrund ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften und stabilen physikalischen und chemischen Eigenschaften breite Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie und anderen Hochtemperaturindustrien. Der Schlüssel zur hervorragenden Leistung von Wolframlegierungsrohren in Hochtemperaturumgebungen liegt in der thermischen Stabilität ihrer Mikrostruktur und der Entwicklung geeigneter Wärmebehandlungsverfahren. Dieser Abschnitt untersucht den Mechanismus der mikrostrukturellen thermischen Stabilität von Hochtemperatur-Rohren aus Wolframlegierungen, die sie beeinflussenden Faktoren und gängige Wärmebehandlungsverfahren und bietet wissenschaftliche Hinweise zur Verbesserung der Gesamtleistung des Materials unter Hochtemperaturbedingungen.

1. Die Konnotation und Bedeutung der thermischen Stabilität von Hochtemperatur-Wolframlegierungsrohren

1. Definition der thermischen Stabilität von Gewebe:

Die thermische Stabilität von Gewebe bezeichnet die Fähigkeit eines Materials, seine Mikrostruktur (Korngröße, Phasenstruktur, Niederschlagsverteilung usw.) stabil zu halten und in einer Umgebung mit hohen Temperaturen keine nachteiligen Veränderungen (wie Kornvergrößerung, Phasenumwandlung, Niederschlagsauflösung usw.) zu erfahren.

2. Einfluss der thermischen Stabilität auf die Leistung Eine

gute thermische Stabilität stellt sicher, dass das Wolframlegierungsrohr beim Arbeiten bei hohen Temperaturen eine hohe Festigkeit, Härte und Kriechfestigkeit beibehält und eine signifikante Verschlechterung der Materialeigenschaften durch strukturellen Abbau vermieden wird.

3. Hochtemperaturanwendungen wie

Turbinenschaufelgehäuse von Flugzeugtriebwerken, Hochtemperaturofenauskleidungen und Kernreaktorkomponenten erfordern allesamt Rohre aus Wolframlegierung, die hohen Temperaturen über lange Zeit standhalten.

2. Faktoren, die die thermische Stabilität von Hochtemperatur-Wolframlegierungsrohren beeinflussen

1. in

Wolframlegierungen bilden stabile Partikel der zweiten Phase, die das Kornwachstum und die Versetzungsbewegung hemmen und so die thermische Stabilität verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Die feinen und gleichmäßigen Körner und die gleichmäßig verteilten Partikel der zweiten Phase **im anfänglichen mikrostrukturellen Zustand sind die Grundlage für eine verbesserte Hochtemperaturstabilität.**
3. **Verunreinigungselemente und Einschlüsse**
Verunreinigungen und Einschlüsse führen zuerst zur Kornvergrößerung und verringern die thermische Stabilität.
4. **Wärmebehandlungsverlauf**
Der Wärmebehandlungsprozess wirkt sich direkt auf die Bildung und Verteilung ausgeschiedener Phasen aus und reguliert die strukturelle Stabilität der Legierung.

3. Typische organisatorische Entwicklung von Hochtemperatur-Rohren aus Wolframlegierungen

1. **Körner**
neigen zum Wachstum, was zu einer verringerten Plastizität und Festigkeit führt. Der Pinning-Effekt der Partikel der zweiten Phase kann die Kornvergrößerung wirksam verhindern.
2. **Ausfällung und Auflösung ausgefallter Phasen**
Hohe Temperaturen können zur Auflösung oder erneuten Ausfällung von verstärkenden Phasen führen, was die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigt.
3. **Phasenumwandlungsverhalten**
Einige Legierungen können bei hohen Temperaturen eine Phasenumwandlung durchlaufen und zur Kontrolle der Phasenstabilität ist eine Wärmebehandlung erforderlich.

4. Wärmebehandlungspfaddesign von Hochtemperatur-Wolframlegierungsrohren

1. **Die Lösungsbehandlung**
fördert die gleichmäßige Auflösung der Legierungselemente, beseitigt innere Spannungen und verbessert durch die Hochtemperatur-Lösungsbehandlung die Plastizität und Gleichmäßigkeit.
2. **Die Alterungsbehandlung**
wird bei einer geeigneten Temperatur durchgeführt, um die gleichmäßige Ausfällung der Verstärkungsphasen zu fördern und die Hochtemperaturfestigkeit und Wärmestabilität zu verbessern.
3. **Der mehrstufige Wärmebehandlungsprozess**
kombiniert eine feste Lösung und eine mehrstufige Alterung, um die Größe und Verteilung der Verstärkungsphase zu optimieren und die Gesamtleistung zu maximieren.
4. **Die Glühbehandlung**
wird unter kontrollierten Temperatur- und Zeitbedingungen durchgeführt, um die Zähigkeit zu verbessern, die Struktur wiederherzustellen und eine Anpassung an unterschiedliche Anwendungsanforderungen zu ermöglichen.

5. Optimierung der Prozessparameter der Hochtemperatur-Wärmebehandlung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Die temperaturgesteuerte

Lösungstemperatur wird im Allgemeinen über der Lösungstemperatur der Verstärkungsphase gewählt, und die Alterungstemperatur muss in Kombination mit der Ausfällungstemperatur der Verstärkungsphase bestimmt werden.

2. Die Haltezeit

gewährleistet eine ausreichende und gleichmäßige Mischkristall- und Alterungsreaktion, um eine übermäßige Vergrößerung zu vermeiden.

3. Kühlung

oder kontrollierte Kühlung beeinflusst die Morphologie und Verteilung der ausgefällten Phase und muss entsprechend den Leistungsanforderungen optimiert werden.

6. Aufrechterhaltung der Gewebestabilität in Hochtemperaturumgebungen

1. Stabilität gegenüber thermischen Zyklen:

Hochtemperaturrohre aus Wolframlegierungen neigen bei wiederholten thermischen Zyklen zu struktureller Verschlechterung und erfordern eine Kombination aus Wärmebehandlung und Legierungsdesign, um die Zykluslebensdauer zu verbessern.

2. Hochtemperaturoxidation und -korrosion

Die Bildung von Oxidfilmen auf der Oberfläche und das Aufbringen korrosionsbeständiger Beschichtungen sind wichtige Maßnahmen zur Gewährleistung der Hochtemperaturstabilität.

3. Durch sinnvolle organisatorische Regelungen und Wärmebehandlungen können Spannungsrelaxation und Kriechen die Kriechfestigkeit erhöhen und die Lebensdauer verlängern.

VII. Beispiele und Forschungsfortschritt

1. Der Fall der fortschrittlichen Wärmebehandlung von Wolframlegierungsrohren stellt den typischen

Lösungs- und Alterungswärmebehandlungsprozess von Hochtemperatur-Wolframlegierungsrohren und seinen Einfluss auf die Mikrostruktur und Leistung vor.

2. Nanopartikel-Verstärkung und Hochtemperaturstabilität

Die neuesten Forschungsergebnisse zur Nanopartikel-Verstärkungstechnologie zur Verbesserung der thermischen Stabilität.

3. Simulation und Optimierung des Wärmebehandlungsprozesses.

Auf der Grundlage der computergestützten Materialwissenschaft wird die Simulation von Wärmebehandlungsparametern zur Prozessoptimierung eingesetzt.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Hochtemperatur-Rohren aus Wolframlegierungen sind der Schlüssel zu ihrer Hochtemperaturleistung. Durch die wissenschaftliche Entwicklung der Legierungszusammensetzung, die Optimierung der Wärmebehandlungsprozesse und die Kombination fortschrittlicher Nanoverstärkungstechnologie mit Oberflächenschutzmaßnahmen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kann die Leistung von Rohren aus Wolframlegierungen unter extremen Hochtemperaturbedingungen deutlich verbessert werden. In Kombination mit intelligenten Fertigungs- und Materialsimulationstechnologien wird der Wärmebehandlungsprozess für Rohre aus Wolframlegierungen künftig noch präziser und effizienter und bietet zuverlässigere Schlüsselmateriallösungen für die Luft- und Raumfahrt, die Kernenergie und die Hochtemperaturindustrie.

6.5 Untersuchung des Grenzflächenbindungsmechanismus von Wolfram-Kupfer/Wolfram-Nickel-Verbundrohren aus Wolframlegierungen

Da moderne Geräte immer höhere Anforderungen an multifunktionale Materialeigenschaften stellen, können einkomponentige Wolframlegierungsrohre die umfassenden Leistungsanforderungen hinsichtlich hoher Dichte, hoher Wärmeleitfähigkeit, hoher Festigkeit und guter Bearbeitbarkeit immer weniger erfüllen. Verbundrohre aus Wolframlegierungen, insbesondere solche aus Wolfram-Kupfer- (W-Cu) und Wolfram-Nickel-Verbundstrukturen (W-Ni), werden aufgrund der synergetischen Leistungsvorteile der Mehrphasenintegration zu einem wichtigen Material für High-End-Anwendungen (wie Kernkraftwerke, Teilchenbeschleunigerkomponenten und Wärmeregelungssysteme). In diesem Abschnitt werden die Grenzflächenbindungsmechanismen von Wolfram-Kupfer-/Wolfram-Nickel-Verbundrohren aus Wolframlegierungen systematisch untersucht, einschließlich der physikalischen, chemischen und metallurgischen Bindungsprozesse und ihrer Auswirkungen auf die endgültige Leistung. Dies bietet eine theoretische Grundlage und technische Unterstützung für die Optimierung der Herstellung von Verbundwerkstoffen.

1. Strukturelle Eigenschaften und Anwendungshintergrund von Wolfram-Kupfer/Wolfram-Nickel-Verbundrohren aus Wolframlegierung

1. Wolfram-Kupfer-Verbundrohre aus Wolframlegierungen

vereinen den hohen Schmelzpunkt und die hohe Festigkeit von Wolfram mit der hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von Kupfer. Sie werden häufig in Komponenten mit hoher Wärmestromdichte (wie Elektroden, Kühlkörpern und Hülsen für Plasmakollisionsgeräte) verwendet.

2. Eigenschaften von Wolfram-Nickel-Verbundrohren aus Wolframlegierungen: Wolfram-Nickel-Legierungen werden

aufgrund ihrer hervorragenden Verarbeitbarkeit und Zähigkeit häufig in Trägheitskomponenten, Schutzkomponenten und Bereichen mit hoher Stoßbelastung eingesetzt. Ihre Verbundkonstruktion kann die Betriebszuverlässigkeit verbessern.

3. Der Trend zur multifunktionalen Verbundstruktur:

Verbundrohre weisen ein mehrschichtiges Design auf (z. B. eine innere Schicht aus Wolframkupfer und eine äußere Schicht aus Wolframnickel), das Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit berücksichtigt und sich zum Vorreiter in der Luftfahrt-, Kernenergie- und Militärmaterialforschung entwickelt hat.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Schnittstellenverbindungstypen von Wolframkupfer-/Wolframnichel-Verbundrohren aus Wolframlegierung

1. Die physikalisch-mechanische Bindung

beruht hauptsächlich auf Oberflächenrauheit, Druckkraft und Grenzflächenkontaktfläche. Es handelt sich um eine nichtmetallurgische Verbindung mit begrenzter Bindungsstärke.

2. Beim Diffusionsbinden (metallurgisches Binden)

wird durch eine Hochtemperatur-Wärmebehandlung die Diffusion von Wolfram- und Cu/Ni-Atomen an der Schnittstelle gefördert, wodurch eine Diffusionsschicht oder Zwischenphase entsteht, die eine idealere Bindeform darstellt.

3. Das Reaktionsbindungs-/Zwischenphasenbildungssystem

kann an der Schnittstelle charakteristische Zwischenverbindungen bilden, wie etwa eine W-Ni-Legierungszone und eine W-Cu-Übergangsschicht, die die Festigkeit der Schnittstelle erhöhen.

4. Beim Flüssigphaseninfiltrations-/Mantelsintern

wird flüssiges Kupfer oder Nickel verwendet, um bei hoher Temperatur in das poröse Wolframskelett einzudringen und eine metallurgische Grenzflächenbindung zu bilden, die üblicherweise bei der Herstellung von zusammengesetzten Wolframlegierungsrohren verwendet wird.

3. Analyse des Bindungsmechanismus der Wolfram-Kupfer-Grenzfläche

1. Die Fest-Flüssig-Infiltrationskombination nutzt den niedrigen Schmelzpunkt von Kupfer und

realisiert die Wolfram-Kupfer-Verbindung durch das kapillare Eindringen von flüssigem Kupfer in den vorgesinterten Wolframrohrrohling.

2. Grenzflächendiffusionsschicht

Obwohl Wolfram und Kupfer nicht mischbar sind, bildet sich bei hohen Temperaturen dennoch eine Grenzflächenübergangsschicht von mehreren zehn Nanometern Dicke, die die Bindungsstärke erhöht.

3. Kontrolle von Schnittstellenrissen

Aufgrund des großen Unterschieds in den Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen beiden sind die Kontrolle der Abkühlrate und die Einführung einer Gradientenschichtstruktur der Schlüssel zur Vermeidung von thermischen Rissen.

4. Analyse des Bindungsmechanismus der Wolfram-Nickel-Grenzfläche

1. Festkörperdiffusion und eutektische Reaktion

Zwischen Wolfram und Nickel besteht eine gewisse Feststofflöslichkeit, die beim Hochtemperaturesintern diffundieren und sich verbinden kann, um eine W-Ni-Feststofflösung zu bilden.

2. intermetallische Phasen

wie Ni₄W und NiW verbessern die Festigkeit der Grenzflächenbindung, eine übermäßige Bildung führt jedoch zu erhöhter Sprödigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. **Verstärkungsmechanismus:**

W-Partikel sind in der Ni-Matrix verteilt und bilden eine typische Zweiphasenstruktur, die Rissausbreitung verhindern und die Schlagzähigkeit verbessern kann.

5. **Charakterisierung der Grenzflächenmikrostruktur von Verbundrohren aus Wolframlegierungen**

1. **Mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM)**

wurden die Mikromorphologie der Grenzfläche, die Rissquelle, die Porenverteilung und die Breite der Elementdiffusionszone beobachtet.

2. **Die energiedispersive Spektroskopie (EDS)**

analysiert den Elementkonzentrationsgradienten an der W-Cu- oder W-Ni-Grenzfläche, um die Dicke der Diffusionsschicht und die Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung zu bewerten.

3. **Mithilfe der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und XRD**

können die Bildung neuer Phasen, Versetzungsstrukturen und das mögliche Vorhandensein von Nanopräzipitaten an der Schnittstelle aufgedeckt werden.

6. **Technologie zur Leistungsbewertung und Optimierung der Schnittstellenbindung**

1. **Scherfestigkeits- und Schälfestigkeitstests**

dienen der quantitativen Bewertung der Grenzflächenhaftungsfestigkeit von Verbundrohren und sind wichtige Testmethoden vor der industriellen Anwendung.

2. **Durch thermische Ermüdungstests**

wird die Schnittstellenstabilität von Verbundrohren während thermischer Zyklen simuliert und ihre Anpassungsfähigkeit an die Betriebsumgebung reflektiert.

3. **Das Design der Schnittstellenspannungskontrolle**

gleicht die Fehlanpassung der Wärmeausdehnung durch eine Zwischenpufferschicht (wie etwa die W-Ni-Cu-Gradientenstruktur) aus, um die Zuverlässigkeit zu verbessern.

4. **Neue Verbindungstechnologien**

wie Laserschweißen, heißisostatisches Pressen und Reaktionsdiffusionsfügen haben hinsichtlich der Festigkeit und Integrität der Grenzflächen großes Potenzial gezeigt.

7. **Typische Fallanalyse für Rohre aus Wolframlegierungsverbundwerkstoffen**

Typ	Innenmaterial	Außenmaterial	Verbindungsmethode	Anwendungsszenario
W-Cu-W-Rohr	Kupfer	Wolfram	Flüssigphaseninfiltration	Hochfrequenz-Induktionsheizrohr
W-Ni-W-Röhre	Nickel	Wolfram	Heißpress-Diffusionsschweißen	Taktisches Trägheitsflug-Kit
W-Ni-Cu-Rohr	Ni-Cu-Legierung	Wolfram	Pulver-Co-Sintern	Rohrwand des Partikelstrahl-Injektionssystems

8. **Zukünftige Entwicklungsrichtungen und Herausforderungen**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. **Das Verbunddesign mit mehrschichtiger Gradientenstruktur**

verwendet das Designkonzept einer Übergangsschicht oder eines funktionalen Gradientenmaterials (FGM), um thermische Spannungen und Probleme mit der Schnittstellenfehlانpassung zu verringern.

2. **Bei der Forschung zu grenzflächenverstärkenden Beschichtungen**

werden Methoden zur Grenzflächenmodifizierung wie Nanoschichtbeschichtungen und galvanisierte Legierungsschichten untersucht, um die Bindungsleistung und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.

3. **Intelligente Schnittstellenüberwachung und Lebensdauervorhersage**

kombiniert Schallemission, Ultraschall, XCT und andere Technologien, um eine Online-Erkennung von Schnittstellenschäden und eine Lebensdauerbewertung während des Betriebs zu erreichen.

4. **Die Entwicklung umweltfreundlicher Prozesse**

fördert die Anwendung neuer Verbindungstechnologien mit geringem Energieverbrauch und hoher Verbindungseffizienz bei der Herstellung von Verbundrohren aus Wolframlegierungen.

Die Zusammenfassung des Grenzflächenbindungsmechanismus von

Wolfram-Kupfer/Wolfram-Nickel-Verbundrohren aus Wolframlegierungen ist der Schlüssel zur Erzielung einer synergistischen Verbundstrukturleistung. Durch ein tiefes Verständnis der physikalischen und chemischen Bindungsprozesse, die Optimierung der Wärmebehandlungswege und die Kontrolle der Grenzflächenmikrostrukturen werden Hochleistungs-Verbundrohre aus Wolframlegierungen unter extremen Betriebsbedingungen und in multifunktionalen integrierten Szenarien eine noch wichtigere Rolle spielen.

Technologie zur Verbesserung der Oberflächenbeschichtung und Korrosionsbeständigkeit funktionalisierter Wolframlegierungsrohre

Mit der zunehmenden Verbreitung von Wolframlegierungsrohren in anspruchsvollen Bereichen wie Kernenergie, Luft- und Raumfahrt, Medizin und Elektronik werden ihre Einsatzumgebungen zunehmend komplexer und sind oft extremen Herausforderungen wie hohen Temperaturen, starker Korrosion, starker Strahlung und starker Oxidation ausgesetzt. Um die Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit, thermische Stabilität und den Funktionalisierungsgrad von Wolframlegierungsrohren zu verbessern, ist die Oberflächenbeschichtungstechnologie zu einem wichtigen Mittel zur Leistungssteigerung geworden. Dieser Abschnitt erläutert systematisch die Beschichtungsarten, Herstellungsverfahren, Leistungsoptimierungsmechanismen und technischen Ansätze zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit von Wolframlegierungsrohroberflächen.

1. **Übersicht über die Korrosionsprobleme von Rohroberflächen aus Wolframlegierungen**

Obwohl Wolframlegierungen selbst eine gewisse chemische Stabilität und Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen aufweisen, besteht in den folgenden Umgebungen immer noch die Gefahr von Oberflächenschäden:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Oxidierende Umgebung mit hohen Temperaturen** : Bei 600–1000 °C bildet Wolfram leicht sprödes WO₃-Oxid, das sich dann ablöst;
- **Saure/alkalische korrosive Medien** : zeigt eine offensichtliche korrosive Reaktion in starker Säure, starker Lauge oder Fluoridlösung;
- **Elektrolytische oder physiologische Umgebung** : Medizinische Geräte oder die Meeresumgebung können elektrochemischer Korrosion und lokaler Lochfraßkorrosion ausgesetzt sein;
- **Reibungskorrosion und abrasive Korrosion** : Unter hochfrequenten Vibrationen und Partikelkontakt bildet sich leicht eine durch Ermüdung abblätternde Schicht auf der Oberfläche.

2. Die Hauptfunktion der funktionellen Oberflächenbeschichtung

1. **Verbessern Sie die Korrosionsbeständigkeit** : verhindern Sie den direkten Kontakt zwischen korrosiven Medien und Grundmetall;
2. **Verbesserte Verschleiß- und Schlagfestigkeit** : Eine Hartbeschichtung kann den Oberflächenverschleiß deutlich reduzieren.
3. **Verbesserte thermische Stabilität und antioxidative Kapazität** : Oxidbeschichtung kann einen dichten Schutzfilm bilden;
4. **Realisieren Sie eine Oberflächenfunktionalisierung** : wie elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Antireflexion, elektromagnetische Abschirmung und andere Eigenschaften;
5. **Verbessern Sie die Oberflächenbeschaffenheit und die Schnittstellenbindung** : Erleichtern Sie das anschließende Verpacken, Schweißen, Verbinden und andere Verarbeitungsvorgänge.

3. Gängige Oberflächenbeschichtungsarten und -technologien für Wolframlegierungsrohre

1. Chemische Beschichtung

- Gängige Beschichtungen: Ni-P, Ni-B, Ni-Cr usw.
- Vorteile: Die Beschichtung weist eine gute Gleichmäßigkeit auf, kann die Innenwand bedecken und ist für komplexe Rohrleitungen geeignet.
- Anwendung: Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit und elektromagnetischen Verträglichkeit.

2. Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)

- Beschichtungsarten: TiN, CrN, ZrN, AlTiN, MoS₂ usw.
- Eigenschaften: dichte Beschichtung, starke Haftung und Dicke kann auf Nanoebene gesteuert werden.
- Anwendungen: Hochtemperaturstrukturen, verschleißfeste Komponenten, Strahlenschutzbeschichtungen usw.

3. Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)

- Beschichtungstyp: SiC, TiC, Cr₃C₂, WC und andere keramische Beschichtungen.
- Vorteile: Die Beschichtung weist eine extrem hohe Härte auf und ist für extrem korrosive Umgebungen geeignet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Nachteile: Die Abscheidungstemperatur ist hoch und die thermische Stabilität des Substrats muss hoch sein.

4. Thermische Spritztechnologie (Plasma-/Flammenspritzen)

- Häufig verwendete Materialien: Al_2O_3 , Cr_2O_3 , NiCr, WC-Co usw.
- Vorteile: Geeignet für die großflächige Außenwandbehandlung und kann dicke Verbundbeschichtungen bilden.
- Anwendbare Szenarien: Wärmekontrollkomponenten in der Luftfahrt, Hüllen für Bereiche mit hoher Strahlung usw.

5. Sol-Gel-Beschichtung

- Eigenschaften: niedrige Kosten, geeignet für komplexe Formstrukturen.
- Anwendung: Multifunktionale Dünnschichtbeschichtungen (leitfähig/antibakteriell/hydrophob) haben großes Entwicklungspotenzial.

6. Elektrochemische Beschichtung (Eloxieren, Galvanisieren)

- Kann eine Beschichtung mit Nickel, Kupfer, Metalloxiden usw. erreichen.
- Wolframlegierungsrohre im leitfähigen oder medizinischen Bereich.

4. Beschichtungshaftung und Grenzflächenoptimierungstechnologie

1. **Reinigung und Vorbehandlung der Schnittstellen** : wie Sandstrahlen, Beizen und Plasmareinigung zur Verbesserung der Bindungsaktivität;
2. **Einführung einer Übergangsschicht** : Eine Ni-Zwischenschicht und eine Cr-Bindungsschicht werden eingesetzt, um die Fehlanpassung der Wärmeausdehnung zu verringern.
3. **Mehrschichtiges Verbundstrukturdesign** : z . B. Kombination aus harter Schicht und zäher Schicht , Gradientenschichtstruktur usw.
4. **Sintern/Verdichten nach der Wärmebehandlung** : Verbesserung der metallurgischen Bindung der Beschichtung und Verringerung der Porosität;
5. **Oberflächenaufräuhungsbehandlung** : Verbessern Sie die Beschichtungshaftung durch Ätzen, Laserbohren und andere Methoden.

5. Leistungstest und Korrosionsbewertungsmethode für die Beschichtung von Wolframlegierungsrohren

Leistungsindikatoren	Nachweismethode
Schichtdicke	SEM-Querschnittanalyse, XRF-Dickenmessgerät
Haftung	Zugschälversuch, Kratztest
Korrosionsbeständigkeit	Salzsprühtest, Säureimmersionstest, Tafelkurve
Härte	Vickershärte, Nanoindentation
Verschleißfestigkeit	Kugel-Scheibe-Reibungstest, Dauerverschleißtest

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Typische Anwendungsfälle der Wolframlegierungsrohrbeschichtungstechnologie

Anwendungsszenario	Beschichtungslösungen	Hauptfunktion
Kühlrohre für Kernreaktoren	Cr ₂ O ₃ - PVD-Keramikschiicht	Verbessern Sie die Korrosionsbeständigkeit und Strahlungsstabilität
Hülle für medizinische Strahlentherapiegeräte	Chemische Beschichtung Ni-P-	Verbessern Sie die Säure- und Alkalibeständigkeit sowie die biologische Stabilität
Wärmerohrbaugruppe	AlTiN -Beschichtung	Verbessern Sie die Oberflächenhärte und Wärmeleitfähigkeit
Laserkühlsystem	WC-Co-Sprühbeschichtung	Verbesserte Verschleißfestigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit

VII. Zukünftige Entwicklungsrichtungen und Forschungsschwerpunkte

- 1. von intelligenten, reaktionsfähigen Beschichtungen.**
Reaktionsfähige, intelligente Beschichtungen, die die Oberflächeneigenschaften unter bestimmten Umgebungsbedingungen wie hohen Temperaturen/starken Säuren automatisch anpassen.
- 2. Eine superhydrophobe/verkalkungshemmende funktionalisierte Beschichtung**
löst das Verkalkungsproblem von Rohren aus Wolframlegierungen in Kühlwasser oder physiologischen Flüssigkeiten.
- 3. Das selbstheilende In-situ-Beschichtungssystem**
verlängert die Lebensdauer der Beschichtung und verbessert die Mehrzyklen-Betriebsstabilität.
- 4. Grüne und umweltfreundliche Niedertemperatur-Beschichtungstechnologien**
wie die Plasmabeschichtungstechnologie bei Raumtemperatur und Niedertemperatur-CVD-Methoden.

Fazit:

Die funktionelle Beschichtungstechnologie für Wolframlegierungsrohre ist eine Schlüsselkomponente für die zukünftige Entwicklung leistungsstarker und multifunktionaler Integrationen. Durch Materialauswahl, Strukturdesign, Optimierung des Herstellungsprozesses und Schnittstellenkontrolle können Wolframlegierungsrohre in anspruchsvolleren Umgebungen eine hervorragende Gesamtleistung erbringen, was ihre breite Anwendung und Aufwertung in der High-End-Fertigung fördert.

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/cm³), 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

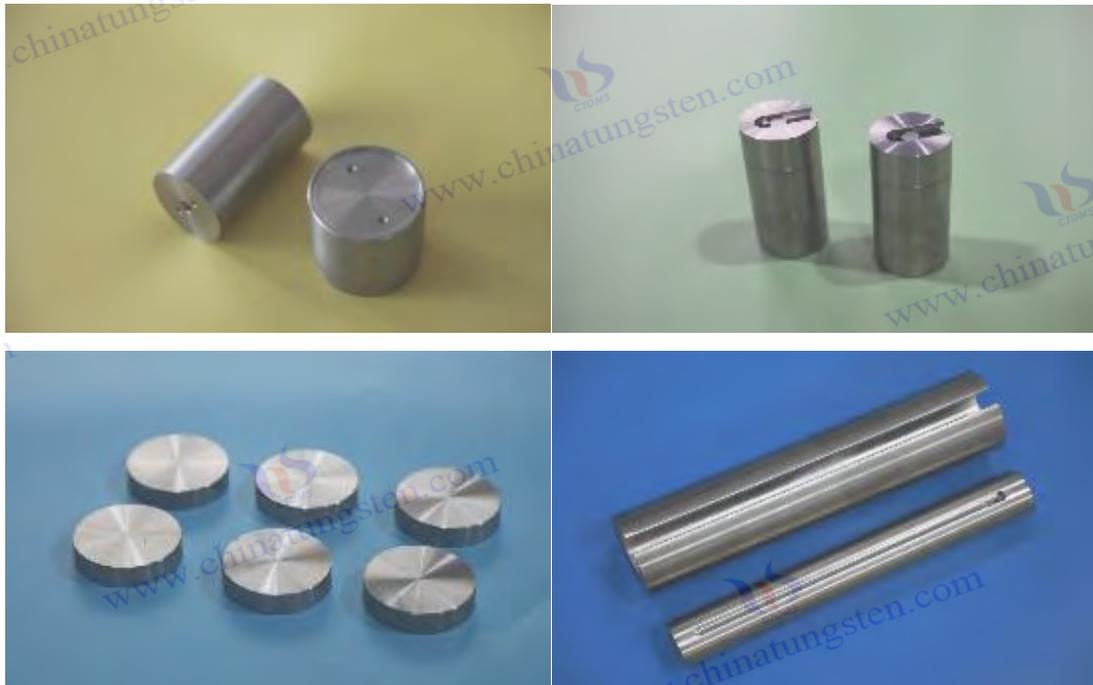
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: 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

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



Kapitel 7 Internationale Normen und Konformitätssystem für Rohre aus Wolframlegierungen

7.1 Chinesische nationale/Industriestandards für Wolframlegierungsrohre (GB/T, YS/T)

In China werden Wolframlegierungsrohre als Hochleistungsmetalle häufig in strategischen Branchen wie der Kernenergie, der Luft- und Raumfahrt, dem Militär, der Medizin und der Elektronik eingesetzt. Ihre Herstellung, Prüfung und Verwendung unterliegen zahlreichen nationalen und industriellen Standards. Chinas aktuelles Normensystem basiert hauptsächlich auf nationalen Standards (GB/GBT) und Industriestandards (YS/T für die metallurgische Industrie) und umfasst Rohstoffe, physikalische Eigenschaften, chemische Zusammensetzung, Prüfmethode, Maßtoleranzen und sichere Verpackung.

1. Anwendung chinesischer nationaler Standards (GB, GB/T) bei Rohren aus Wolframlegierungen

Chinas nationale Normen (GB) und empfohlene nationale Normen (GB/T) sind wichtige Bestandteile des nationalen Qualitätsüberwachungssystems und gewährleisten die Universalität, Sicherheit und Austauschbarkeit von Wolframlegierungsrohren auf dem heimischen Markt. Obwohl es derzeit keine unabhängige nationale Norm speziell für „Wolframlegierungsrohre“ gibt, können mehrere relevante Normen als Referenz herangezogen werden:

- **GB/T 4187.1-2008 „Allgemeine Regeln für die chemische Analyse von Wolfram und Wolframprodukten“**
→ legt die allgemeinen Anforderungen für die Analyse der chemischen Zusammensetzung von Materialien auf Wolframbasis (einschließlich Wolframlegierungen) fest;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **GB/T 34920-2017 „Hochdichte Wolframlegierungsstäbe“**
→ Diese Norm gilt für Verformungsverarbeitungsmaterialien für hochdichte Wolframlegierungen wie Wolfram-Nickel-Eisen und Wolfram-Nickel-Kupfer. Einige ihrer technischen Anforderungen können als Referenz für die Rohrkonstruktion verwendet werden.
- **GB/T 25744-2010 „Verdichtete und gesinterte Rohlinge aus schwerer Legierung auf Wolframbasis“**
→ Standardisiert die physikalischen Eigenschaften, Zusammensetzungsabweichungen und Anforderungen an die Qualität des Erscheinungsbilds von pulvermetallurgischen Presslingen aus Wolframlegierungen;
- **GB/T 15825-1995 „Bestimmung der Dichte von pulvermetallurgischen Metallstrukturteilen“**
→ Standardisierte Methode zur Dichteproofung von Rohren aus Wolframlegierungen;
- **GB/T 2423-Reihe, GB/T 10125-2021**
→ Bezieht sich auf Normen zur Prüfung der Anpassungsfähigkeit an Umweltbedingungen wie Korrosionsbeständigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit und Salzsprühnebelprüfung.

2. Einige Spezifikationen des China Metallurgical Industry Standard (YS/T), die für Wolframlegierungsrohre gelten

Der YS/T-Standard ist ein metallurgischer Industriestandard, der von der China Nonferrous Metals Industry Association und ihren untergeordneten Organisationen herausgegeben wird. Die folgenden Rohre sind eng mit Wolframlegierungen verwandt:

- **YS/T 798-2012 „Pulvermetallurgische Wolframlegierungen“**
→ Diese Norm legt Zusammensetzung, Dichte, mechanische Eigenschaften und Maßkontrollstandards für Wolframlegierungen (wie Wolfram-Nickel-Eisen und Wolfram-Nickel-Kupfer) fest. Ein Teil dieser Norm gilt für die Leistungsbewertung von Rohrrohlingen oder Fertigprodukten aus Wolframlegierungen.
- **YS/T 1083-2015 „Allgemeine Regeln für Verpackung, Kennzeichnung, Lagerung und Transport von Produkten aus Wolfram und Wolframlegierungen“**
→ Diese Norm legt die technischen Anforderungen für Verpackung, Schutz und Transport von Wolframmaterialien fest und dient als wichtige Grundlage für Verpackungsvorschriften für Rohre aus Wolframlegierungen.
- **YS/T 1187-2017 „Technische Spezifikation für warmbearbeitete Produkte aus hochfesten Wolframlegierungen“**
→ Gilt für Bauteile aus Wolframlegierungen, die durch Warmwalzen, Schmieden und Extrudieren hergestellt werden. Obwohl Rohre nicht direkt abgedeckt sind, bietet es eine wichtige Referenz für die Kontrolle der Wanddicke und die Bewertung mechanischer Eigenschaften.
- **YS/T 1190-2017 Technische Spezifikationen für gesinterte Wolfram- und Wolframlegierungsprodukte**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

→ Anwendbar auf die Bestimmung der Maßgenauigkeit und Fehlerkontrolle von gesinterten Rohrrohlingen oder nahezu endkonturierten Wolframrohren .

3. Geltungsbereich der Norm und Güteklasseneinteilung

Die meisten Hersteller von Wolframlegierungsrohren formulieren Unternehmensstandards oder interne Kontrollspezifikationen basierend auf den allgemeinen Anforderungen der oben genannten Standards und ihren eigenen Produkteigenschaften. Zu den gängigen Qualitätsklassifizierungen der Materialien in den Standards gehören:

- **Dichtegrad ($\geq 17,0, 17,5, 18,0, 18,5, 18,8 \text{ g/cm}^3$) ;**
- **Mechanische Eigenschaftsklasse (unterteilt in Zugfestigkeit und Dehnung) ;**
- **Oberflächenqualität (bearbeitet, poliert, hell) ;**
- **Maßtoleranzgrad (üblicherweise $\pm 0,05 \text{ mm}$ bis $\pm 0,2 \text{ mm}$) .**

IV. Verbindung mit internationalen Standards und Zertifizierung

In den letzten Jahren haben inländische Unternehmen mit der Ausweitung des Exports von Wolframlegierungsrohren die chinesischen Standards schrittweise an internationale Standards (ASTM, MIL, ISO usw.) angepasst. Zu den gängigen Ansätzen gehören:

- Listen Sie die Implementierungsstandards in der Produktbeschreibung auf, z. B. „Implementierungsstandards: YS/T 798-2012, Referenz ASTM B777-15“;
- Stellen Sie zweisprachige Inspektionsberichte und Zertifikate in Chinesisch und Englisch bereit, um die Anforderungen an die Qualitätsrückverfolgbarkeit im Ausland zu erfüllen.
- Implementieren Sie die Konvertierung von Standardäquivalenzen und die Registrierung von Zertifizierungen, wie z. B. ISO 9001-Qualitätsmanagementsystem, RoHS/REACH-Konformitätserklärung usw.

V. Fazit

China verfügt noch nicht über ein vollständiges, unabhängiges Normungssystem für Wolframlegierungsrohre . Eine Reihe bestehender nationaler und industrieller Normen bildet jedoch eine wichtige Grundlage für die Gewährleistung von Fertigungsqualität, Prüftechnologie und Produktkonsistenz. Mit der zukünftigen Verbreitung und Weiterentwicklung von Wolframlegierungsrohren in anspruchsvollen Bereichen wie der Luftfahrt, Kernenergie und Elektronik ist zu erwarten, dass spezialisierte Normen weiter verfeinert und internationalisiert werden, um Chinas technologische Führungsrolle und Marktanteil in der globalen Wolframlegierungsindustrie zu stärken.

7.2 Interpretation des amerikanischen Standardsystems (ASTM, MIL) für Wolframlegierungsrohre

Wolfram-Schwerlegierungsrohre (Tungsten Heavy Alloy Tubes) werden in den USA häufig in der Nuklearindustrie, der Luft- und Raumfahrt, dem Militär, dem medizinischen Schutz und Hochtemperatur-Strukturkomponenten eingesetzt. Aufgrund ihrer hohen Dichte, hohen Festigkeit und hervorragenden Hitze- und Strahlungsbeständigkeit stellt das US-amerikanische

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materialnormensystem extrem strenge Qualitätsanforderungen an Wolframlegierungsrohre. Die USA verwenden hauptsächlich die Systeme ASTM (American Society for Testing and Materials) und MIL (Military Standard), um Wolframlegierungsrohre und verwandte Produkte zu regulieren. Dieser Abschnitt beschreibt die Kernnormen, technischen Spezifikationen und die Anwendungsintegration von Wolframlegierungsrohren unter diesen beiden Systemen.

1. Spezifikationen für Wolframlegierungsrohre in ASTM-Normen

ASTM (American Society for Testing and Materials) ist eine der weltweit maßgeblichsten Organisationen für Materialnormen. Die veröffentlichten Normen werden weltweit übernommen und umgesetzt. Obwohl ASTM keine eigene Norm für Wolframlegierungsrohre entwickelt hat, können verschiedene Normen für hochdichte Wolframlegierungen und Wolframprodukte als Referenz für die Herstellung und Prüfung von Wolframlegierungsrohren dienen:

1. ASTM B777-15 Standard-Spezifikation für gepresste und gesinterte Produkte aus schweren Wolframmetalllegierungen

- **Anwendungsbereich** : Umfasst gepresste und gesinterte Produkte aus hochdichten Legierungen wie Wolfram-Nickel-Eisen und Wolfram-Nickel-Kupfer, geeignet für Rohrrohlinge oder endkonturnahe Teile.
- **Leistungsstufe** : Klasse 1–4, entsprechend unterschiedlichen Dichten (17,0–18,5 g/cm³) und mechanischen Eigenschaften.
- **Eignung der Rohre** : Kann als grundlegende Materialspezifikation für Rohre aus Wolframlegierungen verwendet werden und bietet einen Zusammensetzungsbereich, eine Dichtekontrolle und Ziele für die mechanischen Eigenschaften.

2. ASTM B705 „Allgemeine Spezifikation für Rohre aus Wolfram und Wolframlegierungen“ (Hinweis: Obwohl sich dies eher auf Wolframrohre als auf Wolframlegierungen bezieht, ist es dennoch ein Referenzwert.)

- **Vorschriften** : Rohrgrößenabweichung, Wanddickenkontrolle, Oberflächenqualität, Krümmung und Prüfmethoden.
- **Anwendbare Materialien** : reines Wolfram und seine Legierung, warmverarbeitete Rohre, kaltgewalzte oder geglühte Produkte.

3. ASTM E8/E8M – Zugprüfverfahren für metallische Werkstoffe

- **Anwendung** : Wird zur Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren verwendet, einschließlich der Bewertung von Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung.
- **Unterstützende Tests** : Werden häufig in Verbindung mit ASTM B777 verwendet, um sicherzustellen, dass das Produkt die Festigkeitsanforderungen für die Endanwendung erfüllt.

4. ASTM E384 – Mikrohärteprüfverfahren

- **Wird zur Bewertung** der Vickers-/Knoop-Härte der Innen- und Außenwandoberflächen von Wolframlegierungsrohren verwendet, besonders geeignet für Produkte mit hoher Dichte.

5. ASTM E112 – Methode zur Bewertung der Korngröße

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Strukturkontrolle** : Wird verwendet , um die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur von Wolframlegierungsrohren nach dem Sintern oder der Wärmebehandlung zu erkennen.

2. Anwendungsszenarien von Wolframlegierungsrohren in MIL-Militärstandards

US-Militärstandards (MIL-SPEC / MIL-STD) dienen vor allem der Auswahl und Zulassung wichtiger Materialien für militärische Ausrüstung und Systeme. Wolframlegierungen werden aufgrund ihrer außergewöhnlich hohen Dichte und kinetischen Energieleistung häufig in Raketenkernen, Heckgegengewichten , ballistischer Panzerung und Komponenten von Trägheitssystemen verwendet. Die folgenden MIL-Standards stehen in engem Zusammenhang mit der Herstellung von Wolframlegierungsrohren:

1. MIL-T-21014C (Wolframbasislegierung, hohe Dichte)

- **Anwendbare Kategorien** : Umfasst hochdichte Legierungen auf Wolframbasis (hauptsächlich W-Ni-Fe), einschließlich Stangen, Schmiedestücke und Rohre;
- **Typische Anwendungen** : Geeignet für militärische Strukturteile wie hochfeste Anti-Penetrationsteile (Geschoskerne), Trägheitskomponenten usw.
- **Vorschriften** : einschließlich chemischer Zusammensetzung, Wärmebehandlungsbedingungen, Dichte, Toleranz, mechanischer Eigenschaften und Anforderungen an die Qualität des Erscheinungsbilds;
- **Qualitätsprüfung** : einschließlich zerstörungsfreier Prüfung (Ultraschall, Röntgen), metallografischer Analyse und Härtemessung usw.

2. MIL-STD-2154 (Ultraschallprüfstandard)

- **Anwendung** : Wird zur Erkennung interner Defekte an Militärteilen wie Wolframlegierungsrohren verwendet.
- **Einstufung** : Die Akzeptanz wird anhand der Defektgröße und der Reflexionsamplitude bestimmt.

3. MIL-STD-883 (Umweltprüfung für mikroelektronische Geräte)

- **Referenzwert** : Wenn Rohre aus Wolframlegierungen in elektronischen Gehäusen oder Kühlkörperstrukturen verwendet werden , können ihre Wärmeschockbeständigkeit, elektrische Isolierung und Dichtungseigenschaften auf diese Standardprüfspezifikation verweisen.

3. Technische Merkmale und Vorteile des US-Normungssystems

Projektkategorie	Eigenschaften des Standardsystems
Konformität mit Standards	ASTM- und MIL-Standards sind hinsichtlich Materialzusammensetzung, Leistungsindikatoren, Testmethoden usw. stark vereinheitlicht, was die globale Beschaffung und das Docking erleichtert.
Breite Anwendbarkeit	Die meisten ASTM-Standards sind mit hoher Kompatibilität auf Platten, Stäbe, Rohre und speziell geformte Teile aus Wolframlegierungen anwendbar.
Klare Qualitätseinstufung	Beispielsweise unterteilt B777 Wolframlegierungen in verschiedene „Klassen“, die bestimmten Dichte- und Festigkeitsstufen entsprechen, und erleichtert Unternehmen so die Anbindung an High-End-Anwendungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Autoritative Testmethoden	Tests zur Mikrostruktur, zu mechanischen Eigenschaften, Oberflächendefekten usw. werden alle durch ein komplettes Methodensystem unterstützt.
----------------------------------	---

4. Zertifizierung und passende Empfehlungen für Wolframlegierungsrohre, die in die Vereinigten Staaten exportiert werden

Um den Konformitätsanforderungen des US-Marktes für Rohre aus Wolframlegierungen gerecht zu werden, wird inländischen Herstellern Folgendes empfohlen:

1. **Vergleich der Produktstandards** : ASTM B777, MIL-T-21014C und andere Standards sollten in den technischen Spezifikationen eindeutig übernommen oder referenziert werden;
2. **Stellen Sie Qualitätsprüfberichte auf Chinesisch und Englisch bereit** : einschließlich Analyse der chemischen Zusammensetzung, Prüfung der mechanischen Eigenschaften, Aufzeichnungen der Ultraschallprüfung usw.
3. **Testberichte von Drittanbietern** : wie z. B. ASTM-Standardtestzertifikate, die von SGS, BV und anderen Institutionen ausgestellt wurden;
4. **Anmeldung in der Militärindustrie** : Wenn der Kunde in die Lieferkette des US-Militärs eingebunden ist, müssen die entsprechenden ITAR-Konformitätsqualifikationen erworben werden.

V. Fazit

Die US-amerikanischen ASTM- und MIL-Standardsysteme bieten umfassende Unterstützung für die standardisierte Produktion und den internationalen Handel von Wolframlegierungsrohren. Obwohl es keinen einheitlichen Standard für Wolframlegierungsrohre gibt, reichen die relevanten Spezifikationen für Produktion, Prüfung und Qualitätskontrolle aus. Chinesische Hersteller von Wolframlegierungsrohren müssen bei der Erschließung des amerikanischen Marktes wichtige Standards wie ASTM B777 und MIL-T-21014 genau kennen und strikt einhalten, um stetige Durchbrüche und nachhaltiges Wachstum in der globalen Lieferkette für hochwertige Materialien zu erzielen.

7.3 Internationale EU- und ISO-Normen für Rohre aus Wolframlegierungen

Wolfram-Schwerlegierungsrohre (Tungsten Heavy Alloy Tubes), ein fortschrittliches Material mit hoher Dichte, hohem Schmelzpunkt und ausgezeichneter Strahlungs- und Korrosionsbeständigkeit, werden häufig in der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergie, im medizinischen Bereich, beim Militär und in der High-End-Fertigung eingesetzt. Da der internationale Markt weiterhin ein höheres Maß an Produktkonsistenz und Rückverfolgbarkeit fordert, haben die Europäische Union (EN) und die Internationale Organisation für Normung (ISO) umfassende und strenge Normen und Spezifikationen für Design, Leistung, Sicherheit und Umweltverträglichkeit von Wolframlegierungsrohren festgelegt. Das Verständnis und die Beherrschung dieser international anerkannten Normen ist für Hersteller von Wolframlegierungsrohren von entscheidender Bedeutung, um grenzüberschreitenden Handel, technische Zusammenarbeit und die Entwicklung von Qualitätssystemen zu betreiben.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Zugehörige Spezifikationen für Wolframlegierungsrohre im EU-EN-Normsystem

Obwohl es in den EU-EN-Normen keine eigenständige Bestimmung speziell für „Rohre aus Wolframlegierungen“ gibt, können als Referenz die folgenden allgemeinen Normsysteme für Metallwerkstoffe und pulvermetallurgische Produkte herangezogen werden:

1. EN ISO 4499-1/2: Metallographische Untersuchung und mikrostrukturelle Analyse von Hartmetall

- Es kann zur mikrostrukturellen Bewertung von Wolframlegierungsrohren verwendet werden, insbesondere zur quantitativen Beschreibung der Gleichmäßigkeit und Kornmorphologie der gesinterten dichten Struktur.
- Leiten Sie den Prozess der metallografischen Probenvorbereitung und vereinheitlichen Sie die Inspektionsterminologie und Bewertungsmethoden.

2. EN 10204: Prüfung und Zertifizierung von Metallprodukten

- Unternehmen müssen Materialprüfberichte und Zertifikate vorlegen, die beim Export als Qualitätszertifikate für Wolframlegierungsrohre dienen können.
- Einschließlich 2.1 (Konformitätserklärung), 3.1 (Qualitätszertifizierung durch Dritte) und andere Dokumentformulare.

3. EN ISO 6506 / 6507 / 6508: Härteprüfnormen nach Brinell, Vickers und Rockwell

- Geeignet zum Testen der Härte der Innen- und Außenwände von Wolframlegierungsrohren, wird häufig in der Phase der Endproduktprüfung verwendet.
- Klären Sie detaillierte Anforderungen wie Eindrucklast, Haltezeit und Prüfoberflächenbehandlung.

4. EN ISO 6892: Zugprüfnorm für metallische Werkstoffe

- Geeignet zur Bewertung der Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung von Rohren und Schläuchen aus Wolframlegierungen und geeignet für warmgewalzte, geglühte oder gesinterte Materialien.

5. EN ISO 6508-1: Rockwell-Härteprüfung für Metalle

- für Wolframlegierungsprodukte mit hoher Härte und eignet sich für die lokale Härtemessung von Rohren mit kleinem Durchmesser und dünnen Wänden.

6. EN ISO 9001: Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme

- Für Hersteller von Wolframlegierungsrohren, die in die EU exportieren, ist die Implementierung eines Qualitätskontrollsystems gemäß ISO 9001 eine der Grundvoraussetzungen für den Markteintritt.

2. Zugehörige Spezifikationen von Wolframlegierungsrohren gemäß dem internationalen ISO-Standardsystem

Als Internationale Organisation für Normung veröffentlicht die ISO Werkstoff- und Prüfnormen, die in der weltweiten High-End-Fertigungsindustrie weit verbreitet sind. Sie sind insbesondere für transnationale Zertifizierungssysteme, internationale Ausschreibungen und Standardvergleiche maßgeblich.

1. ISO 2768 (Norm für geometrische Toleranzen)

- Bietet allgemeine Toleranzkriterien für Innendurchmesser, Außendurchmesser, Wandstärke, Ovalität, Länge und andere Maßkontrollen von Rohren aus Wolframlegierung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- ISO 2768-m wird häufig als Bearbeitungsstandard für allgemeine Präzisionsanforderungen verwendet.
- 2. ISO 9001 / ISO 14001 / ISO 45001 drei große Managementsysteme**
- Unternehmen müssen die Zertifizierung ihres Qualitätsmanagementsystems (9001), ihres Umweltmanagementsystems (14001) und ihres Arbeitsschutzsystems (45001) durch Dritte bestehen, um die Anforderungen internationaler Kunden an eine konforme Produktion zu erfüllen.
- 3. ISO 6892-1/-2: Zugprüfverfahren für metallische Werkstoffe**
- Leiten Sie die Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren in Umgebungen mit unterschiedlichen Temperaturen, einschließlich Testverfahren bei Raumtemperatur (-1) und hoher Temperatur (-2).
- 4. ISO 6506/6507: Messung der Metallhärte**
- Unterstützt die Härteprüfmethoden Brinell und Vickers und ist für die hochpräzise Härtebewertung von Rohren aus Wolframlegierungen geeignet.
- 5. ISO 10110-Reihe: Material- und Oberflächenqualitätsstandards für optische Komponenten**
- Wenn Rohre aus Wolframlegierungen in optischen Strukturen oder Schutzsystemen für nukleare Instrumente verwendet werden, kann dieser Standard als Referenz für Oberflächenrauheit, Verformung und Ebenheit verwendet werden.
- 6. ISO 14062: Leitfaden für umweltfreundliche Produktgestaltung**
- von Wolframlegierungsrohren während ihres Lebenszyklus, einschließlich Energieverbrauch, Recyclingfähigkeit und umweltfreundlicher Verpackung.

Die Bedeutung von EU/ISO-Normen beim Export von Wolframlegierungsrohren

Compliance-Dimension	Schlüsselkriterien	Compliance-Anforderungen	Anwendungsszenario
Produktleistung	ISO 6892, EN ISO 6507	Einheitliche Zug- und Härteprüfungen	Kundenakzeptanz und Leistungsvergleich
Maßtoleranz	ISO 2768	Kontrolle der Abweichung von Innen- und Außendurchmesser/Wandstärke	Technische Unterstützung und System-Docking
Umweltvorschriften	ISO 14001 / REACH / RoHS	Entsprechen den Umweltvorschriften und enthalten keine Schadstoffe	Export in die EU, grüne Zertifizierung
Qualitätssystem	ISO 9001, EN 10204	Dokumentenrückverfolgbarkeit und Qualitätzertifizierung	Handelsvertrags- und Beschaffungsprüfung
Fehlererkennung	ISO 9712 / EN 10308	Qualifikationen und standardisierte Abläufe für zerstörungsfreie Prüfungen	Akzeptanz in der Luftfahrt und im medizinischen Bereich

4. Empfohlene Wege für Unternehmen, die Wolframlegierungsrohre herstellen, um sich an internationale Standards anzupassen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. **Erstellen Sie eine technische Datenbank mit internationalen Standards** : Organisieren und aktualisieren Sie regelmäßig ISO- und EN-Standardtexte zu Wolframlegierungsrohren als interne Referenz und als Leitfaden für Forschung und Entwicklung.
2. **Vergleichsanalyse von Produktparametern und -standards** : Erstellen Sie eine Vergleichstabelle der Produktabmessungen, Leistung und internationalen Standards, um sicherzustellen, dass F&E und Prozessverbindungen den Anforderungen des Zielmarkts entsprechen.
3. **Prüfung durch Dritte** :
 - o ISO 9001/14001-Systemzertifizierung bestanden;
 - o Wir beauftragen SGS, TÜV, BV und andere Institutionen mit der Durchführung von Tests zu Zusammensetzung, Abmessungen und mechanischen Eigenschaften gemäß EN- oder ISO-Normen.
4. **Formulieren Sie unternehmensinterne Kontrollstandards (Q/)** : Formulieren Sie auf der Grundlage von ISO/EN Unternehmensstandards in Kombination mit Kundenanforderungen und Produktaktualität, um ein wirksames Qualitätssicherungssystem zu bilden.

V. Fazit

Das EU- und ISO-Normensystem bietet systematische und maßgebliche technische Spezifikationen für den internationalen Handel, technische Anwendungen und die Produktentwicklung von Wolframlegierungsrohren. Diese Normen decken nicht nur die verschiedenen Prüf- und Leistungsbewertungsverfahren für Wolframlegierungsrohre vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt ab, sondern beinhalten auch die Einhaltung von Umwelt- und Sicherheitsvorschriften. Für Hersteller von Wolframlegierungsrohren, die auf dem Weltmarkt, insbesondere innerhalb der EU, expandieren möchten, ist ein umfassendes Verständnis und die aktive Einhaltung dieser Normen entscheidend für den Aufbau internationaler Wettbewerbsfähigkeit und eine qualitativ hochwertige Entwicklung.

Konformitätsanforderungen für Wolframlegierungsrohre (RoHS, REACH, MSDS)

Wolfram-Schwerlegierungsrohre (Tungsten Heavy Alloy Tubes), ein wichtiges Metallmaterial mit hoher Dichte, hoher Festigkeit, hoher Temperaturbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit, werden häufig in der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergie, dem Militär, der Medizin und der Elektronikindustrie eingesetzt. Da der internationale Markt zunehmend Wert auf Umweltschutz, Sicherheit und Nachhaltigkeit legt, müssen Wolframlegierungsrohre beim Export und bei der technischen Verwendung die relevanten Umweltvorschriften und -standards strikt einhalten. Insbesondere Vorschriften wie **RoHS** (Restriction of Hazardous Substances), **REACH** (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) und **MSDS** (Safety Data Sheets) stellen eine grundlegende Markteintrittsbarriere für Wolframlegierungsrohrprodukte innerhalb der EU und weltweit dar.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Punkte der Umweltverträglichkeit von Wolframlegierungsrohren systematisch analysiert und Umsetzungspfade sowie Managementempfehlungen für Unternehmen vorgeschlagen.

1. Analyse der Anwendbarkeit der RoHS-Richtlinie und Wolframlegierungsrohre

RoHS (Restriction of Hazardous Substances) ist eine Umweltverordnung der Europäischen Union, die die Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Produkten einschränkt. Derzeit sind RoHS 2.0 (2011/65/EU) und deren überarbeitete Versionen in Kraft.

1. Zu den RoHS-beschränkten Stoffen zählen hauptsächlich:

- Blei (Pb): < 0,1 %
- Quecksilber (Hg): < 0,1 %
- Cadmium (Cd): < 0,01 %
- Sechswertiges Chrom (Cr6+): < 0,1 %
- Polybromierte Biphenyle (PBBs) und polybromierte Diphenylether (PBDEs): < 0,1 %
- Phthalate (DEHP, BBP, DBP, DIBP): < 0,1 %

2. Risikofaktoren bei Rohren aus Wolframlegierungen:

- Obwohl die Wolframlegierung selbst die oben genannten eingeschränkten Elemente nicht enthält, kann es bei Verwendung von bleihaltigen Löt-, Beschichtungs- oder Dotierungsmaterialien zu einer Überschreitung des Grenzwertes kommen.
- Wenn Rohre aus Wolframlegierungen als Strukturkomponenten, Kühlkomponenten oder Strahlungsschutzkomponenten elektronischer Geräte in elektronischen und elektrischen Systemen verwendet werden, ist eine RoHS-Konformitätserklärung erforderlich.

3. Compliance- Anforderungen:

- Legen Sie eine RoHS-Konformitätserklärung (DoC) vor, aus der hervorgeht, dass das Produkt keine eingeschränkten Stoffe enthält.
- Compliance-Audits bei Lieferanten;
- Unterstützt die Zertifizierung durch Prüfberichte Dritter (SGS, TÜV).

2. Der Beschränkungsmechanismus der REACH-Verordnung für Rohre aus Wolframlegierungen

REACH (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe) ist eine umfassende EU-Chemikalienverordnung, die die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Stoffen umfasst und weitgehend auf in die EU exportierte Produkte anwendbar ist.

1. Anwendungsbereich von Wolframlegierungsrohren:

- REACH gilt für alle Chemikalien, Gemische und Artikel, die auf den EU-Markt geliefert werden (Artikel).
- Rohre aus Wolframlegierungen gelten als „Artikel“ und wenn ihre Inhaltsstoffe besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC) enthalten und der Gehalt 0,1 % übersteigt, müssen sie gemeldet und angemeldet werden.

2. Risiken im Zusammenhang mit besonders besorgniserregenden Stoffen (SVHC):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Bestimmte Klebstoffe, Zusatzstoffe oder Oberflächenbehandlungsmittel können unter REACH aufgeführte SVHCs enthalten.
- Überschreitet der Gehalt von Inhaltsstoffen wie Beryllium, bestimmten Phthalaten, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) den Grenzwert, muss dies der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) gemeldet werden.

3. Reaktionsmaßnahmen des Unternehmens:

- Erstellen Sie eine REACH-Stoffliste und einen Vergleichsmechanismus.
- Fordern Sie von Rohstofflieferanten die Vorlage von REACH-Konformitätserklärungen;
- Führen Sie eine Risikobewertung für Prozessschritte durch, die SVHCs enthalten können (wie z. B. Galvanisieren und Beschichten).
- Führen Sie bei Bedarf die REACH-Registrierungs- oder Benachrichtigungsverfahren durch.

3. Anforderungen an Sicherheitsdatenblätter für die sichere Lieferung von Wolframlegierungsrohren

MSDS (Material Safety Data Sheet) ist ein international anerkanntes Dokument mit Sicherheitsinformationen zu Chemikalien, das Informationen wie die grundlegende Zusammensetzung des Produkts, seine physikalischen und chemischen Eigenschaften, seine Toxizitätsmerkmale, seine Auswirkungen auf die Umwelt, Notfallmaßnahmen und die Transportklassifizierung enthält.

1. Situationen, in denen ein Sicherheitsdatenblatt für Wolframlegierungsrohre erstellt werden muss :

- Wenn das Wolframlegierungsrohr in Pulverform oder Drahtform vorliegt oder eine Oberflächenbehandlung (z. B. Galvanisieren, Sprühen usw.) aufweist, kann dies als Sicherheitsrisiko betrachtet werden.
- Wenn das Unternehmen am internationalen Transport und der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit in der Lieferkette beteiligt ist, verlangen die Kunden in der Regel die Bereitstellung von Sicherheitsdatenblättern.

2. Zu den wichtigsten Inhalten des Sicherheitsdatenblatts gehören:

- Chemische Zusammensetzung und Anteil (zB W 90%, Ni 6%, Fe 4%)
- Gefahrenidentifizierung: ob es sich um brennbaren Staub, Metaldämpfe usw. handelt;
- Sicherheitsmaßnahmen: Schutzausrüstung, Leckagebehandlung, Feuerlöschmethoden usw.;
- Vorsichtsmaßnahmen bei Lagerung und Transport: Versiegelung, Feuchtigkeitsschutz, Antistatik, Klassifizierungs- und Transportcode usw.

3. Empfehlungen zur Zubereitung und Anwendung:

- Es wird empfohlen, die Zusammenstellung auf Grundlage des globalen einheitlichen Klassifizierungsstandards GHS vorzunehmen.
- Stellen Sie zweisprachige Versionen auf Chinesisch und Englisch bereit.
- Regelmäßig aktualisiert und auf Grundlage regulatorischer Änderungen überarbeitet;
- Stellen Sie Kunden digitale und Papierversionen zur Verfügung.

4. Empfehlungen zum Umweltschutzmanagementprozess für Wolframlegierungsrohre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Management	Empfohlene Aktion	Kerndateien
Rohstoff-Screening	Erstellen Sie eine Einkaufsliste mit ungiftigen und unbedenklichen Rohstoffen	RoHS-Konformitätserklärung
Prozesskontrolle	Überprüfen Sie, ob Bleilot, Schwermetallbeschichtungen, Benzollösungsmittel usw. vorhanden sind.	Prozess-Compliance-Bericht
Produkttests	Beauftragen Sie eine Drittagentur mit der Durchführung von RoHS/REACH-Tests	SGS/Intertek-Bericht
Regulatorische Überwachung	Verfolgen Sie Aktualisierungen der SVHC-Liste und regulatorische Änderungen	Datenbank für regulatorische Aktualisierungen
Compliance-Ausgabe	Bereitstellung von RoHS-, REACH-, MSDS- und anderen von Kunden benötigten Dokumenten	Compliance-Dateien

V. Zusammenfassung und Ausblick

Angesichts zunehmend strengerer globaler Umweltvorschriften müssen sich die Herstellung und das Lieferkettenmanagement von Wolframlegierungsrohren schrittweise an internationale Standards wie **RoHS, REACH und MSDS anpassen. Unternehmen müssen nicht nur die Einhaltung der Rohstoffvorschriften** an der Quelle kontrollieren, sondern auch Umwelanforderungen in den gesamten Design-, Produktions-, Verpackungs- und Transportprozess integrieren, um den internationalen Marktzugang und das grüne Image ihrer Produkte zu verbessern. Mit der zunehmenden Verbreitung des Konzepts der umweltfreundlichen Fertigung wird die Umweltverträglichkeit von Wolframlegierungsrohren zu einem entscheidenden Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens.

Anschließend können Hersteller von Wolframlegierungsrohren den Aufbau eines Rückverfolgbarkeitssystems für den gesamten Prozess der Umweltverträglichkeitsprüfung prüfen, das die RoHS-Materialliste, den REACH-Benachrichtigungsstatus und die gemeinsam genutzte MSDS-Dokumentenbibliothek über eine digitale Plattform integriert, um eine effiziente Verwaltung und dynamische Aktualisierung der Compliance-Arbeit zu erreichen und so im harten globalen Marktwettbewerb die Initiative zu ergreifen.

7.5 Qualitätssystem für Wolframlegierungsrohre in der Luftfahrt, Kernenergie, Medizin und anderen Bereichen (AS9100, ISO13485)

Wolframlegierungsrohre spielen mit ihrer **hohen Dichte, Festigkeit und hervorragenden Hochtemperatur- und Strahlungsbeständigkeit eine unersetzliche Rolle in der High-End-Fertigung und für hochzuverlässige Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergie und der Medizintechnik**. Diese Branchen stellen extrem hohe Anforderungen an Produktqualität, Sicherheit und Konsistenz. Daher müssen Hersteller von Wolframlegierungsrohren international anerkannte Qualitätsmanagementsysteme strikt einhalten, um sicherzustellen, dass ihre Produkte auch in komplexen oder extremen Umgebungen langfristig und stabil funktionieren.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die drei wichtigsten Qualitätssystemstandards, die für Hersteller von Wolframlegierungsrohren gelten: **AS9100 (Qualitätsmanagementsystem für die Luft- und Raumfahrt)**, **ISO13485 (Qualitätsmanagementsystem für Medizinprodukte)** und **ISO19443 (erweiterter Standard für Qualitätsmanagementsysteme im Bereich Kernenergie)** und analysiert deren Anwendbarkeit, Kernelemente und Umsetzungsempfehlungen.

1. AS9100: Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme für die Luft- und Raumfahrt

AS9100 ist ein Qualitätsmanagementstandard für die Luft- und Raumfahrtindustrie sowie die Verteidigungsindustrie, der von der International Aerospace Quality Group (IAQG) herausgegeben wird. Es handelt sich um eine erweiterte Version der ISO 9001-Norm und enthält spezielle Anforderungen für die Luft- und Raumfahrtproduktion.

1. Geltungsbereich:

- Rohre aus Wolframlegierungen werden häufig in Flugzeugtriebwerken, Satelliten, Raketen und anderen Geräten als **Gegengewichte in der Luftfahrt, Trägheitskomponenten, hitzebeständige Rohre oder schützende Strukturmaterialien verwendet**.
- Wenn das Unternehmen ein Zulieferer der ersten oder zweiten Ebene in der Luft- und Raumfahrtindustriekette ist, muss es vor der Lieferung von Waren die AS9100-Zertifizierung bestehen.

2. Kerninhalte:

- Produktsicherheit und Fehlervermeidung;
- Risikomanagement (risikobasiertes Denken);
- Spezielle Prozesskontrolle (z. B. Wärmebehandlung, Sintern, additive Fertigung);
- Lieferkettenmanagement und Änderungskontrolle;
- Rückverfolgbarkeit, Umgang mit Nichtkonformitäten sowie Korrektur- und Präventivmaßnahmen.

3. Umsetzungsempfehlungen:

- Richten Sie ein vollständig dokumentiertes Qualitätssystem ein.
- Schlüsselpersonal muss an einer internen AS9100-Audit- und Systemschulung teilnehmen.
- Führen Sie regelmäßig Prozessfähigkeitsanalysen und Erstmusterprüfungen (FAI) durch.
- Einführung von Luftfahrttools wie Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) und PPAP.

2. ISO 13485: Standard für Qualitätsmanagementsysteme für Medizinprodukte

Wolframlegierungsrohre werden häufig **in Positionierungsgeräten für die Strahlentherapie, Abschirmungen, Gammastrahlenmodulatoren und medizinischen Gegengewichten verwendet**. Aufgrund ihrer Stabilität, Dichte und nichtmagnetischen Eigenschaften eignen sie sich besonders für hochpräzise medizinische Geräte. **ISO 13485** ist ein internationaler Qualitätsstandard speziell für die Entwicklung, Herstellung, Installation und Wartung von medizinischen Geräten.

1. Anwendbare Szenarien:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wenn Hersteller medizinischer Geräte Wolframlegierungsrohre für **Strahlenschutz, Schutzgerätekomponten und Röntgenkomponenten verwenden**, müssen die Rohstoffe und Strukturteile von Lieferanten bezogen werden, die die ISO13485-Zertifizierung bestanden haben.
- Medizinische Wolframlegierungsrohre sind direkt Teil eines Medizinprodukts. Die jeweiligen Hersteller müssen bei der Registrierung, Prüfung und Überprüfung der technischen Daten kooperieren.

2. Anforderungen im Überblick:

- Produktlebenszyklusmanagement und Risikokontrolle;
- Prozessverifizierung und -validierung (z. B. irreversible Prozesse wie Sintern und Walzen);
- Aktenführung (Design History File);
- Prozessüberwachung, internes Audit und Kundenfeedback-Mechanismus;
- Meldung unerwünschter Ereignisse und Verwaltung von Rückrufprogrammen.

3. Gegenmaßnahmen des Unternehmens:

- Gewährleistung der Konsistenz und Stabilität der Produktcharge;
- Verbesserung der Rohstoffprüfung, Prozessüberwachung und Fabrikzeichnungen;
- Designänderungen erfordern eine Bewertung der potenziellen medizinischen Auswirkungen und eine erneute Validierung.
- Verfolgen Sie jede Charge von Wolframlegierungsrohren bis zur ursprünglichen Bezugsquelle und zum Herstellungsprozess zurück.

3. ISO 19443: Ein Qualitätsmanagementstandard speziell für den Kernenergiesektor (mit Bezug auf ISO 9001)

Wolframlegierungsrohre, die in Kernkraftwerken als Strahlenschutzrohre, Strukturkomponenten oder Komponenten von Wärmeleitsystemen verwendet werden, müssen die höheren Anforderungen der Nuklearindustrie an Sicherheit, Zuverlässigkeit und Rückverfolgbarkeit erfüllen. ISO 19443 ist eine Erweiterung von ISO 9001 für die Nuklearindustrie und gilt speziell für das Qualitätsmanagement von Lieferanten nuklearer Anlagen .

1. Anwendungsmerkmale:

- Hauptsächlich anwendbar auf Lieferanten von Materialien, Komponenten und Dienstleistungen für **Kernkraftwerke, Kernbrennstoffkreisläufe, Kernreaktoren und damit verbundene Projekte;**
- Wolframlegierungsrohre, die für Kernstützen, Strahlungshülsen, Abschirmkomponenten usw. verwendet werden, müssen der vollständigen Prozesskontrolle dieser Norm entsprechen.

2. Zentrale Kontrollpunkte:

- Die Sicherheitskultur ist in das Qualitätsmanagementsystem integriert;
- Mechanismus zur Risikobewertung von Produkten und Dienstleistungen;
- Rückverfolgbarkeit und Dokumentationsintegrität;
- Umsetzung der Kundenanforderungen und Implementierung regulatorischer Klauseln;
- Bezeugung durch Dritte und kundenspezifische Überprüfungsaktivitäten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Vergleich und Anpassungsvorschläge der drei Hauptssysteme

Standard	Anwendungsbereiche	Schlüsselanforderungen	Typische Anwendungen
AS9100	Luft- und Raumfahrt	Produktsicherheit, Rückverfolgbarkeit und Risikomanagement	Trägheitskomponenten für Satelliten, Weltraumgegengewichte
ISO 13485	medizinische Geräte	Prozessvalidierung, Meldung unerwünschter Ereignisse und Einhaltung gesetzlicher Vorschriften	Strahlenschutzhüllen, Röntgenschutzkomponenten
ISO19443	Kernenergieindustrie	Sicherheitskultur, nukleare Qualitätskontrolle und Dokumentenintegrität	Nukleare Abschirmrohre, Strahlungskomponenten

V. Zusammenfassung und Ausblick

Als hochentwickeltes, funktionales Konstruktionsmaterial sind Wolframlegierungsrohre im **Bereich der High-End-Geräteherstellung nicht mehr nur aufgrund ihrer Leistungsindikatoren wettbewerbsfähig**. Sie erfordern zudem ein systematisches und nachhaltiges Qualitätsmanagementsystem. AS9100, ISO13485 und ISO19443 sind als weltweit anerkannte, maßgebliche Standards für den Markteintritt von Unternehmen zum Schlüssel geworden.

Für produzierende Unternehmen empfiehlt sich die Verwendung von ISO 9001 als Grundlage für das Qualitätsmanagement. Auf dieser Grundlage sollten für die Zielbranche geeignete erweiterte Standards ausgewählt werden, um die Verbesserung interner Kontrollsysteme, Prozesstransparenz, Chargenrückverfolgbarkeit sowie die umfassende Integration von Qualitätssystemen und Marktentwicklung zu fördern und so eine solide Grundlage für die Industrialisierung und Internationalisierung von Wolframlegierungsrohren zu schaffen.

Zu den nachfolgenden Vorschlägen gehören die Untersuchung des integrierten Aufbaus des Qualitätssystems, die horizontale Integration der drei Hauptstandards und die Realisierung einer gemeinsamen Plattform, Modularisierung und digitalen Verwaltung der Luftfahrt-, Kernenergie- und Medizinbranche, sodass Rohrprodukte aus Wolframlegierungen tatsächlich das internationale Niveau von „High-End-Konsistenz, hoher Qualität und Konformität“ erreichen können.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Kapitel 8 Verpackungs-, Lagerungs- und Transportspezifikationen für Wolframlegierungsrohre

8.1 Auswahl des Verpackungsmaterials und Schutzdesign für Wolframlegierungsrohre (Vakuum, Trocknung und Pufferung)

Als hochdichtes, hochwertiges und sprödes Präzisionslegierungsprodukt stellen Wolframlegierungsrohre während **der Produktion, Lagerung und des internationalen Transports extrem hohe Anforderungen an Verpackungs- und Schutzsysteme**. Unsachgemäße Verpackung kann nicht nur zu Oberflächenkratzern, Kantenkollisionen oder strukturellen Verformungen führen, sondern auch zu Metalloxidation oder Verunreinigungen durch feuchte Umgebungen, was die nachfolgende Verarbeitungsqualität und die Endnutzungsleistung beeinträchtigt. Daher ist die wissenschaftliche und systematische Entwicklung eines Verpackungsmaterialsystems und eines Schutzdesigns für Wolframlegierungsrohre entscheidend, um Produktqualität und Lieferzuverlässigkeit zu gewährleisten.

1. Grundprinzipien des Verpackungsdesigns für Wolframlegierungsrohre

1. **Druck- und Stoßfestigkeit** : Aufgrund des hohen Gewichts und der spröden Struktur von Rohren aus Wolframlegierung muss das Verpackungssystem über eine ausreichende Stoßdämpfungskapazität verfügen, um Schäden durch Trägheitskollisionen beim Be- und Entladen sowie beim Transport zu verhindern.
2. **Versiegelung und Feuchtigkeitsschutz** : Obwohl Wolframlegierungen eine gute Korrosionsbeständigkeit aufweisen, können Komponenten wie Nickel und Kupfer in der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Legierung unter der Einwirkung von Feuchtigkeit dennoch an Oberflächenverfärbungen und leichter Oxidation leiden, daher ist eine feuchtigkeitsdichte Verpackung erforderlich.

3. **Saubere und schadstofffreie Materialien** : Verpackungsmaterialien dürfen keine organischen Schadstoffe, Sulfide, Chloride und andere aktive chemische Bestandteile freisetzen, um die Oberflächenreinheit des Wolframlegierungsrohrs nicht zu beeinträchtigen.
4. **Einhaltung internationaler Transportstandards** : Die Verpackungsstruktur sollte für die Beladung und Zollabfertigung in Standardcontainereinheiten für den See-, Luft- und Landtransport geeignet sein und internationalen Vorschriften wie RoHS und ISPM 15 entsprechen.

2. Gängige Verpackungsmaterialarten und Anwendbarkeit

1. Inneres Schutzmaterial

Material	Funktion	Merkmale
<i>Polyethylenfolie</i>	Luftdicht, leicht wasserdicht	Gute Flexibilität, geeignet für Vakuumverpackung
<i>Aluminiumfolien-Verbundfolie</i>	Feuchtigkeitsbeständig und UV-beständig	Geeignet für Langzeitlagerung und Transport, starke Anti-Aging-Leistung
<i>Schaum/EPE (Smaragdgrünes Polyethylen)</i>	Pufferung und Kollisionsvermeidung	Oft um die Innenwand eines einzelnen Wolframrohrs oder -gehäuses gewickelt
<i>Desoxidationsmittel/Trockenmittel</i>	Feuchtigkeitsaufnahme und Sauerstoffentzug	Kieselgel und Molekularsiebe können langfristigen Schutz bieten

2. Pufferstruktur der mittleren Schicht

- **Wabenpappe oder Wellpapier** : wird verwendet, um den Kontakt zwischen Wolframlegierungsrohren zu isolieren, niedrige Kosten und anpassbare Form;
- **-Pads mit hoher Dichte** : werden häufig zur Positionierung und zum Schutz von Präzisions-Wolframrohren verwendet, sind stark druckbeständig und stanzbar.

3. Äußerer Schutzbehälter

- **Hochfeste Holzkiste (IPPC-Logo)** : geeignet für Langstreckenexport und Schwerlasttransporte, mit stabiler Struktur;
- **Box aus Aluminiumlegierung oder Verbundmaterial** : geeignet für den Einsatz mit Air Express und High-End-Geräten;
- **Spezielle Rohrhalterungen für mehrere Wolframlegierungsrohre** : Sie bestehen aus PE, ABS oder Aluminiumlegierung und ermöglichen eine strukturelle Fixierung, die Ausrichtung des Rohrdurchmessers und den Chargentransport.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Typische Beispiele für Verpackungskombinationen

1. **Exportorientierte Schutzstruktur für Rohre aus Wolframlegierung** (anwendbar auf Hochleistungsrohre > 1 m Länge):
 - Innenschicht: Vakuumverpackung (Aluminium-Kunststoff-Verbundfolie + Trockenmittel)
 - Mittlere Schicht: EPE-Komplettpaket + Einzelabzweigrohr-Stützabstandshalter
 - Außenschicht: Sperrholzverstärkte Holzkiste + IPPC-Wärmebehandlung + Kippschutzmarkierung
2. **Verpackungslösung für Präzisions-Wolframrohr-Luftfahrtzubehör** :
 - Innenschicht: saubere, staubfreie PE-Folie + mehrschichtige Schaumtrennung
 - Außenschicht: Aluminiumbox oder recycelbare hochfeste Kunststoffbox mit Schloss
 - Anlagen: Laseretikett + Werksinspektionsformular + MSDS-Bedienungsanleitung

4. Überlegungen zum Verpackungsdesign von Wolframlegierungsrohren

- **Einzelwickelprinzip** : Bei hochpräzisen und hochveredelten Wolframrohren ist es strengstens verboten, mehrere Rohre ohne Abstand in Kontakt zu bringen .
- **Standardisierte Identifikationsetiketten** : müssen Materialname, Spezifikationsmodell, Chargennummer, Produktionsdatum und Qualitätsverfolgungscode enthalten;
- **Warnhinweise zur Transportrichtung** : Die Außenverpackung sollte mit zweisprachigen chinesischen und englischen Etiketten wie „Zerbrechlich“, „Nicht stapeln“ und „Feuchtigkeitsbeständig“ versehen sein.
- **Überprüfung der seismischen Leistung** : Für spezielle Anwendungen (wie etwa Wolframlegierungsrohre für Militär und Luftfahrt) wird empfohlen, simulierte Transporttests (wie etwa ISTA-Standards) in den Verpackungsplan aufzunehmen.

5. Zukünftige Entwicklungsrichtung der Verpackungstechnologie

Mit der Weiterentwicklung intelligenter internationaler Logistik und grüner und kohlenstoffarmer Trends ergeben sich auch beim Verpackungsdesign von Tuben aus Wolframlegierungen folgende Entwicklungsrichtungen:

- **Recycelbares Verpackungssystem** : Verwenden Sie wiederverwendbare Verpackungsutensilien aus Metall/Kunststoff, um die Verschwendung von Einwegmaterialien zu reduzieren.
- **Intelligente Schutzmaterialien** : integrierte Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren und Aufprallindikatoren zur Überwachung der Verpackungsumgebung in Echtzeit;
- **Tracking des gesamten Prozesses** : Chargenrückverfolgbarkeit, Bestandsverwaltung und Synchronisierung von Logistikinformationen werden durch RFID-Chips oder QR-Code-Etiketten erreicht.

Zusammenfassung

Die Verpackung von Wolframlegierungsrohren dient nicht nur dem physischen Schutz, sondern ist auch ein wichtiges Bindeglied in der Produktqualitätskette. Von der Materialauswahl und dem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Design der Schutzstruktur bis hin zur detaillierten Kontrolle von Feuchtigkeit, Vibrationen und Kontamination muss sie während des gesamten Prozesses von der Produktion bis zur Auslieferung umgesetzt werden. Ein standardisiertes und wissenschaftlich fundiertes Verpackungssystem kann die internationalen Liefermöglichkeiten effektiv verbessern, Transportverluste reduzieren und die Kundenzufriedenheit steigern. Es demonstriert zudem die Kompetenz eines Unternehmens in Produktzuverlässigkeit und Markenführung.

8.2 Lagerbedingungen und Anforderungen an Korrosions- und Oxidationsschutz für Wolframlegierungsrohre

Wolframlegierungsrohre werden häufig in anspruchsvollen Bereichen wie Kernenergie, Rüstungsindustrie, Luft- und Raumfahrt, Medizin und Elektronik eingesetzt. Ohne wirksame Umweltkontrollen und Schutzmaßnahmen während der Lagerung können externe Faktoren wie Feuchtigkeit, Temperatur und korrosive Gase jedoch leicht zu Qualitätsproblemen wie Oberflächenoxidation, Korrosion, Kontamination und Verfärbung führen, die die nachfolgende Verarbeitungsleistung und die Produktlebensdauer beeinträchtigen. Daher sind die Formulierung wissenschaftlich fundierter und sinnvoller Lagervorschriften und die Schaffung einer standardisierten Lagerumgebung entscheidend für die Qualität und Stabilität von Wolframlegierungsrohren.

1. Grundlegende Anforderungen an die Lagerumgebung von Wolframlegierungsrohren

1. Temperaturregelung :

- Der empfohlene Lagertemperaturbereich beträgt **5 °C bis 30 °C** .
- Um Kondensation und das Anhaften von Wasserdampf an der Oberfläche zu verhindern, sollten häufige und starke Temperaturschwankungen vermieden werden.

2. Feuchtigkeitskontrolle :

- **<60 % RH** liegen , bei längerer Lagerung wird empfohlen, 50 % RH nicht zu überschreiten.
- In Umgebungen mit hoher Luftfeuchtigkeit kann es leicht zu einer Mikrooxidation von Legierungen kommen, die Elemente wie Nickel und Kupfer enthalten, was sich in Form von Vergilbung und dunklen Flecken äußert.

3. Anforderungen an die Gasumgebung :

- Im Lagerbereich sollte der Kontakt **mit ätzenden Gasen wie Sulfid, Chlor, Ammoniak, Säurenebel usw. vermieden werden.**
- Vermeiden Sie es, Rohre aus Wolframlegierungen in der Nähe von Bereichen zu platzieren, in denen starke Säuren, starke Laugen, Lösungsmittel und andere chemische Rohstoffe gelagert werden.

4. Sauberkeitsanforderungen :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Der Lagerort sollte sauber, öl- und staubfrei gehalten werden und Feuerwerkskörper sind strengstens verboten.
- Wenn die Bedingungen es zulassen, Für die spezielle Lagerung hochwertiger Wolframlegierungsrohre **kann ein sauberes Lager mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit eingerichtet werden**.

2. Wichtige technische Punkte der Wolframlegierungsrohlagerung

1. Vertikale und horizontale Lagermöglichkeiten

- Für mittlere und lange Wolframlegierungsrohre mit einer Länge von mehr als 500 mm:
 - Es wird empfohlen, die Teile **horizontal zu lagern** und sie durch Rohrstützen, Schaumstoffrillen oder Klammern voneinander zu trennen, um ein Verbiegen und Verformen zu vermeiden.
- Für hochpräzise Kurzrohre oder hochveredelte Wolframrohre:
 - kann **in einer vertikalen Rohranordnung gelagert werden**. Die Rohrwand darf nicht direkt mit der harten Struktur in Kontakt kommen und sollte durch eine weiche Polsterschicht gestützt werden.

2. Lagerbehälter und Isoliermaterialien

Typ	Empfohlene Materialien	Merkmale
Auskleidung von Verpackungsmaterialien	Perlbaumwolle, Polyethylenfolie, schwefelfreies Papier	Kratzfest, feuchtigkeitsbeständig, sauber und korrosionsbeständig
Aufbewahrungsröhre/-gestell	Edelstahl, Aluminiumlegierung, PVC-Kunststoff	Stabil, leicht zu reinigen, antioxidativ
Regalaufbau	Holz/Stahl-Rostschutzbeschichtung	Schicht- und Nummernverwaltung, feuchtigkeitsbeständige Bodenplatte zur Vermeidung von Feuchtigkeit

3. Lagerdauer und Wartung von Wolframlegierungsrohren

Speicherdauer	Empfohlene Umgebungsbedingungen	Statusprüfzyklus	Vorsichtsmaßnahmen
Kurzfristig (<3 Monate)	Normale Temperatur und Luftfeuchtigkeit, versiegelt und trocken	Einmal im Monat	Nach dem Öffnen bitte wieder verschließen
Mittelfristig (3-12 Monate)	Kammer mit konstanter Temperatur und Feuchtigkeit, mit Trockenmittel	Einmal alle zwei Wochen	Versuchen Sie, Vakuumpackungen zu verwenden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Langfristig (>12 Monate)	Vakuumversiegelung Trocknungslager	+	Überprüfen Sie die Dichtung wöchentlich	Es wird empfohlen, das Trockenmittel regelmäßig umzudrehen und auszutauschen
--------------------------	---------------------------------------	---	---	--

4. Vorsichtsmaßnahmen bei der Lagerung unter besonderen Bedingungen

1. Küsten-/ Feuchtgebiete :

- Es sollte eine Verpackungsschicht hinzugefügt werden, vorzugsweise ein luftdichter Beutel aus Aluminium-Kunststoff-Verbund.
- Lagerhallen müssen mit industriellen Entfeuchtungsgeräten ausgestattet und belüftet werden.

2. Höhenlagen oder kalte Regionen :

- Achten Sie auf das Kondensationsproblem, das durch Temperaturunterschiede verursacht wird, und erhöhen Sie die Temperatur langsam, um die Versiegelung zu lösen.

3. Reinräumen verwendete Wolframlegierungsrohre :

- Der Lagerbereich muss der Reinheitsklasse 1000 oder höher entsprechen;
- Die gelagerten Materialien dürfen weder Staub abgeben noch organische flüchtige Stoffe freisetzen.

5. Empfehlungen zum Lagerverwaltungssystem und zur Rückverfolgbarkeit

- Richten Sie ein **Produktnummern- und Eingangs- und Ausgangsaufzeichnungssystem ein**, einschließlich Materialchargennummer, Lagerzeit und Verwendungsziel.
- **Überprüfen Sie das Aussehen und den Oxidationsstatus der Wolframlegierungsrohre auf Lager.**
- Implementieren Sie das **First-In-First-Out-Managementprinzip (FIFO)**, um den Lagerumschlag sicherzustellen.

Zusammenfassung:

Die Qualität von Wolframlegierungsrohren beeinflusst nicht nur deren Oberflächenbeschaffenheit und strukturelle Integrität, sondern auch ihre Anpassungsfähigkeit an nachgelagerte Prozesse und die Zuverlässigkeit des Endprodukts. Wissenschaftliches und rationales Temperatur- und Feuchtigkeitsmanagement, korrosionsbeständige Verpackungslösungen und standardisierte Lagersysteme sind für die Qualitätssicherung von Wolframlegierungsrohren unerlässlich. Da Wolframlegierungen zunehmend in High-End-Anwendungen eingesetzt werden, sind die Professionalisierung und Standardisierung von Lagerprozessen zu entscheidenden Komponenten der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens geworden.

8.3 Internationale Transportspezifikationen für Wolframlegierungsrohre

Wolframlegierungsrohre sind Präzisionskonstruktionswerkstoffe mit hoher Dichte, hohem Schmelzpunkt, Korrosions- und Strahlungsbeständigkeit. Sie werden häufig in Branchen wie der Kernenergie, dem Militär, der Luft- und Raumfahrt und der medizinischen Versorgung eingesetzt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und ihr weltweiter Handel wächst stetig. Aufgrund ihrer hohen Dichte und ihres hohen Wertes sowie der Tatsache, dass einige Wolframlegierungsrohre für militärische oder sensible Zwecke verwendet werden, müssen beim internationalen Transport die einschlägigen Vorschriften verschiedener Länder und internationaler Organisationen strikt eingehalten werden, um die Sicherheit, Konformität und Effizienz des grenzüberschreitenden Warenverkehrs zu gewährleisten.

1. Grundlage für die Feststellung, ob Wolframlegierungsrohre kontrollierte Gegenstände sind

Vor dem internationalen Transport muss zunächst geprüft werden, ob es sich bei den transportierten Wolframlegierungsrohren um **Dual-Use-Güter oder militärisch kontrollierte Produkte handelt**. Dies bestimmt direkt die Komplexität des Transportprozesses. Die wichtigsten Beurteilungskriterien sind:

1. Legierungszusammensetzung :

- Wenn das Wolframlegierungsrohr **strategische Metalle wie Molybdän, Nickel, Kobalt, Rhenium usw. in einem bestimmten Anteil enthält** und besondere physikalische Eigenschaften aufweist (wie Strahlungsbeständigkeit oder ultrahohe Dichte), kann es als eingeschränkt eingestuft werden;

2. Nutzungserklärung :

- Rohre aus Wolframlegierungen, die in der Nuklearindustrie, in Waffensystemen oder als Komponenten zum Schutz von Satelliten verwendet werden, müssen in der Regel als sensible Materialien deklariert werden.

3. Relevante Vorschriften :

- Dazu gehören Vorschriften wie das Wassenaar-Abkommen, die chinesischen Exportkontrollvorschriften für Güter und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck, die US-amerikanischen Export Administration Regulations (EAR) und die EU-Dual-Use-Verordnung.

vorab eine Ausfuhrgenehmigung beantragen oder eine Endverbleibsbescheinigung vorlegen .

II. Wichtigste Transportarten und Zollabfertigungsanforderungen

1. Wählen Sie das Transportmittel

Wolframlegierungsrohre werden je nach Gewicht, Präzisionsgrad, Versandzeit und Zielort normalerweise auf folgende Weise versendet:

Transportmittel	Anwendbare Situationen	Merkmale
Seefracht	Großvolumige, kostensensible Exporte	Geringe Fracht, langer Zyklus, muss feuchtigkeitsbeständig verstärkt werden
Luftverkehr	Hohe Wertschöpfung, kleine Chargen, dringende Bestellung	Schneller Transport, hohe Zollabfertigungsanforderungen und strengere Verpackung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Landverkehr (grenzüberschreitend)	Asien/Nachbarländer	Die Zollabfertigung ist bequem, aber Sie müssen auf die Grenzkontrollrichtlinien achten
--	---------------------	---

2. Import- und Exportzollabfertigungsdokumente

- **Handelsrechnung**
- Packliste
- **Frachtbrief / Luftfrachtbrief**
- **Ursprungszeugnis (CO)**
- **Materialzertifikat (MTC)/Produktbandbuch**
- **Import- und Exportlizenz bzw. Dual-Use-Genehmigung (sofern zutreffend)**

Besonderer Hinweis: Wenn Wolframlegierungsrohre im Militär, in der Kernenergie, in der Luftfahrt und in anderen Bereichen verwendet werden, kann der Zoll des Bestimmungslandes detaillierte technische Parameterbeschreibungen und Endbenutzererklärungen verlangen.

3. Internationale Standards für Verpackung und Transport von Wolframlegierungsrohren

Um sicherzustellen, dass sich das Wolframlegierungsrohr während des Langstreckentransports nicht verformt, oxidiert oder beschädigt wird, muss seine Verpackung den internationalen Praktiken und Standards für den Frachttransport entsprechen:

1. Grundsätze des Verpackungsdesigns

- **Druck- und Schlagfestigkeit** : Verwenden Sie Holzkisten, Metallfässer oder Wabenkartons mit Polstermaterialien wie EPE, Schaumstoff usw.
- **Feuchtigkeitsbeständig und oxidationshemmend** : Vakuumverpackung oder Zugabe eines Trockenmittels, mit wasserdichter Folie über der Außenschicht;
- **Klare Kennzeichnung** : deutlich gekennzeichnet mit „Tungsten Alloy Tubes“, Teilenummer, Gewicht, Größe, Lieferant, Bestimmungsort, Vorsichtsmaßnahmen usw.
- **Konformitätskennzeichnung** : Bei militärischer Verwendung sollte eine Kennzeichnung für den Dual-Use-Frachttransport angebracht werden .

2. Relevante internationale Normen

- **UN-Empfehlungen zum Transport gefährlicher Güter**
- **IATA-Vorschriften für Gefahrgut (z. B. Lufttransport)**
- **ISPM 15 (Exportstandard für die Begasung von Holzkisten)**
- **ASTM B777 oder GB/T 4169 Verpackungstestspezifikationen** (für Wolframlegierungsprodukte)

IV. Wichtige Punkte zur Risikoprävention und -kontrolle während des Transports

Risikoart	Gegenmaßnahmen
Kollisions- /Quetschverformung	Verwenden Sie eine verstärkte Struktur mit Halterung/Hülse als Trennstruktur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Korrosion in feuchter Umgebung	Vakuumverpackung + Trockenmittel + feuchtigkeitsbeständige Indikatorkarte
Zollbeschlagnahme von Waren	Beantragen Sie vorab eine Ausführgenehmigung und die Hinterlegung der technischen Daten
In der sensiblen Liste enthalten	Geben Sie Produktname/Zweck/Endbenutzer genau an, um Sanktionsrisiken zu vermeiden
Lieferverzögerungen	Wählen Sie ein stabiles Logistikunternehmen und bieten Sie vollständige Tracking- und Zollabfertigungsdienste an

V. Typische Regulierungsfälle im Zielland

- **Festlandchina** : Wolframprodukte müssen vor dem Export vom Handelsministerium genehmigt werden und in den „Exportlizenzkatalog für Güter und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck“ aufgenommen werden .
- **Vereinigte Staaten** : Es gelten möglicherweise die Kontrollen der EAR 99- oder 600-Serie. Ob eine Exportlizenz erforderlich ist, hängt von den Eigenschaften und der beabsichtigten Verwendung der Legierung ab.
- **EU- Länder** : Müssen die EU-Dual-Use-Verordnung und die REACH-Registrierungsanforderungen einhalten.
- **Indien, Russland, der Nahe Osten und andere Regionen** : Einige Länder verlangen die Bereitstellung von Terminalanweisungen für spezielle Legierungsmaterialien und verstärken die Sicherheitskontrollen während der Zollanmeldung.

Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre unterliegen zahlreichen Konformitätsfaktoren, darunter Metallmaterialien, strategische Materialien und Dual-Use-Produkte. Unternehmen, die grenzüberschreitende Transporte organisieren, müssen die Richtlinien des Ziellandes genau kennen und umfassende Compliance-Verfahren einführen. Unternehmen wird empfohlen, mit **Spediteuren/Zollagenten zusammenzuarbeiten, die Erfahrung im internationalen Metallhandel haben**, und umfassende Aufzeichnungen über Verpackung, Deklarationen, Lizenzen und Rückverfolgbarkeit zu führen, um die Sicherheit, Effizienz und Konformität von Wolframlegierungsrohren während des internationalen Transports zu gewährleisten.

8.4 Zollaufsicht und Lizenzantrag für den Export von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre werden als Hochleistungsmetallkonstruktionswerkstoff häufig in anspruchsvollen Fertigungsbereichen wie der Kernenergie, der Rüstungsindustrie, der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik und der Elektronik eingesetzt. Einige Produkte weisen zudem bestimmte strategische Materialeigenschaften auf. Daher müssen Unternehmen beim Export von Wolframlegierungsrohren die Zollbestimmungen und relevanten Exportkontrollsysteme ihres jeweiligen Landes strikt einhalten und je nach Produkteigenschaften entsprechende Exportlizenzen und Zollabfertigungsunterlagen beantragen. Die Exportverfahren sind besonders streng, wenn die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsrohre für sensible Anwendungen bestimmt sind oder einen doppelten Verwendungszweck haben.

1. Zollwarencode und regulatorische Eigenschaften von Wolframlegierungsrohren

Bei der Anmeldung zum Export müssen Wolframlegierungsrohre gemäß dem Zollwarencode (HS-Code) korrekt klassifiziert werden. Gängige Klassifizierungen für Exporte aus Festlandchina sind:

- **8101.99.10** (Andere Wolframprodukte)
- **8101.99.90** (Andere Wolframprodukte, einschließlich Legierungen)

Die spezifische Codezuweisung wird basierend auf der **Legierungszusammensetzung des Produkts, dem Verarbeitungszustand (Pulver, Rohr, Stange) und der Anwendung bestimmt**. Eine genaue Klassifizierung kann dazu beitragen, Rücksendungen, Zollbeschlagnahmungen und illegale Benachrichtigungen zu vermeiden.

Rohre aus Wolframlegierungen werden häufig in den folgenden regulatorischen Attributen aufgeführt:

- **Technologien mit doppeltem Verwendungszweck** : falls zutreffend für die Militär- oder Nuklearindustrie;
- **Liste strategischer Materialien** : Enthält spezielle Rohre aus Wolframlegierungen mit hoher Dichte;
- **Katalog zur Verwaltung von Exportlizenzen** : Hochleistungsmetallprodukte, die nationalen Exportbeschränkungen unterliegen.

2. Haupttypen von Exportlizenzen für Wolframlegierungsrohre

Abhängig von den Richtlinien des Exportlandes (z. B. China) müssen Unternehmen möglicherweise die folgenden Arten von Lizenzen beantragen, bevor sie Wolframlegierungsrohre exportieren:

Lizenzname	Anwendbare Szenarien	Zuständige Behörden
Exportgenehmigungen für Güter und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck	Mit Doppelverwendung, sensiblen Zwecken und hochdichten Wolframlegierungen	Amt für Güter mit doppeltem Verwendungszweck des Handelsministeriums
Allgemeine Ausfuhrgenehmigung	Unempfindliche Wolframlegierungsrohre, große Mengen oder Sonderziele	Handelsministerium oder lokales Handelsförderungsbüro
Benachrichtigung und Einreichung zum Export militärischer Produkte	Militärische Hülsen, Schutzplatten, Granatenhülsen usw. aus Wolframlegierung.	Staatliche Verwaltung für Wissenschaft, Technologie und Industrie zur Landesverteidigung
Endbenutzerzertifikat	Obligatorische Begleitmaterialien für den Export in bestimmte Regionen	Von Außen- oder Militärkunden bereitgestellt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Prozess der Exporterklärung von Wolframlegierungsrohren

1. **Bestätigung der Produkteigenschaft** : Bestimmen Sie, ob es sich bei dem Wolframlegierungsrohr um ein Material mit doppeltem Verwendungszweck oder um strategisches Material handelt.
2. **Voranmeldung/ Registrierung** :
 - Reichen Sie einen Antrag auf Exportproduktregistrierung bei der zuständigen Handelsabteilung ein.
 - Exportierende Unternehmen müssen über Import- und Exportrechte und -qualifikationen für den Export von Gütern mit doppeltem Verwendungszweck verfügen.
3. **Lizenzantrag** :
 - Senden Sie das Antragsformular für die Exportlizenz.
 - Beiliegend: Technische Daten, Komponentenanalysebericht, Kundenvertrag, Endbenutzeranweisungen usw.;
4. **Überprüfung und Genehmigung** :
 - Der Genehmigungsprozess dauert in der Regel 7–15 Werktage, kann bei bestimmten Produkten jedoch bis zu 30 Tage dauern.
5. **Lizenzwerb und Ausfuhrerklärung** :
 - Erst nach Erhalt der Genehmigung können Sie formelle Zollerklärungsdaten an das China Electronic Port System übermitteln.
 - Fügen Sie die Lizenznummer und Papierdokumente zu Ihrer Information bei.

IV. Überprüfung der Anforderungen für Endbenutzer und Anwendungen von Wolframlegierungsrohren

Um zu verhindern, dass Rohre aus Wolframlegierungen in den informellen Handel gelangen oder für militärisch sensible Projekte verwendet werden, muss der Exporteur sicherstellen, dass der Kunde und die Endverwendung die Vorschriften einhalten:

- **Endbenutzerfragebogen** : Name, Adresse und Qualifikationszertifikat des Kunden ;
- **Verwendungsbeschreibung** : z. B. „für medizinische Beschleunigerschutzstrukturen“, „für experimentelle Geräte für die wissenschaftliche Forschung“ usw.
- **Nicht-Wiederausfuhrgarantie** : Unterzeichnung einer Verpflichtungserklärung, die Ware nicht weiterzuverkaufen oder für militärische Zwecke zu missbrauchen ;
- **Bei Bestellungen mit US-/ EU- Beteiligung** müssen die lokalen Reexportkontrollbestimmungen (wie etwa die EAR-Reexportbestimmungen) eingehalten werden.

V. Besondere regulatorische Anforderungen in wichtigen Ländern oder Regionen

Land/Region	Besondere Regelungen
USA	Gemäß den EAR- und ITAR-Vorschriften benötigen einige Wolframlegierungen eine BIS-Zulassung
europäische Union	Harmonisierungsverordnung des EU-Rates zu Dual-Use-Gütern

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Indien/Naher Osten	Bei Exportzielen mit hohem Risiko ist es notwendig, sich auf den Endverbraucher und den Fluss der militärischen Verteidigung zu konzentrieren.
Russland/Ukraine	Regionen, die derzeit möglicherweise sanktioniert sind, benötigen eine umfassende Risikobewertung und eine Konformitätserklärung

VI. Risiken und rechtliche Haftung bei illegalen Exporten

Wenn beim Export von Wolframlegierungsrohren der Zweck verschleiert, der Produktcode falsch angegeben oder ohne Genehmigung exportiert wird, kann das Unternehmen mit folgenden Risiken konfrontiert sein:

- **Verwaltungsstrafen : Geldbußen** , Aussetzung der Ein- und Ausfuhrberechtigung;
- **Strafrechtliche Verantwortlichkeit** : Verdacht auf illegale Geschäftstätigkeit, Schmuggel oder Gefährdung der nationalen Sicherheit;
- **Risiken internationaler Sanktionen** : Aufnahme in die Liste der ausländischen Unternehmen, Einfrieren von Kundengeldern oder Geschäftsunterbrechung;
- **Glaubwürdigkeitsverlust** : Beeinträchtigung der Zusammenarbeit mit Regierungen, Zollbehörden und multinationalen Kunden.

VII. Compliance-Empfehlungen

1. **Richten Sie einen Klassifizierungs- und Identifizierungsmechanismus für Exportartikel ein** und identifizieren Sie die Eigenschaften aller Rohrprodukte aus Wolframlegierungen.
2. **Setzen Sie professionelles Personal für Zollerklärungen und Handelskonformität ein, das** mit den Verfahren zur Abwicklung von Ausfuhrgenehmigungen und -erklärungen vertraut ist.
3. **Stärkung des Due-Diligence-Managements ausländischer Kunden** , um eine ordnungsgemäße Verwendung und einen klaren Geldfluss sicherzustellen;
4. **Arbeiten Sie mit den zuständigen Behörden bei der Nachverfolgung und Überprüfung nach dem Export zusammen** und führen Sie vollständige Verkaufsaufzeichnungen und Dokumentenarchive.
5. **Achten Sie auf internationale Situationen und politische Änderungen** und formulieren Sie im Voraus Reaktionspläne (z. B. durch vorherige Bevorratung und Änderung der Transportkanäle).

Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre unterliegen beim internationalen Export zahlreichen Vorschriften. Unternehmen müssen Produkteigenschaften genau identifizieren, relevante Exportlizenzen gemäß den Vorschriften beantragen und Zollanmeldungen gesetzeskonform durchführen. Insbesondere im zunehmend komplexen internationalen Handelsumfeld müssen Hersteller und Exporteure von Wolframlegierungsrohren ihr Compliance- Management stärken, Risiken vorbeugen und kontrollieren und die globale Marktexpansion kontinuierlich vorantreiben.

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/cm³), 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

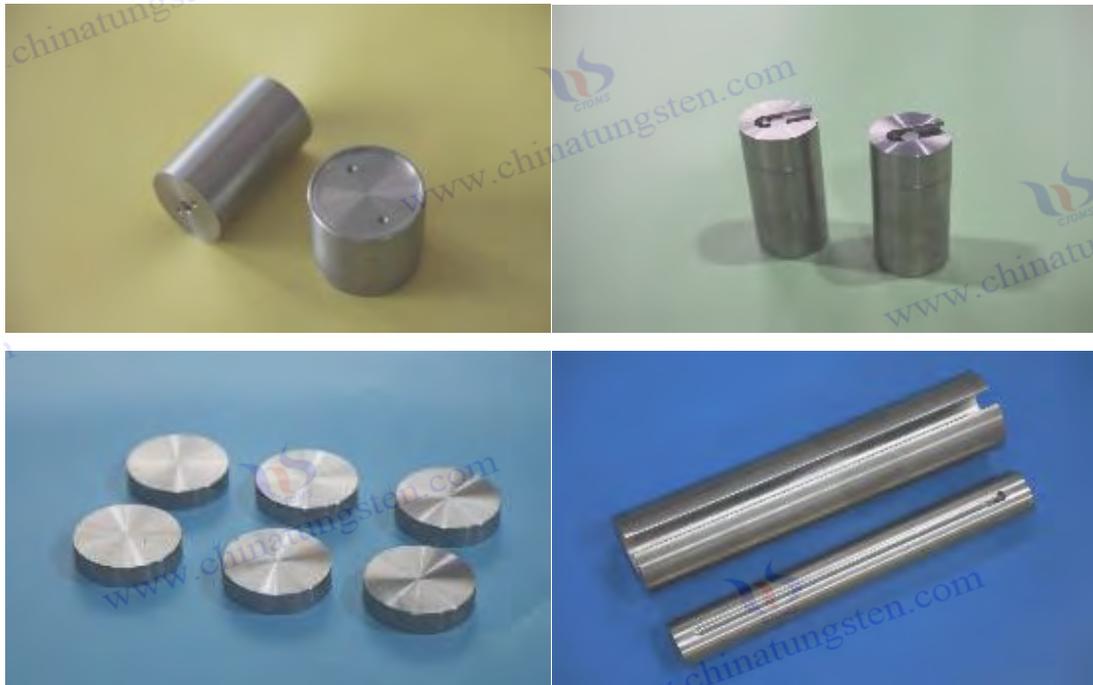
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: 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

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



Kapitel 9 Industriestruktur und Markttrend von Wolframlegierungsrohren

9.1 Globale Wolfram-Ressourcenübersicht und Wolframlegierungsrohr-Industriekettenanalyse

Wolframlegierungsrohre zählen zu den wichtigsten Hochleistungsmetallen mit hoher Dichte und finden breite Anwendung in Schlüsselsektoren wie der Kernenergie, der Rüstungsindustrie, der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik und der Herstellung hochwertiger Geräte. Ihre Produktion basiert auf der seltenen und strategischen Ressource Wolfram. Wettbewerbsumfeld und Entwicklungspotenzial der Wolframlegierungsrohrindustrie werden direkt von den globalen Reserven, der Bergbauverteilung, der Verarbeitungskapazität und der koordinierten Entwicklung der nachgelagerten Industriekette bestimmt .

1. Globale Wolframressourcenverteilung und -reserven

Wolfram ist ein seltenes Metall, das in der Erdkruste nur äußerst selten vorkommt. Seine Ressourcen konzentrieren sich hauptsächlich auf wenige Länder. Die weltweiten Wolframreserven werden derzeit auf über 3,5 Millionen **Tonnen Metall geschätzt** . Reserven und Produktionskapazitäten davon konzentrieren sich hauptsächlich auf die folgenden Länder:

Land/Region	Reservenanteil	Hauptabbaugebiete/Merkmale
China	>50 %	Dayu in Jiangxi, Yaogangxian in Hunan, Baiyin in Gansu usw. sind reich an Ressourcen und verfügen über vollständige Industrieketten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Russland	6–8 %	Die Regionen Ostsibirien und Westural sind reich an symbiotischen Wolfram-Molybdän-Mineralressourcen.
Vietnam	5–6 %	Das Bergbaugebiet Nui Phao ist reich an polymetallischen Erzen aus Wolfram, Fluorit, Molybdän und Wismut
Kanada	4–5 %	Hauptsächlich Wolframsanderz mit großem Ressourcenpotenzial, aber hohen Abbaukosten
Bolivien, Vereinigtes Königreich, Portugal usw.	Kleine Menge	Es gibt zahlreiche kleine und mittelgroße Erzvorkommen mit regionalem Entwicklungspotenzial

Unter diesen ist China nicht nur **der weltweit größte Eigentümer von Wolframressourcen**, sondern auch der größte Produzent und Exporteur. Seine Ressourcenentwicklung, Mineralverarbeitung und -reinigung sowie seine Technologien zur Tiefenverarbeitung von Wolfram sind weltweit führend.

2. Rohstoffversorgungskette für Wolframlegierungsrohre

Wolframlegierungsrohre bestehen hauptsächlich aus **hochreinem Wolframpulver**, Legierungselementen (wie Ni, Fe, Cu) und einem bestimmten Anteil an Bindemetall. Die Rohstoffversorgungskette umfasst hauptsächlich die folgenden Glieder:

1. **Abbau und Verarbeitung** von Wolframerz : Wolframit (FeWO_4) und Scheelit (CaWO_4) werden durch Flotation oder Schwerkrafttrennung gewonnen, um Konzentrat zu erhalten;
2. **Wolframverbindungen** : Umwandlung des Konzentrats in APT (Ammoniumparawolframat) und Wolframsäure (H_2WO_4);
3. **Herstellung von Reduktionspulver** : APT erhält Wolframpulver (W) durch Wasserstoffreduktion;
4. **Legierungsverhältnis** : Fügen Sie Ni-, Fe- oder Cu-Pulver hinzu, um Legierungspulver herzustellen ;
5. **Pulvermetallurgische Herstellung von Rohren** : Pressen, Sintern und Bearbeiten.

Jedes Glied in der Lieferkette hat einen großen Einfluss auf die Produktleistung, insbesondere die Partikelgröße, Reinheit und Partikelmorphologie des Wolframpulvers, die Schlüsselfaktoren für die Leistung von Wolframlegierungsrohren sind.

3. Globales Industriekettenlayout für Wolframlegierungsrohre

Wolframlegierungsrohre können in drei Hauptglieder unterteilt werden: **vorgelagerte Ressourcen und Grundrohstoffe, Formgebungs- und Verarbeitungstechnologie im mittleren Bereich und nachgelagerte Anwendungssystemintegration** :

(1) Upstream: Abbau von Wolframressourcen und Pulverherstellung

- Repräsentative Unternehmen: China Tungsten Online, CTIA GROUP usw.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Merkmale: Konzentrierte Ressourcen, eingeschränkte Bergbaupolitik und ein oligopolistischer Trend.

(2) Midstream: Vorbereitung des Wolframlegierungsmaterials und Rohrverarbeitung

- Repräsentative Unternehmen: CTIA GROUP, Kennametal (USA), Plansee (Österreich), Mitsubishi Materials (Japan);
- Kerntechnologien: Isostatisches Pressen, Präzisionsintern, Innenlochbearbeitung und Oberflächenbehandlung.

(3) Nachgelagert: Militär-, Luftfahrt-, Medizin- und High-End-Produktionsunternehmen

- Die Anwendungsbereiche erweitern sich ständig, wie z. B. Gehäuse für Hochenergie-Teilchenbeschleuniger, Führungsrohre für Trägheitsgegengewichte, Strahlenschutzgehäuse usw.
- Kunden legen hauptsächlich Wert auf Anpassung und Zertifizierung und stellen extrem hohe Anforderungen an die Produktkonsistenz.

4. Globaler Marktstatus und Branchenfokus von Wolframlegierungsrohren

Derzeit weist der globale Markt für Wolframlegierungsrohre die folgenden Merkmale auf:

1. **Aufgrund hoher technischer Hürden und langer Zertifizierungszyklen** greifen **Kunden** im Militär- und Luft- und Raumfahrtbereich meist auf ein „Einstiegssystem“ zurück.
2. **Die Produktionskapazitäten sind auf einige wenige Hightech -Unternehmen konzentriert**, beispielsweise auf China Tungsten Manufacturing und das deutsche Unternehmen Plansee.
3. **Weiterverarbeitung auf importiertes Wolframpulver oder halbfertige Wolframlegierungsrohre angewiesen.**
4. **Standort für die Verarbeitung, Herstellung und den Export entwickelt**, insbesondere China, wo hochdichte Wolframlegierungsrohre mehr als 70 % der weltweiten Gesamtexporte ausmachen.

5. Einschränkungen und Herausforderungen der Wolframlegierungsrohrindustrie

Auch bei Rohren aus Wolframlegierungen gibt es eine Reihe von Herausforderungen:

- **Verstärkte Rohstoffexportkontrollen**: China hat beispielsweise Exportquoten für APT und Wolframpulver eingeführt.
- **Umweltvorschriften und steigende Energiekosten**: Der Sinterprozess ist sehr energieintensiv und stellt neue Anforderungen an die Kontrolle der Kohlenstoffemissionen.
- **Beschränkungen beim Technologietransfer**: Technologie im Zusammenhang mit militärischen/nuklearen Wolframrohren unterliegt weiterhin Exportkontrollen.
- **Stabilitätsrisiko der Lieferkette**: Insbesondere in turbulenten internationalen Situationen unterliegen Angebot und Nachfrage nach Wolframressourcen Schwankungen.

VI. Industrielle kooperative Entwicklung und vertikale Integrationstrends

Angesichts der steigenden Nachfrage nach Wolframlegierungsrohren entwickeln führende Unternehmen schrittweise vertikal integrierte Strategien und verknüpfen den gesamten Prozess von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

den Mineralressourcen bis hin zu hochwertigen Komponenten, um die Produktstabilität zu verbessern, Kosten zu senken und die Kontrolle über die Endkunden zu gewinnen. Unternehmen wie CTIA GROUP und Xiamen Tungsten New Energy integrieren bereits Ressourcen, Materialien, Geräte und Systeme und treiben so die Transformation von Wolframlegierungsrohren vom „Materialprodukt“ zum „Anbieter funktionaler Komponentenlösungen“ voran.

Zusammenfassung

Die globalen Wolframressourcen sind stark konzentriert, wobei insbesondere China über systemische Vorteile bei Ressourcen, Technologie, Verarbeitung und Export verfügt. Als Schlüsselkomponente für High-End-Anwendungen tendiert die Industriekette für Wolframlegierungsrohre zu globaler Arbeitsteilung und regionaler Zusammenarbeit. Die Position eines Unternehmens in der Wolframlegierungsrohrindustrie wird künftig von seinen umfassenden Fähigkeiten in Bezug auf Ressourcensicherheit, technologische Durchbrüche und Marktexpansion bestimmt. Im nächsten Abschnitt werden Marktgröße, Wachstumstrends und die Wettbewerbslandschaft der wichtigsten Akteure genauer analysiert.

9.2 Marktkapazität und Nachfragewachstumstrendprognose für Wolframlegierungsrohre

Wolframlegierungsrohre, ein Präzisionsmetall-Konstruktionswerkstoff mit hoher Dichte, hoher Festigkeit, hoher Temperaturbeständigkeit und Strahlungsresistenz, finden zunehmend Anwendung in der Verteidigung, Kernenergie, Luft- und Raumfahrt, Medizin, Elektronik, im Industrieguss und anderen Bereichen. Auch die Marktanforderungen an Leistungsindikatoren und Produktdiversifizierung steigen von Jahr zu Jahr. Vor dem Hintergrund globaler technologischer Verbesserungen in der Fertigung und der steigenden Nachfrage nach leistungsstarken Funktionsmaterialien erlebt die Wolframlegierungsrohrindustrie eine goldene Chance für strukturelles Wachstum.

1. Aktueller Stand der globalen Marktkapazität für Wolframlegierungsrohre

Laut zahlreichen Forschungsdaten und von Unternehmen der Industriekette veröffentlichten Informationen wird der globale Markt für Rohre aus Wolframlegierungen **bis 2025 voraussichtlich einen jährlichen Produktionswert von etwa 1,2 bis 1,5 Milliarden US-Dollar erreichen**, wobei hochwertige Rohre für die Militär- und Nuklearindustrie über 40 % ausmachen. Als weltweit größter Wolfram-Ressourcenbesitzer macht die Produktionskapazität Chinas für Rohre aus Wolframlegierungen **über 65 %** der weltweiten Produktion aus und verschafft dem Land damit sowohl im unteren als auch im mittleren bis oberen Marktsegment einen Wettbewerbsvorteil.

Bereich	Jährliche Bedarfsskala (geschätzt)	Anwendungsfunktionen
Chinesisches Festland	600–800 Millionen US-Dollar	Militärindustrie, Atomkraft, Luftfahrt, medizinische Behandlung, Präzisionsfertigung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nordamerika	200–300 Millionen US-Dollar	Hauptsächlich Kernenergie und Rüstungsindustrie, mit hoher Importabhängigkeit
Europa	150–200 Millionen US-Dollar	Medizinische und Schutzmaterialien, Luft- und Raumfahrtindustrie
Sonstige Länder Asien-Pazifik-	Über 100 Millionen US-Dollar	Südkorea und Japan haben einen bedeutenden Anteil an Halbleitern und optischen Strukturen.
Naher Osten/Afrika/Südamerika	< 0,5 Milliarden US-Dollar	Lokale Anwendung, Anfangsphase

2. Die wichtigsten nachgelagerten Anwendungen von Wolframlegierungsrohren treiben das Wachstum voran

1. Die Verwendung von hochdichten Wolframlegierungsrohren für die Modernisierung von Verteidigungsausrüstung

, darunter panzerbrechende Projektile, Trägheitsführungsrohre und Schutzstrukturen, treibt die strategische Bedeutung von Rohren aus hochdichten Wolframlegierungen in der Militärindustrie voran. Für den entsprechenden Sektor wird von 2025 bis 2030 ein **durchschnittliches jährliches Wachstum von über 8 % erwartet**.

2. Rohre aus Wolframlegierungen sind aufgrund ihrer höheren **Beständigkeit gegen Neutronen und Gammastrahlen eine hervorragende Alternative zu Blei- und Molybdänrohren für**

den Ausbau der Kernenergie und für Strahlenschutzsysteme. Mit der weltweiten Wiederaufnahme der Kernenergie und der Kommerzialisierung kleiner Reaktoren wird die Nachfrage voraussichtlich weiter steigen.

3. Die steigende

Nachfrage nach Hochleistungsstrukturteilen in der Luft- und Raumfahrtindustrie, wie etwa Hochtemperatur-Führungsrohren, Trägheitsübertragungskomponenten und Flugsteuerungskits, treibt die Entwicklung von Wolframlegierungsrohren in Richtung Leichtbau und Funktionalisierung voran.

4. Die Nachfrage nach Geräten für die medizinische Strahlentherapie steigt.

Medizinische Schutzausrüstungen, Gammastrahlenkollimatoren, Elektronenstrahlbeschleuniger usw. stellen extrem hohe Anforderungen an die Maßgenauigkeit und Reinheit der Wolframröhren, und der High-End-Markt birgt ein enormes Potenzial.

5. werden High-End-Geräte und elektronische Wärmekontrollsysteme entwickelt.

Rohre aus Wolframlegierungen verfügen über gute Wärmeleitfähigkeits- und Abschirmeigenschaften und finden nach und nach Eingang in Wärmemanagementanwendungen für Verbraucher und Industrie.

3. Prognose der jährlichen Wachstumsrate des Marktes für Wolframlegierungsrohre (2025–2030)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umfassende Branchenumfragen, das International Materials Development Model (IMDF) und Planungsschätzungen großer Unternehmen:

Jahre	Globale Marktgröße (Milliarden US-Dollar)	Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (CAGR)
2025	12–15	Basisjahr
2026	13,5–17	10–12 %
2027	15–19	11–13 %
2028	17–22	12–14 %
2030	20–26	12–15 % (zusammengesetztes Wachstum)

Unter ihnen werden **die Bereiche Medizin und Kernenergie** in Zukunft die beiden am schnellsten wachsenden Teilsektoren sein, gefolgt von Gegengewichten für die Luft- und Raumfahrt und Wärmeleitfähigkeitsanwendungen für elektronische Geräte.

4. Schlüsselfaktoren, die die Marktexpansion beeinflussen

Einflussfaktoren	Positiver Effekt	Mögliche Einschränkungen
Technologischer Fortschritt	Verbesserte Größenkontrolle und verbesserte Dichte	Hohe Anforderungen an Ausrüstung und Talent
Politische Unterstützung	Rüstungs- und Nuklearindustrie treiben Nachfragefreisetzung voran	Exporte werden durch internationale politische Faktoren beeinflusst
Industrielle Zusammenarbeit	Die Verbindung von Upstream und Downstream wird dazu beitragen, die Entwicklung zu skalieren	Hohe anfängliche Investitionskosten und langer Zertifizierungszyklus
Ressourcengarantie	China hat die dominierende Position bei den Rohstoffen	Wolframpreisschwankungen beeinflussen die Produktkosten

5. Schlussfolgerung und Trendanalyse

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Markt für Wolframlegierungsrohre derzeit sowohl durch technologische Verbesserungen als auch durch die Ausweitung hochwertiger Anwendungen getrieben wird. Insbesondere aufgrund der CO₂-Neutralität, der militärischen Modernisierung, der Miniaturisierung von Kernkraftwerken und des weltweiten Wachstums medizinischer Bildgebungsgeräte wird erwartet, dass der Markt in den nächsten fünf **Jahren durchschnittlich zweistellig wachsen wird** und sich schrittweise in Richtung intelligenter Fertigung und Funktionsintegration entwickelt. Unternehmen, die hochpräzise Umformtechnologien und hochwertige Kundenzertifizierungen beherrschen, werden in dieser Phase der Branchenexpansion hervorstechen.

9.3 Einführung in das Wolframlegierungsrohr der CTIA GROUP

Die CTIA GROUP, ein wichtiger Akteur im chinesischen Sektor für neue Materialien, ist ein fortschrittliches Fertigungsunternehmen, das sich auf die Forschung, Entwicklung, Produktion und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

den Vertrieb von Hochleistungsmaterialien auf Wolframbasis und deren Weiterverarbeitung spezialisiert hat. Das Unternehmen verfügt über Kernkompetenzen in den Bereichen Wettbewerbsfähigkeit und Industrialisierung, insbesondere bei Rohren aus Wolframlegierungen. Das Unternehmen nutzt Chinas reichlich vorhandene Wolframressourcen und sein starkes Fundament in der Pulvermetallurgie und integriert vor- und nachgelagerte Wolframmaterialressourcen, um eine umfassende Lieferkette zu schaffen – von der Rohstoffaufbereitung über das Legierungsdesign und die Präzisionsformung bis hin zu Endanwendungen. Das Unternehmen widmet sich der Herstellung von High-End-Geräten, dem Schutz von Kernkraftwerken, dem medizinischen Strahlenschutz, militärischen Trägheitskomponenten, Gegengewichten für die Luft- und Raumfahrt sowie Hochtemperatur-Strukturkomponenten.

1. Merkmale des Wolframlegierungsrohrs der CTIA GROUP

Die Wolframlegierungsrohrprodukte der CTIA GROUP nutzen fortschrittliche Pulvermetallurgietechnologie in Kombination mit Gesenkpresen, isostatischem Pressen, Präzisionsintern und Wärmebehandlungsverfahren. Sie bieten stabile Leistung, ein umfassendes Produktsortiment und die folgenden wesentlichen Vorteile:

- **Hohe Dichte und präzise Maßkontrolle** : Die Dichte kann 18,8–19,2 g/cm³ erreichen, mit gleichmäßiger Wandstärke und ausgezeichneter Kontrolle der inneren und äußeren Koaxialität, wodurch die Anforderungen der hochpräzisen Zubehörmontage erfüllt werden.
- **Hervorragende mechanische und thermophysikalische Eigenschaften** : Das Produkt verfügt über eine gute Festigkeit, Zähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Hochtemperaturstabilität und kann unter extremen Bedingungen wie hohem Wärmefluss und starker Strahlung lange Zeit verwendet werden.
- **Starke Anpassbarkeit** : CTIA GROUP unterstützt die kundenspezifische Verarbeitung verschiedener Legierungssysteme (wie W-Ni-Fe, W-Ni-Cu), verschiedener Spezifikationen und Größen (Außendurchmesser von 3 mm bis 200 mm) und Spezialrohre aus Wolframlegierungen (hohle Trägheitsteile, Strömungsleitrohre mit Mikrowänden usw.) entsprechend den Kundenanforderungen.
- **Oberflächenbehandlungen im Innen- und Außenbereich** : Durch Polieren, elektrolytische Behandlung, chemische Plattierung oder PVD-Beschichtung werden die Oberflächenqualität, Korrosionsbeständigkeit und Strahlungsbeständigkeit deutlich verbessert.

2. Repräsentative Produkte der Wolframlegierungsrohrserie

Serienmodell	Legierungssystem	Außendurchmesserbereich	Anwendungshinweise
ZW-TG90	W-Ni-Fe	Φ6–Φ100 mm	Militärisches panzerbrechendes Trägheitsgegengewicht
ZW-TG95	W-Ni-Cu	Φ3–Φ60 mm	Medizinischer Schutz, Kernenergiestruktur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ZW-HHT	Hochtemperaturlegierung	Φ10–Φ200 mm	Hochtemperaturrohre, Wärmefeldleitungen
ZW-MP	Mikroröhrchen- Präzisionstyp	Φ3–Φ20 mm, Wandstärke <0,5 mm	Elektronische Heatpipe, optische Kollimation

3. Anwendungsfälle und Marktstruktur

- Kernenergiebereich** : Das von der CTIA GROUP angebotene Gehäuse aus hochdichter Wolframlegierung wird häufig in verschiedenen Arten von Neutronenschutzkomponenten und strukturellen Verstärkungsrohren verwendet. Seine Leistungsindikatoren erfüllen die Anforderungen von CNNC und internationalen Lieferanten von Kernkraftausrüstung.
- Medizinische Strahlentherapie** : Bereitstellung von Rohrkomponenten aus Wolframlegierung mit präziser Kontrolle des Innendurchmessers und hoher Strahlungsabsorptionseffizienz für Positionierungssysteme und Strahlformungsgeräte für die Strahlentherapie.
- Trägheitskomponenten und Düsen für die Luft- und Raumfahrt** : Die Produkte wurden mit verschiedenen hochpräzisen Trägheitsnavigations-Flugsteuerungssystemen ausgestattet und nahmen an vielen großen nationalen Luft- und Raumfahrtmissionen teil, wobei sie den Anforderungen von Arbeitsbedingungen mit hoher Belastung und hoher Intensität gerecht wurden.
- Exportgeschäft** : Die Wolframlegierungsrohre der CTIA GROUP werden nach Europa, Amerika, Japan, Südkorea, Südostasien und in andere Länder und Regionen exportiert. Einige Produkte erfüllen die Anforderungen der Qualitätssysteme ASTM B777 und ISO 9001/AS9100.

4. Technologie-F&E und Produktionskapazität

- F&E -System** : Es wurde ein „Forschungszentrum für Wolframlegierungsrohrtechnik“ eingerichtet und gemeinsame Labore mit Universitäten wie der Central South University und der Hunan University errichtet. Außerdem werden weiterhin Anstrengungen in den Bereichen Legierungsdesign, Verdichtungstechnologie, Schweißformung und anderen Bereichen unternommen.
- Ausstattungsmerkmale** : Ausgestattet mit mehreren Hochleistungs- Isostatpressen, intelligenten Pulvermischsystemen, Vakuumsinteröfen, CNC-Innen- und Außenschleifmaschinen sowie präzisen Lasermess- und -kontrollsystemen kann das Unternehmen eine Jahresproduktion von fast 100 Tonnen Wolframlegierungsrohren erreichen.
- Intelligente Transformation der Fertigung** : Die CTIA GROUP hat ein digitales MES-System und eine Plattform zur Qualitätsrückverfolgung implementiert, um die intelligente, standardisierte und rückverfolgbare Verwaltung der Herstellung von Rohren aus Wolframlegierungen zu fördern.

V. Zukünftige Entwicklungsrichtung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die CTIA GROUP erweitert kontinuierlich die Anwendbarkeit von Wolframlegierungsrohren in neuen Anwendungsszenarien. Zu den wichtigsten Bereichen gehören:

- Strukturteile aus Wolframrohren für kleine modulare Reaktoren
- Leitfähigkeits-Wolframrohr-Kühleinheit für 5G- und KI-Server
- Hülse aus Wolframlegierung mit spezieller ballistischer Struktur und hoher Schlagfestigkeit
- Poröse Leitung aus Wolframlegierung für hochfeste elektromagnetische Abschirmung

Gleichzeitig engagiert sich das Unternehmen auch für die Forschung, Entwicklung und Förderung umweltfreundlicher Herstellungsverfahren für Wolframlegierungen (ammoniakfreies Sintern, Grünglühen usw.) und für die Förderung der Verbesserung von Rohrprodukten auf Wolframbasis mit „geringer Karbonisierung, hoher Zuverlässigkeit und Funktionalität“.

Zusammenfassung: Die CTIA GROUP hat im Bereich der Wolframlegierungsrohre ein komplettes geschlossenes System aufgebaut, das von der Materialforschung und -entwicklung über die Produktherstellung bis hin zu kundenspezifischen Dienstleistungen reicht. Auch in Zukunft wird das Unternehmen seine Mission fortsetzen, „Hochleistungs-Wolframlegierungen intelligent herzustellen und die High-End-Ausrüstung des Landes zu beliefern“, Wolframlegierungsrohre für Anwendungen mit hoher Wertschöpfung in verschiedenen Bereichen zu fördern und seine führende Position in der weltweiten Präzisionsfertigung von Wolframlegierungen zu festigen.

9.4 Preisschwankungen und Auswirkungen der Kostenstruktur bei Wolframlegierungsrohren

Als repräsentatives Beispiel für Hochleistungswerkstoffe auf Wolframbasis werden die Herstellungskosten von Wolframlegierungsrohren von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, wobei Rohstoffpreisschwankungen besonders kritisch sind. Aufgrund der strategischen Ressource Wolfram und der Knappheit von Wolfram sowie der Tatsache, dass Wolframlegierungsrohre typischerweise aus hochreinem Wolframpulver und Bindemetallen wie Nickel, Eisen und Kupfer hergestellt werden, reagiert ihre Kostenstruktur äußerst empfindlich auf die Bedingungen des Rohstoffmarktes. Schwankende Rohstoffpreise bestimmen nicht nur direkt den Verkaufspreis und die Gewinnspanne von Wolframlegierungsrohren, sondern wirken sich in gewissem Maße auch auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit des Produkts und die operative Stabilität des Unternehmens aus.

1. Merkmale der Preisschwankungen bei Wolfram-Rohstoffen

1. Ressourcenknappheit treibt hohe Preise.

Wolfram gilt in vielen Ländern als wichtiger Mineralrohstoff. Die nachgewiesenen Reserven konzentrieren sich vor allem auf China, Russland, Kanada und Vietnam. China hat eine Monopolstellung und verfügt über mehr als 65 % der weltweiten Reserven und Produktion. Folglich wirken sich nationale und internationale Lieferkontrollen für Wolframkonzentrat, Änderungen der Umweltpolitik und die Verwaltung von Exportquoten erheblich auf die Wolframpreise aus .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Konjunkturelle

Schwankungen, wie beispielsweise ein sprunghafter Anstieg der Preise für Wolframkonzentrat im Jahr 2011 aufgrund der Regulierung der Seltenerdindustrie und von Produktionsbeschränkungen. Von 2020 bis 2023 stiegen die Wolframpreise aufgrund der Pandemie, der Energiekrise und internationaler Handelskonflikte wiederholt irrational. Darüber hinaus können kurzfristige Nachfragespitzen aus bestimmten nachgelagerten Branchen (wie der Verteidigungs- und Kernenergiebranche) zu Lieferengpässen und periodischen Preisanomalien führen.

3. Aufgrund der erheblichen Preisbindungseffekte von Metallen

wirken sich Preisschwankungen häufig verwendeter Bindemetalle in Wolframlegierungsrohren wie Nickel, Kupfer und Eisen ebenfalls kumulative Auswirkungen auf die Gesamtkostenstruktur aus. Nickelpreise werden häufig durch Schwankungen in der Edelstahlindustrie und bei Batteriematerialien für neue Energien beeinflusst, während Kupfer eng mit globalen Infrastrukturinvestitionen verbunden ist. Obwohl die Schwankungsbreite von Eisenpulver relativ gering ist, kann sie bei großtechnischen Mischungsverhältnissen nicht vernachlässigt werden.

2. Kostenstruktur von Wolframlegierungsrohren

Gemäß der Analyse des Produktionsprozesses und des Rohstoffverbrauchs typischer Wolframlegierungsrohre kann die Kostenstruktur grob in die folgenden Teile unterteilt werden:

Kostenpositionen	Proportionsbereich	veranschaulichen
Rohstoffkosten für Wolframpulver	40 %–55 %	Hängt vom Wolframgehalt in der Legierung (üblicherweise 85–97 %) und dem Marktpreis zum Zeitpunkt des Kaufs ab
Verbindungsmetall (Ni/Cu/Fe)	10–20 %	Legierungsrohre mit hohem Nickelgehalt (wie hochdichte W-Ni-Legierung) machen einen großen Anteil aus
Bearbeitungs- und Herstellungskosten	15 %–25 %	Inklusive Formgebung/Isostatisches Pressen, Sintern, Wärmebehandlung und Endbearbeitung
Energie- und Hilfsstoffkosten	5 %–10 %	Hauptsächlich Vakuumsintern, Stromverbrauch und Kühlgas usw.
Verwaltungs-, Logistik- und Arbeitskosten	5 %–10 %	Bezogen auf Unternehmensgröße und Automatisierungsgrad

Es ist ersichtlich, dass der Preis der Rohstoffe, insbesondere Wolframpulver, der dominierende Faktor ist. Sobald der Preis für Wolframpulver um 30 % steigt, erhöhen sich die Gesamtherstellungskosten um etwa 15–20 %.

3. Typische Fälle der Auswirkungen von Rohstoffpreisschwankungen auf die Kosten

Beispielsweise stieg der Marktpreis für Wolframpulver vom vierten Quartal 2022 bis Mitte 2023 von 260 Yuan/kg auf 300 Yuan/kg, was einem Anstieg von etwa 15,4 % entspricht. Am Beispiel von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rohren aus Wolframlegierungen mit 95 % Wolframgehalt führt diese Schwankung bei einem Rohstoffeinkaufsvolumen von 100 Tonnen zu einem Anstieg der Kosten pro Tonne Legierung:

- **Erhöhung = $(300-260) \times 95 \% = 38 \text{ Yuan/kg} \times 1000 \text{ kg} = 38.000 \text{ Yuan/Tonne}$**
- **Veränderung in Prozent = Die Rohstoffkosten stiegen um ca. 14–18 %, die Gesamtherstellungskosten um ca. 10 %**

Insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen oder exportorientierten Unternehmen mit langen Bestellzyklen haben derartige Schwankungen erhebliche Auswirkungen auf den Auftragsertrag.

4. Reaktionsstrategien von Unternehmen für Wolframlegierungsrohre

Um die Auswirkungen von Rohstoffschwankungen auf die Kostenstruktur zu reduzieren, wenden Hersteller von Wolframlegierungsrohren häufig die folgenden Strategien an:

1. **Richten Sie einen Rohstoffreservemechanismus und eine strategische Beschaffungsvereinbarung ein. Durch den Abschluss langfristiger Lieferverträge mit großen Bergbauunternehmen oder die Teilnahme an der Integration von Wolframressourcen innerhalb der Gruppe können wir wichtige Rohstoffpreise im Voraus festlegen und strategische Reserven bilden, um das Risiko zu verringern.**
2. **Optimieren Sie die Produktstruktur und das Legierungsdesign**, indem Sie die Legierungsverhältnisse anpassen, z. B. indem Sie den Nickelgehalt etwas reduzieren oder einen Teil des Kupfers durch kostengünstiges Eisen ersetzen usw., um den Anteil der Rohstoffe pro Gewichtseinheit zu verringern und mehr Produkte mit mittlerer Dichte/Funktion zu entwickeln, um dem Marktdruck gerecht zu werden.
3. **Verbessern Sie die Prozesseffizienz und die Kontrolle des Energieverbrauchs im Herstellungsprozess** durch die Einführung automatisierter Formgebungs-, intelligenter Sinter- und Endbearbeitungssysteme, reduzieren Sie Verarbeitungszugaben und Energiekosten und senken Sie den Energieverbrauch pro Produkteinheit bei gleichzeitiger Gewährleistung der Qualität.
4. **Durch den Preiskopplungsmechanismus und die flexible Gestaltung der Vertragsbedingungen** können Preisänderungen durch die Aufnahme einer Preisanpassungsklausel in den Vertrag an den Rohstoffmarkt gekoppelt und so die Gewinnmarge des Unternehmens geschützt werden.

V. Fazit

Insgesamt reagiert die Kostenstruktur von Wolframlegierungsrohren sehr empfindlich auf Schwankungen der Rohstoffpreise. Aufgrund der Knappheit und des strategischen Charakters der Wolframressourcen sind die Preise zudem von politischen, Angebots- und Nachfragefaktoren sowie internationalen Trends abhängig. Da Unternehmen wie die CTIA GROUP weiterhin in umweltfreundliche Wolframgewinnungsverfahren, die Nutzung erneuerbarer Ressourcen und intelligente Fertigung investieren, wird ihre Fähigkeit, mit Kostenschwankungen umzugehen,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

weiter gestärkt. Dies führt zu höherer Leistung, breiteren Anwendungsmöglichkeiten und einem höheren Mehrwert für Wolframlegierungsrohre.

9.5 Neue Nachfrage und politische Ausrichtung für Wolframlegierungsrohre in der High-End-Fertigung

Mit der fortschreitenden wissenschaftlich-technologischen Revolution und dem industriellen Wandel stellen High-End-Fertigungsindustrien wie die Luft- und Raumfahrt, die Kernenergieentwicklung, die High-End-Medizintechnik, die Halbleiterfertigung und die Rüstungsindustrie immer höhere Anforderungen an fortschrittliche Materialien für eine bessere Integration und extreme Einsatzmöglichkeiten. Wolframlegierungsrohre sind aufgrund ihrer überlegenen hohen Dichte, hohen Festigkeit, Hochtemperaturstabilität und Strahlungsbeständigkeit die ideale Wahl für viele Schlüsselkomponenten. Ihr Anwendungspotenzial in der zukünftigen High-End-Fertigung wird kontinuierlich erforscht und erhält hohe Aufmerksamkeit und strategische Unterstützung durch die nationale Politik.

1. Spezifische Nachfragetrends für Wolframlegierungsrohre in aufstrebenden High-End-Fertigungsbereichen

1. Antriebssysteme für Luft- und Raumfahrt und Satelliten

Raumfahrzeuge, Erkundungssatelliten, bemannte Raumfahrzeuge und andere Systeme erfordern extrem hohe thermische Stabilität und Formgenauigkeit für Komponenten wie Hochtemperatur-Gasflussführung, Plasmakapselung und Lageregelung. Rohre aus Wolframlegierungen, die als Wärmeflussrohre für Triebwerke, Hochgeschwindigkeits-Gaskanäle und Trägheitsschwungradgehäuse verwendet werden, überzeugen in Umgebungen mit extrem hohen Temperaturen, Vakuum und intensiven Temperaturwechseln und entwickeln sich zu einem wichtigen Material, das herkömmliche Edelstahl- und Titanlegierungen ersetzt.

2. Kernenergie und Fusionsenergietechnologie

In Kernspaltungs- und Fusionsreaktoren werden Wolframlegierungsrohre häufig als Hüllmaterialien, Neutronenschutzgehäusen, Flüssigmetall-Kühlrohre und andere Bauteile verwendet. Sie müssen eine ausgezeichnete Neutronenstrahlungsbeständigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Insbesondere die chemische Inertheit und thermodynamische Stabilität von Wolframlegierungsrohren sind ihre einzigartigen Vorteile in Kühlsystemen für flüssiges Lithium, Helium und Natrium.

3. Hochwertige medizinische Geräte

In Strahlentherapiegeräten, Teilchenbeschleunigern, Gamma-Knife-Gehäusen und Präzisions-Zielpositionierungskomponenten absorbieren Wolframlegierungsrohre mit ihrer hohen Dichte, ihren Antistreueigenschaften und ihrer hervorragenden Formbarkeit effektiv Strahlung, schirmen Nebenwirkungen ab und gewährleisten strukturelle Stabilität. Mit dem Übergang von Strahlentherapiegeräten von der 2D- zur 3D-Präzisionsbehandlung steigen die Anforderungen an Maßgenauigkeit und Magnetfeldabschirmung.

4. Halbleiterausrüstung und Elektronikindustrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Röhren werden in Elektronenstrahlkanälen, Depositionsreaktoren und Hochenergie-Partikelstrahl-Steuergeräten in Hochvakuum-, stark magnetischen und thermischen Schockumgebungen eingesetzt. Sie erfordern eine extrem hohe Verformungsstabilität, Wärmeleitfähigkeit und elektrische Neutralität, um elektrische Feldstörungen und Hotspot-Ansammlungen zu vermeiden. Röhren aus Wolframlegierungen finden auch zunehmend Eingang in Anwendungen wie Chip-Verpackungen, Wärmeleitrohre und Mikro-Kühlkörper und eröffnen damit Möglichkeiten für die Massenproduktion.

5. Grüne Energie und Wasserstoffausrüstung

In Hochtemperatur-Brennstoffzellen sowie Wasserstoffspeicher- und -transportsystemen weisen Rohre aus Wolframlegierungen eine ausgezeichnete Beständigkeit gegen Wasserstoffversprödung und thermisch-chemische Stabilität auf und werden voraussichtlich in Zukunft als wichtige Kanalmaterialien für eine effiziente Wasserstoffspeicherung und einen effizienten Wärmeaustausch dienen und so den Bedarf an Hochleistungsstrukturteilen in grünen und kohlenstoffarmen Industrien decken.

II. Politische Leitlinien und Unterstützung nationaler Strategien

1. Die Förderung der nationalen Politik der „Stärkung des Fundaments und Konsolidierung der Lieferkette“

In den letzten Jahren hat die chinesische Regierung dem Engpassproblem bei wichtigen Grundstoffen große Bedeutung beigemessen. Wolframlegierungen, eines der wichtigsten strategischen Edelmetalle des Landes, wurden ausdrücklich in zentrale politische Maßnahmen wie den „Plan für strategische Mineralressourcen“ und den „Aktionsplan zur Behebung von Engpässen bei Grundstoffen“ aufgenommen. Rohre aus Wolframlegierungen sind aufgrund ihrer breiten Anwendung und der hohen technischen Hürden zu einem zentralen Forschungsgebiet im Rahmen der Initiative „Stärkung und Ergänzung von Lieferketten“ geworden. Führende Unternehmen werden ermutigt, bei wichtigen Themen zusammenzuarbeiten und leistungsstarke Produktalternativen zu entwickeln.

2. Förderung der energiesparenden Substitution hochverdichteter Materialien vor dem Hintergrund von „Dual Carbon“

Wolframlegierungsrohre bieten im Vergleich zu herkömmlichem Blei, Stahl oder hochlegiertem Edelstahl eine deutlich höhere Materialeffizienz in Bezug auf Strahlenschutz, Wärmeleitfähigkeit und Abschirmung. Sie ermöglichen leichte, langlebige und hocheffiziente Anwendungen und bieten damit einen natürlichen Vorteil bei der Energieeinsparung, Emissionsreduzierung und umweltfreundlichen Produktion. Viele lokale Regierungen haben spezielle Anreize geschaffen, um den Ersatz traditioneller, energieintensiver metallurgischer Komponenten durch Wolframlegierungsrohre zu unterstützen und so die grüne Transformation voranzutreiben.

3. Die Politik der militärisch-zivilen Integration fördert die Ausweitung hochwertiger Materialien auf zivile Anwendungen

China fördert den Transfer militärischer Spezialwerkstofftechnologie in zivile Anwendungen. Wolframlegierungsrohre, die sich in militärischen Trägheitskomponenten, Munitionsbeschichtungen und Katheterschutz bewährt haben, erobern zunehmend Märkte mit hoher Wertschöpfung wie Industrieinstrumente, elektronische Geräte und medizinische

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Strukturkomponenten. Dank dieser politischen Unterstützung haben zahlreiche Hersteller hochwertiger Werkstoffe ihre Produktionslinien modernisiert und Technologietransfers durchgeführt, um ihre Markteinführung zu beschleunigen.

4. Aufbau wissenschaftlicher und technologischer Großprojekte und zentraler Versuchsplattformen

Forschungsprojekte im Zusammenhang mit Rohren werden ausführlich in den Wissenschafts- und Technologieprojekten des 14. Fünfjahresplans behandelt, beispielsweise im „First Batch Demonstration Project for Key New Materials“ und im militärisch-zivilen Forschungskooperationsprogramm. Dazu gehören die Erforschung der Betriebsleistung, die Entwicklung von Verbundprozessen und die Simulation komplexer Betriebsbedingungen. Die Chinesische Akademie für Technische Physik, die Fünfte Akademie für Chinesische Luft- und Raumfahrtwissenschaft und -technologie, die China National Nuclear Corporation und die China General Nuclear Power Group haben unter anderem bereits systematische Forschung und Entwicklung eingeleitet und fördern so ein anwendungsorientiertes, geschlossenes Ökosystem.

3. Fazit: Der strategische Wert der Wolframlegierungsrohrindustrie steigt weiter

Vor dem Hintergrund modernisierter Fertigungsverfahren, technologischer Sicherheitsvorkehrungen und der Umstrukturierung der globalen Lieferketten erleben Wolframlegierungsrohre einen neuen industriellen Nachfrageschub. Angesichts der weiter steigenden Leistungsanforderungen spielen Wolframlegierungsrohre eine Schlüsselrolle bei der Erzielung einer verfeinerten Strukturkontrolle, komplexerer Verbundfunktionen und anspruchsvoller Einsatzumgebungen. Für Werkstoffunternehmen ist es entscheidend, die politischen Vorgaben genau zu befolgen, die Anwendungsentwicklung zu intensivieren und Prozessengpässe zu überwinden, um die strategischen Chancen von Wolframlegierungsrohren zu nutzen und sowohl technologische als auch marktbezogene Fortschritte zu erzielen.

Technische Barrieren und detaillierte Entwicklungspfade der Wolframlegierungsrohrindustrie

Wolframlegierungsrohre nehmen in der Nuklear-, Luft- und Raumfahrt-, Militär-, Medizin- und Elektronikindustrie eine strategisch wichtige Stellung ein. Die Wolframlegierungsrohrindustrie ist jedoch kein vollständig offener Markt, der durch extrem hohe technische Hürden und eine komplexe Produktionskette gekennzeichnet ist. Lange Zeit wurde sie von wenigen fortschrittlichen Unternehmen und Forschungseinrichtungen dominiert. Unternehmen, die in den Markt für Wolframlegierungsrohre einsteigen oder ihre Produktionskapazitäten erweitern möchten, müssen die Kernhürden jedes einzelnen Glieds in der Produktionskette genau verstehen und einen mehrdimensionalen Entwicklungspfad entwickeln, um ein geschlossenes Innovationssystem von der Rohstoffaufbereitung bis zum High-End-Produkt zu erreichen.

1. Wichtige technische Barrieren der Wolframlegierungsrohrindustrie

1. Technologie zur Herstellung von hochreinem Wolframpulver und Legierungspulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Leistung von Wolframlegierungsrohren hängt von der Reinheit, der Partikelgrößenverteilung, der Sphärität und dem Sauerstoffgehalt des Rohpulvers ab. Die Herstellung von hochreinem sphärischen Wolframpulver basiert derzeit noch auf komplexen Reduktions-, Zerstäubungs- oder Plasma-Sphäroidisierungsverfahren, die hohe Investitionen in die Ausrüstung, eine hochpräzise Prozesssteuerung und strenge Ausbeuteanforderungen erfordern. Einige Kerngeräte und Prozesssteuerungssysteme werden noch immer von ausländischer Technologie monopolisiert.

2. Hochdichtes Formgebungs- und Rohrstrukturpressverfahren

Wolframlegierungsrohre müssen während der Umformung eine Hohlstruktur aufweisen. Die Formkonstruktion erfordert eine genaue Berechnung der Innen- und Außendurchmesserschumpfung. Gleichzeitig müssen die Formgebungs-, Kalt- oder Heißisostatikpressprozesse einen dichten, rissfreien Block erzeugen. Dies stellt extrem hohe Anforderungen an die Druckkapazität, die Pulverfließfähigkeit und die Schmiermittelkontrolle der Anlage.

3. Hochtemperatursintern und Verdichtungstechnologie in kontrollierter Atmosphäre

Wolframlegierungsrohre müssen bei Temperaturen zwischen 1400 und 1600 °C unter streng kontrollierter Atmosphäre (Wasserstoff, Inertgas usw.) und Sauerstoffpartialdruck gesintert werden. Einige hochwertige Wolframlegierungsrohre erfordern das Sintern in einer Vakuum- Mikrodruck-Wasserstoffatmosphäre, ergänzt durch ein sekundäres heißisostatisches Pressverfahren (HIP) zur Erhöhung der Dichte. Dieses Verfahren birgt jedoch Engpässe hinsichtlich Präzision und Sicherheitsrisiken.

4. Möglichkeiten zur Tieflochbearbeitung und Oberflächenbehandlung für Rohrteile

Die Herstellung von Rohren aus Wolframlegierungen stellt ein großes Hindernis für die aktuelle Technologie dar. Herkömmliche Dreh- und Schleifverfahren haben Schwierigkeiten, tiefe Löcher zu erreichen oder die Konzentrität und Oberflächenrauheit der Innenwände aufrechtzuerhalten. Spezialverfahren wie Hochfrequenz-Vibrationsschleifen, chemisches Polieren und ultraschallunterstützte Bearbeitung sind erforderlich. Darüber hinaus stellen Galvanisierung, PVD-Beschichtung und Antioxidationsmittel für die Innen- und Außenwände extrem hohe Anforderungen an die Produktionsumgebung.

5. Das domänenübergreifende Produktzertifizierungs- und Servicebewertungssystem ist nicht solide

Wolframlegierungsrohre werden häufig in Hochrisikooanwendungen wie dem Strahlenschutz, Plasmaantriebsrohren und Komponenten für die medizinische Strahlentherapie eingesetzt. Diese Anwendungen unterliegen oft komplexen Anforderungen, darunter Strahlungsstabilität, thermische Ermüdung, magnetische Interferenzen und Korrosionsbeständigkeit. Das Fehlen eines umfassenden Systems an Evaluierungsgeräten, experimentellen Methoden und Prüfnormen hat die schnelle Einführung dieser Produkte jedoch eingeschränkt.

2. Der detaillierte Entwicklungspfad der Wolframlegierungsrohrindustrie

Um ein System der Rohrindustrie mit nachhaltiger Wettbewerbsfähigkeit zu schaffen, ist es notwendig, von Rohstoffen, Prozessen, Ausrüstung und Bewertungssystemen bis hin zur Anwendungsentwicklung auf mehreren Ebenen voranzukommen. Im Folgenden sind einige Kernbereiche aufgeführt:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Vertikale Integration der Ressourcenkette, um einen geschlossenen Kreislauf vom Rohstoff bis zur Rohrherstellung zu schaffen

Verstärken Sie die Integration der Reinigung von Wolframkonzentrat, der Sphäroidisierung von Wolframpulver, der Herstellung von Legierungspulver sowie der Regeneration und Rückgewinnung, um eine kostengünstige, hochkonsistente Pulverversorgungskette zu schaffen. Fördern Sie gleichzeitig den inländischen Ersatz unabhängiger Sinteranlagen, isostatischer Pressmaschinen und Kaltwalzanlagen für Rohre, um die systemische Abhängigkeit zu verringern.

2. Hochleistungs-Wolframlegierungsdesign und Materialsysteminnovation

Führen Sie mehrstufige Legierungsdesigns mit mehreren Elementen durch, entwickeln Sie neue Rohrlegierungssysteme wie W-Ni-Fe-Cr, W-Ni-Co und W-Cu-Re und verbessern Sie Verbundeigenschaften wie Wärme- und elektrische Leitfähigkeit, Korrosionsbeständigkeit und magnetische Störfestigkeit. Führen Sie Verstärkungsmechanismen durch Mikrolegierungen und Nanopartikeldispersion ein, um die strukturelle Gleichmäßigkeit und die langfristige Betriebsstabilität zu verbessern.

3. Aufbau einer High-End-Fertigungsplattform und intelligenten Prozesskette

Fördern Sie die Entwicklung intelligenter Press- und Hohlformgeräte für Wolframlegierungsrohre, richten Sie eine integrierte Produktionslinie mit präziser Temperaturregelung, plasmaunterstütztem Sintern und HIP ein, kombinieren Sie industrielle KI und Sensornetzwerke, um Echtzeitvorhersagen und Feedback zu Mikrostruktur, Dichte und Porosität durchzuführen und eine „sichtbare Verdichtung“ zu erzielen.

4. Aufbau einer Plattform für Qualitätsmanagement und Standardzertifizierung

Fördern Sie die Einbeziehung hochwertiger Rohrmaterialien aus Wolframlegierungen in Luftfahrt-/Medizinsystemstandards wie AS9100 und ISO13485, etablieren Sie Produktrückverfolgbarkeit und Datenketten zur Prozesssteuerung, bauen Sie eine experimentelle Servicetestplattform auf (wie etwa Hochtemperatur-Wärmezyklen, Neutronenbestrahlung, Korrosionsermüdung und andere Verbundsimulationen) und verbessern Sie die internationalen Produktzertifizierungs- und Anwendungszugriffsmöglichkeiten.

5. Ausbau hochwertiger Anwendungsmärkte und Förderung nachfrageorientierter Innovationen

Wir konzentrieren uns auf nationale strategische Projekte und aufstrebende High-End-Bereiche wie Kernfusionsprojekte, Wärmeflussröhren für Raumsonden, Kanäle für Teilchenbeschleuniger, Wärmeableitungsröhren für elektronische Chips usw. Wir führen die kundenspezifische Entwicklung von Wolframlegierungsröhren und die gemeinsame Entwicklung von Verbundanwendungen durch und fördern die Umwandlung von „Materialprodukten“ in „Anwendungslösungen“.

III. Fazit

Die Wolframlegierungsrohrindustrie steht nicht nur für Hightech in der Wolfram-Tiefverarbeitung, sondern spiegelt auch Chinas High-End-Fertigungskapazitäten wider. Zukünftige industrielle Modernisierungen werden sich nicht mehr auf die Produktion „dichter und haltbarer“ Materialien beschränken, sondern Durchbrüche entlang der gesamten Lieferkette umfassen, die auf Systemzusammenarbeit, Prozessintelligenz und Anwendungsintegration basieren.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wenn führende Unternehmen wie die CTIA GROUP ihren Fokus weiterhin auf fortschrittliche Legierungssysteme, intelligente Fertigungstechnologien und ihre Mitsprache bei internationalen Standards legen, werden sie sich eine zentrale Wettbewerbsposition in der globalen Wolframlegierungsrohrindustrie sichern .



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/cm³), 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

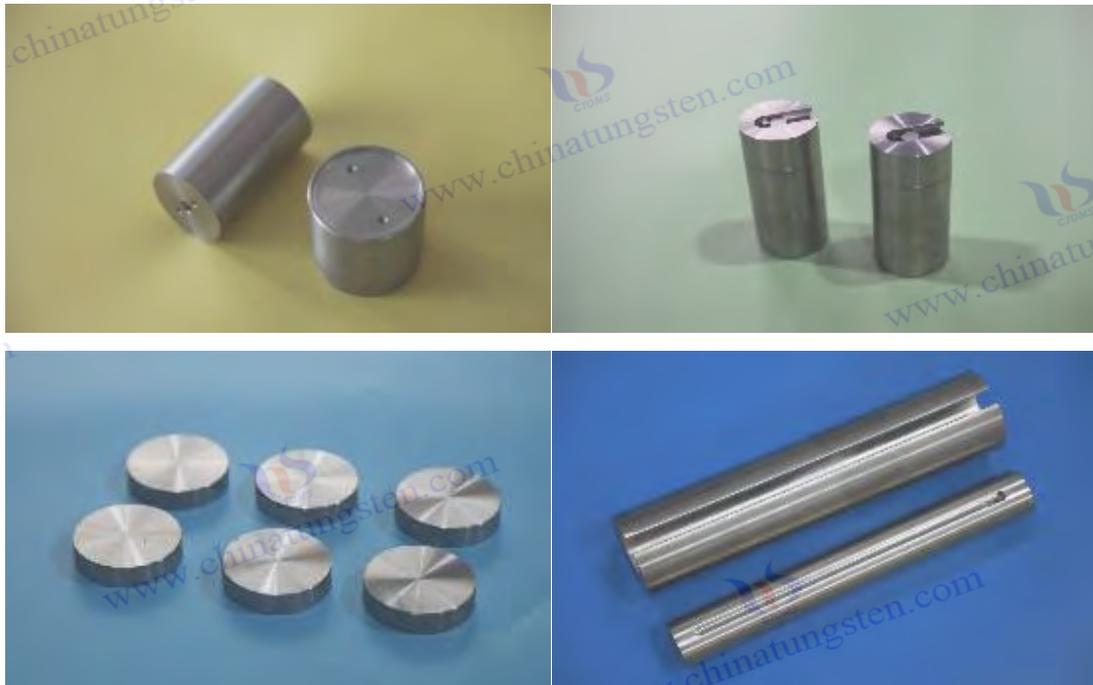
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: 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

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



Kapitel 10 Forschungsgrenzen und zukünftige Entwicklung von Wolframlegierungsrohren

10.1 Forschung zur Hochverdichtung und komplexen Formgebung von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre nehmen aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen und mechanischen Eigenschaften eine unverzichtbare strategische Position in Bereichen wie Kernenergie, Luftfahrt, Medizin und Elektronik ein. Um jedoch den immer strengeren Betriebsumgebungen und Designanforderungen gerecht zu werden, ist die Kontrolle ihrer Strukturdicke und geometrischen Form zu einem entscheidenden technischen Engpass geworden. Mit der steigenden Nachfrage nach hochdichten Wolframlegierungsrohren und komplexen Strukturkomponenten erforschen Forschungseinrichtungen und Unternehmen im In- und Ausland kontinuierlich deren Formungsmechanismen, Verdichtungsprozesse und innovative Fertigungstechniken und treiben so die Weiterentwicklung des Materials von traditionellen homogenen Rohren hin zu funktionalisierten, strukturell integrierten und mehrstufigen komplexen Formen voran.

1. Die Bedeutung von Rohren aus hochdichter Wolframlegierung

Wolframlegierungsrohre wirken sich direkt auf deren Abschirmwirkung, mechanische Festigkeit und Lebensdauer aus. Unter Bedingungen wie energiereicher Strahlung, hohen Druckunterschieden und hohem Wärmestrom können Porosität oder lokal lose Bereiche leicht zu thermischer Instabilität, Festigkeitsverlust und sogar strukturellem Versagen führen. Daher ist eine Erhöhung der Materialdichte ($\geq 99,5\%$ der theoretischen Dichte) nicht nur eine Voraussetzung für die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gewährleistung der Produktleistung, sondern auch eine grundlegende Voraussetzung für High-End-Anwendungen in vielen Bereichen.

2. Hauptrichtungen und Kerntechnologien der Hochverdichtungsforschung

1. Ultrafeine Pulveraufbereitung und sphärische Modifikation

Voraussetzungen für eine dichte Umformung sind hohe Fließfähigkeit und gleichmäßige Zusammensetzung. Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind:

- Co-Sphäroidisierungsbehandlung von **Nano-Submikron-Wolframpulver und Legierungselementpulver (Ni, Fe, Cu usw.);**
- Plasma-Sphäroidisierung, Sprühtrocknungs-Reduktionsverfahren zur Verbesserung der Pulverfülldichte und Kompressibilität;
- Partikelgrößenverteilung und Tensiddesign zur Optimierung des anfänglichen Formierungszustands.

2. Hochgleichmäßige Presstechnologie

Formpressen und kaltisostatisches Pressen (CIP) sind traditionelle Verfahren. Neueste Forschungsansätze:

- **Warmpressen** oder heißisostatisches Vorpressen (THIP) erhöht die Dichte und verbessert gleichzeitig die Effizienz der Mikroporenversiegelung.
- Mithilfe der Finite-Elemente-Simulation wird die Formhohlraumkonstruktion und der Pressweg optimiert und die Wanddickenverteilung und Koaxialität gesteuert .
- **Mehrachsige Rotationspresstechnologie** zur Verbesserung der Volumendichte und Formgenauigkeit zylindrischer Rohre.

3. Verdichtungssintertechnologie

Der Sinterprozess ist ein Schlüsselschritt für den Porenverschluss und die Kornverbindung:

- Verwenden Sie eine **mehrstufige Vakuum-Wasserstoff-Sinter- und Übergangsatmosphären-Kontrolltechnologie**, um Rückstände mit geringer Porosität zu erzielen.
- Untersuchen Sie die Kontrolle der Flüssigphasenverteilung in Wolframlegierungen, um die gleichmäßige Durchdringung und Benetzung von Phasen mit niedrigem Schmelzpunkt wie Ni/Fe in röhrenförmigen Sinterteilen zu verbessern.
- Geringe Zusätze von Mo, Re, Ti und anderen Elementen optimieren den Flüssigphasen-Sinterpfad und die Korngrenzenmigrationsfähigkeit.

4. Hilfsverdichtungspfad

- ****Heißisostatisches Pressen (HIP)**** ist besonders effektiv beim Verschließen von Restporen in Rohren. Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Optimierung des Druck-Temperatur-Haltezeitfensters beim Heißpressen .
- Schnelle Sintermethoden wie **Plasmaverdichtung , Mikrowellensintern und Funkenplasmasintern (SPS)** sind zur Forschungsspitze bei der Herstellung dichter Wolframlegierungsrohre geworden.
- Bei der Herstellung dickwandiger Rohre mit hoher Dichte wird zunehmend eine **synergistische Kalt-Warm-Wärmebehandlung** (z. B. die Methode des schnellen Rückzugs und erneuten Druckaufbaus) eingesetzt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Erforschung der Umformungstechnologie für komplexe Wolframlegierungsrohre

Wolframlegierungen sind traditionell mit hohen Bearbeitungskosten und geringer Formfreiheit verbunden, insbesondere bei komplexen geometrischen Strukturen wie dünnen Wänden, Biegungen, inneren Spiralen und speziell geformten Kanälen. Die Formbarkeit ist zu einem Schwerpunkt in Forschung und Entwicklung geworden.

1. Pulverspritzgusstechnologie (PIM)

Geeignet für Rohre aus Wolframlegierungen mit kleinem Durchmesser, dünner Wandstärke und komplexen Materialien:

- Es können Mikrostrukturkomponenten wie spiralförmig gerillte Rohre, Splitter und ummantelte Kanalrohre hergestellt werden.
- Untersuchen Sie die Gleichmäßigkeit der Füllung und den Entfettungspfad von Spritzgussformen, um Risse und Abfallen zu verhindern.

2. Additive Fertigung (AM) und Rohrstrukturdruck

Für Wolframlegierungen eignen sich Laser Directed Energy Deposition (DED), Elektronenstrahlschmelzen (EBM) usw.:

- Es kann die Bildung einer **mehrschichtigen Spiralgehäusestruktur** und einer **Struktur mit gradueller Wanddicke realisiert werden**.
- Die derzeitigen Schwierigkeiten liegen in der Risskontrolle, der Porenbildung, der Ansammlung thermischer Spannungen und der Entmischung der Legierungszusammensetzung.

3. Flüssigmetall-Schleuderguss und Kaltspritz-Innenbeschichtungsverfahren

Erforschen Sie das integrierte Gießen von Hohlrohren und die Verbundformung von Funktionsbeschichtungen für Innenwände, um die strukturelle und funktionale Integration zu verbessern.

- Das Schleudergussverfahren kann zunächst zur Herstellung dickwandiger Rohre aus Wolframlegierungen verwendet werden.
- Zur Herstellung der inneren leitfähigen und wärmeleitenden Schicht wird die Kaltspritztechnologie mit Wolframpulver und Cu/Ni-Verbundpulver kombiniert.

4. Integrierte Simulation und intelligente Umformung

Um die Formqualität zu kontrollieren und das Strukturdesign zu optimieren, **wird ein multiphysikalisches Simulationsmodell für Wolframlegierungsrohre erstellt**:

- Kombinieren Sie rheologisches Formverhalten, Wärmeleitungsverhalten und Phasenfeldentwicklungssimulation;
- Einführung von maschinellem Lernen zur Unterstützung der Optimierung von Pressprozessparametern und der Vorhersage von Defekten;
- Für Rohrverbindungen mit Sonderformen werden **die additiv-subtraktive kollaborative Fertigungspfadplanung** und der Mechanismus zur Verformungskompensation untersucht.

V. Fazit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Forschung zur Hochverdichtung und komplexen Formgebung von Wolframlegierungsrohren ist nicht nur ein wichtiger technologischer Fortschritt in der Materialverarbeitung, sondern auch ein zentraler Weg, um zukünftige extreme Anwendungsanforderungen zu erfüllen und hochwertige Anwendungen von Wolframlegierungen zu realisieren. Zukünftige Entwicklungen konzentrieren sich auf:

- Feinpulverdesign und intelligente Presswegsteuerung;
- Integration von mehrskaligen Sinterverdichtungsmechanismen und Wärmebehandlungswegen;
- additive Fertigung und integrierte Umformprozesse für Verbundstrukturen;
- Verbessern Sie die Fertigungsintelligenz auf der Grundlage von Simulationen und Daten.

Durchbrüche in dieser Richtung dürften die strukturelle Innovation und Funktionsintegration von Wolframlegierungsrohren in Schlüsselbereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergie, der Militärindustrie und der Spitzenmedizin erheblich vorantreiben und eine neue Ära in der Herstellung neuer Hochleistungs-Metallstrukturteile einleiten .

Additive Fertigungsintegration und intelligente Fertigung von Wolframlegierungsrohren

Wolframlegierungsrohre, ein modernes Material mit hoher Dichte, hohem Schmelzpunkt, hoher Festigkeit und ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit, finden nicht nur in der traditionellen Nuklear- und Militärtechnik Anwendung, sondern erstrecken sich auch auf aufstrebende High-End-Sektoren wie die Luft- und Raumfahrt, medizinische Geräte, elektronische Schutzeinrichtungen und Energiesysteme. Diese Anwendungen stellen nicht nur höhere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Wolframlegierungsrohren, sondern bringen auch neue Herausforderungen hinsichtlich Formkomplexität, Fertigungseffizienz und Produktkonsistenz mit sich. Herkömmliche Pulvermetallurgie- und Bearbeitungsverfahren stoßen bei der Erzielung komplexer Geometrien, der Verbesserung der Materialausnutzung und der Verkürzung von F&E-Zyklen an ihre Grenzen. Daher entwickelt sich die integrierte Anwendung additiver Fertigung (AM) und intelligenter Fertigungstechnologien zu einer Schlüsselrichtung für technologische Innovationen in **der Produktion von Wolframlegierungsrohren** .

1. Vorteile und Bedeutung der additiven Fertigung von Wolframlegierungsrohren

Im Vergleich zu herkömmlichen Schneid- oder Form- und Sinterverfahren spiegeln sich die Hauptvorteile der additiven Fertigung bei der Herstellung von Rohren aus Wolframlegierungen in den folgenden Aspekten wider:

- **Starke Fähigkeit zur Bildung komplexer Strukturen** : Es können direkt speziell geformte Hohlstrukturen mit spiralförmigen Innenrillen, Abschnitten mit variablem Durchmesser, Verbundkanälen usw. hergestellt und das Design von Rohrstrukturen aus Wolframlegierungen realisiert werden, die mit herkömmlichen Verfahren nur schwer zu verarbeiten sind.
- **Material- und Energieverbrauch sparen** : Reduzieren Sie Materialabfälle, besonders geeignet für die effiziente Nutzung teurer Metallressourcen wie Wolfram.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Personalisierung und schnelle Fertigung: Größe, Wandstärke und Struktur** von Wolframlegierungsrohren können schnell an das Endanwendungsszenario angepasst werden, wodurch die Abhängigkeit von der Form verringert wird.
- **Verfeinerte Kontrolle der Mikrostruktur**: Durch die Kontrolle der Abschreckrate, des Ablagerungspfad usw. über Prozessparameter kann eine mehrstufige Gradientengestaltung und -verbesserung der Mikrostruktur erreicht werden.

2. Wichtigste technische Wege der additiven Fertigung von Wolframlegierungsrohren

1. Selektives Laserschmelzen (SLM)/Elektronenstrahlschmelzen (EBM)

- Geeignet für die Herstellung kleiner, hochpräziser dünnwandiger Rohrkomponenten aus Wolframlegierung.
- Es können hohle Strukturteile mit einer Pulverschichtdicke von 20–50 µm und einer Druckgenauigkeit von ±0,05 mm hergestellt werden.
- Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit und des extrem hohen Schmelzpunkts der Wolframlegierung (> 3400 °C) muss sie jedoch **auf einer Hochtemperatur-Vorwärmplattform, in einer inerten Atmosphäre oder in einer Vakuumumgebung betrieben werden**, um Risse und Restspannungen zu reduzieren.

2. Gerichtete Energieabscheidung (DED)/Laserbeschichtung

- Geeignet für mittelgroße und große Rohrböcke aus Wolframlegierungen oder für die Reparatur lokaler Strukturen.
- Metallpulver/-draht kann mithilfe eines Laser- oder Elektronenstrahls Schicht für Schicht aufgetragen werden, um einen **Hohlzylinder in nahezu Nettogröße zu bilden**.
- Es bietet die Vorteile einer hohen Herstellungseffizienz, einer hohen Materialausnutzungsrate und einer starken Anpassungsfähigkeit und wurde bei der Herstellung einiger Verbundgehäusestrukturen für Militär und Luft- und Raumfahrt verwendet.

3. Kaltes Spray + Nachbearbeitung

- Wolframlegierungspulver wird durch Hochgeschwindigkeitsträgertgas auf dem Substrat abgeschieden, um eine röhrenförmige Struktur zu bilden, die zur Herstellung der Innenschicht oder Funktionsschicht von **Wolframlegierungsverbundrohren geeignet ist**.
- Durch eine anschließende Wärmebehandlung oder HIP können Dichte und Bindungsstärke weiter verbessert werden.
- Das Kaltspritzen eignet sich besonders zur Herstellung der Mittelschicht von **Wolfram-Kupfer- und Wolfram-Nickel- Verbundrohren** und bietet die Vorteile einer kleinen Wärmeeinflusszone und geringer Eigenspannung.

4. Verbundadditiv + subtraktive kollaborative Fertigung

- Durch die Kombination der additiven Fertigung mit CNC-Bearbeitung (wie Innenlochbohren und Außenwandschleifen) kann eine **hochpräzise und hochdichte Rohrvorbereitung erreicht werden**.
- **die hybride Prozesskette** „Additives Formen + CNC-Beschneiden + HIP-Verdichtung“ kann eine stabile Serienfertigung erreicht werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Schlüsseltechnologiefade für die intelligente Herstellung von Wolframlegierungsrohren

Mit der Verbesserung der Digitalisierung und Intelligentsierung der Fertigungstechnologie integriert sich die Produktion von Wolframlegierungsrohren schrittweise in das Paradigma „**Industrie 4.0**“. Die wichtigsten Entwicklungsrichtungen für die intelligente Fertigung umfassen:

1. Prozessdatenerfassung aus mehreren Quellen und Echtzeit-Feedback

- **Die Echtzeitüberwachung von Temperatur, Leistung und Verformung** des Abscheidungsprozesses wird durch Hochtemperaturkameras, optische Monitore und Wärmeflussensoren erreicht ;
- Identifizieren Sie Materialfehler wie Ablation, Löcher, Risse usw. in Echtzeit und geben Sie Feedback zur Anpassung der Parameter.

2. Prozessmodellierung und intelligente Prozessoptimierung

- Erstellen Sie ein **Simulationsmodell für das Schmelzbadverhalten** von Wolframlegierungspulver unter Hochenergiestrahlen .
- Verwenden Sie Algorithmen der künstlichen Intelligenz (z. B. neuronale Netzwerke, Bayes-Optimierung), um optimale Pfade, Energiedichte und Scangeschwindigkeiten vorherzusagen.
- Realisieren Sie eine automatische Druckpfadplanung und Fehlervorhersage.

3. Digitaler Zwilling und Aufbau von Regelungssystemen

- Durch digitale 3D-Modellierung und Echtzeit-Abbildung des Druckstatus **wird ein virtuell-reales Fusionssystem für die additive Fertigung von Rohren aus Wolframlegierungen konstruiert** .
- Es realisiert Funktionen wie **Fehlervorhersage, Leistungssimulation und Prozess-Backtracking**, um Garantien für die Qualitätskontrolle zu bieten.

4. Flexible Fertigungseinheiten und intelligenter Produktionslinienaufbau

- Fähigkeiten zur „Selbstidentifizierung, Selbstkorrektur und Selbstanpassung“;
- Realisieren Sie den vollständigen Prozessautomatisierungs-Kreislauf für Wolframlegierungsrohre von **der Pulverzufuhr über die additive Formgebung und Wärmebehandlung bis hin zur Prüfung und Verpackung** .

IV. Entwicklungsherausforderungen und Zukunftsaussichten

Obwohl die additive Fertigung und die intelligente Fertigung ein großes Potenzial für die Herstellung von Wolframlegierungsrohren bieten, gibt es bei der Förderung der Industrialisierung noch viele Herausforderungen:

- **Unzureichende Pulveranpassungsfähigkeit** : Die Herstellung von kugelförmigem und hochreinem Wolframlegierungspulver ist schwierig und kostspielig.
- **Risse und Poren sind schwer zu kontrollieren** : Der hohe Schmelzpunkt führt zu einer ungleichmäßigen Abkühlung, wodurch leicht Defekte entstehen und eine Optimierung der Energiedichte und der Abscheidungsstrategie erforderlich ist.
- **Hohe Anforderungen an die Spezialisierung der Ausrüstung** : Das Drucksystem muss an die Metallabscheidung bei hohen Temperaturen und hoher Dichte angepasst sein, und die Investitionskosten für die Hardware sind hoch.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Die Normen und das Bewertungssystem sind noch nicht perfekt** : Insbesondere müssen die Normen für die strukturelle Festigkeit und die Lebensdauerbewertung von speziell geformten Rohren aus Wolframlegierungen festgelegt werden.

In Zukunft sollten wir die Entwicklung von Wolframlegierungsrohren von der „additiven Fertigung im Labor“ zur „intelligenten Fertigung im großen Maßstab“ vorantreiben, und zwar durch integriertes Design von Materialien, Prozessen und Strukturen, datengesteuerte Optimierung und Verbesserung des Standardsystems, um den dringenden Bedarf der High-End-Fertigung und der strategisch aufstrebenden Industrien des Landes zu decken.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Integration

von additiver Fertigung und intelligenter Fertigung für Rohre aus Wolframlegierungen deren Anpassungsfähigkeit an strukturelle Komplexität, Fertigungsflexibilität und Leistungskonsistenz deutlich verbessern wird und zu einer zentralen Entwicklungsrichtung für die nächste Generation von Hochleistungs-Rohrverbindungen auf Wolframbasis wird. Mit der Weiterentwicklung der Technologie und der Ausweitung ihrer Anwendungsmöglichkeiten wird erwartet, dass innerhalb der nächsten fünf Jahre ein fortschrittliches Fertigungssystem für Rohre aus Wolframlegierungen mit multitechnischer Integration, Branchenkettenzusammenarbeit und standardisierter Unterstützung etabliert wird. Dies wird China dabei helfen, eine unabhängige Kontrolle über Schlüsselmaterialien in Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, Kernenergie und strategische Verteidigung zu erlangen.

10.3 Integrierte Entwicklung und Anwendungserweiterung multifunktionaler Wolframlegierungs-Verbundrohre

Wolframlegierungs-Verbundrohre gewinnen im High-End-Fertigungssektor zunehmend an Bedeutung. Im Vergleich zu herkömmlichen Wolframlegierungsrohren aus einem einzigen Material bieten multifunktionale Wolframlegierungs-Verbundrohre überlegene Vorteile hinsichtlich Materialzusammensetzung, mechanischer Struktur, Funktionsintegration und Betriebsleistung. Ihre Entwicklungsziele bestehen nicht nur darin, die grundlegenden Eigenschaften der Wolframlegierung wie hohe Dichte, hohen Schmelzpunkt und hohe Festigkeit beizubehalten, sondern auch Funktionsmodule wie Wärmeleitfähigkeit, Antimagnetismus, elektromagnetische Abschirmung, Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit durch ein Verbunddesign zu integrieren, um den vielfältigen Anforderungen komplexer Betriebsumgebungen gerecht zu werden.

1. Grundlegendes Designkonzept eines multifunktionalen Wolframlegierungs-Verbundrohrs

1.1 Struktur-Funktions-Synergieprinzip

Verbundrohre aus Wolframlegierungen sind nicht mehr auf die mechanische Belastungsunterstützung beschränkt, sondern legen Wert auf **die Integration von Struktur und Funktion**. Beispielsweise weist die äußere Schicht zum Schutz eine hohe Härte und Korrosionsbeständigkeit auf, die mittlere Schicht optimiert die Wärmeleitfähigkeit oder antimagnetischen Eigenschaften und die innere Schicht sorgt für elektrische Signalleitung oder Biokompatibilität.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Materialverlauf und Schnittstellendesign

Durch die Verwendung von ****funktional abgestuften Materialien (FGMs)**** oder mehrschichtigen Verbundstrukturen werden die Anpassung der Wärmeausdehnung und der Spannungsübergang zwischen verschiedenen Metallen (wie Wolfram-Kupfer, Wolfram-Nickel-Eisen, Wolfram-Molybdän usw.) optimiert, um das Risiko einer Grenzflächendelaminierung und Rissausbreitung zu verringern.

3. Synergistische Optimierung von Inhaltsstoffen und Leistung

Unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit, die elektrischen Eigenschaften, die magnetische Reaktion, die Korrosionsbeständigkeit usw. des Rohrs werden **Verbundwerkstoffdesign, Mikrolegierungsregulierung, Verstärkung durch Nanopartikeldispersion** und andere Mittel eingesetzt, um eine synergistische Leistungsverbesserung zu erzielen.

2. Typische multifunktionale Wolframlegierungs-Verbundrohrstrukturtypen

Strukturtyp	Merkmale	Typische Anwendungen
Koaxiales Mehrschichtverbundrohr (z. B. W-Cu-W)	Wärmeleitung innen, Schutz außen	Wärmeableitung der Hochfrequenzstromversorgung, thermisches Kontrollsystem für Raumfahrzeuge
Gradientenfunktionsröhre (z. B. W→W-Ni→W-Cu)	Beständig gegen Temperaturschock und gute strukturelle Festigkeit	Raketenheckgehäuse, Reaktorsteuerungskomponenten
Metall-Keramik-Verbundrohre (z. B. W-ZrO₂)	Hochtemperatur-Antioxidation, Anti-Strahlung	Plasmagefäße, Beschleunigerkomponenten
Mehrkernkanal-Verbundrohr (z. B. W-Cu-Kern + W-Ni-Hülle)	Multifunktionale Leitung, elektromagnetische Abschirmung	Medizinische Geräte, Geräte zur Partikelstrahlabgabe
Oberflächenbeschichtung von Verbundrohren (z. B. W-Rohr + TiN-Beschichtung)	Verschleiß- und korrosionsbeständig	Mechanisches Hochgeschwindigkeitsgetriebe, verschleißfeste Leitung

3. Wichtige Aufbereitungs- und Umformtechnologien

1. Pulvermetallurgisches Verbundpressen

durch **schichtweises Füllen oder segmentiertes Vorpressen**, und eine gute Grenzflächenhaftung wird durch Heißpressen und Sintern erreicht.

2. Koaxiale Extrusion

Anwendbar auf Wolframlegierungs-Verbundrohre mit Kern-Hülle-Struktur, gewährleistet synchrone Verformung und plastische Anpassung der Schnittstelle mehrerer Materialien während der Formgebung.

3. Kaltgasspritzen und Laserauftragschweißen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wird verwendet, um Funktionsbeschichtungen (wie strahlungsbeständige Keramik, leitfähige Legierungen usw.) an der Außen- oder Innenwand des Rohrs anzubringen, um eine **lokale Verstärkung und Oberflächenfunktionsintegration zu erreichen** .

4. Additive Fertigung

Die integrierte Formgebung komplexer funktionaler Verbundrohre kann durch **Multimaterial-3D-Druckplattformen** (wie Dual-Powder-Path-SLM oder DED) erreicht werden, die eine große Designfreiheit bieten.

5. Heißisostatisches Pressen (HIP) zur Verdichtung

Die Verbesserung der Verbindungsfestigkeit und Gesamtdichte der Grenzflächen ist ein wichtiger Schritt bei der Massenproduktion von Verbundrohren aus Wolframlegierungen.

4. Typische Anwendungen und Erweiterung von multifunktionalen Wolframlegierungs-Verbundrohren

1. Kernenergie und Fusionsanlagen

- Wird für **Führungsrohre zur Neutronenabschirmung, Steuerstabhülsen und Schutzrohre für Kühlkreisläufe verwendet** .
- Durch die Verbundkonstruktion können die Temperaturwechselbeständigkeit und Strahlungsbeständigkeit deutlich verbessert werden.
- Verbundstrukturen vom Typ W-Cu-ZrO₂ werden häufig in Leitungen für die Kernwärmetechnik verwendet.

2. Luft- und Raumfahrtsysteme

- Wird für **Hochtemperatur-Triebwerksführungsrohre, Flugzeuggegengewichte und Abschirmkanäle verwendet** ;
- W-Ni-Cu-Rohre bieten hohe Festigkeit und gute Wärmemanagementleistung;
- Der innere Kern besteht aus wärmeleitendem Material und die äußere Schicht besteht aus einer hochfesten Wolframlegierung. Dies ist zum Trend geworden.

3. Militärischer und ballistischer Schutz

- Wird auf **Führungsrohre für Munition mit hoher Durchschlagskraft, Trägheitsnavigationskomponenten und kugelsichere Hüllen angewendet** ;
- Die Wolfram-Molybdän-Nickel-Eisen-Verbundstruktur weist eine hervorragende Zähigkeit und Schlagfestigkeit auf.

4. Medizinprodukte und Strahlenschutz

- Herstellung von Positionierungsröhren und **Partikelstrahlkanälen für die Gammastrahlen-/Röntgentherapie** ;
- Zur Verbesserung des Wärmemanagements und der diffusen Energieabsorption wird eine innere Schicht aus Wolfram-Kupfer-Verbundwerkstoff verwendet.

5. Fortschrittliche Elektronik und Quantengeräte

- Wird in **Mikrowellenkanälen, Abschirmabdeckungen und antimagnetischen Kernrohrstrukturen verwendet** ;
- Die zusammengesetzte wärmeleitende und antimagnetische Struktur kann die Stabilität und die Entstörungsfähigkeit verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Zukünftige Technologietrends und Herausforderungen

1. Präzise Schnittstellenkontrolle

von Verbundrohren liegt in der **Qualität der Grenzflächenbindung zwischen verschiedenen Materialien**. Zukünftig sind eingehende Forschungen zu den Mechanismen der Elementdiffusion, der Phasenänderung an der Grenzfläche und der Kontrolle von Eigenspannungen erforderlich.

2. Multifunktionales integriertes Designtool

Entwickeln Sie **eine multiphysikalische Feldsimulationsplattform**, um die integrierte Bewertung und strukturelle Optimierung des mechanischen, thermischen, magnetischen und Strahlungsverhaltens von Verbundrohren zu realisieren.

3. Verbesserte Formbarkeit großer Verbundrohre mit Sonderform

Um den Anforderungen großflächiger und komplexer Strukturen gerecht zu werden, ist die Entwicklung **additiver Fertigungssysteme mit hohem Durchsatz und hochpräziser Kernschaffformsysteme erforderlich**.

4. Hochdurchsatz-Leistungsbewertung und Standardisierung

Derzeit mangelt es an systematischen Prüf- und Servicebewertungsstandards für multifunktionale Verbundrohre aus Wolframlegierungen, was ihre Verbreitung in stark nachgefragten Branchen wie der Kernenergie und der Rüstungsindustrie einschränkt.

Fazit: Die integrierte Entwicklung

multifunktionaler Wolframlegierungs-Verbundrohre stellt einen grundlegenden Wandel in der Anwendung von Wolframlegierungsmaterialien von „einzelnen Strukturmaterialien“ hin zu „hochleistungsfähigen, mehrfeldgekoppelten Funktionsmaterialien“ dar. Die Technologie umfasst eine multidisziplinäre Schnittstelle, die Materialdesign, Verbundformung, Schnittstellenkontrolle und Multi-Performance-Evaluierung umfasst. Sie ist ein strategischer Schlüssel zur tiefen Durchdringung von Wolframmaterialien in High-End-Fertigungssystemen. Mit der Weiterentwicklung technologischer Plattformen, Fertigungskapazitäten und Standards werden Wolframlegierungs-Verbundrohre in Kernindustrien wie der Kernenergie, der Luft- und Raumfahrt, der Quanteninformatik und der Präzisionsmedizin eine unersetzliche Rolle spielen.

10.4 Leistungsentwicklung von Wolframlegierungsrohren in extremen Betriebsumgebungen

Wolframlegierungsrohre sind ein Schlüsselwerkstoff mit hoher Dichte und hoher Festigkeit und werden in einer Vielzahl extremer Einsatzumgebungen eingesetzt, darunter in der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergie, im Militär und in der Medizin. Diese extremen Umgebungen sind typischerweise mit komplexen Bedingungen wie hohen Temperaturen, hohem Druck, starker Strahlung, starker Korrosion und mechanischer Belastung verbunden. Die Leistungsentwicklung von Wolframlegierungsrohren in solchen Umgebungen beeinflusst nicht nur ihre strukturelle Sicherheit und Lebensdauer, sondern auch direkt die Zuverlässigkeit und Stabilität des Gesamtsystems. Die folgende Analyse untersucht die Mechanismen der Leistungsentwicklung und Minderungsstrategien für Wolframlegierungsrohre anhand wichtiger Faktoren im Extremfall.

1. Leistungsentwicklung in Hochtemperaturumgebungen

1. Wärmeausdehnung und thermische Ermüdung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wolframlegierungsrohre dehnen sich bei hohen Temperaturen thermisch aus. Diese unterschiedliche Ausdehnung zwischen Wolfram (mit einem niedrigeren Wärmeausdehnungskoeffizienten) und der metallischen Bindephase (z. B. Nickel, Eisen und Kupfer) führt zu inneren thermischen Spannungen. Langfristige Temperaturwechsel können die Entstehung und Ausbreitung von Mikrorissen auslösen und zu thermischem Ermüdungsbruch führen. Auf mikroskopischer Ebene führt dies zu Kornvergrößerung und erhöhter Grenzflächendiffusion, was die Festigkeit und Dichte des Materials verringert.

2. Oxidation und Korrosion bei hohen Temperaturen

Wolfram oxidiert bei hohen Temperaturen in Luft oder sauerstoffhaltigen Umgebungen zu Oxiden wie WO_3 , was zu Oberflächenversprödung und Qualitätsverlust führen kann. Auch andere Legierungsbestandteile (Nickel und Eisen) können den oxidativen Korrosionsprozess beschleunigen. Die nach dem Ablösen der Oxidschicht freigelegte Oberfläche beschleunigt die Korrosion und verringert die Gesamthaltbarkeit des Rohres.

3. Stabilität der Kristallstruktur

Bei hohen Temperaturen kommt es in der Kristallstruktur von Wolframlegierungen zu einer Phasenumwandlung oder Auflösung ausscheidungshärtender Phasen, was sich auf Härte und Zähigkeit auswirkt. Einige härtende Phasen weisen eine geringe Hochtemperaturstabilität auf, was zu einer Verschlechterung der mechanischen Gesamteigenschaften der Legierung führt.

2. Leistungsentwicklung in Umgebungen mit hoher Strahlung

1. Durch Bestrahlung induzierte Punktdefekte und Versetzungen

In Strahlungsumgebungen wie Kernreaktoren können hochenergetische Neutronen oder Gammastrahlen Gitterdefekte, Leerstellen und Zwischengitteratome verursachen, was zu Kristallverzerrungen führt und die Plastizität und Zähigkeit der Legierung beeinträchtigt. Die Strahlenhärtung macht das Material zudem spröde, was die Bruchgefahr erhöht.

2. Bestrahlungsinduzierte Phasenumwandlung und Ausfällung

Strahlungsenergie kann auch eine Phasenumwandlung, Ausfällung oder Agglomeration der zweiten Phase in der Legierung bewirken, wodurch sich die Mikrostruktur des Materials ändert und die mechanischen Eigenschaften und das Korrosionsverhalten weiter beeinflusst werden.

3. Hohe mechanische Belastung und Stoßbelastungen

Wolframlegierungsrohre sind im Betrieb häufig Stößen, Vibrationen und zyklischen Belastungen ausgesetzt. Trotz ihrer deutlichen Vorteile hinsichtlich Dichte und Festigkeit kann langfristige mechanische Ermüdung zu Rissausbreitung und Ermüdungsbrüchen führen. Mikrorisse breiten sich entlang der Korngrenzen aus, insbesondere unter der kombinierten Einwirkung von hohen Temperaturen und Strahlung.

4. Auswirkungen einer stark korrosiven Umgebung

In sauren, alkalischen oder chloridhaltigen Korrosionsmedien können sich auf der Oberfläche von Wolframlegierungsrohren mikroskopisch kleine Korrosionsnarben bilden, die die Oberflächenrauheit erhöhen, lokale Spannungskonzentrationen verursachen und die Bildung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ermüdungsrissen beschleunigen. Die elektrochemische Aktivität von Komponenten wie Nickel und Eisen in der Legierung hat einen erheblichen Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit.

5. Umfassender Mechanismus und Vorhersage von Leistungseinbußen

Wolframlegierungsrohre sind das Ergebnis der Kopplungseffekte der oben genannten Faktoren und stellen einen nichtlinearen und komplexen dynamischen Prozess dar. Typische Mechanismen sind:

- Rissbildung und -wachstum durch thermisch-mechanische gekoppelte Spannung;
- Mikrostrukturelle Entwicklung, die synergistisch durch Bestrahlung und Wärme induziert wird;
- Auswirkungen der Bildung von Oberflächenoxidschichten und Korrosionsprodukten auf die mechanischen Eigenschaften;
- Die inneren Defekte des Materials häufen sich und die Bruchzähigkeit nimmt ab.

Die mechanismusbasierte Multiphysik-Simulation ist zu einem wichtigen Instrument für die Vorhersage der Entwicklung der Betriebsleistung und der Lebensdauerbewertung von Rohren aus Wolframlegierungen geworden.

6. Reaktionsstrategien und Materialoptimierungsrichtungen

Um die Leistungsstabilität von Wolframlegierungsrohren in extremen Umgebungen zu verbessern, werden üblicherweise die folgenden Maßnahmen ergriffen:

- Entwerfen Sie eine Legierungszusammensetzung mit hoher thermischer Stabilität, um die Kornvergrößerung und die Auflösung der Verstärkungsphase zu verhindern.
- Oberflächenbeschichtungstechnologie (Keramikbeschichtung, Antioxidationsfilm) zur Verhinderung von Oxidationskorrosion;
- Mikrolegierung und Nanostrukturverstärkung zur Verbesserung der Strahlungsbeständigkeit und mechanischen Belastbarkeit;
- Optimieren Sie den Wärmebehandlungsprozess und passen Sie die Verteilung der Eigenspannungen an.
- Entwickeln Sie hochtemperatur- und strahlungsbeständige Verbundrohre aus Wolframlegierungen, um einen mehrstufigen Schutz zu erreichen.

VII. Zusammenfassung

Wolframlegierungsrohre weisen unter extremen Einsatzbedingungen eine hohe Komplexität und Variabilität auf. Ein umfassendes Verständnis der Mehrfeldkopplungseffekte von Wärme, Strahlung, mechanischen Kräften und chemischen Reaktionen ist der Schlüssel zur Optimierung des Materialdesigns und zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs. Die Integration fortschrittlicher Materialdesignkonzepte und intelligenter Simulationstechnologien wird die Entwicklung von Wolframlegierungsrohren in Zukunft zu höherer Leistung, längerer Lebensdauer und einem breiteren Anwendungsspektrum vorantreiben und so den hohen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, der Kernenergie und der High-End-Industrie gerecht werden.

10.5 Strategie für nachhaltige Entwicklung und Forschung zu alternativen Materialien für Rohre aus Wolframlegierungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mit der zunehmenden globalen Bedeutung nachhaltiger Ressourcennutzung und des Umweltschutzes ist die nachhaltige Entwicklung von Wolframlegierungsrohren als wichtige Hochleistungswerkstoffe in den Fokus der Industrie gerückt. Die Begrenztheit der Wolframressourcen, die Umweltauswirkungen des Bergbaus sowie der Energieverbrauch und die Entsorgungsprobleme bei Herstellung und Recycling von Wolframlegierungsrohren haben Industrie und Forschungseinrichtungen dazu veranlasst, aktiv nach umweltfreundlichen Herstellungsverfahren, Recyclingsystemen und der Entwicklung alternativer Materialien für Wolframlegierungsrohre zu forschen. Der folgende Artikel beschreibt Strategien zur nachhaltigen Entwicklung von Wolframlegierungsrohren und den aktuellen Stand der Forschung zu alternativen Materialien.

1. Ressourcennutzung bei Wolframlegierungsrohren und Strategie zur Kreislaufwirtschaft

1. Optimierung und effiziente Nutzung von Rohstoffen

Wolframervorkommen sind konzentriert und in ihren Reserven begrenzt. Die effiziente Nutzung von Wolframrohstoffen ist für die nachhaltige Entwicklung von Wolframlegierungsrohren von grundlegender Bedeutung. Durch Optimierung des Pulveraufbereitungsprozesses, Erhöhung der Legierungsdichte und Reduzierung von Verarbeitungsverlusten können wir die Rohstoffausnutzung maximieren. Die Verwendung von hochreinem, verunreinigungsarmem Wolframpulver trägt zur Verbesserung der Legierungsleistung bei und reduziert nachfolgende Verarbeitungsschwierigkeiten.

Recycling und Wiederverwendung von Altrohren aus Wolframlegierungen

Wir haben ein umfassendes Recyclingsystem für Wolframlegierungsrohre etabliert, das Wolfram aus Abfallstoffen durch physikalische und chemische Methoden zurückgewinnt und so Ressourcenrecycling ermöglicht. Der Recyclingprozess umfasst mechanisches Zerkleinern, Pulverisieren, chemisches Auslaugen und Raffinieren, um sicherzustellen, dass die Qualität des zurückgewonnenen Wolframpulvers den Anforderungen der Sekundärverarbeitung entspricht. Darüber hinaus entwickeln wir umweltfreundliche Recyclingtechnologien, um schädliche Emissionen zu reduzieren und die Recyclingeffizienz zu verbessern.

3. Energieeinsparung und Verbrauchsreduzierung im Herstellungsprozess

Bei der Herstellung von Rohren aus Wolframlegierungen kommen energiearme Formgebungs- und Sinterverfahren wie Hochfrequenz-Induktionserwärmung, plasmaunterstütztes Sintern und additive Fertigung zum Einsatz, um den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen zu senken. Gleichzeitig werden die Produktionsprozesse optimiert, um Abfall zu reduzieren und eine umweltfreundliche Fertigung zu fördern.

2. Umweltauswirkungen und umweltfreundliche Herstellung von Wolframlegierungsrohren

1. Umweltrisikobewertung

Der Abbau und die Verarbeitung von Wolfram und seinen Legierungen können zu Schwermetallbelastungen führen. Daher ist eine wissenschaftliche Bewertung der Umweltrisiken erforderlich. Wir müssen die Abwasser- und Abgasbehandlung verbessern, um das Austreten gefährlicher Stoffe zu verhindern und die Einhaltung der Umweltvorschriften zu gewährleisten.

2. Förderung grüner Fertigungstechnologien

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fördern Sie unbedenkliche, emissionsarme Fertigungstechnologien wie wasserbasierte Dispersionssysteme, umweltfreundliche Additive und bleifreie Lötverfahren, um die Umweltbelastung zu reduzieren. Hersteller von Wolframlegierungsrohren sollten sich aktiv an der Zertifizierung von Umweltmanagementsystemen (z. B. ISO 14001) beteiligen, um eine nachhaltige Entwicklung zu fördern.

3. Forschungs- und Entwicklungsfortschritt bei alternativen Materialien für Wolframlegierungsrohre

1. Leichte und hochfeste Metallwerkstoffe

Um dem Bedarf an Leichtbau gerecht zu werden, werden hochfeste Legierungen auf Aluminium- und Magnesiumbasis sowie Hochentropielegierungen als mögliche Alternativen zu Wolframlegierungsrohren untersucht. Obwohl diese Materialien eine geringere Dichte aufweisen, können sie durch Legierungsdesign und Oberflächenverstärkung Wolframlegierungsrohre in bestimmten Anwendungen ersetzen und das Gesamtstrukturgewicht reduzieren.

2. Hochdichte Legierungen und Verbundwerkstoffe

Wolfram-Molybdän-basierte Legierungen, Wolfram-Tantal-Legierungen und intermetallische Verbundwerkstoffe auf Wolframbasis weisen eine hervorragende Hochtemperaturbeständigkeit und Strahlungsbeständigkeit auf und stellen daher eine wichtige Alternative zu Rohren aus Wolframlegierungen dar. Verbundwerkstoffe wie mit Keramik oder Karbiden verstärkte Wolframlegierungen verbessern die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit bei gleichzeitig hoher Dichte.

3. Additive Fertigung funktional gradierter Materialien

Durch den Einsatz additiver Fertigungsverfahren zur Erzielung funktionaler Gradienten und Multimaterial-Verbundstrukturen entwickeln wir Alternativen zu Rohren aus Wolframlegierungen, die für spezifische Arbeitsbedingungen optimiert sind. Diese Technologie kann die Materialausnutzung deutlich verbessern, Kosten senken und ein Leichtbaudesign ermöglichen.

IV. Politik und Branchenförderung

1. Politische Unterstützung und Regulierung

Regierung und Industrieverbände haben Richtlinien für das Management und Recycling von Wolframressourcen entwickelt, die eine umweltfreundliche Produktion und die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft fördern. Es wurden spezielle Fonds eingerichtet, um die Forschung und Entwicklung nachhaltiger Technologien für Wolframlegierungsrohre zu unterstützen und die Verbesserung von Normungssystemen und Umweltvorschriften voranzutreiben.

2. Unternehmerische Verantwortung und soziales Engagement

Hersteller von Wolframlegierungsrohren sollten Verantwortung für den Umweltschutz übernehmen, Umweltmanagementsysteme einrichten und verbessern und sich aktiv am Recycling und der Wiederverwendung von Abfallstoffen beteiligen. Durch technologische Innovationen können sie die Umweltbelastung reduzieren und eine Win-Win-Situation in Bezug auf wirtschaftliche und ökologische Vorteile schaffen.

V. Zukunftsausblick

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Herstellung von Wolframlegierungsrohren erfordert einen ausgewogenen Ansatz zur Ressourcenschonung, zum Umweltschutz und zur industriellen Modernisierung. Zukünftige Forschung sollte verstärkt werden, um Innovationen in umweltfreundlichen Fertigungstechnologien und effizienten Recyclingprozessen zu fördern, leistungsstarke alternative Werkstoffe zu entwickeln und die Wettbewerbsfähigkeit von Wolframlegierungsrohren in High-End-Anwendungen zu steigern. Durch die Kombination intelligenter Fertigung mit digitalem Management kann ein umweltfreundliches Kreislaufsystem für den gesamten Lebenszyklus von Wolframlegierungsrohren geschaffen werden, das der Werkstoffindustrie den Weg in eine neue Ära umweltfreundlicher, kohlenstoffarmer und nachhaltiger Entwicklung ebnet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die nachhaltige Entwicklungsstrategie für Wolframlegierungsrohre eine effiziente Ressourcennutzung, umweltfreundliche Produktion, Abfallrecycling und die Entwicklung alternativer Materialien umfasst. Diese Strategie ist entscheidend für die langfristige Sicherung einer stabilen Versorgung und die Einhaltung von Umweltvorschriften. Durch politische Leitlinien, technologische Innovationen und Branchenzusammenarbeit wird die Wolframlegierungsrohrindustrie kontinuierlich Fortschritte in Richtung hoher Qualität und geringer Umweltbelastung erzielen.

Anhang

Anhang 1: Allgemeine physikalische/mechanische Eigenschaften von Rohren aus Wolframlegierungen

Leistungskategorie	Spezifische Indikatoren	Typischer Wertebereich	Hinweise
Physikalische Eigenschaften	Dichte (g/cm ³)	17,0 – 18,8	nach Legierungszusammensetzung und Dichte
	Anteil	17,0 – 18,8	der Wolframgehalt, desto größer ist das spezifische Gewicht
	Linearer Ausdehnungskoeffizient (×10 ⁻⁶ / K)	4,5 – 6,5	Geeignet für Umgebungen mit hohen Temperaturen
	Wärmeleitfähigkeit (W/m·K)	100 – 150	Variation mit Legierungsverhältnis
	Spezifischer Widerstand (μΩ·cm)	0,2 – 0,5	Beeinflusst die elektrische Leistung
Mechanische Eigenschaften	Zugfestigkeit (MPa)	500 – 900	Bezogen auf Zusammensetzung und Wärmebehandlungsprozess
	Streckgrenze (MPa)	300 – 700	
	Dehnung (%)	1 – 10	Im Allgemeinen niedrig, gehört zu Hartmetall
	Härte (HV)	250 – 400	Variiert je nach Zutaten und Verarbeitungsstatus
	Schlagzähigkeit (J/cm ²)	5 – 20	Beeinflusst durch die Mikrostruktur
Sonstige Leistungen	Korrosionsbeständigkeit	Gut	Abhängig von der Legierungszusammensetzung und Oberflächenbehandlung
	Strahlungsbeständigkeit	exzellent	Wird in speziellen Umgebungen wie der Kernenergie verwendet

Anhang 2: Vergleichstabelle gängiger Güten und chemischer Zusammensetzungen von Wolframlegierungsrohren

Marke	Wolfram (W) Gew.-%	Nickel (Ni) Gew.-%	Eisen (Fe) Gew.-%	Kupfer (Cu) Gew.-%	Andere Elementinhalte	Hauptanwendungen und Eigenschaften
WNiFe-90	90	7,0	3,0	—	Spurenverunreinigungen	Hohe Dichte, hervorragende mechanische Eigenschaften, wird häufig in Gegengewichten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

						für Militär und Luftfahrt verwendet
W _{Ni} Fe-92	92	6,0	2,0	—	Spurenverunreinigungen	Hohe Festigkeit, hohe Dichte, geeignet für Präzisionsinstrumente
W _{Ni} Fe-95	95	4,5	0,5	—	Spurenverunreinigungen	Sehr hohe Dichte, gute Verschleißfestigkeit, Anwendung in der Nuklearindustrie
W _{Ni} Cu-85	85	—	—	15	Spurenverunreinigungen	Gute Wärmeleitfähigkeit und mechanische Eigenschaften, elektronische Kühlgeräte
W _{Ni} Cu-90	90	—	—	10	Spurenverunreinigungen	Hochdichte Wolfram-Kupfer-Legierung mit ausgezeichneter mechanischer Festigkeit
W _{Ni} Cu-95	95	—	—	5	Spurenverunreinigungen	Geeignet für Umgebungen mit hohen Temperaturen und hohen Dichteanforderungen

veranschaulichen:

- Die Elementgehalte in der Tabelle sind typische Auslegungswerte. Die tatsächliche Produktion kann je nach Rezeptur und Verfahren leicht abweichen.
- Der Markenname orientiert sich in der Regel am Hauptlegierungselement und Wolframgehalt, um die Unterscheidung zwischen verschiedenen Leistungsklassen zu erleichtern.
- Zu den „Spurenverunreinigungen“ in der Marke gehören in der Regel Schwefel, Phosphor, Sauerstoff, Kohlenstoff usw., die einen gewissen Einfluss auf die Leistung haben und streng kontrolliert werden müssen.
- Die Marke sollte auf Grundlage der spezifischen Anwendungsumgebung und der Leistungsanforderungen ausgewählt werden.

Anhang 3: Zusammenstellung relevanter Standarddokumente und technischer Daten zu Wolframlegierungsrohren

1. Nationale und Industriestandards

- GB/T 14248-2011 Technische Anforderungen für Wolframlegierungsmaterialien
- YS/T 264-2004 Schwere Wolframlegierungen
- GB/T 18254-2000 Technische Spezifikationen für Wolframlegierungsrohre
- HG/T 2041-2006 Testmethoden für Materialeigenschaften von Wolframlegierungen
- GB/T 228.1-2010 „Zugversuch an metallischen Werkstoffen – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur“

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Internationale Standards

- ASTM B777-18 Standard-Spezifikation für hochdichte Stäbe und Rohre aus Wolframlegierungen
- Anforderungen an das Qualitätsmanagementsystem ISO 9001:2015
- Anforderungen an das Umweltmanagementsystem ISO 14001:2015
- MIL-DTL-46027B Technische Spezifikationen für militärische Wolframlegierungsmaterialien
- ISO 6507-1 Härteprüfverfahren – Vickers-Härteprüfung

3. Technische Literatur zu Wolframlegierungsrohren

- Handbuch zu Wolframlegierungsmaterialien, China Nonferrous Metals Industry Press, 2018
- „Forschung zur Herstellungstechnologie und zu den Eigenschaften von Wolframlegierungen“, Wang Qiang, Materials Review, Ausgabe 6, 2020
- „Analyse der Anwendung von Wolframlegierungsrohren in der Nuklearindustrie“, Li Ming, Nuclear Technology, Ausgabe 5, 2019
- „Diskussion über die Wärmebehandlungstechnologie von Hochleistungs-Wolframlegierungsrohren“, von Zhang Hua, Metallwärmebehandlung, Ausgabe 3, 2021
- „Zerstörungsfreie Prüftechnologie für Wolframlegierungsrohre“, von Chen Gang, Zerstörungsfreie Prüfung, Ausgabe 7, 2019

4. Patentinformationen

- CN109876543A Herstellungsverfahren und Anwendung von Wolframlegierungsrohren
- CN110234567B Hochleistungs-Wolframlegierungsrohr und sein Herstellungsverfahren
- US102345678B2 Wolframlegierungsrohr mit verbesserten mechanischen Eigenschaften

5. Branchenberichte und Marktanalysen

- Globaler Entwicklungsbericht zur Wolframlegierungsindustrie, China Tungsten Industry Association, 2023
- Marktnachfrage und zukünftige Trendanalyse für Wolframlegierungsrohre, CCID Consulting, 2024
- Whitepaper zur Innovation in der Wolframlegierungs-Materialtechnologie, CTIA GROUP Research Center, 2023

6. Technische Normen und Richtlinien für Prüfverfahren

- Prüfverfahren für mechanische Eigenschaften von Wolframlegierungen, Nationales Zentrum für Materialprüfung, 2022
- Technische Spezifikationen für die Größen- und Formprüfung von Wolframlegierungsrohren, China Machinery Industry Standardization Research Institute, 2021
- Richtlinien für die zerstörungsfreie Prüfung von Oberflächendefekten in Wolframlegierungsrohren, Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung, 2023

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Akademische Arbeiten und Konferenzmaterialien

- Proceedings der Internationalen Konferenz zu Wolfram und hochschmelzenden Metallen, 2022
- Journal of Materials Science & Technology – Sonderausgabe zu Wolframlegierungen, 2023
- „Forschung zur Leistungsoptimierung und Anwendung von hochdichten Wolframlegierungsrohren“, Proceedings der Jahreskonferenz der Chinesischen Gesellschaft für Materialforschung, 2023

Anhang 4: Glossar und englische Abkürzungen zu Wolframlegierungsrohren

1. Begriffe im Zusammenhang mit Wolframlegierungsrohren

- **Wolframlegierungsrohre sind Hohlrohre**
aus hochdichtem Wolfram und Legierungselementen, die durch Pulvermetallurgie und Formgebungsverfahren hergestellt werden. Sie zeichnen sich durch hohe Dichte, hohe Festigkeit und gute Korrosionsbeständigkeit aus.
- **Pulvermetallurgie (PM)**
ist ein Verfahren zur Herstellung von Legierungsmaterialien durch Pressen und Sintern von Metallpulvern, das sich zur Herstellung von Rohren aus Wolframlegierungen mit hoher Dichte eignet.
- **Isostatisches Pressen (HIP)**
ist ein Verdichtungsverfahren, bei dem ein Pulverkörper gleichmäßigem Druck ausgesetzt wird, wodurch die Dichte und Gleichmäßigkeit des Materials verbessert wird.
- **Sintern**
ist ein Prozess, bei dem ein Pulverkörper erhitzt wird, um seine Partikel zu einem festen Material zu verbinden. Dies ist der Schlüssel zur Leistungsentwicklung von Wolframlegierungsrohren.
- **Unter Verdichtung**
versteht man den Prozess der Verkleinerung der inneren Poren des Materials und der Erhöhung der Dichte, was sich direkt auf die mechanischen Eigenschaften von Rohren aus Wolframlegierung auswirkt.
- **Mikrostruktur**
versteht man die unter dem Mikroskop sichtbare Strukturmorphologie im Inneren des Materials, einschließlich Korngröße, Phasenverteilung usw., die die Leistung beeinflusst.
- **den mechanischen Eigenschaften**
zählen mechanische Leistungsindikatoren von Materialien wie Festigkeit, Härte, Zähigkeit und Elastizitätsmodul.
- **Zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP)**
sind Verfahren zur Bewertung innerer oder oberflächlicher Defekte von Materialien, ohne diese zu zerstören, wie beispielsweise Ultraschall- und Röntgenprüfungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Korrosionsbeständigkeit:**
Die Fähigkeit eines Materials, chemischer oder elektrochemischer Korrosion zu widerstehen.
- **Additive Fertigung (AM) ist**
eine fortschrittliche Fertigungstechnologie, bei der Werkstücke mit komplexen Formen durch schichtweises Aufeinanderichten von Materialien hergestellt werden.
- **Oberflächenbehandlung ist**
ein Verfahren zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften von Materialien, einschließlich Polieren, Galvanisieren, Sprühen usw.
- **Die Gleichmäßigkeit der Wandstärke**
bezieht sich auf die Konsistenz der Wandstärke des Wolframlegierungsrohrs über die Länge und den Umfang.
- **Konzentrität**
ist der Grad der Übereinstimmung der Achsen der inneren und äußeren zylindrischen Oberflächen.

2. Erklärung der englischen Abkürzungen

Abkürzungen	Vollständiger Name	Interpretation
PM	Pulvermetallurgie	Pulvermetallurgie
HÜFTE	Heißisostatisches Pressen	Heißisostatisches Pressen
NDT	Zerstörungsfreie Prüfung	Zerstörungsfreie Prüfung
Rasterelektronenmikroskop (SEM)	Rasterelektronenmikroskop	Rasterelektronenmikroskopie
XRD	Röntgenbeugung	Röntgenbeugung
ICP	Induktiv gekoppeltes Plasma	Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma zur Elementanalyse
RFA	Röntgenfluoreszenz	Röntgenfluoreszenzanalyse
ONH	Sauerstoff-, Stickstoff-, Wasserstoffanalyse	Analyse des Sauerstoff-, Stickstoff- und Wasserstoffgehalts
ASTM	Amerikanische Gesellschaft für Prüfung und Materialien	Amerikanische Gesellschaft für Prüfung und Materialien
GB/T	Gubio (Nationaler Standard, empfohlen)	National empfohlener Standard in China
YS/T	Industriestandard	Industriestandards
RoHS	Beschränkung gefährlicher Stoffe	Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe
ERREICHEN	Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe	Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (RECs)
Sicherheitsdatenblatt	Sicherheitsdatenblatt	Sicherheitsdatenblätter

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

PVD	Physikalische Gasphasenabscheidung	Physikalische Gasphasenabscheidung
BIN	Additive Fertigung	Additive Fertigung
ISO	Internationale Organisation für Normung	Internationale Organisation für Normung
MIL	Militärstandard	Militärstandard

Die oben genannten Begriffe und Abkürzungen sollen dem Leser helfen, die im Bereich der Wolframlegierungsrohre häufig verwendeten Fachbegriffe und zugehörigen Standardausdrücke schnell zu verstehen und den technischen Austausch sowie das Lesen der Literatur zu erleichtern.