

Enzyklopädie der Molybdänstäbe

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

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

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

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



Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces

Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry

Electrodes and targets for vacuum coating equipment

High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines

Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry

Medical devices and X-ray targets

High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 - 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10 - 25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm - 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Verzeichnis

Kapitel 1 Einleitung

- 1.1 Definition und Überblick über Molybdänstäbe
- 1.2 Historische Entwicklung der Molybdänstäbe
- 1.3 Die Bedeutung von Molybdänstäben in der modernen Industrie
- 1.4 Globaler Marktstatus und Entwicklungstrends

Kapitel 2 Materialeigenschaften von Molybdänstäben

- 2.1 Chemische Zusammensetzung und atomare Struktur von Molybdän
- 2.2 Kristallstruktur und Phasenänderungen von Molybdän
- 2.3 Physikalische Eigenschaften von Molybdänstäben
 - 2.3.1 Dichte und Schmelzpunkt von Molybdänstäben
 - 2.3.2 Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnungskoeffizient von Molybdänstäben
 - 2.3.3 Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand von Molybdänstäben
- 2.4 Mechanische Eigenschaften von Molybdänstäben
 - 2.4.1 Festigkeit und Härte von Molybdänstäben
 - 2.4.2 Duktilität und Zähigkeit von Molybdänstäben
 - 2.4.3 Kriechverhalten von Molybdänstäben bei hohen Temperaturen
- 2.5 Chemische Eigenschaften von Molybdänstäben
 - 2.5.1 Oxidationsbeständigkeit von Molybdänstäben
 - 2.5.2 Korrosionsbeständigkeit von Molybdänstäben (Säuren, Laugen, geschmolzene Salze usw.)
- 2.6 Vergleich von Molybdän und Molybdänbasislegierungen
- 2.7 Vergleich der Eigenschaften von Molybdänstäben mit anderen Hochtemperaturwerkstoffen
- 2.8 Molybdänstab MSDS von CTIA GROUP LTD

Kapitel 3 Herstellung und Herstellungsprozess von Molybdänstäben

- 3.1 Beschaffung von Molybdän-Rohstoffen
 - 3.1.1 Abbau und Aufbereitung von Molybdänerz
 - 3.1.2 Reinigung von Molybdänkonzentrat
- 3.2 Pulvermetallurgischer Prozess von Molybdänstäben
 - 3.2.1 Herstellung von Molybdänpulver (Reduktionsmethode, Zerstäubungsmethode)
 - 3.2.2 Kontrolle der Pulverpartikelgröße und -reinheit
 - 3.2.3 Formpressen (kaltisostatisches Pressen, Formen)
- 3.3 Sinterprozess von Molybdänstäben
 - 3.3.1 Vakuum-Sintern
 - 3.3.2 Wasserstoff-Schutz-Sintern
 - 3.3.3 Hochtemperatur-Sinteranlagen und Parameteroptimierung
- 3.4 Thermische Prozesstechnologie von Molybdänstäben
 - 3.4.1 Schmiedeprozess
 - 3.4.2 Walzprozess
 - 3.4.3 Ablauf des Zeichnens
- 3.5 Oberflächenbehandlungstechnik von Molybdänstäben

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 3.5.1 Mechanisches Polieren
- 3.5.2 Chemische Reinigung
- 3.5.3 Oberflächenbeschichtungen (Antioxidationsbeschichtungen, etc.)
- 3.6 Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung von Molybdänstäben
- 3.6.1 Fehlerkontrolle im Produktionsprozess
- 3.6.2 Überwachung und Optimierung von Prozessparametern

Kapitel 4 Arten und Spezifikationen von Molybdänstäben

- 4.1 Klassifizierung nach Zusammensetzung
- 4.1.1 Hochreine Molybdänstäbe (Reinheit $\geq 99,95\%$)
- 4.1.2 Dotierte Molybdänstäbe (TZM, Mo-La, Mo-W, etc.)
- 4.2 Klassifizierung nach Oberflächenzustand
- 4.2.1 Stäbe aus schwarzem Molybdän
- 4.2.2 Polieren von Molybdänstäben
- 4.2.3 Reinigung von Molybdänstäben
- 4.3 Klassifizierung nach Größe und Form
- 4.3.1 Runde Molybdänstäbe
- 4.3.2 Quadratische und andere speziell geformte Molybdänstäbe
- 4.3.3 Mikro-Molybdänstäbe und große Molybdänstäbe
- 4.4 Kundenspezifisches Molybdänstab-Design
- 4.4.1 Analyse der Kundennachfrage
- 4.4.2 Besondere Spezifikationen und Leistungsanpassung

Kapitel 5 Leistungsprüfung und Bewertung von Molybdänstäben

- 5.1 Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Molybdänstäben
- 5.1.1 Zugversuch von Molybdänstäben
- 5.1.2 Druckprüfung von Molybdänstäben
- 5.1.3 Biege- und Schubprüfung
- 5.2 Hochtemperatur-Leistungstest von Molybdänstäben
- 5.2.1 Zeitstandversuch von Molybdänstäben
- 5.2.2 Thermischer Ermüdungstest von Molybdänstäben
- 5.2.3 Prüfung der Oxidationsbeständigkeit von Molybdänstäben
- 5.3 Gefügeanalyse von Molybdänstäben
- 5.3.1 Rasterelektronenmikroskopie (REM) Analyse
- 5.3.2 Röntgenbeugungsanalyse (XRD)
- 5.3.3 Energiespektroskopie (EDS)
- 5.4 Prüfung der chemischen Eigenschaften von Molybdänstäben
- 5.4.1 Prüfung der Korrosionsbeständigkeit von Molybdänstäben
- 5.4.2 Bewertung der chemischen Stabilität von Molybdänstäben
- 5.5 Schadensanalyse von Molybdänstäben
- 5.5.1 Analyse des Bruchmechanismus von Molybdänstäben
- 5.5.2 Ermüdungs- und Verschleißanalyse von Molybdänstäben
- 5.5.3 Lebensdauervorhersagemodell für Molybdänstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 6 Produktionsanlagen für Molybdänstäbe

- 6.1 Rohmaterialumschlaggeräte für Molybdänstäbe
 - 6.1.1 Brech- und Mahlanlagen
 - 6.1.2 Reinigungsanlagen (Röstöfen, Reduktionsöfen)
- 6.2 Pulvermetallurgische Ausrüstung für Molybdänstäbe
 - 6.2.1 Misch- und Pressanlagen
 - 6.2.2 Sinteröfen (Vakuumöfen, Atmosphärenöfen)
- 6.3 Thermische Prozessausrüstung für Molybdänstäbe
 - 6.3.1 Schmiedeausrüstung
 - 6.3.2 Walzwerke und Ziehmaschinen
- 6.4 Oberflächenbehandlungsanlagen für Molybdänstäbe
 - 6.4.1 Poliermaschinen
 - 6.4.2 Reinigungsgeräte
- 6.5 Prüfgeräte für Molybdänstäbe
 - 6.5.1 Zerstörungsfreie Prüfeinrichtungen (Ultraschall, Röntgen)
 - 6.5.2 Prüfgeräte für Abmessungen und Oberflächenqualität
- 6.6 Automatische und intelligente Produktionsanlagen für Molybdänstäbe
 - 6.6.1 Automatische Steuerung von Produktionslinien
 - 6.6.2 Intelligentes Monitoring und Datenanalyse

Kapitel 7 Anwendungsgebiete von Molybdänstäben

- 7.1 Hochtemperaturöfen und thermische Anlagen
 - 7.1.1 Molybdänstäbe als Heizelemente
 - 7.1.2 Stütz- und Befestigungsteile
- 7.2 Elektronik- und Halbleiterindustrie
 - 7.2.1 Elektroden-Materialien
 - 7.2.2 Sputtern von Zielen
 - 7.2.3 Vakuumröhren und Komponenten für Ionenquellen
- 7.3 Luft- und Raumfahrt
 - 7.3.1 Hochtemperatur-Strukturbauteile
 - 7.3.2 Komponenten des Antriebssystems
- 7.4 Glas- und Keramikindustrie
 - 7.4.1 Glasschmelzelektroden
 - 7.4.2 Keramische Sinterstützen
- 7.5 Medizinische und wissenschaftliche Forschung
 - 7.5.1 Röntgenröhren-Targets
 - 7.5.2 Labor-Hochtemperatur-Versuchsgeräte
- 7.6 Neue Anwendungen
 - 7.6.1 3D-Druck und additive Fertigung
 - 7.6.2 Anwendungen in der Nuklearindustrie

8. Kapitel: In- und ausländische Normen und Spezifikationen für Molybdänstäbe

- 8.1 Internationale Normen für Molybdänstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 8.1.1 ASTM-Normen (ASTM B387 usw.)
- 8.1.2 ISO-Normen
- 8.2 Inländische Normen für Molybdänstäbe
 - 8.2.1 GB/T Standard (GB/T 3462 usw.)
 - 8.2.2 Industriestandards und Unternehmensstandards
- 8.3 Zertifizierung und Konformität von Molybdänstäben
 - 8.3.1 Prozess der Materialzertifizierung
 - 8.3.2 Einhaltung von Umwelt- und Sicherheitsvorschriften
- 8.4 Normvergleich und Anwendungsszenarioanalyse von Molybdänstäben

9. Kapitel: Verarbeitung, Verwendung und Wartung von Molybdänstäben

- 9.1 Verarbeitungstechnik von Molybdänstäben
 - 9.1.1 Schneiden (Drahtschneiden, Laserschneiden)
 - 9.1.2 Zerspanung (Drehen, Fräsen, Bohren)
 - 9.1.3 Schweiß- und Fügechnik
- 9.2 Umweltauforderungen für die Verwendung von Molybdänstäben
 - 9.2.1 Vakuum und inerte Atmosphären
 - 9.2.2 Umweltschutz bei Hochtemperaturoxidation
- 9.3 Einbau und Befestigung von Molybdänstäben
 - 9.3.1 Installationsprozess und Vorrichtungsdesign
 - 9.3.2 Passende Wärmeausdehnung
- 9.4 Wartung und Reinigung von Molybdänstäben
 - 9.4.1 Methoden der Oberflächenreinigung
 - 9.4.2 Regelmäßige Inspektion und Wartung
- 9.5 Sicherheitsspezifikationen für Molybdänstäbe
 - 9.5.1 Vorsichtsmaßnahmen für den Betrieb bei hohen Temperaturen
 - 9.5.2 Sicherheitsvorschriften für den Umgang mit Chemikalien

Kapitel 10 Recycling und nachhaltige Entwicklung von Molybdänstäben

- 10.1 Recyclingprozess für Molybdänstäbe
 - 10.1.1 Sammlung und Sortierung von Abfällen
 - 10.1.2 Recycling- und Reinigungstechnik
- 10.2 Umweltauswirkungen von Molybdänstäben und umweltfreundlicher Produktion
 - 10.2.1 Energieverbrauch und Emissionen im Produktionsprozess
 - 10.2.2 Verbesserung des Umweltschutzprozesses
- 10.3 Kreislaufwirtschaft und Strategie für nachhaltige Entwicklung von Molybdänstäben

Kapitel 11 Die neueste Technologie und der zukünftige Trend von Molybdänstäben

- 11.1 Fortschritt der Forschung und Entwicklung von Molybdän-basierten Legierungen
 - 11.1.1 Optimierung von TZM- und Mo-La-Legierungen
 - 11.1.2 Neue Dopingtechnologien
- 11.2 Entwicklung nanostrukturierter Molybdänstäbe
- 11.3 Intelligente Produktions- und Prüftechnik

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

11.3.1 Online-Monitoring und Big-Data-Analyse

11.3.2 Anwendung von Künstlicher Intelligenz bei der Herstellung von Molybdänstäben

11.4 Das Potenzial von Molybdänstäben im Bereich der Neuen Energie

11.4.1 Wasserstoffenergie und Energiespeicheranwendungen

11.4.2 Unterstützung von supraleitenden Hochtemperaturmaterialien

11.5 Zukünftige Forschungsrichtungen und Herausforderungen für Molybdänstäbe

Anhang

A. Glossar der Begriffe

B. Verweise

Kapitel 1 Einleitung

1.1 Definition und Übersicht der Molybdänstäbe

Molybdänstab ist ein stabartiges Material aus hochreinem Molybdän oder Legierungen auf Molybdänbasis (wie TZM, Mo-La), das normalerweise durch pulvermetallurgisches Verfahren oder thermisches Verarbeitungsverfahren hergestellt wird, mit hervorragenden Hochtemperatureigenschaften, mechanischer Festigkeit und chemischer Stabilität. Die Reinheit von Molybdänstäben erreicht in der Regel mehr als 99,95%, der Durchmesser reicht von wenigen Millimetern bis zu mehreren zehn Millimetern, und die Länge kann je nach Anwendungsbedarf angepasst werden. Der Oberflächenzustand von Molybdänstäben umfasst schwarz (unpoliert, Oberflächenoxidschicht beibehalten), poliert (mechanisches oder chemisches Polieren) und gewaschen (Entfernung von Oberflächenverunreinigungen), um den Anforderungen verschiedener Anwendungsszenarien gerecht zu werden.

Als Refraktärmetall hat Molybdän einen hohen Schmelzpunkt (2623 °C), einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten (ca. $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) und eine gute Wärmeleitfähigkeit (ca. 138 W/m·K) und Leitfähigkeit, wodurch es hervorragend für hohe Temperaturen und extreme Umgebungen geeignet ist. Zu den Hauptmerkmalen von Molybdänstab gehören hohe Temperaturbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Kriechbeständigkeit und gute Verarbeitungseigenschaften, die ihn in Hochtemperaturöfen, elektronischen Halbleitern, Luft- und Raumfahrt, Glasherstellung und anderen Industrien weit verbreitet machen. Darüber hinaus können Molybdänstäbe mit Elementen wie Titan, Zirkonium, Lanthan usw. dotiert werden, um ihre Hochtemperaturfestigkeit und Oxidationsbeständigkeit weiter zu optimieren.

Molybdänstäbe gibt es in einer Vielzahl von Formen, darunter Rundstäbe, Vierkantstäbe und andere speziell geformte Stäbe, und ihr Herstellungsprozess umfasst einen kompletten Prozess von der Reinigung des Molybdänerzes über die Pulvermetallurgie bis hin zur thermischen Verarbeitung und Oberflächenbehandlung. Die Leistung und Qualität von Molybdänstäben wird von Faktoren wie der Reinheit des Rohmaterials, dem Sinterprozess und der Verarbeitungsgenauigkeit beeinflusst, so dass die Prozessparameter während des Produktionsprozesses streng kontrolliert werden müssen, um die Produktkonsistenz zu gewährleisten. Molybdänstäbe werden in Anwendungen mit unterschiedlichen Anforderungen an Größe, Oberflächenbeschaffenheit und Leistung eingesetzt, wie z. B. hohe Reinheit und Oberflächengüte in der Halbleiterindustrie sowie Oxidationsbeständigkeit und mechanische Festigkeit in Hochtemperaturöfen.

1.2 Historische Entwicklung der Molybdänstäbe

Die Geschichte des Molybdäns lässt sich bis zum Ende des 18. Jahrhunderts zurückverfolgen, als der schwedische Chemiker Carl Wilhelm Scheele 1778 erstmals Molybdänsäure aus Molybdänerz isolierte und damit den Grundstein für die Erforschung der Molybdänchemie legte. Im Jahr 1781 gelang es Peter Jacob Hjelm, das Metall Molybdän durch Reduktion von Molybdänsäure herzustellen und damit die offizielle Entdeckung von Molybdän als metallisches Element zu markieren. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde Molybdän aufgrund seiner Seltenheit und schwierigen Extraktion hauptsächlich für die Laborforschung verwendet, und erst zu Beginn des 20.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Jahrhunderts wurde mit dem Fortschritt der metallurgischen Technologie nach und nach die industrielle Herstellung von Molybdän möglich.

Als eine Art von Molybdänprodukten ist die Entwicklung von Molybdänstäben eng mit der Reife der Pulvermetallurgietechnologie verbunden. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden Molybdänstäbe bei der Herstellung von Glühbirnen und Vakuumröhren verwendet und wurden aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer guten elektrischen Leitfähigkeit zu einem alternativen Material zu Wolframdraht. In den 1920er Jahren förderte die industrielle Produktion in den USA und Deutschland den Einsatz von Molybdänstäben in Hochtemperaturöfen und in der Glasindustrie. Während des Zweiten Weltkriegs wurden Molybdänstäbe wegen ihres Potenzials im Bereich der Superlegierungen und der Luft- und Raumfahrt geschätzt, insbesondere in Düsentriebwerken und Raketenantrieben.

Mitte bis Ende des 20. Jahrhunderts, mit dem Aufkommen der Halbleiterindustrie, nahm die Verwendung von Molybdänstäben als Sputtertargets und Elektrodenmaterialien erheblich zu. Die Entwicklung von TZM-Legierungen (Titan-Zirkonium-Molybdän) und Mo-La (Molybdän-Lanthan)-Legierungen hat die Hochtemperaturbeständigkeit und die Kriechfestigkeit von Molybdänstäben weiter verbessert und ihren Einsatz in anspruchsvolleren Umgebungen ermöglicht. Seit dem 21. Jahrhundert wurde der Produktionsprozess von Molybdänstäben kontinuierlich optimiert, und die Einführung von Automatisierung und intelligenten Technologien hat die Produktionseffizienz und die Produktqualität verbessert. In der modernen Molybdänstabherstellung werden beispielsweise Vakuumsintern und Präzisionswalztechnologie eingesetzt, um hochreine, maßgenaue Stäbe herzustellen.

Chinas Molybdänindustrie ist in den letzten Jahrzehnten rasant gewachsen und hat sich zum weltweit größten Produzenten und Verbraucher von Molybdän entwickelt. Dank der reichhaltigen Molybdänervorkommen und der fortschrittlichen Produktionstechnologie nehmen chinesische Unternehmen eine wichtige Position in der Forschung und Entwicklung sowie in der Produktion von Molybdänstäben ein, was die Popularität von Molybdänstäben auf dem Weltmarkt fördert.

1.3 Die Bedeutung von Molybdänstäben in der modernen Industrie

Molybdänstab hat eine unersetzliche Stellung in der modernen Industrie, und seine Bedeutung beruht auf seinen einzigartigen Materialeigenschaften und seinem breiten Anwendungsspektrum. Im Folgenden wird die Rolle von Molybdänstäben in der modernen Industrie unter mehreren Schlüsselaspekten beschrieben:

Hochtemperaturanwendungen: Der hohe Schmelzpunkt und die Kriechfestigkeit von Molybdänstäben machen sie zu idealen Materialien für Hochtemperaturöfen (z. B. Vakuumöfen, Wasserstofföfen) und werden häufig in Heizelementen, Stützstäben und Wärmesieben verwendet. Molybdänstäbe können in Umgebungen bis zu 1800 °C stabil arbeiten, was deutlich besser ist als bei herkömmlichen Metallmaterialien.

Elektronik- und Halbleiterindustrie: Molybdänstäbe werden häufig als Sputtertargets in

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Dünnschichtabscheidungsprozessen für die Herstellung von integrierten Schaltkreisen, Solarzellen und Flachbildschirmen verwendet. Die hohe Reinheit und das homogene Gefüge sorgen für die Qualität der Folie. Darüber hinaus werden Molybdänstäbe auch als Elektrodenmaterialien für Vakuumröhren und Ionenquellen verwendet.

Luft- und Raumfahrt: Molybdänstäbe werden in der Luft- und Raumfahrtindustrie zur Herstellung von Hochtemperatur-Strukturteilen wie Düsen für Düsentriebwerke und Komponenten für Raketenantriebe verwendet. Sein niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient und seine hohe Festigkeit gewährleisten Zuverlässigkeit unter extremen Temperatur- und Belastungsbedingungen.

Glas- und Keramikindustrie: Molybdänstäbe werden als Elektroden in Glasschmelzöfen verwendet, da sie beständig gegen Hochtemperaturkorrosion und chemisch stabil sind und der Erosion von geschmolzenem Glas standhalten. Darüber hinaus werden Molybdänstäbe auch als Stützbauteile im keramischen Sinterprozess eingesetzt.

Medizin & Forschung: Molybdänstäbe werden als Targets in Röntgenröhren verwendet, um hochenergetische Röntgenstrahlen für die medizinische Diagnostik und Materialanalyse zu erzeugen. Im Bereich der wissenschaftlichen Forschung sind Molybdänstäbe eine Schlüsselkomponente von Hochtemperatur-Versuchsgeräten und unterstützen die Materialwissenschaft und die physikalische Forschung.

Die Bedeutung von Molybdänstäben spiegelt sich auch in ihrer Nachhaltigkeit wider. Molybdän ist ein recycelbares Metall, und Molybdänabfälle können durch den Reinigungsprozess wiederverwendet werden, was den Anforderungen der modernen Industrie an eine umweltfreundliche Fertigung entspricht. Die vielfältigen Anwendungen von Molybdänstäben haben den technologischen Fortschritt in verschiedenen Branchen vorangetrieben, wie z. B. in der neuen Energie (Photovoltaik, Wasserstoffenergie) und in der High-End-Fertigung.

1.4 Globaler Marktstatus und Entwicklungstrends

Der globale Markt für Molybdänstäbe hat in den letzten Jahren ein stetiges Wachstum gezeigt, hauptsächlich aufgrund der gestiegenen Nachfrage aus der Elektronik-, Luft- und Raumfahrt- und Energieindustrie. Branchenberichten zufolge wird die globale Größe des Molybdänmarktes im Jahr 2024 etwa 200 Millionen US-Dollar betragen, wovon Molybdänstäbe als wichtige Produktform einen erheblichen Anteil ausmachen. China ist mit einem Anteil von mehr als 40 % an der Weltproduktion der weltweit größte Produzent von Molybdän, gefolgt von Ländern wie den Vereinigten Staaten, Chile und Peru.

Die aktuelle Marktlage

Produktion und Lieferung: Chinesische Unternehmen nehmen eine beherrschende Stellung bei der Herstellung von Molybdänstäben ein und stützen sich auf reiche Molybdänervorkommen und eine ausgereifte Pulvermetallurgietechnologie.

Nachfragegetrieben: Die rasante Entwicklung der Elektronik- und Halbleiterindustrie treibt die Nachfrage nach hochreinen Molybdänstäben, insbesondere in der 5G-Technologie, KI-Chips und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Photovoltaik. Auch in der Luft- und Raumfahrt steigt die Nachfrage nach Stäben aus TZM- und Mo-La-Legierungen.

Preisschwankungen: Die Preise für Molybdänstäbe werden stark von der Rohstoffversorgung, der Geopolitik und der Marktnachfrage beeinflusst. In den letzten Jahren haben sich die Molybdänpreise im Allgemeinen stabilisiert, aber die Produktionskosten sind aufgrund steigender Energiekosten und strengerer Umweltauflagen gestiegen.

Tendenzen

Hochleistungs-Legierungsstäbe: Die Forschung und Entwicklung von dotierten Molybdänstäben wie TZM und Mo-La steht im Mittelpunkt der Zukunft, mit dem Ziel, die Hochtemperaturfestigkeit und Oxidationsbeständigkeit zu verbessern, um den Anforderungen der Luft- und Raumfahrt- und Nuklearindustrie gerecht zu werden.

Umweltfreundliche Produktion: Mit der Verbesserung der Umweltschutzanforderungen setzen die Hersteller von Molybdänstäben energie- und emissionsarme Verfahren ein, wie z. B. umweltfreundliche Reinigungstechnologie und Abfallrecyclingsysteme.

Intelligente Fertigung: Automatisierte Produktionslinien und intelligente Inspektionstechnologien, wie z. B. die Inline-Röntgeninspektion, verändern die Art und Weise, wie Molybdänstäbe hergestellt werden, und verbessern die Effizienz und Konsistenz.

Neue Anwendungen: Es wird erwartet, dass das aufkommende Potenzial von Molybdänstäben in neuen Energiebereichen wie Wasserstoffelektrolyseuren und supraleitenden Hochtemperaturmaterialien sowie der additiven Fertigung (3D-Druck) das weitere Wachstum des Marktes vorantreiben wird.

Regionale Marktdynamik: China ist weiterhin führend auf dem globalen Markt für Molybdänstäbe, während die Nachfrage in Indien und Südostasien schnell wächst, was es zu einem neuen Markt-Hotspot macht.

Herausforderung

Risiko der Rohstoffversorgung: Die regionale Konzentration von Molybdänervorkommen kann zu Versorgungsschwankungen führen.

Technische Barrieren: Die Herstellung von hochreinen Molybdänstäben und Stabstäben aus Speziallegierungen stellt extrem hohe technische Anforderungen und erschwert kleinen und mittelständischen Unternehmen den Markteintritt.

Umweltbelastung: Die Probleme des Energieverbrauchs und der Emissionen bei der Reinigung und Verarbeitung von Molybdän müssen weiter gelöst werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



CTIA GROUP LTD polierte Molybdänstäbe

CTIA GROUP LTD Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces

Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry

Electrodes and targets for vacuum coating equipment

High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines

Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry

Medical devices and X-ray targets

High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 - 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10 - 25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm - 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Kapitel 2 Materialeigenschaften von Molybdänstäben

2.1 Chemische Zusammensetzung und atomare Struktur von Molybdän

Molybdän (Elementsymbol Mo, Ordnungszahl 42) ist ein Übergangsmetall, das mit einem Atomgewicht von 95,94 g/mol zur fünften Gruppe von Elementen der sechsten Periode gehört. Die chemische Zusammensetzung von Molybdän besteht hauptsächlich aus hochreinem elementarem Molybdän, und die Reinheit von industriellem Molybdänstab erreicht in der Regel mehr als 99,95%, und der Gehalt an Verunreinigungselementen (wie Eisen, Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff usw.) wird streng auf ppm-Ebene kontrolliert, um seine Leistungsstabilität zu gewährleisten. Molybdänstäbe werden in einigen Anwendungen mit Spurenelementen (z. B. Titan, Zirkonium, Lanthan) dotiert, um Legierungen auf Molybdänbasis wie TZM (Titan-Zirkonium-Molybdän) oder Mo-La (Molybdän-Lanthan) zu bilden, um die Hochtemperaturfestigkeit oder Oxidationsbeständigkeit zu verbessern.

Aus der Perspektive der atomaren Struktur ist die elektronische Konfiguration von Molybdän [Kr] 4d⁵ 5s¹, das eine starke metallische Bindungsfähigkeit aufweist. Sein Atomradius beträgt etwa 139 pm, seine Elektronegativität 2,16 (Pauling-Skala) und er weist eine mäßige chemische Aktivität auf. Die chemische Stabilität von Molybdän macht es hervorragend in Umgebungen mit hohen Temperaturen und korrosiven Umgebungen, erfordert jedoch unter bestimmten Bedingungen, wie z. B. Oxidationsumgebungen bei hohen Temperaturen, Schutzmaßnahmen. Die chemischen Eigenschaften von Molybdän werden durch seine atomare Struktur beeinflusst, und die Elektronenverteilung der 4d- und 5s-Orbitale verleiht ihm einen hohen Schmelzpunkt und eine hohe mechanische Festigkeit, während eine gewisse Duktilität erhalten bleibt.

Die Reinheit von Molybdän ist entscheidend für seine Eigenschaften. So kann beispielsweise ein zu hoher Sauerstoffgehalt (>50 ppm) zur Versprödung der Korngrenzen führen und die Zähigkeit von Molybdänstäben verringern. Daher werden im Produktionsprozess häufig Vakuumschmelzen oder Wasserstoffreduktionsverfahren eingesetzt, um Verunreinigungen zu reduzieren. Industrienormen (z. B. ASTM B387) haben klare Anforderungen an die chemische Zusammensetzung von Molybdänstäben, wie z. B. 0,01 % Eisengehalt und 0,005 % Kohlenstoffgehalt \leq 0,005 %. Chinatungsten Online und andere Brancheninformationen wiesen darauf hin, dass die Herstellung von hochreinen Molybdänstäben eine strenge Kontrolle der Rohstoffquellen und Reinigungsprozesse erfordert, um stark nachgefragte Anwendungen wie Halbleiter und Luft- und Raumfahrt zu erfüllen.

2.2 Kristallstruktur und Phasenänderungen von Molybdän

Die Kristallstruktur von Molybdän ist Body-Centered Cubic (BCC) mit einer Gitterkonstante von etwa 0,3147 nm. Diese Struktur verleiht Molybdän einen hohen Schmelzpunkt und gute mechanische Eigenschaften, während es gleichzeitig die strukturelle Stabilität bei hohen Temperaturen beibehält. Die Molybdänatome in der BCC-Struktur sind eng angeordnet und weisen weniger Kristalldefekte (wie Versetzungen, Korngrenzen) auf, was dazu beiträgt, dass sie dem Kriechen bei hohen Temperaturen widerstehen kann.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdän behält eine einzige BCC-Phase von Raumtemperatur bis zum Schmelzpunkt (2623 °C) ohne allotropen Übergang bei, was ihm stabile physikalische und mechanische Eigenschaften über einen weiten Temperaturbereich verleiht. Bei hohen Temperaturen können Molybdänkörner jedoch wachsen, was zu einer Abnahme der mechanischen Eigenschaften führt, so dass dotierte Elemente wie Lanthan oder Titan häufig verwendet werden, um die Körner zu verfeinern und die Korngrenzfestigkeit zu erhöhen. Die Mo-La-Legierung wird durch Zugabe von Lanthanoxid (La_2O_3) gebildet, um eine dispergierte Phase zu bilden, die das Kornwachstum effektiv hemmt und die Leistung bei hohen Temperaturen verbessert.

In Bezug auf den Phasenwechsel wird Molybdän bei Atmosphärendruck direkt von einem festen in einen gasförmigen Zustand (ca. 4650 °C) sublimiert, ohne einen flüssigen Zustand zu durchlaufen, wodurch es besser für Hochtemperaturanwendungen im Vakuum oder in inerten Atmosphären geeignet ist. Die Phasenstabilität von Molybdän macht es zu einem idealen Material für Hochtemperaturöfen und Vakuumanlagen, aber es muss sich vor Oxidationsreaktionen (MoO_3 -Erzeugung) in oxidierenden Atmosphären in Acht nehmen. Die Röntgenbeugungsanalyse (XRD) zeigte, dass die Kristallorientierung und Mikrostruktur von Molybdänstäben durch Verarbeitungstechnologien (wie Walzen und Schmieden) beeinflusst wurden und die bevorzugte Ausrichtung in axialer Richtung seine mechanischen Eigenschaften verbessern könnte.

Akademische Studien haben gezeigt, dass die Kristallstruktur von Molybdänstäben einen signifikanten Einfluss auf ihre elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit hat. Die kompakte Anordnung der BCC-Struktur führt zu einer hohen Wärmeleitfähigkeit, während das Vorhandensein von Korngrenzen und Verunreinigungen die Leistung beeinträchtigen kann. Daher erfordert die Herstellung von Hochleistungs-Molybdänstäben optimierte Sinter- und thermische Prozessprozesse, um Kristalldefekte und Verunreinigungen zu reduzieren.

2.3 Physikalische Eigenschaften von Molybdänstäben

Die physikalischen Eigenschaften von Molybdänstäben sind die Grundlage für ihr breites Anwendungsspektrum bei hohen Temperaturen und extremen Umgebungen. Aus drei Aspekten werden folgende Aspekte herausgearbeitet: Dichte und Schmelzpunkt, Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnungskoeffizient, Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand.

2.3.1 Dichte und Schmelzpunkt von Molybdänstäben

Die Dichte von Molybdänstäben beträgt $10,28 \text{ g/cm}^3$ (20°C), was etwas niedriger ist als die von Wolfram ($19,25 \text{ g/cm}^3$), aber höher als die meisten gängigen Metalle (z.B. Eisen, Nickel). Diese Dichte verschafft ihm einen Vorteil bei Anwendungen, die eine hohe Festigkeit erfordern, aber gewichtsempfindlich sind, wie z. B. in der Luft- und Raumfahrt. Die Dichte von Molybdänstäben wird durch ihre Reinheit und Verarbeitungstechnologie beeinflusst, wobei sich die Dichte von hochreinen Molybdänstäben dem theoretischen Wert annähert, während die Dichte von dotierten Legierungen (z. B. TZM) leicht variiert (ca. $10,1\text{--}10,3 \text{ g/cm}^3$).

Mit einem Schmelzpunkt von 2623 °C hat Molybdän nach Wolfram (3422 °C) und Rhenium (3186 °C) einen der höchsten Schmelzpunkte aller Metalle. Der hohe Schmelzpunkt ermöglicht es

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdänstäben, ihre strukturelle Integrität bei extrem hohen Temperaturen, wie z. B. über 1800 °C in einem Vakuumofen, beizubehalten, wodurch sie für die Hochtemperatur-Wärmebehandlung, das Schmelzen von Glas und die Halbleiterherstellung geeignet sind. Der Schmelzpunkt wirkt sich auch auf die Verarbeitungsschwierigkeiten von Molybdänstäben aus, und das Schmieden und Sintern bei hohen Temperaturen muss bei einer Temperatur nahe dem Schmelzpunkt durchgeführt werden, was hohe Anforderungen an die Ausrüstung stellt.

2.3.2 Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnungskoeffizient von Molybdänstäben

Die Wärmeleitfähigkeit von Molybdänstäben beträgt 138 W/m·K (20°C), was eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit aufweist und sich als Heizelement oder Heißsiebmaterial für Hochtemperaturöfen eignet. Im Vergleich zu Wolfram (173 W/m·K) hat Molybdän eine etwas geringere Wärmeleitfähigkeit, kann aber bei hohen Temperaturen immer noch effektiv Wärme ableiten und die thermische Spannungskonzentration reduzieren. Die Wärmeleitfähigkeit nimmt mit steigender Temperatur leicht ab, z.B. ca. 100 W/m·K bei 1000°C, was für die meisten Hochtemperaturanwendungen noch ausreichend ist.

Molybdänstäbe haben einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten von etwa $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20–1000°C), was viel niedriger ist als Stahl (ca. $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) und Kupfer ($16,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient sorgt dafür, dass der Molybdänstab eine gute Dimensionsstabilität bei hohen Temperaturzyklen aufweist und Rissbildung oder Verformung durch thermische Belastung reduziert. Diese Eigenschaft ist besonders wichtig bei der Glasversiegelung und Halbleiterherstellung, wo der Wärmeausdehnungskoeffizient von Molybdänstäben mit dem bestimmter Glas- und Keramikmaterialien übereinstimmt.

2.3.3 Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand von Molybdänstäben

Die Leitfähigkeit von Molybdänstäben beträgt etwa $1,9 \times 10^7$ S/m (20°C) und der spezifische Widerstand $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, es weist eine gute elektrische Leitfähigkeit auf und eignet sich für den Einsatz als Elektroden oder leitende Teile. Der spezifische Widerstand nimmt mit zunehmender Temperatur zu, z.B. ca. $20 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ bei 1000°C. Diese Temperaturabhängigkeit muss bei der Entwicklung von Hochtemperaturelektroden oder Heizelementen berücksichtigt werden, um die Stromstabilität und die Ausgangsleistung zu gewährleisten.

Die Leitfähigkeit von Molybdänstäben wird durch Verunreinigungen und Mikrostruktur beeinflusst, und die Leitfähigkeit von hochreinen Molybdänstäben ist besser als die von dotierten Legierungen. So weisen TZM-Legierungen aufgrund ihres Titan- und Zirkoniumgehalts einen etwas höheren spezifischen Widerstand auf als reine Molybdänstäbe. Branchenberichten zufolge stellt die Halbleiterindustrie extrem hohe Anforderungen an die Leitfähigkeit von Molybdänstäben, die hohe Reinigungsprozesse und Oberflächenbehandlungen erfordern, um Widerstandsschwankungen zu reduzieren.

2.4 Mechanische Eigenschaften von Molybdänstäben

Die mechanischen Eigenschaften von Molybdänstäben sind der Schlüssel zu seiner Zuverlässigkeit in industriellen Anwendungen, und Folgendes wird unter drei Aspekten analysiert: Festigkeit und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Härte, Duktilität und Zähigkeit sowie Kriechverhalten bei hohen Temperaturen.

2.4.1 Festigkeit und Härte von Molybdänstäben

Die Zugfestigkeit von Molybdänstäben beträgt etwa 600–800 MPa und die Streckgrenze bei Raumtemperatur etwa 400–600 MPa, abhängig von der Reinheit, der Verarbeitungstechnologie und der Korngröße. Die Warmumformung (z. B. Schmieden, Walzen) kann die Festigkeit von Molybdänstäben erheblich verbessern, z. B. kann die Zugfestigkeit von geschmiedeten Molybdänstäben mehr als 900 MPa erreichen. Die Härte von Molybdänstäben (Vickers-Härte) liegt bei etwa 200–250 HV, mit einer leichten Härtezunahme nach dem Polieren.

Dotierte Legierungen (z. B. TZM) werden durch Lösungsverfestigung und Ausscheidungsverfestigung erheblich verstärkt, und die Zugfestigkeit von TZM-Molybdänstäben kann 1100 MPa erreichen und die Härte beträgt etwa 270–300 HV. Diese Eigenschaften ermöglichen es Molybdänstäben, ihre strukturelle Integrität bei hohen Temperaturen und Drücken zu erhalten, wie z. B. in Hochtemperaturkomponenten in der Luft- und Raumfahrt.

2.4.2 Duktilität und Zähigkeit von Molybdänstäben

Reine Molybdänstäbe sind bei Raumtemperatur mit einer Dehnung von etwa 10–20 % formbar, aber sie sind weniger duktil und weisen eine gewisse Sprödigkeit auf, insbesondere bei niedrigen Temperaturen (unter $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Die Duktilität kann durch thermische Bearbeitung und Dotierung verbessert werden, z. B. können Mo-La-Legierungen die Korngrenzfestigkeit durch Zugabe von Lanthanoxid mit Dehnungen von mehr als 25 % erhöhen.

Die Zähigkeit von Molybdänstäben wird durch die Korngröße und den Gehalt an Verunreinigungen beeinflusst. Feine Körner und hohe Reinheit reduzieren den Korngrenzschlupf und die Rissausbreitung und verbessern die Bruchzähigkeit (K_{Ic} ca. $10\text{--}15\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Bei hohen Temperaturen ($>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) wird die Duktilität des Molybdänstabs erheblich verbessert und er weist eine gute plastische Verformungsfähigkeit auf, die für die thermische Verarbeitung und das Formen komplexer Formen geeignet ist.

2.4.3 Kriechverhalten von Molybdänstäben bei hohen Temperaturen

Kriechen ist ein wichtiger Leistungsindex von Molybdänstäben bei hohen Temperaturen und Langzeitbelastungen. Reiner Molybdänstab beginnt deutlich über $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu kriechen, und die Kriechgeschwindigkeit beschleunigt sich mit zunehmender Temperatur und Spannung. Bei einer Belastung von $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ und 50 MPa hat reines Molybdän beispielsweise eine Kriechrate von etwa $10^{-5}/\text{h}$. Die Kriechrate von TZM- und Mo-La-Legierungen wurde durch die Ausscheidungsverfestigung deutlich reduziert, und die Kriechrate von TZM konnte bei $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ weniger als $10^{-6}/\text{h}$ betragen.

Das Kriechverhalten wird durch das Gefüge beeinflusst, und bei Molybdänstäben mit größerer Korngröße oder mehr Verunreinigungen in den Korngrenzen ist die Wahrscheinlichkeit eines Kriechbruchs höher. Wärmebehandlungen, wie z.B. Glühen, optimieren das Gefüge und reduzieren Kriechneigungen. Industriestudien haben gezeigt, dass der langfristige Einsatz von Molybdänstäben

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

in Hochtemperaturöfen eine weitere Kriechfestigkeit durch Dotierung und Oberflächenbeschichtungen wie z.B. Silizidbeschichtungen erfordert.

2.5 Chemische Eigenschaften von Molybdänstäben

Die chemischen Eigenschaften von Molybdänstäben bestimmen seine Anwendbarkeit in korrosiven Umgebungen, und Folgendes wird unter zwei Aspekten analysiert: Oxidationsbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

2.5.1 Oxidationsbeständigkeit von Molybdänstäben

Molybdänstäbe sind bei Raumtemperatur oxidationsstabil, aber es ist leicht, flüchtiges Oxid MoO_3 in einer oxidierenden Atmosphäre bei hoher Temperatur ($>600\text{ °C}$) zu bilden, was zu Materialverlust und Leistungseinbußen führt. In Luft bei 800 °C beträgt die Oxidationsrate von Molybdänstäben beispielsweise etwa $0,1\text{--}0,5\text{ mg/cm}^2\cdot\text{h}$. Um die antioxidative Resistenz zu verbessern, werden in der Industrie häufig folgende Maßnahmen ergriffen:

Oberflächenbeschichtung: Silizid- (MoSi_2) oder Aluminiumoxid-Beschichtungen bilden eine Schutzschicht, die die Oxidationsrate deutlich reduziert.

Dotierungsmodifikation: Die Mo-La-Legierung wird durch Lanthanoxiddispersion verstärkt, um die Oxidationsbeständigkeit zu verbessern.

Einsatz von Umweltkontrollen: Die Verwendung von Molybdänstäben im Vakuum oder in inerter Atmosphäre (z. B. Argon, Stickstoff) vermeidet Oxidation.

2.5.2 Korrosionsbeständigkeit von Molybdänstäben (Säuren, Laugen, Salzschnmelzen, etc.)

Der Molybdänstab hat eine gute Korrosionsbeständigkeit gegen eine Vielzahl von Säuren und Laugen bei Raumtemperatur. Zum Beispiel sind Molybdänstäbe in verdünnter Schwefelsäure, Salzsäure und Flusssäure praktisch nicht korrodiert, weisen jedoch eine erhöhte Korrosionsrate in konzentrierter Salpetersäure und alkalischen Hochtemperaturlösungen wie NaOH auf. Molybdänstäbe haben eine gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber geschmolzenen Salzen (wie Natriumchlorid, Fluoridschnmelzen) und eignen sich für den Einsatz als Glasschnmelzelektroden.

In korrosiven Umgebungen mit hohen Temperaturen hängt die Leistung von Molybdänstäben von der Oberflächenbeschaffenheit und dem Umgebungsmedium ab. Polierter Molybdänstab hat weniger Oberflächenfehler und eine bessere Korrosionsbeständigkeit als schwarzer Stab. TZM-Legierungen übertreffen reines Molybdän in korrosiven Atmosphären (z. B. schwefelhaltigen Gasen) aufgrund ihrer Korngrößenverstärkung, die die Korrosionsanfälligkeit verringert. Akademische Studien haben gezeigt, dass Molybdänstäbe aufgrund ihrer Korrosionsbeständigkeit beim Glasschnmelzen und keramischen Sintern von ihrer chemischen Inertheit profitieren, jedoch sollte ein langfristiger Kontakt mit stark oxidierenden Medien vermieden werden.

2.6 Vergleich von Molybdän und Molybdänbasislegierungen

Molybdänstäbe können entsprechend ihrer Zusammensetzung in reine Molybdänstäbe und Stäbe auf Molybdänbasis aus Legierungen (wie z.B. TZM, Mo-La, Mo-W) unterteilt werden. Im Folgenden finden Sie einen Vergleich aus der Perspektive der Leistung und der Anwendung:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Reiner Molybdänstab: \geq Reinheit, mit ausgezeichneter elektrischer und thermischer Leitfähigkeit, geeignet für die Halbleiter- und Elektronikindustrie. Seine hohe Temperaturbeständigkeit und Oxidationsbeständigkeit sind jedoch schlecht, was den Einsatz in extremen Umgebungen einschränkt.

TZM-Legierungsstab (0,5 % Ti, 0,08 % Zr, 0,02 % C): Die Zugfestigkeit (ca. 1100 MPa) und die Kriechfestigkeit von TZM sind durch Lösungsverfestigung und Ausscheidungsverfestigung deutlich besser als die von reinem Molybdän, wodurch es für Luft- und Raumfahrt- und Hochtemperaturofenkomponenten geeignet ist. Die Verarbeitungsschwierigkeit ist jedoch hoch und die Kosten sind hoch.

Mo-La-Legierungsstab (0,3–1 % La_2O_3): Er eignet sich aufgrund seiner Duktilität und Duktilität für den Langzeiteinsatz bei hohen Temperaturen, um die Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen und die Korngrenzfestigkeit durch Dispersionsverfestigung zu verbessern.

Mo-W-Legierungsstäbe: Dotiertes Wolfram (5–30 %) erhöht den Schmelzpunkt und die Festigkeit, verringert jedoch leicht die Leitfähigkeit, wodurch es für spezielle Hochtemperaturanwendungen geeignet ist.

Stäbe aus TZM- und Mo-La-Legierungen sind reinem Molybdän in Bezug auf Hochtemperaturleistung überlegen, aber in Bezug auf Leitfähigkeit und Verarbeitbarkeit etwas schlechter. Die Wahl muss je nach Anwendungsszenario abgewogen werden, z. B. bevorzugt die Halbleiterindustrie hochreine Molybdänstäbe, während die Luft- und Raumfahrt TZM bevorzugt.

2.7 Vergleich der Eigenschaften von Molybdänstäben mit anderen Hochtemperaturwerkstoffen

Die Leistung von Molybdänstäben im Vergleich zu anderen Hochtemperaturmaterialien (z. B. Wolfram, Niob, Tantal, Keramik) ist wie folgt:

Molybdän vs. Wolfram: Wolfram hat einen höheren Schmelzpunkt (3422 °C) als Molybdän und eine höhere Dichte (19,25 g/cm³), wodurch es für Umgebungen mit höheren Temperaturen geeignet ist. Allerdings ist Wolfram schwieriger und teurer zu verarbeiten als Molybdän, und Molybdänstäbe sind bei gewichtssensiblen Anwendungen vorteilhafter.

Molybdän vs. Niob/Tantal: Niob und Tantal haben etwas niedrigere oder nähere Schmelzpunkte (2468 °C und 3017 °C) als Molybdän, sind aber korrosionsbeständiger als Molybdän, insbesondere in stark sauren Umgebungen. Molybdänstäbe sind kostengünstig und eignen sich für großindustrielle Anwendungen.

Molybdän vs. Keramik: Keramiken (z. B. Aluminiumoxid, Siliziumkarbid) haben eine höhere Oxidationsbeständigkeit und chemische Stabilität, haben aber eine schlechte mechanische Zähigkeit und sind anfällig für Sprödbbruch. Die Duktilität und Festigkeit von Molybdänstäben bei hohen Temperaturen eignen sich besser für dynamische Belastungsumgebungen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Die kombinierten Eigenschaften von Molybdänstäben (hoher Schmelzpunkt, geringe Wärmeausdehnung, moderate Kosten) verleihen ihnen einzigartige Vorteile in Hochtemperaturöfen, Halbleitern und in der Luft- und Raumfahrt, aber die richtige Materialkombination muss für die jeweilige Anwendung ausgewählt werden.

2.8 Molybdänstab MSDS von CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD, ein führender Anbieter von Molybdänprodukten in China, bietet Anwendern mit seinem Sicherheitsdatenblatt (MSDS) für Molybdänstäbe eine Anleitung zur sicheren Verwendung und Handhabung von Molybdänstäben. Im Folgenden finden Sie einen Überblick über die wichtigsten Inhalte von CTIA GROUP LTD Molybdänstäben Sicherheitsdatenblatt:

Teil I: Chemische Bezeichnungen

Chemischer Name: Molybdän

Der englische Name der Chemikalie ist Molybdän

CAS-Nr.: 7439-98-7

Summenformel: Mo

Molekulargewicht: 99,95

Teil II: Zusammensetzung/Informationen zur Zusammensetzung

Gehalt 99,95% Molybdän

Teil III: Überblick über die Gefahren

Gesundheitsgefahren: Dieses Produkt ist nicht reizend für Augen und Haut.

Explosionsgefahr: Dieses Produkt ist nicht brennbar und nicht reizend.

Teil IV: Erste-Hilfe-Maßnahmen

Haut-zu-Haut-Kontakt: Kontaminierte Kleidung ausziehen und mit viel fließendem Wasser abspülen.

Blickkontakt: Heben Sie das Augenlid an und spülen Sie es mit fließendem Wasser oder Kochsalzlösung ab. Ärztliche Behandlung.

Einatmen: Vom Tatort an die frische Luft nehmen. Wenn Sie Schwierigkeiten beim Atmen haben, geben Sie Sauerstoff. Ärztliche Behandlung.

Einnahme: Trinken Sie viel warmes Wasser, um Erbrechen auszulösen. Ärztliche Behandlung.

Teil V: Brandschutzmaßnahmen

Schädliche Verbrennungsprodukte: Natürliche Zersetzungsprodukte sind unbekannt.

Feuerlöschmethode: Feuerwehrleute müssen Gasmasken und Ganzkörper-Feuerwehrranzüge tragen, um das Feuer in Windrichtung zu löschen. Feuerlöschmittel: trockenes Lederpulver, Sand.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Teil VI: Notfallbehandlung bei verschütteten Flüssigkeiten

Notfallbehandlung: Isolieren Sie den mit Leckagen kontaminierten Bereich und beschränken Sie den Zugang. Schalten Sie den Brandherd aus. Den Einsatzkräften wird empfohlen, Staubmasken (Vollmasken) und Schutzkleidung zu tragen. Vermeiden Sie Staub, fegen Sie ihn vorsichtig auf, stecken Sie ihn in einen Beutel und bringen Sie ihn an einen sicheren Ort. Wenn eine große Menge an Leckagen vorhanden ist, decken Sie sie mit einem Plastiktuch oder einer Leinwand ab. Sammeln und recyceln oder zur Entsorgung zu einer Mülldeponie transportieren.

Teil VII: Handhabung, Handhabung und Lagerung

Vorsichtsmaßnahmen für den Betrieb: Die Bediener müssen speziell geschult sein und die Betriebsverfahren strikt befolgen. Es wird empfohlen, dass der Bediener selbstansaugende filtrierende Staubmasken, eine chemische Schutzbrille, einen Overall gegen Giftdurchdringung und Gummihandschuhe trägt. Halten Sie sich von Feuer und Wärmequellen fern, und Rauchen ist am Arbeitsplatz strengstens verboten. Verwenden Sie explosionsgeschützte Lüftungssysteme und -geräte. Vermeiden Sie Staubeentwicklung. Vermeiden Sie den Kontakt mit Oxidationsmitteln und Halogenen. Bei der Handhabung ist es notwendig, leicht zu be- und entladen, um Schäden an der Verpackung und den Behältern zu vermeiden. Ausgestattet mit den entsprechenden Sorten und Mengen an Feuerlöschgeräten und Geräten zur Notfallbehandlung von Leckagen. Leere Behälter können Schadstoffe hinterlassen.

Vorsichtsmaßnahmen bei der Lagerung: In einem kühlen, belüfteten Lager lagern. Von Feuer und Wärmequellen fernhalten. Es sollte getrennt von Oxidationsmitteln und Halogenen gelagert und nicht vermischt werden. Ausgestattet mit der entsprechenden Vielfalt und Menge an Feuerlöschgeräten. Der Lagerbereich sollte mit geeigneten Materialien ausgestattet sein, um die Verschüttung einzudämmen.

Teil VIII: Expositionsbegrenzung/Persönlicher Schutz

China MAC (mg/m³): 6

MAC der UdSSR (mg/m³): 6

TLVTN:ACGIH 1mg/m³

TLVWN:ACGIH 3mg/m³

Überwachungsmethode: Kaliumthiocyanid-Titanchlorid-Spektrophotometrie

Technische Kontrolle: Der Produktionsprozess ist staubfrei und vollständig belüftet.

Atemschutz: Wenn die Staubkonzentration in der Luft die Norm überschreitet, muss eine selbstansaugende filtrierende Staubmaske getragen werden. Im Falle einer Notfalleвакуierung sollte ein Atemschutzgerät getragen werden.

Augenschutz: Tragen Sie eine chemische Schutzbrille.

Körperschutz: Tragen Sie einen Anti-Gift-Penetrationoverall.

Handschutz: Tragen Sie Gummihandschuhe.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Teil IX: Physikalisch-chemische Eigenschaften

Hauptbestandteil: Rein

Aussehen und Eigenschaften: massiv, metallisch hochweiß; Blank, schwarze Oberfläche

Schmelzpunkt (°C): 2620

Siedepunkt (°C): 5560

Relative Dichte (Wasser = 1): 9,4~10,2 (20 °C)

Dampfdichte (Luft = 1): Keine Angabe

Sättigungsdampfdruck (kPa): keine Daten verfügbar

Verbrennungswärme (kJ/mol): keine Angabe

Kritische Temperatur (°C): Keine Daten verfügbar

Kritischer Druck (MPa): Keine Daten verfügbar

Logarithmus des Wasserverteilungskoeffizienten: keine Daten

Flammpunkt (°C): Keine Daten verfügbar

Zündtemperatur (°C): Keine Daten

Explosionsgrenze % (V/V): Keine Daten

Untere Explosionsgrenze % (V/V): Keine Daten

Löslichkeit: löslich in Salpetersäure, Flusssäure

Hauptverwendungen: wird bei der Herstellung von Formen, Molybdändrähten, elektronischen Teilen usw. verwendet

Teil X: Stabilität und Reaktivität

Verbotene Substanzen: starke Säuren und Alkalien.

Teil XI:

Akute Toxizität: keine Daten verfügbar

LC50: Keine Daten

Teil XII: Ökologische Daten

In diesem Abschnitt sind keine Informationen verfügbar

Teil XIII: Entsorgung

Abfallentsorgungsmethode: Beziehen Sie sich vor der Entsorgung auf die einschlägigen nationalen und lokalen Gesetze und Vorschriften. Recyceln, wenn möglich.

Teil XIV: Versandinformationen

Gefahrgutnummer: keine Angabe

Verpackungskategorie: Z01

Vorsichtsmaßnahmen für den Transport: Die Verpackung sollte beim Versand vollständig sein und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

die Verladung sollte sicher sein. Während des Transports muss sichergestellt werden, dass der Behälter nicht ausläuft, zusammenbricht, herunterfällt oder beschädigt wird. Es ist strengstens verboten, mit Oxidationsmitteln, Halogenen, essbaren Chemikalien usw. zu mischen. Während des Transports sollte es vor Sonne, Regen und hohen Temperaturen geschützt werden. Die Fahrzeuge sollten nach dem Transport gründlich gereinigt werden.

Teil XV: Regulatorische Informationen

Regulatorische Informationen: Vorschriften über das Sicherheitsmanagement für gefährliche Chemikalien (vom Staatsrat am 17. Februar 1987 verkündet), detaillierte Regeln für die Umsetzung der Vorschriften über das Sicherheitsmanagement für gefährliche Chemikalien (Hua Lao Fa [1992] Nr. 677), Vorschriften über die sichere Verwendung von Chemikalien am Arbeitsplatz ([1996] Lao Bu Fa Nr. 423) und andere Gesetze und Vorschriften, die entsprechende Bestimmungen über die sichere Verwendung, Herstellung, Lagerung, Beförderung, Be- und Entladung gefährlicher Chemikalien erlassen haben; Die Hygienenorm für Wolfram in der Werkstattluft (GB 16229-1996) schreibt die maximal zulässige Konzentration und das Nachweisverfahren dieses Stoffes in der Werkstattluft vor.

Teil XVI: Lieferanteninformationen

Lieferant: CTIA GROUP LTD

Telefonnummer: 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD Molybdänstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces

Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry

Electrodes and targets for vacuum coating equipment

High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines

Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry

Medical devices and X-ray targets

High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 - 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10 - 25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm - 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Kapitel 3 Herstellung und Herstellungsprozess von Molybdänstäben

Die Aufbereitung und Herstellung von Molybdänstäben ist ein komplexer technischer Prozess, der vom Abbau des Molybdänerzes bis zur endgültigen Form des Stabes mehrere Schritte umfasst. Im Folgenden wird der Prozessablauf der Molybdän-Rohstoffbeschaffung, der Pulvermetallurgie, des Sinterns, der thermischen Verarbeitung, der Oberflächenbehandlung und der Qualitätskontrolle detailliert beschrieben, wobei der Schwerpunkt auf der Erweiterung der technischen Details, des Parameterbereichs, der Einflussfaktoren und des neuesten technologischen Fortschritts liegt, um die wissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Grundlagen der Molybdänstabherstellung vollständig widerzuspiegeln.

3.1 Beschaffung von Molybdän-Rohstoffen

Ausgangspunkt für die Herstellung von Molybdänstäben ist die Gewinnung von hochreinem Molybdän-Rohstoff, in der Regel mit Molybdänit (MoS_2) als Hauptquelle. Die Rohstoffbeschaffung umfasst den Erzabbau, die Aufbereitung und die Konzentratreinigung, was komplex ist und einen erheblichen Einfluss auf die Qualität des Endprodukts hat.

3.1.1 Abbau und Aufbereitung von Molybdänerz

Der Abbau von Molybdänerz ist der erste Schritt in der Produktionskette, und Molybdänit ist aufgrund seines hohen Molybdängehalts (ca. 60 %) und seiner guten Aufbereitungseigenschaften der wichtigste industrielle Rohstoff. Die Verteilung der Molybdänerzvorkommen in der Welt konzentriert sich, und zu den Regionen mit reichen Reserven gehören Asien, Nordamerika und Südamerika. Die Erzgehalte liegen in der Regel zwischen 0,05 und 0,5 % Mo, wobei die damit verbundenen Mineralien (z. B. Kupfer, Blei, Wolfram) die Aufbereitung erschweren.

Abbaumethode:

Tagebau: Geeignet für oberflächennahe Erzkörper, mit großen Baggern und Transportfahrzeugen, mit Zehntausenden von Tonnen Erz pro Tag. Der Prozess umfasst das Strahlen, Verladen und Transportieren, was den Vorteil niedriger Kosten hat, aber eine große Umweltbelastung hat und eine Rückraumbehandlung erfordert.

Untertagebau: Geeignet für tiefe Erzkörper, mit Straßenaushub, Gesteinsbohrungen sowie Spreng- und Fördergeräten. Der Untertagebau ist teurer, aber für hochgradige Erzkörper geeignet. Während des Abbauprozesses ist es notwendig, die geologische Stabilität zu überwachen und Erdbeben zu verhindern.

Gemischter Bergbau: Einige Minen verwenden eine Kombination aus Tagebau und Untertagebau, um den Abbauplan entsprechend der Tiefe und Wirtschaftlichkeit des Erzkörpers zu optimieren.

Prozess der Aufbereitung:

Die natürliche Schwimmfähigkeit von Molybdän macht es für Flotationsprozesse wie Zerkleinern, Mahlen, Flotieren, Entwässern und Trocknen geeignet:

Zerkleinerung: Das Roherz wird durch Grobzerkleinerung (Backenbrecher, Korngröße < 150 mm), Nachzerkleinerung (Kegelbrecher, < 50 mm) und Feinzerkleinerung (Prallbrecher, < 10 mm) zur Freisetzung von Molybdänitpartikeln aufbereitet.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Mahlung: Eine Nasskugelmühle oder Stabmühle wird verwendet, um das Erz auf 80 % durch 200 Mesh (ca. 74 μm) zu mahlen, um die Dissoziation des Molybdänitmonomers zu gewährleisten. Mahlkörper (z. B. Stahlkugeln) müssen regelmäßig ausgetauscht werden, um Verunreinigungen zu vermeiden.

Flotation:

Grobtrennung: Rohkonzentrat mit einem Gehalt von 10–20 % Mo wird durch Primärflotation bei einem pH-Wert von 7–9 unter Verwendung von Kollektoren (z. B. Kerosin, Xanthat, 0,1–0,5 kg/t Erz) und Schaumbildnern (z. B. Pineolöl, 0,05–0,2 kg/t) gewonnen.

Auswahl: Das grobe Konzentrat wird 3-5 Mal ausgewählt, und Inhibitoren (wie Natriumsulfid, 0,5-2 kg/t) werden hinzugefügt, um Verunreinigungen wie Kupfer und Blei zu trennen, und schließlich wird Molybdänkonzentrat mit 40-50 % Mo erhalten.

Kehren: Reflotation der Berge zur Gewinnung von Restmolybdän mit einer umfassenden Gewinnungsrate von 85–95 %.

Entwässerung und Trocknung: Das Molybdänkonzentrat wird durch einen Konzentrator (konzentriert auf 60–70 % Feststoffe), eine Filterpresse (<10 % Feuchtigkeit) und eine Wäschespinne (<5 % Feuchtigkeit) verarbeitet, um die Rohstoffe für die anschließende Röstung vorzubereiten.

Einflussfaktoren:

Erzeigenschaften: Die Korngröße und die damit verbundenen Mineralarten von Molybdänit beeinflussen die Flotationseffizienz. Feinkörniges eingebettetes Erz erfordert eine feinere Vermahlung, um den Energieverbrauch zu erhöhen.

Auswahl des Mittels: Das Verhältnis von Kollektor und Inhibitor sollte entsprechend der Erzzusammensetzung optimiert werden, und überschüssige Mittel können den Konzentratgehalt verringern.

Umweltkontrolle: Flotationsabwässer enthalten Schwermetalle und Chemikalien, die neutralisiert, gefällt und recycelt werden müssen, und der pH-Wert wird auf 6,5 bis 7,5 geregelt, um die Einleitung zu reduzieren.

Technologischer Fortschritt:

Intelligente Aufbereitung: Röntgenseparation (XRT) und Nahinfrarotspektroskopie (NIR) werden zur Vorabscheidung des Erzes eingesetzt, um den Mahlgrad zu erhöhen und den Energieverbrauch um 10-15 % zu senken.

Grüne Wirkstoffe: Entwicklung von ungiftigen oder wenig toxischen Kollektoren (z. B. Alkylphosphonsäure), um die Umweltverschmutzung zu reduzieren.

Automatisierte Steuerung: Die Flotationszelle ist mit einem Online-Sortenanalysator und einem automatischen Dosiersystem ausgestattet, das die Prozessparameter in Echtzeit anpasst, um die Rückgewinnung um 1-2 % zu erhöhen.

3.1.2 Reinigung von Molybdänkonzentrat

Bei der Reinigung von Molybdänkonzentrat handelt es sich um den Prozess der Umwandlung eines Konzentrats mit 40–50 % Mo in hochreines Molybdänoxid (MoO_3) oder Metall-Molybdänpulver, das drei Stufen umfasst: Rösten, chemische Reinigung und Reduktion.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Rösten:

In Drehrohröfen, Mehrkammeröfen oder Wirbelschichtöfen reagiert Molybdänit mit Sauerstoff bei 550–650 °C zu MoO₃ und setzt SO₂ frei.

Prozessparameter:

Temperatur: 550–650 °C, zu hoch (>700 °C) führt zu MoO₃-Verflüchtigungsverlust, zu niedrige Reaktion ist unvollständig.

Sauerstoffkonzentration: Luft oder sauerstoffreich (O₂-Gehalt 20–30 %), um eine ausreichende Oxidation zu gewährleisten.

Röstzeit: 2–4 Stunden, je nach Ofentyp und Konzentratgröße.

Ausstattung: Drehrohröfen (1–3 m Durchmesser, 20–50 m Länge) eignen sich für die Großproduktion, und Wirbelschichtöfen sind effizienter, erfordern aber eine strenge Korngröße (<0,1 mm).

Behandlung von Nebenprodukten: SO₂ wird durch Beizen einer Kolonne in Schwefelsäure umgewandelt, und das Abgas muss entschwefelt werden (Ca(OH)₂-Absorption), um die Emissionsnormen einzuhalten (SO₂-Konzentration < 50 mg/m³).

Produkt: Nach dem Rösten wird industrielles MoO₃ erhalten, das 55–60 % Mo enthält, und Verunreinigungen umfassen Cu (<0,5 %), Pb (<0,1 %) und Si (<1 %).

Chemische Reinigung:

Um die Nachfrage nach hochreinen Molybdänstäben zu decken, muss MoO₃ weiter gereinigt werden, und zu den gängigen Methoden gehören:

Methode der Ammoniaklaugung:

MoO₃ reagiert mit Ammoniakwasser (Konzentration 5–10 %) unter Bildung von Ammoniummolybdatlösung

Unlösliche Verunreinigungen (wie SiO₂, Fe₂O₃) werden durch Filtration entfernt und die Lösung wird verdampft, kristallisiert oder mit Säure ausgefällt (pH 2–3), um hochreines Ammoniummolybdat (Reinheit ≥ 99,9 %) zu erhalten.

Vorteile: ausgereifte Technologie, geeignet für die Großserienproduktion; Nachteile: Die Verflüchtigung von Ammoniak muss zurückgewonnen und entsorgt werden.

Methode der Säureauslaugung:

Verunreinigungen wie Cu und Pb werden mit verdünnter Salpetersäure (10–20 %) oder Salzsäure gelöst, und MoO₃ wird als fester Zustand zurückgehalten und gewaschen und getrocknet, um hochreines MoO₃ zu erhalten.

Es eignet sich für Konzentrate mit hohem Gehalt an Schwermetallverunreinigungen, aber die Kosten für die Säurebehandlung von Abfällen sind hoch.

Methode des Ionenaustauschs:

Ammoniummolybdatlösung adsorbiert MoO₄²⁻ durch Anionenaustauscherharz (Typ D301 oder 717), und nach der Elution wird ultrahochreines MoO₃ (Reinheit ≥ 99,99%) erhalten, das für die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Halbleiterindustrie geeignet ist.

Der Prozess ist komplex, und die Regeneration des Harzes erfordert eine regelmäßige Wartung.

Extraktion mit Lösungsmitteln:

Molybdän wird aus einer sauren Lösung unter Verwendung eines Extraktionsmittels (wie Trioctylamin) extrahiert, um Verunreinigungen wie Cu und Fe zu trennen und eine hochreine Molybdänlösung zu erhalten.

Es eignet sich für komplexe Konzentrate und die Extraktionseffizienz beträgt mehr als 95%.

Wiederherstellen:

Hochreines MoO_3 oder Ammoniummolybdat wird in einer Wasserstoffatmosphäre in zwei Stufen zu Metall-Molybdänpulver reduziert:

Primäre Reduzierung (400–600 °C):

Ofentyp: Schubboot- oder Rohrofen mit Wasserstoffdurchfluss 100–200 mL/min und Taupunkt < 50 °C.

Sekundäre Absenkung (900–1100 °C):

Die Ofentemperatur wird genau geregelt (Fehler ± 10 °C), die Reinheit des Molybdänpulvers beträgt 99,95 bis 99,99 % und die Partikelgröße 1 bis 5 μm .

Einflussfaktoren:

Rohstoffqualität: Der Gehalt an Verunreinigungen wie Cu und wie im Konzentrat beeinflusst die Schwierigkeit der Reinigung, und eine Vorbehandlung (z. B. magnetische Trennung) ist erforderlich.

Reduzierende Atmosphäre: Wasserstoffreinheit (>99,999%) und Taupunktkontrolle sind entscheidend, ein zu hoher Sauerstoffgehalt führt zur Oxidation von Molybdänpulver.

Dichtheit der Ausrüstung: Der Reduktionsofen muss hochgradig luftdicht sein, um das Eindringen von Luft zu verhindern.

Technologischer Fortschritt:

Ammoniakfreie Reinigung: MoO_3 wird direkt durch saures Medium (wie HCl-HNO_3) gereinigt, um die Einleitung von Ammoniakstickstoff-Abwässern zu reduzieren, und die Reinigungseffizienz erreicht 98 %.

Mikrowellenrösten: Die Mikrowellenheizung (Leistung 1–5 kW) erhöht die Rösteffizienz, reduziert die Zeit um 20–30 % und senkt den Energieverbrauch.

Grüne Metallurgie: Entwicklung einer katalytischen SO_2 -Umwandlungstechnologie zur Umwandlung von Nebenprodukten in Schwefelsäure oder Schwefel mit hoher Wertschöpfung.

3.2 Pulvermetallurgischer Prozess von Molybdänstäben

Die Pulvermetallurgie ist die Kerntechnologie der Molybdänstabherstellung, die die Herstellung von Molybdänpulver, die Kontrolle der Partikelgröße und -reinheit sowie das Formpressen umfasst, das die Mikrostruktur und die Eigenschaften des Stabs bestimmt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

3.2.1 Herstellung von Molybdänpulver (Reduktionsverfahren, Zerstäubungsverfahren)

Reduktionsmethode:

Das Reduktionsverfahren ist das in der Industrie am häufigsten verwendete Verfahren zur Herstellung von Molybdänpulver, das MoO_3 oder Ammoniummolybdat durch Wasserstoff stufenweise reduziert. Detaillierter Ablauf:

Rohstoff: hochreines MoO_3 (Reinheit $\geq 99,9\%$) oder Ammoniummolybdat, geladen in Molybdän- oder Edelstahlschiffchen (Dicke 5–10 mm).

Primäre Reduktion: MoO_2 mit einer Partikelgröße von 3–10 μm bei 400–600 μC bei 400–600 $^\circ\text{C}$ und einem Taupunkt von $< -50\text{ }^\circ\text{C}$ in einem Schubboot- oder Rohrofen.

Sekundärreduktion: 900–1100 $^\circ\text{C}$, Wasserstoffdurchfluss 200–400 mL/min, zur Erzeugung von Metall-Molybdänpulver, Partikelgröße 1–5 μm , Reinheit $\geq 99,95\%$.

Ausstattung: Der Reduktionsofen ist mit einer Mehrzonen-Temperaturregelung (Fehler $\pm 5^\circ\text{C}$) und einem Abgasbehandlungssystem (Absorption von H_2O und Rest MoO_3) ausgestattet.

Fertigungssteuerung:

Temperaturgradient: Agglomeration oder Sintern des Pulvers vermeiden.

Tragfähigkeit des Bootes: 5–10 kg pro Boot, zu hoch beeinträchtigt die Gleichmäßigkeit der Restaurierung.

Wasserstoffrecycling: Rückgewinnung von nicht umgesetztem Wasserstoff, wodurch die Kosten um 10 bis 15 % gesenkt werden.

Vernebelung:

Das Zerstäubungsverfahren bereitet ultrafeines oder Nano-Molybdänpulver her, indem geschmolzenes Molybdän zur schnellen Erstarrung in ein Hochdruckmedium gesprüht wird, das für High-End-Anwendungen geeignet ist. Verfahren:

Schmelzen: Hochreines Molybdän ($> 99,99\%$) wird mit einem Plasmalichtbogen (Leistung 50–200 kW) oder einem Elektrolichtbogenofen bei Temperaturen bis zu 2700–3000 $^\circ\text{C}$ geschmolzen.

Zerstäubung: Die Schmelze wird mit Hochdruckstickstoff (5–10 MPa) oder Argon durch eine Düse (Porengröße 0,5–2 mm) mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 10^5 – 10^6 $^\circ\text{C}/\text{s}$ injiziert, um ein kugelförmiges Pulver mit einer Partikelgröße von 40–100 nm zu bilden.

Sammlung und Klassifizierung: Das Pulver wird durch einen Zyklon aufgefangen und die Partikelgrößenverteilung ($D_{50} < 100\text{ nm}$) wird durch einen Windsichter gesteuert.

Ausrüstung: Plasmazerstäubungsanlage (z. B. Typ APS-100), die mit einem Inertgaszirkulationssystem ausgestattet ist, um Oxidation zu verhindern.

Vorteile: hohe Sphärizität des Pulvers ($> 95\%$), gute Fließfähigkeit, geeignet für 3D-Druck und Sputtertargets.

Nachteile: Ein hoher Energieverbrauch (ca. 5–10 kWh/kg) und große Anlageninvestitionen schränken großtechnische Anwendungen ein.

Andere Methoden:

Elektrolyse: Nano-Molybdänpulver wird durch elektrolytische Molybdatlösung mit einer Partikelgröße von 20–50 nm, aber geringer Reinheit ($< 99,9\%$) hergestellt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Mikrowellenplasma-Methode: Mikrowellenplasma (2,45 GHz) Gasphasenreduktion von MoO_3 mit einer Partikelgröße von 10–30 nm, geeignet für die Laborforschung.

Einflussfaktoren:

Reinheit der Rohstoffe: Verunreinigungen wie Fe und C in MoO_3 beeinträchtigen die Qualität von Molybdänpulver und müssen vorgereinigt werden.

Reduktionstemperatur: Zu hoch führt zum Kornwachstum, zu niedrig beeinträchtigt die Reduktionseffizienz.

Luftströmungsregelung: Bei der Zerstäubungsmethode bestimmen der Gasdruck und die Durchflussmenge die Partikelgrößenverteilung des Pulvers.

Technologischer Fortschritt:

Nano-Molybdänpulver: Die Technologie der chemischen Plasmagasphasenabscheidung (P-CVD) wurde entwickelt, um Molybdänpulver mit einer Partikelgröße von < 50 nm herzustellen und so die Sinteraktivität zu verbessern.

Sauerstoffarmes Molybdänpulver: Der Sauerstoffgehalt wird durch ultrahochreinen Wasserstoff ($>99,9999\%$) und niedrige Temperaturabsenkung ($800\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$) auf $<0,001\%$ reduziert.

Effiziente Zerstäubung: Die ultraschallgestützte Zerstäubung wird verwendet, um die Gleichmäßigkeit des Pulvers zu verbessern und die Standardabweichung der Partikelgrößenverteilung um 20% zu reduzieren.

3.2.2 Kontrolle der Pulverpartikelgröße und -reinheit

Die Partikelgröße und Reinheit des Molybdänpulvers wirken sich direkt auf die Dichte und Sinterleistung des gepressten Rohlings aus. Zu den Steuerungsmethoden gehören:

Kontrolle der Partikelgröße:

Sieben: Pulver mit einer Partikelgröße von $1\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ werden mit einem Schüttler (100–400 mesh) oder einer Ultraschallsiebmaschine getrennt.

Klassifizierung der Luftströmung: Mittels eines Zyklonsichters oder Turbinensichters wird der D50 auf $1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ geregelt und die Standardabweichung der Partikelgrößenverteilung liegt bei $< 0,5\text{ }\mu\text{m}$.

Mahlen: Zur Raffination des Pulvers wird eine Planetenmühle (200–400 U/min) oder eine Strahlmühle (Druck $0,5\text{--}1\text{ MPa}$) verwendet, und das Kugelmahlmedium ist Hartmetall, um Verunreinigungen zu vermeiden.

Reduktionsbedingungen: langsame Reduktion bei niedrigen Temperaturen ($900\text{--}950\text{ }^\circ\text{C}$, 4–6 Stunden), um feine Partikel zu erhalten, schnelle Reduktion bei hohen Temperaturen ($1050\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$, 1–2 Stunden), um größere Partikel zu erzeugen.

Kontrolle der Reinheit:

Rohstoffauswahl: Ultrahochreines MoO_3 ($\geq 99,99\%$) wird verwendet, um Verunreinigungen wie Fe ($<50\text{ ppm}$) und C ($<30\text{ ppm}$) zu reduzieren.

Reduzierende Umgebung: Wasserstofftaupunkt $<-60\text{ }^\circ\text{C}$, Sauerstoffgehalt im Ofen $< 10\text{ ppm}$, um eine Pulveroxidation zu verhindern.

Reinigung der Ausrüstung: Regelmäßiges Beizen (5% HNO_3) des Reduktionsschiffchens und der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Rohre, um verbleibende Verunreinigungen zu entfernen.

Verpackung und Lagerung: Molybdänpulver wird in einer inerten Atmosphäre (N₂ oder Ar) vakuumverpackt, um Feuchtigkeitsaufnahme und Oxidation zu verhindern.

Nachweismethode:

Partikelgrößenanalyse: Laser-Partikelgrößenanalysator (Messbereich 0,01–100 µm), Detektion von D10, D50, D90.

Reinheitsanalyse: Die Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) wurde verwendet, um Verunreinigungen mit ppb-Genauigkeit zu detektieren.

Sauerstoffgehalt: Inertgasschmelzverfahren, der Sauerstoffgehalt beträgt <0,005%.

Einflussfaktoren:

Pulvermorphologie: Die Fließfähigkeit von sphärischem Pulver (Zerstäubungsmethode) ist besser als die von unregelmäßigem Pulver (Reduktionsmethode), was sich auf die Gleichmäßigkeit der Kompression auswirkt.

Agglomeration: Feine Pulver (<1 µm) neigen zur Agglomeration, und ein Dispergiermittel (z. B. Polyethylenglykol, 0,1–0,5 Gew.-%) wird zugesetzt.

Luftfeuchtigkeit: Eine hohe Luftfeuchtigkeit (>60%) führt dazu, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt und den Sauerstoffgehalt erhöht.

Technologischer Fortschritt:

Online-Überwachung: Die Laserstreutechnologie wird verwendet, um die Partikelgrößenverteilung in Echtzeit zu erkennen, Reduktionsparameter anzupassen und die Konsistenz zu verbessern.

Ultrafeines Pulver: Entwicklung einer mechanischen Legierung in Kombination mit einem chemischen Reduktionsverfahren zur Herstellung von D50<50 nm Molybdänpulver für Nanokomposite.

Verbesserung der Reinheit: Durch mehrstufige Reduktion und Plasmareinigung erreicht die Reinheit von Molybdänpulver 99,999 %, was den Anforderungen von Halbleiterzielen entspricht.

3.2.3 Formpressen (kaltisostatisches Pressen, Formen)

Beim Formpressen wird Molybdänpulver zu einem stabförmigen Rohling verdichtet, der die Grundlage für das anschließende Sintern bildet. Zu den gängigen Verfahren gehören das kaltisostatische Pressen und Formen:

Kaltisostatisches Pressen (CIP):

Verfahren: Molybdänpulver wird in eine Gummi- oder Polyurethanform (Wandstärke 2–5 mm) gegeben und in eine Hochdruckflüssigkeit (Wasser oder Öl, Druck 100–400 MPa) gegeben und 1–5 Minuten lang gleichmäßig gepresst.

Ausrüstung: Kaltisostatische Nasssack- oder Trockensackpresse mit einem maximalen Druck von 600 MPa und einem Düsendurchmesser von 50–500 mm.

Knüppel Eigenschaften: 60–70 % theoretische Dichte, einheitliche Größe, geeignet für große Durchmesser (>50 mm) oder lange Stangen (>1 m).

Vorteile: Gleichmäßige Druckverteilung, reduzierte Laminierisse und Dichtegradienten.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Nachteile: hohe Formkosten, langer Presszyklus.

Geformt:

Verfahren: Molybdänpulver wird in eine Stahlmatrize (Härte HRC 60–65) geladen und mit einer hydraulischen Presse (Druck 50–200 MPa) bei einer Pressgeschwindigkeit von 0,5–2 mm/s in eine oder beide Richtungen gepresst.

Ausstattung: Hydraulische Viersäulenpresse (Tonnage 100–1000 t) mit einem Schmiermittel (z.B. Zinkstearat) für die Form.

Knüpfeleigenschaften: 50–60 % theoretische Dichte, geeignet für kleine Durchmesser (<20 mm) oder profilierte Stangen.

Nachteile: Beim Einwegpressen lassen sich leicht Dichtegradienten erzeugen, und es sind mehrere Flippresen erforderlich.

Details zum Prozess:

Bindemittel: Polyvinylalkohol (PVA, 0,5–2 Gew.-%) oder Paraffinwachs wird zugesetzt, um die Festigkeit des Knüppels zu erhöhen, und das Bindemittel verflüchtigt sich vor dem Sintern (400–600 °C).

Werkzeugdesign: CIP-Formen müssen hochelastisch sein (Dehnung > 200%) und geformte Formen müssen eine hohe Verschleißfestigkeit aufweisen (WC-Co-Beschichtung).

Entformung: Pneumatische oder hydraulische Entformungsvorrichtungen werden eingesetzt, um eine Verformung des Rohlings zu verhindern.

Einflussfaktoren:

Fließfähigkeit des Pulvers: Kugelförmiges Pulver (scheinbare Dichte > 3 g/cm³) wird besser gepresst als unregelmäßiges Pulver.

Druckverteilung: Die Gleichmäßigkeit des CIP-Drucks wird durch die Form der Form beeinflusst, und das Stempeldesign muss für das Formen optimiert werden.

Umweltkontrolle: Die Luftfeuchtigkeit in der Presswerkstatt beträgt < 50 %, um zu verhindern, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt.

Technologischer Fortschritt:

Thermostatisches Pressen: Das Pressen bei 100–200 °C erhöht die Knüppeldichte um 5–10 % und reduziert die Sinterschrumpfung.

Automatisches Pressen: Roboter-Pulverlade- und Formenreinigungssystem werden eingesetzt, um die Produktionseffizienz um 20 % zu verbessern.

Hochpräzise Formen: Mit der 3D-Drucktechnologie werden komplexe Formen hergestellt, die den Anforderungen von speziell geformten Molybdänstäben entsprechen.

3.3 Sinterprozess von Molybdänstäben

Das Sintern ist ein wichtiger Schritt bei der Aushärtung des gepressten Rohlings zu einem Molybdän-Stabrohling mit hoher Dichte, der die Partikelbindung bei hohen Temperaturen fördert, was die mechanischen Eigenschaften und die Mikrostruktur des Stabs erheblich beeinflusst.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

3.3.1 Vakuum-Sintern

Das Vakuumsintern wird in einer Hochvakuumumgebung durchgeführt, um Oxidation und Verunreinigungen zu reduzieren.

Prozess:

Temperatur: 5–10°C/min bis 1000°C, 1–2 Stunden erhitzen, flüchtige Bindemittel und Adsorptionsgase.

Hochtemperatur-Sintern: 1800–2200 °C, Halten für 2–4 Stunden, Knüppeldichte bis zu 90–95 % theoretische Dichte (9,2–9,7 g/cm³).

Kühlung: 10–20 °C/min auf Raumtemperatur, um thermische Spannungsrisse zu vermeiden.

Vakuum: 10⁻³–10⁻⁵ Pa, mit einer Kombination aus mechanischer Pumpe und Diffusionspumpe, um eine MoO₃-Verflüchtigung zu verhindern.

Ausrüstung:

Vakuum-Induktionsofen: 50–200 kW, Ofenraum aus Molybdän oder Graphit, temperaturbeständig > 2300°C.

Temperaturregelung: Thermoelement (Typ W-Re) und Infrarot-Thermometer, Fehler ± 5°C.

Abgasbehandlung: Der Kondensator gewinnt flüchtiges MoO₃ zurück und reduziert die Schadstoffbelastung.

Verdienst:

Der Sauerstoffgehalt ist gering (<0,003%), was für die Herstellung von hochreinen Molybdänstäben geeignet ist.

Das Kornwachstum ist kontrollierbar und das Gefüge ist gleichmäßig. Mangel:

Hoher Energieverbrauch (ca. 2–3 kWh/kg).

Die Wartung der Anlage ist teuer, und die Vakuumpumpe muss die Dichtungen regelmäßig austauschen.

Einflussfaktoren:

Sintertemperatur: Eine zu hohe Temperatur (>2200°C) führt zu Überwucherung der Körner (>50 µm) und Festigkeitsverlust.

Haltezeit: Zu lange erhöht den Energieverbrauch, zu kurz wirkt sich auf die Dichte aus.

Knüppeldichte: Die Anfangsdichte < 50 % führt zu übermäßiger Sinterschrumpfung und leichter Rissbildung.

3.3.2 Wasserstoff-Schutz-Sintern

Das Wasserstoff-Schutzsintern findet in einer hochreinen Wasserstoffatmosphäre statt, wodurch die Oxidation verhindert und die MoO₂-Reduktion gefördert wird. Prozessablauf:

Temperatur: 5–15 °C/min bis 800–1000 °C zum Entfernen von Bindemitteln.

Sintern bei hohen Temperaturen: 1800–2100 °C, Halten für 2–5 Stunden, Dichte 90–94 % theoretische Dichte.

Kühlung: 10–30°C/min mit einem Wasserstoffdurchfluss von 50–100 mL/min, um

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wasserstoffversprödung zu verhindern.

Atmosphäre: Wasserstofftaupunkt $<-40^{\circ}\text{C}$, Reinheit $>99,99\%$, Sauerstoffgehalt im Ofen $<5\text{ ppm}$.

Ausrüstung:

Wasserstoff-Sinterofen: horizontal oder vertikal, Ofenkammer aus Molybdän oder Edelstahl, ausgestattet mit einem wassergekühlten Mantel.

Sicherheitssystem: Wasserstoff-Leckdetektor und Notabgasvorrichtung, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Abgasnachbehandlung: Verbrennung von Restwasserstoff im Abgas, Emission gemäß Norm (H_2 -Konzentration $<0,1\%$).

Verdienst:

Die Sintergeschwindigkeit ist hoch, die Produktionseffizienz ist hoch und es ist für die Großserienproduktion geeignet.

Die Oberflächengüte ist besser als beim Vakuumsintern, wodurch der Aufwand für nachfolgende Polierarbeiten reduziert wird. Mangel:

Die Sicherheitsrisiken für Wasserstoff müssen streng gemanagt werden.

Legierungsstäbe wie TZM sind empfindlich gegenüber Wasserstoff und können Spuren von Wasserstoffversprödung aufweisen.

Einflussfaktoren:

Wasserstofffluss: Zu hoch erhöht die Kosten, zu niedrig beeinflusst den Reduktionseffekt.

Dichtheit des Ofens: Oxidation durch Luftleckage, und der Dichtring muss regelmäßig überprüft werden.

Rohlingsgröße: Große Zuschnitte ($> 100\text{ mm}$) müssen über einen längeren Zeitraum warm gehalten werden.

3.3.3 Hochtemperatur-Sinteranlagen und Parameteroptimierung

Gerätetyp:

Vakuum-Induktionsofen: geeignet für hochreine Molybdänstäbe, Ofenvolumen $0,1-1\text{ m}^3$, Leistung $100-500\text{ kW}$.

Wasserstoff-Schutzofen: geeignet für die Großproduktion, Ofenlänge $2-5\text{ m}$, Mehrzonen-Temperierung.

Widerstandsofen: Wird für kleine und mittlere Produktionen verwendet, die Kosten sind niedriger, aber die Temperaturgleichmäßigkeit ist etwas schlechter.

Anforderungen an die Ausrüstung:

Hochtemperaturbeständige Materialien: Der Ofen ist mit Molybdänblech oder Graphitfilz ausgekleidet, und die Wärmedämmschicht besteht aus Aluminiumoxidfaser.

Genauigkeit der Temperaturregelung: Thermoelement und PID-Regler, Temperaturschwankung $\pm 3-5^{\circ}\text{C}$.

Überwachung der Atmosphäre: Sauerstoffanalysator (Nachweisbereich $0-100\text{ ppm}$) und Taupunktmessgerät ($<-80^{\circ}\text{C}$).

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 - 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10 - 25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm - 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Optimierung der Parameter:

Temperaturprofil: Sektionsheizung (200°C/h bis 1000°C, 50°C/h bis 2000°C) zur Reduzierung der thermischen Belastung.

Haltezeit: 2–3 Stunden für Knüppel mit einem Durchmesser von <50 mm und 4–6 Stunden > 100 mm.

Abkühlgeschwindigkeit: Eine schnelle Abkühlung (>20 °C/min) kann zu Mikrorissen führen und muss auf 10–15 °C/min optimiert werden.

Atmosphärenkontrolle: Der anfängliche Vakuumgrad des Vakuumsinterns <10⁻² Pa, < 10⁻⁴ Pa bei hoher Temperatur; Wasserstoff-Sinter-Durchflussrate 100–300 mL/min.

Einflussfaktoren:

Gleichmäßigkeit des Rohlings: Eine ungleichmäßige Pressdichte führt zu Sinterschrumpungsunterschieden, die sich auf die Maßgenauigkeit auswirken.

Kontamination des Ofens: Verbleibende MoO₃- oder Hartmetallreste verunreinigen den Rohling, und der Ofen muss regelmäßig gereinigt werden.

Energiemanagement: Der Energieverbrauch des Hochtemperaturesinterns macht 30–40 % der Produktionskosten aus, und die Haltezeit und das Ofendesign müssen optimiert werden.

Technologischer Fortschritt:

Mikrowellensintern: Die Mikrowellenerwärmung (2,45 GHz, 10–50 kW) reduziert die Sinterzeit um 30–50 % und die Korngröße um 20 %.

Entladungsplasmasintern (SPS): Schnellsintern mit gepulsten Strömen (1000–5000 A) mit einer Dichte von 98 %, geeignet für kleine Chargen von Hochleistungs-Molybdänstäben.

Intelligente Temperaturregelung: KI-Algorithmen werden verwendet, um das Temperaturprofil zu optimieren, den Energieverbrauch um 5–10 % zu senken und die Konsistenz der Knüppel zu verbessern.

3.4 Thermische Prozesstechnik von Molybdänstäben

Die Warmumformung, bei der der gesinterte Rohling in die endgültige Molybdänstabform verarbeitet wird, umfasst das Schmieden, Walzen und Ziehen, was die mechanischen Eigenschaften und die Oberflächenqualität des Stabes erheblich beeinflusst.

3.4.1 Schmiedeprozess

Beim Schmieden wird das Korn durch plastische Hochtemperaturverformung verfeinert, um die Festigkeit des Molybdänstabs zu verbessern.

Prozess:

Erhitzen: 1200–1600°C in einem Widerstands- oder Induktionsofen für 30–60 Minuten in einer Atmosphäre aus Wasserstoff oder Vakuum (<10⁻² Pa).

Schmieden: 20–30 % Verformung in einem einzigen Schuss und 60–80 % insgesamt in einem einzigen Hammer (Schlagkraft 50–2000 kN) oder einer hydraulischen Schmiedemaschine (Druck 500–2000 t) mit einem Presslufthammer (Schlagkraft 50–200 kN).

Zwischenglühen: 1000–1200°C, 1–2 Stunden halten, Kaltverfestigung vermeiden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kühlung: Kühlung mit Luft oder einer inerten Atmosphäre mit einer Geschwindigkeit von 10–20 °C/min.

Ausrüstung:

Schmiedemaschine: pneumatischer Hammer für kleine Chargen, hydraulische Presse für Stangen mit großem Durchmesser (>50 mm).

Öfen: Kammer- oder Durchlauföfen, ausgestattet mit Wasserstoffschutz- oder Vakuumsystemen.

Details zum Prozess:

Verformungsrate: 0,1–1 s⁻¹, zu schnell führt zu Rissbildung, zu langsam beeinträchtigt den Wirkungsgrad.

Formmaterial: Superlegierung (z. B. Inconel 718) oder Molybdänlegierung mit MoS₂-Schmiermittel auf der Oberfläche.

Kornkontrolle: Nach dem Schmieden beträgt die Korngröße 10–30 µm und die Zugfestigkeit wird auf 800–1000 MPa erhöht.

Einflussfaktoren:

Heiztemperatur: Zu hoch (> 1700°C) führt zu Kornwachstum, zu niedrig (<1100°C) erhöht die Verformungsbeständigkeit.

Knüppelqualität: Risse entstehen durch Porosität oder Einschlüsse im gesinterten Knüppel.

Schmierbedingungen: Unzureichende Schmierbedingungen führen zu Werkzeugverschleiß und Oberflächenfehlern.

Technologischer Fortschritt:

Isothermes Schmieden: Schmieden bei einer konstanten Temperatur von 1400–1500 °C erhöht die Gleichmäßigkeit der Verformung um 15 %.

Numerische Simulation: Finite-Elemente-Software (z. B. DEFORM) wird verwendet, um die Schmiedeparameter zu optimieren und die Kosten für Versuch und Irrtum zu reduzieren.

Automatisiertes Schmieden: Der Manipulator bedient den Rohling, um die Produktionseffizienz und -sicherheit zu verbessern.

3.4.2 Walzverfahren

Beim Walzen werden Molybdänstäbe mit mittlerem Durchmesser durch kontinuierliche Verformung mit hoher Oberflächengüte und Maßgenauigkeit hergestellt.

Prozess:

Erhitzen: 1000–1400°C, 20–40 Minuten inkubiert, Wasserstoff oder Vakuum.

Walzen: 5–15 % Einfachverformung und 50–70 % Gesamtverformung mit einem zwei- oder vierstufigen Warmwalzwerk.

Glühen: 800–1000°C, 1–2 Stunden inkubiert, um innere Spannungen abzubauen.

Kühlung: Langsames Abkühlen (5–10 °C/min) in einer inerten Atmosphäre.

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

Ausrüstung:

Fräser: Vier-Hoch-Walzwerke (200–500 mm Durchmesser) sind genauer als Zwei-Hoch-Walzwerke und eignen sich für Stangen mit einem Durchmesser von 5–20 mm.

Walzen: Wolframkarbid (WC-Co) oder warmfester Stahl, oberflächenpoliert ($Ra < 0,4 \mu\text{m}$).

Details zum Prozess:

Walzgeschwindigkeit: 0,5–2 m/s, zu schnell kann zu Oberflächenrissen führen.

Schmierung: Graphitemulsion oder Hochtemperatur-Schmieröl, um den Reibungskoeffizienten auf 0,1–0,2 zu senken.

Maßkontrolle: Inline-Lasermessschieber mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01 \text{ mm}$.

Einflussfaktoren:

Temperaturgradient: Die Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche des Rohlings und der Hülse $> 100^\circ\text{C}$, was zu Rissen führt.

Walzenverschleiß: Er muss regelmäßig repariert werden, um die Lebensdauer zu verlängern.

Verformung: Die Menge der einzelnen Vertiefung $> 20\%$ erhöht das Risiko von Mikrorissen.

Technologischer Fortschritt:

Präzisionswalzen: servogesteuertes Walzwerk mit einer Maßabweichung von $< 0,005 \text{ mm}$, geeignet für Halbleitertargets.

Inline-Glühen: Induktionsglühen unmittelbar nach dem Walzen, wodurch die Prozesszeit um 30 % reduziert wird.

Grüne Schmierung: Entwicklung von Schmierstoffen auf Wasserbasis, um die Umweltverschmutzung zu reduzieren.

3.4.3 Ablauf der Ziehung

Beim Ziehen werden Molybdänstäbe mit kleinem Durchmesser ($< 5 \text{ mm}$) mit hoher Präzision und glatter Oberfläche hergestellt.

Prozess:

Vorbehandlung: Gewalztes Beizen von Stangen ($10\% \text{ HNO}_3$) zum Entfernen der Oxidschicht und zum Auftragen von Graphitschmiermittel.

Ziehen: $800\text{--}1200^\circ\text{C}$ mit Hartmetallform (Bohrungsdurchmesser 0,5–5 mm), Ziehgeschwindigkeit 0,1–1 m/s, Einzelverformung 10–20%.

Zwischenglühen: $800\text{--}1000^\circ\text{C}$, 30–60 Minuten halten, Plastizität wiederherstellen.

Zeichnen in mehreren Durchgängen: 5–10 Züge, um die Zielgröße ($\pm 0,01 \text{ mm}$) zu erhalten.

Ausrüstung:

Abzieher: Ketten- oder hydraulischer Abzieher mit einer Zugkraft von 10–50 kN.

Form: WC-Co oder diamantbeschichtet, Bohrungsgenauigkeit $\pm 0,001 \text{ mm}$.

Details zum Prozess:

Schmierstoff: Graphitemulsion oder MoS_2 mit einer Schichtdicke von 0,1–0,5 mm.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Temperaturregelung: Induktionserwärmung oder Widerstandserwärmung, Fehler $\pm 10^{\circ}\text{C}$.
Oberflächenqualität: $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ nach dem Ziehen, geeignet für Elektrodenmaterialien.

Einflussfaktoren:

Werkzeugverschleiß: Werkzeugwechsel alle 1000 m der Zeichnung.
Rohlingsfehler: Oberflächenrisse oder Einschlüsse verursachen Brüche.
Ziehgeschwindigkeit: Zu schnelles Erhöhen der Spannungskonzentration.

Technologischer Fortschritt:

Feinstziehen: Entwicklung von nanodiamantbeschichteten Formen zur Herstellung von Molybdänstäben mit einem Durchmesser von $< 1 \text{ mm}$.
Kontinuierliches Ziehen: Multi-Mode-Endlosziehmaschine, die Effizienz wird um 50% erhöht.
Intelligente Überwachung: Online-Durchmesser- und Zugsensor, Parameteranpassung in Echtzeit.

3.5 Oberflächenbehandlungstechnik von Molybdänstäben

Oberflächenbehandlungen verbessern die Korrosionsbeständigkeit, das Finish und die Hochtemperaturleistung von Molybdänstäben, einschließlich mechanischem Polieren, chemischer Reinigung und Antioxidationsbeschichtungen.

3.5.1 Mechanisches Polieren

Durch mechanisches Polieren werden Oberflächenfehler durch Schleifen und Polieren entfernt, um ein hohes Finish zu erzielen.

Prozess:

Grobschleifen: Siliziumkarbid-Schleifscheiben (60–120 mesh) bei 1000–2000 U/min werden zur Entfernung von Oxidschichten und groben Kratzern eingesetzt.
Feinschliff: Diamantschleifband (Korngröße 400–800 mesh), $R_a 0,8\text{--}1,6 \mu\text{m}$.
Polieren: Filzscheibe plus Aluminiumoxid-Polierpaste (Partikelgröße $0,5\text{--}1 \mu\text{m}$), Drehzahl 1500–3000 U/min, $R_a < 0,2 \mu\text{m}$.
Reinigung: Ultraschallreinigung (Frequenz 40 kHz, deionisiertes Wasser) zur Entfernung von Polierrückständen.

Ausrüstung:

Poliermaschine: CNC-flache oder zylindrische Poliermaschine, ausgestattet mit automatischem Zuführsystem.
Detektor: Oberflächenrauheitsmessgerät (Genauigkeit $0,01 \mu\text{m}$), R_a -Wert prüfen.

Details zum Prozess:

Auswahl des Schleifmittels: Diamant eignet sich für Molybdänstäbe mit hoher Härte, und die Kosten für Aluminiumoxid sind niedrig.
Kühlmittel: Kühlmittel auf Wasserbasis (pH 7–8), um eine Überhitzung zu verhindern.
Polierzeit: Das Polieren von Stäben mit einem Durchmesser von 10 mm beträgt ca. 5–10 Minuten/m.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Einflussfaktoren:

Größe der Schleifpartikel: Zu grob führt zu Kratzern, zu fein und geringer Wirkungsgrad.

Druckkontrolle: Mikrorisse entstehen durch zu hohe (>0,5 MPa).

Härte der Stange: TZM-Legierung ist schwieriger zu polieren als reines Molybdän.

Technologischer Fortschritt:

Elektropolieren: In Kombination mit mechanischem Polieren < Ra 0,1 µm und der Wirkungsgrad wird um 20 % erhöht.

Laserpolieren: berührungsloses Polieren, geeignet für Stangen mit komplexen Formen.

Automatisches Polieren: Roboter-Poliersystem, das die Arbeitskosten um 30% senkt.

3.5.2 Chemische Reinigung

Durch die chemische Reinigung werden Oberflächenoxide, Öle und Verunreinigungen entfernt, um die Korrosionsbeständigkeit und Leitfähigkeit zu verbessern.

Prozess:

Beizen: Salpetersäure-Schwefelsäure-Gemisch ($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4=1:3$, Konzentration 10–20%), 5–15 Minuten bei einer Temperatur von 20–40°C eingeweicht, um die Oxidschicht zu entfernen.

Laugewäsche: 5–10%ige NaOH-Lösung, 50–70 °C, 3–10 Minuten eingeweicht, um organische Verunreinigungen zu entfernen.

Ultraschallreinigung: deionisiertes Wasser plus neutrales Reinigungsmittel (0,1–0,5 %) bei 28–40 kHz über einen Zeitraum von 5–10 Minuten, um Partikel zu entfernen.

Trocknung: Heißlufttrocknung (80–100°C) oder Vakuumtrocknung, um eine sekundäre Oxidation zu verhindern.

Ausrüstung:

Beizbad: PP oder PTFE mit Heiz- und Rührsystem.

Ultraschallreiniger: Leistung 500–2000 W, Tankvolumen 10–100 L.

Details zum Prozess:

Abfallbehandlung: Neutralisation ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, pH 6,5–7,5) von Beizabfällen, Ausfällung von Schwermetallen und Austrag.

Reinigungsreihenfolge: Beizen-Waschen-alkalisches Waschen-Ultraschall-Reinigung, um sicherzustellen, dass keine Rückstände auf der Oberfläche vorhanden sind.

Schutzmaßnahmen: Stickstoffverpackung sofort nach dem Waschen, um eine Feuchtigkeitsaufnahme zu verhindern.

Einflussfaktoren:

Säurekonzentration: zu hoch, um die Matrix zu korrodieren, zu niedrig, um sie gründlich zu reinigen.

Temperaturregelung: Eine zu hohe Temperatur erhöht die Verflüchtigung des Abgases, eine zu niedrige verringert den Wirkungsgrad.

Oberflächenbeschaffenheit: Schwarze Stäbe brauchen länger zum Reinigen als Polierstäbe.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Technologischer Fortschritt:

Umweltfreundliche Reinigung: Entwicklung von Reinigern auf Citratbasis, pH 4–6, zur Reduzierung der Umweltbelastung.

Plasmareinigung: Niedertemperaturplasma (Leistung 100–500 W) entfernt organische Stoffe, geeignet für hochreine Molybdänstäbe.

Automatische Reinigung: Kontinuierliche Reinigungsline mit mehreren Tanks, die Effizienz wird um 40% erhöht.

3.5.3 Oberflächenbeschichtungen (Antioxidationsbeschichtungen, etc.)

Antioxidationsbeschichtungen (z. B. MoSi_2 , Al_2O_3) verbessern die Lebensdauer von Molybdänstäben in oxidierenden Umgebungen mit hohen Temperaturen.

Verfahrensweise:

Chemische Gasphasenabscheidung (CVD):

Prozess: Bei 800–1200°C reagieren SiCl_4 und CH_4 zu einer MoSi_2 -Beschichtung mit einer Dicke von 10–50 μm .

Ausstattung: CVD-Ofen mit Vakuum 10^{-1} – 10^{-2} Pa und Gasdurchfluss 50–200 mL/min.

Vorteile: dichte Beschichtung und starke Haftung (>50 MPa).

Plasmaspritzen:

Verfahren: Der Plasmalichtbogen (Leistung 20–50 kW) wird mit Al_2O_3 - oder ZrO_2 -Pulver mit einer Dicke von 50–200 μm besprüht.

Ausrüstung: Atmosphärisches oder Niederdruck-Plasmaspritzsystem mit einer Pistolenbewegungsgeschwindigkeit von 0,1 – 0,5 m/s.

Vorteile: Geeignet für großformatige Stangen, einfacher Prozess.

Sol-Gel-Methode:

Verfahren: Solbeschichtung mit SiO_2 oder Al_2O_3 und Wärmebehandlung bei 500–800°C zu einer 5–20 μm dicken Beschichtung.

Vorteile: niedrige Kosten, geeignet für komplexe Formen.

Details zum Prozess:

Vorbehandlung: Stabbeizen und Sandstrahlen (SiC -Partikel, 0,1–0,5 mm) zur Verbesserung der Schichthaftung.

Beschichtungsleistung: Oxidationstemperatur der MoSi_2 -Beschichtung bis zu 1700 °C, Al_2O_3 -Beschichtung mit ausgezeichneter Verschleißfestigkeit.

Inspektion: REM-Analyse der Schichtmikrostruktur, Scratch-Methode zur Prüfung der Haftung.

Einflussfaktoren:

Schichtdicke: Zu dick (>100 μm) lässt sich leicht abziehen, zu dünn hat eine schlechte antioxidative Wirkung.

Substrattemperatur: Eine Überhitzung des Substrats (>1300 °C) während der CVD führt zu Kornwachstum.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Atmosphärenkontrolle: Die Sauerstoffinfiltration verringert die Qualität der Beschichtung.

Technologischer Fortschritt:

Verbundbeschichtung: MoSi₂/Al₂O₃ Doppelschichtbeschichtung, 50 % Erhöhung der Oxidationslebensdauer.

Nanobeschichtung: PVD-Abscheidung Nano-SiC-Beschichtung (1–5 µm dick) mit Abriebfestigkeit und Oxidationsbeständigkeit.

Selbsteheilende Beschichtung: MoSi₂-Beschichtung, dotiert mit Seltenerdelementen (z. B. CeO₂) für selbstheilende Risse bei hohen Temperaturen.

3.6 Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung von Molybdänstäben

Die Qualitätskontrolle gewährleistet eine gleichbleibende und zuverlässige Leistung von Molybdänstäben, einschließlich der Fehlerkontrolle und der Optimierung von Prozessparametern.

3.6.1 Fehlerkontrolle im Produktionsprozess

Häufige Defekte sind Risse, Porosität, Einschlüsse und Oberflächenoxidation und werden kontrolliert durch:

Qualität der Rohstoffe:

Es wurde hochreines MoO₃ (≥99,9 %) verwendet, und ICP-MS wurde verwendet, um Verunreinigungen wie Fe und C (<50 ppm) zu detektieren.

Der Sauerstoffgehalt des Molybdänpulvers < 0,005 %, und die Oxidation wird durch die Inertgaslagerung vermieden.

Sinter-Defekte:

Optimierte Sintertemperatur (1800–2000 °C) und reduzierte Porosität (Porosität <2 %).

Ein Mehrzonenofen mit einer Temperaturdifferenz von < 10 °C sorgt für eine gleichmäßige Schrumpfung des Rohlings.

Verarbeitungsfehler:

Die Verformung beim Schmieden und Walzen < 30 %, um Mikrorisse zu vermeiden.

Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP):

Ultraschallprüfung: Gefunden > 0,1 mm inneren Rissen bei einer Frequenz von 5–10 MHz.

Röntgenprüfung: Prüfung auf Einschlüsse (>0,05 mm) bei 100–200 kV.

Oberflächenfehler:

Durch das Polieren werden Oxidschichten (0,01–0,05 mm Dicke) und Kratzer entfernt.

Das Oberflächenrauheitsmessgerät erfasst Ra < 1,6 µm gemäß ASTM B387.

Detektionstechnik:

Mikroskopische Analyse: REM- und EBSD-Analyse der Korngröße (10–50 µm) und der Defektverteilung.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Chemische Analyse: GD-MS detektiert Verunreinigungen mit ppb-Genauigkeit.

Mechanische Prüfung: Zugprüfmaschine (Belastung 50–200 kN) zur Prüfung der Zugfestigkeit (>600 MPa).

Einflussfaktoren:

Prozessstabilität: Temperatur- und Druckschwankungen führen zu einem Anstieg der Fehlerquoten.
Alterung der Ausrüstung: Verschmutzung der Ofenkammer oder Formverschleiß erhöht die Einschlüsse.

Betriebsspezifikation: Fehler bei der manuellen Bedienung müssen durch Schulungen reduziert werden.

Technologischer Fortschritt:

Online-NDT: Echtzeit-Ultraschallbildgebung, 20 % höhere Fehlererkennungsrate.

KI-Fehlererkennung: Maschinelles Sehen analysiert Oberflächenfehler mit einer Genauigkeit von >95 %.

Vorbeugende Wartung: Reduzieren Sie Ausfallzeiten um bis zu 30 %, indem Sie Geräteausfälle mit Sensoren vorhersagen.

3.6.2 Überwachung und Optimierung von Prozessparametern

Die Echtzeitüberwachung und Optimierung von Prozessparametern verbessert die Produktionseffizienz und die Produktqualität. Zu den Methoden gehören:

Überwachungstechnik:

Temperatur: Thermoelement (Typ K oder W-Re) und Infrarot-Thermometer mit einer Genauigkeit von $\pm 3^\circ\text{C}$.

Atmosphäre: Sauerstoffanalysator (0–100 ppm) und Taupunktmessgerät ($<-80^\circ\text{C}$).

Druck: Piezometer (10^{-5} – 10^5 Pa) und Durchflussmesser (0–500 mL/min).

Abmessungen: Lasermessschieber (Genauigkeit $\pm 0,001$ mm) und Inline-Wiegesystem.

Datenerfassung:

Das Industrial Internet of Things (IIoT) sammelt Daten wie Temperatur, Druck und Luftstrom mit einer Abtastfrequenz von 1 Hz.

Das SCADA-System zeigt den Prozessstatus in Echtzeit und die Reaktionszeit für ungewöhnliche Alarmer < 1 s an.

Optimierung der Parameter:

Regressionsanalyse: Erstellen Sie ein mathematisches Modell von Temperatur, Druck und Knüppeldichte und optimieren Sie die Sintertemperatur $\pm 10^\circ\text{C}$.

Maschinelles Lernen: Neuronale Netze prognostizieren Fehlerraten, passen Pressdrücke und Walzgeschwindigkeiten an und reduzieren die Fehlerraten um 5–10 %.

Simulation: CFD simuliert die Gasströmungsverteilung im Ofen, um den Wasserstoffdurchfluss zu optimieren und 10-15 % des Gases einzusparen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Einflussfaktoren:

Sensorgenauigkeit: Eine Temperaturabweichung > 10 °C beeinträchtigt die Prozessstabilität.

Datenqualität: Rauschstörungen verringern die Genauigkeit des Modells und erfordern eine Filterung.

Gerätekompatibilität: Ältere Geräte lassen sich nur schwer in IIoT-Systeme integrieren.

Technologischer Fortschritt:

Digitaler Zwilling: Erstellen Sie ein digitales Modell des gesamten Prozesses der Molybdänstabproduktion, prognostizieren Sie die Leistung in Echtzeit und optimieren Sie die Effizienz um 10 bis 15 %.

5G+IIoT: Datenübertragung mit hoher Bandbreite, Überwachungslatenz < 10 ms, geeignet für die Zusammenarbeit mehrerer Anlagen.

Umweltfreundliche Fertigung: Optimierung von Prozessparametern, um den Energieverbrauch und die Emissionen zu senken und den CO2-Fußabdruck um 20 % zu reduzieren.



CTIA GROUP LTD Molybdänstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 4 Arten und Spezifikationen von Molybdänstäben

Als hochleistungsfähiges Refraktärmetallprodukt kann Molybdänstab aufgrund seiner Vielfalt an Typen und Spezifikationen die spezifischen Anforderungen vieler Bereiche wie Luft- und Raumfahrt, Elektronik und Glasindustrie erfüllen. In diesem Kapitel werden Molybdänstäbe unter vier Aspekten detailliert klassifiziert: Zusammensetzung, Oberflächenbeschaffenheit, Größe und Form sowie kundenspezifisches Design, und es werden ihre Eigenschaften, der Herstellungsprozess, die Anwendungsszenarien und die damit verbundenen Normen erörtert.

4.1 Klassifizierung nach Zusammensetzung

Molybdänstäbe können in zwei Kategorien eingeteilt werden: hochreine Molybdänstäbe und dotierte Molybdänstäbe nach ihrer chemischen Zusammensetzung. Hochreine Molybdänstäbe nehmen aufgrund ihrer hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit eine wichtige Position in der Elektronikindustrie ein, während dotierte Molybdänstäbe die Leistung bei hohen Temperaturen durch Zugabe von Legierungselementen erheblich verbessern und somit für anspruchsvollere Umgebungen geeignet sind.

4.1.1 Hochreine Molybdänstäbe (Reinheit $\geq 99,95\%$)

Hochreiner Molybdänstab bezieht sich auf den Stab mit einem Molybdängehalt von 99,95 % oder mehr, der normalerweise durch ein pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt wird, und der Gehalt an Verunreinigungselementen (wie Fe, C, O, N) wird streng auf ppm-Ebene kontrolliert. Typische Grenzwerte für Verunreinigungen sind: Eisen (Fe) $\leq 0,01\%$, Kohlenstoff (C) $\leq 0,005\%$, Sauerstoff (O) $\leq 0,003\%$, Stickstoff (N) $\leq 0,002\%$. Das Erreichen einer hohen Reinheit beruht auf hochreinem Molybdänoxid (MoO_3 , $\geq 99,99\%$) als Ausgangsmaterial und Vakuum-/Wasserstoffreduktionsverfahren, um hervorragende physikalische und chemische Eigenschaften der Stäbe zu gewährleisten.

Charakteristisch:

Physikalische Eigenschaften: Die Dichte von hochreinem Molybdänstab liegt nahe am theoretischen Wert ($10,28 \text{ g/cm}^3$), der Schmelzpunkt liegt bei $2623 \text{ }^\circ\text{C}$, die Wärmeleitfähigkeit bei $138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) und der Wärmeausdehnungskoeffizient bei $4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ($20\text{--}1000 \text{ }^\circ\text{C}$).

Elektrische Eigenschaften: spezifischer Widerstand $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (20°C), hohe Leitfähigkeit, geeignet für Elektroden und leitfähige Teile.

Mechanische Eigenschaften: Die Zugfestigkeit bei Raumtemperatur beträgt etwa $600\text{--}800 \text{ MPa}$, die Dehnung beträgt $10\text{--}20\%$ und die Duktilität wird bei hohen Temperaturen ($>1000 \text{ }^\circ\text{C}$) deutlich verbessert.

Chemische Stabilität: Es ist beständig gegen saure und alkalische Korrosion bei Raumtemperatur, aber es ist leicht, flüchtiges MoO_3 in einer oxidierenden Atmosphäre bei hoher Temperatur ($>600 \text{ }^\circ\text{C}$) zu erzeugen, das durch Vakuum oder inerte Atmosphäre geschützt werden muss.

Zubereitungsprozess:

Rohstoffe: Molybdänpulver (Reinheit $\geq 99,95\%$, Partikelgröße $1\text{--}5 \mu\text{m}$) wurde durch mehrstufige Wasserstoffreduktion unter Verwendung von ultrahochreinem MoO_3 hergestellt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Formen und Sintern: Kaltisostatisches Pressen (100–400 MPa), Umformen, Vakuumsintern (1800–2200°C), um Rohlinge mit hoher Dichte zu erhalten (Dichte > 90% theoretischer Wert).

Verarbeitung: Warm Schmieden (1200 – 1600° C) oder Walzen (1000 – 1400° C) zu Stangen, die Oberfläche kann auf $Ra < 0,2 \mu m$ poliert werden.

Qualitätskontrolle: Verunreinigungen werden durch ICP-MS erkannt, innere Defekte werden durch Ultraschall erkannt und das Oberflächenrauheitsmessgerät sorgt für das Finish.

Anwenden:

Elektronik & Halbleiter: Als Sputtertargets, dünne Schichten für integrierte Schaltkreise, Solarzellen und Flachbildschirme. Hohe Reinheit sorgt für Folienqualität und Oberflächengüte reduziert die Fehlerquote.

Vakuurröhren und Ionenquellen: Als Elektrodenmaterialien eingesetzt, sind sie aufgrund ihrer hohen Leitfähigkeit und geringen Elektronenarbeit (ca. 4,6 eV) anderen Metallen überlegen.

Hochtemperatur-Versuchsgeräte: Werden als Stützstab oder Elektrode in einem Hochtemperaturofen im Labor verwendet, mit hoher Temperaturbeständigkeit und chemischer Stabilität, um den Anforderungen der wissenschaftlichen Forschung gerecht zu werden.

Norm:

International: ASTM B387-18, die die chemische Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften und die Maßtoleranzen von hochreinen Molybdänstäben festlegt.

Inland: GB / T 3462-2017, Reinheit $\geq 99,95 \%$, Verunreinigungsgehalt gemäß den Standards der Elektronikindustrie.

Technische Herausforderungen:

Die Kontrolle des Sauerstoffgehalts erfordert ultrahochreinen Wasserstoff (Taupunkt $< -60^\circ C$) und eine Vakuumumgebung ($< 10^{-4}$ Pa).

Die Kriechbeständigkeit von hochreinem Molybdänstab ist bei hohen Temperaturen schwach, was seine Anwendung bei langfristiger Belastung bei hohen Temperaturen einschränkt.

4.1.2 Dotierte Molybdänstäbe (TZM, Mo-La, Mo-W, etc.)

Dotierte Molybdänstäbe bilden durch Zugabe von Spurenelementen oder Legierungen Legierungen auf Molybdänbasis, die die Hochtemperaturfestigkeit, die Kriechfestigkeit und die Oxidationsbeständigkeit deutlich verbessern. Zu den gängigen Typen gehören TZM (Titan-Zirkonium-Molybdän), Mo-La (Molybdän-Lanthan), Mo-W (Molybdän-Wolfram) usw.

TZM Molybdän-Stäbe:

Zusammensetzung: 0,4–0,55 % Ti, 0,06–0,12 % Zr, 0,01–0,04 % C, mit einem Saldo von Mo.

Charakteristisch:

Durch Lösungsverfestigung und Ausscheidungsfestigkeit aus Hartmetall (TiC, ZrC) erreicht die Zugfestigkeit 1100 MPa (20 °C), und die Zugfestigkeit bei hohen Temperaturen (1500 °C) beträgt etwa 400 MPa, was weitaus besser ist als bei reinem Molybdän.

Die Kriechgeschwindigkeit ist gering, z.B. ca. $10^{-6}/h$ bei 1200°C bei 50 MPa.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Die Wärmeleitfähigkeit ist etwas geringer als die von reinem Molybdän (ca. 120 W/m·K), und der Wärmeausdehnungskoeffizient ist ähnlich ($5,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$).

Die Oxidationsbeständigkeit ist etwas besser als die von reinem Molybdän, muss aber immer noch bei $<600^{\circ}\text{C}$ oder in einer Schutzatmosphäre verwendet werden.

Präparat:

Molybdänpulver gemischt mit Ti-, Zr-, C-Pulver (Planetenmühle, 200–400 U/min), kaltisostatisches Pressformen, wasserstoffgeschütztes Sintern ($1800\text{--}2100^{\circ}\text{C}$).

Die Warmumformung (Schmieden $1400\text{--}1700^{\circ}\text{C}$, Walzen $1200\text{--}1500^{\circ}\text{C}$) ist aufgrund der erhöhten Härte (HV 270–300) schwieriger.

Anwenden:

Luft- und Raumfahrt: Hochtemperatur-Strukturbauteile (z. B. Düsen von Düsentriebwerken) aufgrund ihrer hohen Festigkeit und geringen Dichte ($10,16\text{ g/cm}^3$).

Hochtemperaturofen: Heizelement und Stützstange, beständig bis 1800°C für den Langzeiteinsatz.

Formenbau: Warmextrusionsform, beständig gegen Hochtemperaturverschleiß.

Mo-La Molybdän-Stäbe:

Zusammensetzung: 0,3–1,0 % La_2O_3 (Lanthanoxid) mit einer Restmenge an Mo.

Charakteristisch:

Die La_2O_3 -Dispersion verstärkt die Kornfeinung ($10\text{--}20\text{ }\mu\text{m}$) und erhöht die Korngrenzfestigkeit mit einer Dehnung von 25 % (20°C).

Die Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen ist besser als die von reinem Molybdän, und die Oxidationsrate liegt bei etwa $0,05\text{ mg/cm}^2\cdot\text{h}$ bei 800°C .

Ausgezeichnete Kriechfestigkeit, Kriechgeschwindigkeit weniger als $10^{-6}/\text{h}$ bei 1500°C .

Die Wärmeleitfähigkeit beträgt ca. $130\text{ W/m}\cdot\text{K}$, was für hochtemperaturwärmeleitende Teile geeignet ist.

Präparat:

Molybdänpulver wurde mit La_2O_3 -Pulverflüssigkeit (pH 7–8) dotiert und sprühgetrocknet, um Kompositpulver herzustellen.

Vakuumsintern ($1900\text{--}2200^{\circ}\text{C}$), Warmumformung (Schmieden $1300\text{--}1600^{\circ}\text{C}$).

Oberflächenpolituren oder Beschichtungen (z.B. MoSi_2) steigern die Leistung zusätzlich.

Anwenden:

Hochtemperaturofen: Heizelemente und Warmsiebe, die bei langfristig hohen Temperaturen ($>1500^{\circ}\text{C}$) eingesetzt werden.

Glasindustrie: geschmolzene Elektroden, beständig gegen Hochtemperaturkorrosion.

Wissenschaftliche Forschung: experimentelles Hochtemperaturgerät unter Berücksichtigung von Zähigkeit und Festigkeit.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Mo-W Molybdän-Stäbe:

Zusammensetzung: 5–30 % W (Wolfram) mit einem Saldo von Mo.

Charakteristisch:

Die Zugabe von Wolfram erhöht den Schmelzpunkt (nahe 3422 °C) und die Festigkeit, und die Zugfestigkeit kann 1200 MPa (20 °C) erreichen.

Die Wärmeleitfähigkeit nimmt ab (ca. 100–120 W/m·K) und der spezifische Widerstand steigt ($6\text{--}8 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$).

Bessere Korrosionsbeständigkeit als reines Molybdän, geeignet für saure oder geschmolzene Salzumgebungen.

Präparat:

Molybdänpulver wird mechanisch mit Wolframpulver legiert, gepresst und umgeformt und anschließend vakuumgesintert (2000–2300 °C).

Hochtemperaturschmieden (1500–1800 °C) oder Ziehen (1000–1400 °C).

Anwenden:

Nuklearindustrie: Hochtemperatur-Reaktorkomponenten aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer Strahlungsbeständigkeit.

Spezialelektroden: Korrosionsbeständige Elektroden für raue chemische Umgebungen.

Vergleichen:

TZM: Beste Hochtemperaturfestigkeit und Kriechfestigkeit, geeignet für die Luft- und Raumfahrt.

Mo-La: Ausgezeichnete Oxidationsbeständigkeit und Duktilität, geeignet für Hochtemperaturöfen und Glasindustrie.

Mo-W: Hervorragender Schmelzpunkt und Korrosionsbeständigkeit, geeignet für die Nuklearindustrie und spezielle Umgebungen.

Norm:

ASTM B387-18: Spezifiziert die Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften und die Toleranzen von TZM und Mo-La.

GB/T 4188-2015: TZM-Barrenstandard, die Grenzen von Verunreinigungen und Dotierungselementen sind klar.

Technische Herausforderungen:

Die Gleichmäßigkeit der Verteilung der dotierten Elemente muss genau kontrolliert werden, um eine Entmischung zu vermeiden.

Legierungsstäbe sind schwer zu verarbeiten und erfordern Hochtemperaturgeräte und optimierte Prozesse.

4.2 Klassifizierung nach Oberflächenzustand

Der Oberflächenzustand von Molybdänstab hat einen wichtigen Einfluss auf seine Leistung und Anwendung und kann je nach Verarbeitungstechnologie und Verwendungsanforderungen in

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

schwarzen Molybdänstab, polierten Molybdänstab und gereinigten Molybdänstab unterteilt werden.

4.2.1 Stäbe aus schwarzem Molybdän

Schwarzer Molybdänstab bezieht sich auf einen Stab, der nicht poliert oder chemisch behandelt wurde, und die Oberfläche behält nach der Warmumformung (Schmieden, Walzen) die Oxidschicht bei, die schwarz oder dunkelgrau ist. Die Oberflächenrauheit beträgt typischerweise Ra 3,2–6,4 µm.

Charakteristisch:

Oberfläche: Molybdänoxid ($\text{MoO}_2/\text{MoO}_3$) Schichtdicke von 0,01–0,05 mm, leichte Verringerung der Korrosionsbeständigkeit, aber keine signifikante Auswirkung in nicht oxidierenden Umgebungen (z. B. Vakuum).

Leistung: Die mechanischen Eigenschaften sind die gleichen wie bei polierten Stäben, aber Oberflächenfehler wie Mikrorisse können die Lebensdauer der Ermüdung beeinträchtigen.

Kosten: Niedrige Produktionskosten, da keine zusätzliche Oberflächenbehandlung erforderlich ist.

Präparat:

Der gesinterte Knüppel wird durch Warm Schmieden (1200–1600 °C) oder Walzen (1000–1400 °C) geformt und direkt abgekühlt, um schwarze Stäbe zu bilden.

Die Oberflächenoxidschicht entsteht durch die Reaktion mit Spuren von Sauerstoff während der Hochtemperaturverarbeitung, und die Dicke kann durch Kontrolle der Atmosphäre (Wasserstoff oder Vakuum) reduziert werden.

Anwenden:

Hochtemperaturofen: Als Stützstange oder Heizelement beeinträchtigt die Oberflächenoxidschicht die Leistung unter Vakuum oder inerte Atmosphäre nicht.

Schruppen: als Halbzeug für das anschließende Polieren oder Zerspanen.

Kostensensible Bereiche: wie z.B. keramisches Sintern, schwarze Molybdänstäbe werden bevorzugt, um Kosten zu senken.

Norm:

ASTM B387-18: Die Oberfläche des schwarzen Molybdänstabs ermöglicht eine leichte Oxidation mit einer Rauheit von $\text{Ra} \leq 6,4 \mu\text{m}$.

GB/T 3462-2017: Keine schwerwiegenden Mängel wie Risse und Schlackeneinschlüsse auf der Oberfläche.

Technische Herausforderungen:

Die Oberflächenoxidschicht kann in einigen Anwendungen MoO_3 -Gas freisetzen und die Umwelt verschmutzen.

Raue Oberflächen verringern die Korrosionsbeständigkeit, und die Einsatzumgebung muss bewertet werden.

4.2.2 Polieren von Molybdänstäben

Polierte Molybdänstäbe sind mechanisch oder elektrolytisch poliert und haben eine hohe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Oberflächengüte, in der Regel Ra 0,1–0,8 µm, mit einem silbrig-weißen metallischen Glanz.

Charakteristisch:

Oberfläche: keine Oxidschicht, sehr wenige mikroskopische Defekte (Kratzer, Risse), Korrosionsbeständigkeit ist besser als bei schwarzem Molybdänstab.

Leistung: Leicht verbesserte elektrische und thermische Leitfähigkeit (aufgrund reduzierter Oberflächenfehler) für hochpräzise Anwendungen.

Ästhetik: Glatte Oberflächen verbessern das Erscheinungsbild, um den Anforderungen der Elektronik- und Optikindustrie gerecht zu werden.

Präparat:

Mechanisches Polieren: Grobschleifen mit Siliziumkarbid-Schleifscheibe (60–800 mesh) und Feinpolieren mit Diamantpolierpaste (0,5–1 µm) bei 1000–3000 U/min.

Elektropolieren: Polieren in Phosphorsäure-Schwefelsäure-Elektrolyt (pH 2–3) mit einer Stromdichte von 0,5–2 A/cm², Polieren für 5–10 Minuten, Ra < 0,1 µm.

Reinigung: Ultraschallreinigung (40 kHz, entionisiertes Wasser) zur Entfernung von Polierrückständen, Stickstofftrocknung zur Verhinderung von Oxidation.

Anwenden:

Halbleiter: Sputtertargets und Elektroden, die ein hohes Finish und eine niedrige Defektrate erfordern.

Optische Ausstattung: Stützstäbe oder reflektierende Teile mit glatten Oberflächen, die die Lichtstreuung reduzieren.

Medizin: Röntgenröhrentargets mit hoher Reinheit und Finish sorgen für Bildqualität.

Norm:

ASTM B387-18: Rauheit des polierten Molybdänstabs Ra ≤ 0,8 µm ohne sichtbare Kratzer.

GB/T 3462-2017: Die Oberflächengüte erfüllt die Anforderungen der Elektronikindustrie.

Technische Herausforderungen:

Der Polierprozess kann Spuren von abrasiven Verunreinigungen einbringen und erfordert eine strenge Reinigung.

Ein hohes Finish erhöht die Produktionskosten und erfordert einen Kompromiss zwischen den Anwendungsanforderungen.

4.2.3 Reinigung von Molybdänstäben

Reinigung Molybdänstäbe sind Stäbe, die chemisch gereinigt werden, um Oberflächenoxide, Öle und Verunreinigungen zu entfernen, mit einer Oberflächenbeschaffenheit zwischen schwarzen Stäben und polierten Stäben und einer Rauheit von typischerweise Ra 1,6–3,2 µm.

Charakteristisch:

Oberfläche: keine Oxidschicht und organische Schadstoffe, cremefarben, Korrosionsbeständigkeit ist besser als bei schwarzem Molybdänstab.

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

Leistung: Nahe an Polierstäben, aber mit mikroskopischen Oberflächenfehlern, geeignet für Anwendungen mit mittlerer Präzision.

Kosten: niedriger als polierte Stäbe, höher als schwarze Molybdänstäbe.

Präparat:

Beizen: Salpetersäure-Schwefelsäure-Gemisch ($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4=1:3$, 10–20%), 5–15 Minuten bei 20–40°C eingeweicht, um die Oxidschicht zu entfernen.

Laugewäsche: 5–10%ige NaOH-Lösung, 50–70°C, 3–10 Minuten einweichen, um das Öl zu entfernen.

Ultraschallreinigung: entionisiertes Wasser plus neutrales Reinigungsmittel (0,1–0,5 %), 40 kHz, 5–10 Minuten.

Trocknung: Vakuum- oder Heißlufttrocknung (80–100°C), Stickstoffverpackung verhindert Sekundäroxidation.

Anwenden:

Glasindustrie: Schmelzen von Elektroden, Reinigen von Oberflächen, um die Verschmutzung durch Verunreinigungen zu reduzieren.

Hochtemperaturofen: Stützstange, Korrosionsbeständigkeit, um den Anforderungen der inertten Atmosphäre gerecht zu werden.

Vorbehandlung: als Zwischenprodukt für Polierstäbe, Weiterverarbeitung.

Norm:

ASTM B387-18: Reinigung der Oberfläche von Molybdänstäben ohne Oxide, Rauheit $\text{Ra} \leq 3,2 \mu\text{m}$.

GB/T 3462-2017: Keine Chemikalienrückstände auf der Oberfläche.

Technische Herausforderungen:

Die Beizabfälle müssen neutralisiert werden (pH 6,5–7,5), um die Umweltaanforderungen zu erfüllen. Eine unvollständige Reinigung kann Spuren von Verunreinigungen hinterlassen und die Leistung beeinträchtigen.

4.3 Klassifizierung nach Größe und Form

Molybdänstäbe sind in Größen und Formen erhältlich, die auf die Anwendung zugeschnitten sind, einschließlich runder, quadratischer, profilierter und mikro- bis großer Stäbe.

4.3.1 Runde Molybdänstäbe

Runde Molybdänstäbe sind die gebräuchlichste Form von Molybdänstäben mit einem Durchmesser von 0,5 mm bis 100 mm und typischerweise in Längen von 100 mm bis 3000 mm.

Charakteristisch:

Maßhaltigkeit: Durchmessertoleranz $\pm 0,01\text{--}0,1 \text{ mm}$, Längentoleranz $\pm 1\text{--}5 \text{ mm}$ für hochpräzise Anwendungen.

Mechanische Eigenschaften: gleichbleibende Kornorientierung in axialer Richtung, gleichmäßige Zugfestigkeit.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Verarbeitbarkeit: Leicht zu drehen, zu bohren und zu schweißen, geeignet für die Herstellung komplexer Komponenten.

Präparat:

Kleiner Durchmesser (<5 mm): Ziehprozess (800–1200°C) mit einer Formgenauigkeit von $\pm 0,001$ mm.

Mittlerer Durchmesser (5–20 mm): warmgewalzt (1000–1400°C), Inline-Durchmessermessung zur Sicherstellung von Toleranzen.

Großer Durchmesser (>20 mm): Warm Schmieden (1200–1600°C), Mehrgangverformung.

Anwenden:

Elektronik: Elektroden und Sputtertargets, meist mit Durchmessern von 5–20 mm.

Hochtemperaturofen: Heizelemente und Stützstangen, Durchmesser 20–50 mm.

Luft- und Raumfahrt: Strukturteile, 50–100 mm Durchmesser, hohe Festigkeit.

Norm:

ASTM B387-18: Durchmesser toleranzen $\pm 0,05$ mm (<10 mm), $\pm 0,1$ mm (>10 mm).

GB/T 3462-2017: Rundheitsabweichung <0,02 mm.

Technische Herausforderungen:

Stangen mit kleinem Durchmesser sind bruchanfällig und müssen für Ziehgeschwindigkeiten (0,1–1 m/s) optimiert werden.

Das Schmieden von Stangen mit großem Durchmesser erfordert Hochtemperaturgeräte und ist kostspielig.

4.3.2 Quadratische und andere speziell geformte Molybdänstäbe

Quadratische Molybdänstäbe und speziell geformte Molybdänstäbe (z. B. rechteckig, sechseckig) werden in speziellen Strukturen oder Formen verwendet, in der Regel mit einer Seitenlänge oder Querschnittsgröße von 5 – 50 mm und einer Länge von 100 – 2000 mm.

Charakteristisch:

Geometrische Genauigkeit: Kantenlängentoleranz $\pm 0,05$ – $0,2$ mm, Kantengeradheit < 0,1 mm/m.

Leistung: Die mechanischen Eigenschaften sind ähnlich wie bei Rundstäben, jedoch nimmt der Verarbeitungsschwierigkeitsgrad zu.

Anwendbarkeit: Speziell geformtes Design, um komplexe Installations- oder Funktionsanforderungen zu erfüllen.

Präparat:

Umformung: Beim Kaltisostatischen Pressen werden speziell geformte Formen verwendet, und der Rohling befindet sich nach dem Sintern nahe an der endgültigen Form.

Bearbeitung: Warm Schmieden (1200–1600°C) oder Zerspanung (CNC-Drehmaschinen, Schnittgeschwindigkeit 10–50 m/min).

Oberflächenbehandlung: poliert oder gereinigt, Rauheit Ra 0,8–3,2 μm .

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anwenden:

Formenbau: Quadratischer Molybdänstab wird für die Warmextrusionsmatrize verwendet, die gegen Hochtemperaturverschleiß beständig ist.

Hochtemperaturofen: Speziell geformter Stützstab zur Optimierung der thermischen Feldverteilung.

Forschung: Maßgeschneiderte Formen, um den Anforderungen von Versuchsaufbauten gerecht zu werden.

Norm:

ASTM B387-18: Querschnittstoleranz für Profilstäbe $\pm 0,1$ mm.

GB/T 3462-2017: Es gibt keinen Riss an der Kante, und die Oberflächenqualität ist die gleiche wie bei einem Rundstab.

Technische Herausforderungen:

Die Konstruktion von speziell geformten Formen ist komplex und die Herstellungskosten sind hoch. Die Bearbeitung ist anfällig für Spannungskonzentration, und die Schnittdaten müssen optimiert werden.

4.3.3 Mikromolybdänstäbe und große Molybdänstäbe

Mikromolybdänstäbe: Durchmesser <1 mm, Länge 10–500 mm.

Eigenschaften: Hohe Genauigkeit (Durchmessertoleranz $\pm 0,005$ mm), Oberflächengüte $Ra < 0,1$ μm , geeignet für Mikroelektronik und Präzisionsinstrumente.

Vorbereitung: Feinstziehen (600–1000 °C) mit Nanodiamantformen, Mehrfachglühen (800–1000 °C).

Anwenden:

Mikroelektronik: Elektroden und Sonden mit einem Durchmesser von 0,1 bis 0,5 mm.

Medizin: Röntgenröhrenkomponenten, hohe Reinheit und Präzision erforderlich.

Herausforderung: Hohe Auszugsbruchrate, präzise Regelung von Geschwindigkeit (0,05–0,5 m/s) und Schmierung (MoS_2).

Große Molybdänstäbe: Durchmesser > 50 mm, Länge 500–3000 mm.

Eigenschaften: Hohe Festigkeit (Zugfestigkeit > 800 MPa), Dichte $> 9,7$ g/cm^3 , geeignet für schwere Anwendungen.

Vorbereitung: Schmieden mit großen Tonnagen (2000–5000 t, 1400–1700 °C), Vakuumsintern (> 2200 °C), um sicherzustellen, dass keine innere Porosität entsteht.

Anwenden:

Luft- und Raumfahrt: Hochtemperatur-Strukturteile, wie z. B. Raketendüsen.

Glasindustrie: große Elektroden, beständig gegen Hochtemperaturkorrosion.

Herausforderung: Die Schmiedeausrüstung ist anspruchsvoll und die Korngröße (> 50 μm) ist schwer zu kontrollieren.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Norm:

ASTM B387-18: Toleranz $\pm 0,01$ mm für Mikrostäbe und $0,2$ mm \pm für große Stäbe.

GB/T 3462-2017: Innere Defekte werden mit Ultraschall geprüft ($<0,1$ mm).

Technologischer Fortschritt:

Micro Sticks: laserunterstütztes Ziehen, 20 % höhere Genauigkeit.

Große Stäbe: isothermes Schmieden (1500 °C), Gleichmäßigkeit des Korns um 15 % erhöht.

4.4 Kundenspezifisches Molybdänstab-Design

Kundenspezifische Molybdänstäbe werden nach kundenspezifischen Bedürfnissen konstruiert und beinhalten die Optimierung von Zusammensetzung, Größe, Oberflächenbeschaffenheit und Leistung. Die Analyse der Kundennachfrage ist der Ausgangspunkt für die Anpassung, um sicherzustellen, dass das Produkt dem Anwendungsszenario entspricht.

4.4.1 Analyse der Kundennachfrage

Die Analyse der Kundennachfrage ist der Kernschritt des kundenspezifischen Designs, der die technische Kommunikation mit den Kunden, die Bewertung von Anwendungsszenarien und die Leistungsanforderungen umfasst. Hier ist der detaillierte Prozess:

Sammlung von Anforderungen:

Anwendungsszenario: Der Kunde muss die Umgebung kennen, in der der Molybdänstab eingesetzt wird, z. B. Hochtemperaturöfen (1500 – 1800 °C, Vakuum/Wasserstoff), Halbleitersputtern (hohe Reinheit, $Ra < 0,1$ μ m) oder Luft- und Raumfahrt (Zugfestigkeit > 1000 MPa).

Leistungsanforderungen: einschließlich mechanischer Eigenschaften (Festigkeit, Zähigkeit), thermischer Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient), elektrischer Eigenschaften (spezifischer Widerstand) und chemischer Eigenschaften (Oxidationsbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit).

Größe und Form: Durchmesser, Länge, Querschnittsform (z. B. Kreis, Quadrat) und Toleranzanforderungen. So haben Stäbe für die Mikroelektronik einen Durchmesser $< 0,5$ mm und eine Toleranz $\pm 0,005$ mm.

Oberflächenbeschaffenheit: schwarz, poliert oder Reinigungsstab, Anforderungen an die Rauheit (z.B. $Ra < 0,2$ μ m).

Menge und Lieferzeit: Charge (10-1000 Stück) oder Kleinserie Probeproduktion, Vorlaufzeit (2-12 Wochen).

Technische Bewertung:

Materialauswahl: Wählen Sie hochreines Molybdän oder dotierte Legierung nach Ihren Bedürfnissen. Zum Beispiel Mo-La-Stäbe für Hochtemperaturöfen und hochreine Molybdänstäbe für Halbleiter.

Machbarkeit des Prozesses: Bewerten Sie, ob der Produktionsprozess (z. B. Ziehen, Schmieden, Sintern) die Maß- und Leistungsanforderungen erfüllt. So müssen beispielsweise Mikrostäbe ultrafein gezogen und große Stäbe in großen Tonnagen geschmiedet werden.

Einhaltung von Standards: Stellen Sie sicher, dass die Produkte den Normen ASTM B387, GB/T

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

3462 oder kundenspezifischen Standards entsprechen.

Kostenanalyse: Wägen Sie die Kostenauswirkungen von hoher Reinheit, komplexen Formen oder speziellen Oberflächenbehandlungen ab, um eine kostengünstige Lösung bereitzustellen.

Kommunikation & Anerkennung:

Technischer Vorschlag: Übermitteln Sie dem Kunden den Designvorschlag, einschließlich Zusammensetzung, Größe, Oberflächenbehandlung und Leistungsparameter.

Musterversuchsproduktion: Kleinserienfertigung von Mustern, Kundenfeedback nach der Prüfung (z.B. mechanische Eigenschaften, Korrosionsbeständigkeit).

Vertragsunterzeichnung: Klären Sie Lieferzeiten, Qualitätsstandards und Abnahmeprozesse.

Technische Herausforderungen:

Komplexe Anforderungen, wie z. B. Ultraminiatur- oder extragroße Stäbe, erfordern kundenspezifische Geräte, was die Kosten erhöht.

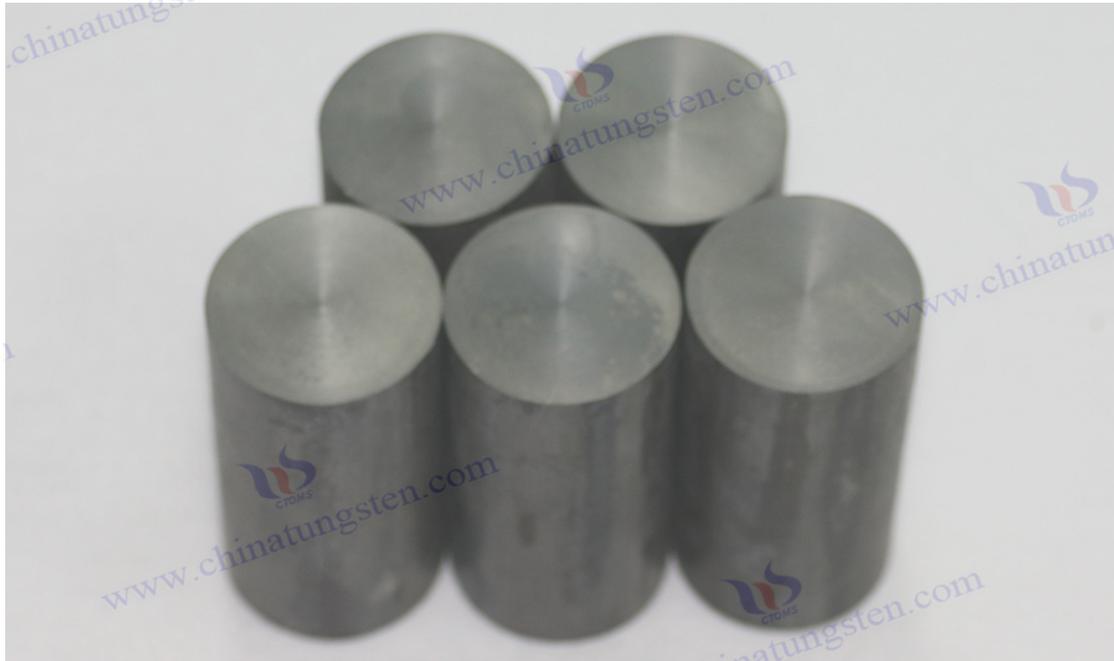
Die Anforderungen der Kunden an die Leistung (z. B. Oxidationsbeständigkeit) können über bestehende Technologien hinausgehen und die Entwicklung neuer Prozesse (z. B. Nanobeschichtungen) erfordern.

Technologischer Fortschritt:

Digitale Konstruktion: CAD/CAE-Software wird verwendet, um die Leistung von Molybdänstäben zu simulieren, und der optimierte Konstruktionszyklus wird um 30 % verkürzt.

Rapid Prototyping: 3D-Druck von Molybdän-Pulverrohlingen, wodurch der Testproduktionszyklus um 50 % reduziert wird.

Zusammenarbeit mit den Kunden: Die Online-Plattform verfolgt den Fortschritt von Bestellungen in Echtzeit, um die Effizienz der Kommunikation zu verbessern.



CTIA GROUP LTD schwarze Molybdänstäbe

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

CTIA GROUP LTD Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces

Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry

Electrodes and targets for vacuum coating equipment

High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines

Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry

Medical devices and X-ray targets

High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 - 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10 - 25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm - 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Kapitel 5 Leistungsprüfung und Bewertung von Molybdänstäben

Als hochleistungsfähiges Refraktärmetall ist die Leistungsprüfung und -bewertung von Molybdänstäben ein wichtiges Bindeglied, um seine zuverlässige Anwendung in stark nachgefragten Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Elektronik und der Glasindustrie zu gewährleisten. In diesem Kapitel werden die Prüfverfahren und Bewertungstechniken von Molybdänstäben unter fünf Aspekten ausführlich erörtert: mechanische Eigenschaften, Hochtemperatureigenschaften, Mikrostruktur, chemische Eigenschaften und Schadensanalyse. Durch systematische Prüfverfahren und fortschrittliche Analysemethoden können das mechanische Verhalten, die Hochtemperaturstabilität, die Mikrostruktureigenschaften und die chemische Stabilität von Molybdänstäben vollständig aufgedeckt werden, was eine wissenschaftliche Grundlage für die Materialoptimierung, Qualitätskontrolle und Lebensdauervorhersage bietet. Diese Tests verifizieren nicht nur die Leistung von Molybdänstäben, sondern bieten auch technische Unterstützung, um spezifische Anwendungsanforderungen zu erfüllen.

5.1 Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Molybdänstäben

Die Prüfung der mechanischen Eigenschaften ist das Kernmittel zur Bewertung der Leistung von Molybdänstäben unter Belastungsbedingungen und umfasst Zug-, Druck-, Biege- und Schertests. Diese Tests zeigen die Festigkeit, Zähigkeit und Verformungsfähigkeit von Molybdänstäben und liefern Datenunterstützung für ihre Anwendungen in Strukturteilen, Elektrodenmaterialien und anderen Bereichen. Die Tests werden in der Regel unter standardisierten Bedingungen durchgeführt, kombiniert mit fortschrittlichen Prüfgeräten und Datenanalysetechniken, um genaue und wiederholbare Ergebnisse zu gewährleisten.

5.1.1 Zugversuch von Molybdänstäben

Die Zugprüfung ist die Hauptmethode zur Bewertung der Zugfestigkeit, Streckgrenze und Duktilität von Molybdänstäben und wird häufig in der Qualitätskontrolle und Leistungsüberprüfung eingesetzt. Der Zugversuch misst das Verformungsverhalten von Molybdänstäben unter Kraft, indem eine axiale Zugkraft aufgebracht wird, bis es zum Bruch kommt. Für die Prüfung werden in der Regel Universalprüfmaschinen eingesetzt, die mit hochpräzisen Dehnungsmessstreifen und Spannzeugen ausgestattet sind, um eine gleichmäßige Pressung der Probe zu gewährleisten. Die Proben werden in der Regel zylindrisch bearbeitet und die Oberfläche wird poliert, um die Auswirkungen von Mikrorissen oder Oberflächenfehlern zu eliminieren. Die Testumgebung kann Raumtemperatur oder hohe Temperaturen haben, um reale Einsatzbedingungen zu simulieren, wie z. B. Hochtemperaturöfen oder Luft- und Raumfahrtkomponenten.

Während des Zugprozesses zeichnet der Prüfer eine Spannungs-Dehnungs-Kurve auf, die die elastische Phase, die plastische Verformungsphase und das Bruchverhalten des Materials widerspiegelt. Hochreine Molybdänstäbe weisen bei Raumtemperatur eine hohe Festigkeit, aber eine begrenzte Zähigkeit auf, während dotierte Molybdänstäbe (wie z. B. TZM) die Festigkeit und Bruchfestigkeit durch Zugabe von Legierungselementen erheblich verbessern. Bei hohen Temperaturen nimmt die Duktilität von Molybdänstäben deutlich zu, aber die Festigkeit nimmt ab, so dass es in einem Vakuum oder einer inerten Atmosphäre getestet werden muss, um

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Oxidationsstörungen zu vermeiden. Nach dem Bruch kann die Bruchmorphologie durch ein optisches Mikroskop beobachtet werden, um festzustellen, ob es sich um einen duktilen Bruch (manifestiert als Grübchen) oder einen spröden Bruch (manifestiert als Spaltebene) handelt, um die mikroskopischen Defekte oder den Verarbeitungszustand des Materials zu analysieren.

Zu den Faktoren, die die Zugeigenschaften beeinflussen, gehören die Materialzusammensetzung, die Korngröße, die Verarbeitungstechnologie und die Prüfumgebung. So kann beispielsweise ein feines Korngefüge die Festigkeit erhöhen, während ein zu großes Korn zu Sprödbbruch führen kann. Auch Eigenspannungen, die während der Bearbeitung eingebracht werden, können sich auf die Prüfergebnisse auswirken und müssen durch Glühen beseitigt werden. In den letzten Jahren haben technologische Fortschritte die Genauigkeit der Zugversuche erheblich verbessert. So kann beispielsweise die In-situ-Zugprüfung in Kombination mit der Rasterelektronenmikroskopie die Rissinitiierung und -ausbreitung in Echtzeit beobachten. Die digitale Bildkorrelationstechnologie ermöglicht eine genauere Verformungsanalyse, indem die Dehnungsverteilung mit einer hochauflösenden Kamera aufgezeichnet wird. Die Anwendung dieser Techniken ermöglicht es, bei der Zugprüfung über die makroskopischen Eigenschaften hinauszugehen und mikroskopische Mechanismen aufzudecken.

5.1.2 Druckprüfung von Molybdänstäben

Die Druckprüfung wird verwendet, um die Druckfestigkeit und plastische Verformung von Molybdänstäben unter Druck zu bewerten, insbesondere für die Konstruktion von Hochtemperatur-Strukturteilen, wie z. B. Düsen für die Luft- und Raumfahrt oder Hochtemperatur-Ofenstützstäbe. Bei der Druckprüfung werden das Verformungsverhalten und die Versagensgrenze einer Probe gemessen, indem an beiden Enden Druck ausgeübt wird. Bei der Prüfeinrichtung handelt es sich in der Regel um eine hydraulische Prüfmaschine, die mit einem hochpräzisen Wegsensor ausgestattet ist, der dafür sorgt, dass kleine Verformungen erfasst werden. Die Probe wird in eine zylindrische Form gebracht, mit einer flachen Endfläche, um ungleichmäßige Spannungen zu vermeiden, und einem Schmiermittel (z. B. Graphit), das auf die Oberfläche aufgetragen wird, um Reibungseffekte zu reduzieren.

Während der Druckprüfung können sich die Proben je nach Art des Materials und den Prüfbedingungen nachgeben oder plastisch verformen oder sich im Zylinder verformen. Hochreiner Molybdänstab hat eine hohe Druckfestigkeit bei Raumtemperatur, aber die Plastizität wird bei hohen Temperaturen verbessert und neigt zu großen Verformungen. Dotierte Molybdänstäbe (z. B. Mo-La) werden durch Dispersion verstärkt, um ihre Druckkapazität zu verbessern, insbesondere bei hohen Temperaturen. Nach Abschluss des Tests kann die Kompressionssektion durch ein Mikroskop analysiert werden, um die Kornverformung, die Rissverteilung und mikroskopische Defekte zu beobachten und die Druckleistung des Materials zu beurteilen.

Zu den Faktoren, die die Kompressionsleistung beeinflussen, gehören die Reibung der Stirnfläche, die Temperatur und die Belastungsrate. Hohe Reibung kann zu einer ungleichmäßigen Verformung der Probe führen und die Testergebnisse beeinflussen, daher sind die Wahl des Schmiermittels und die Gleichmäßigkeit der Anwendung entscheidend. Hochtemperaturtests werden im Vakuum durchgeführt, um Oxidationsstörungen zu vermeiden. Zu den technologischen Fortschritten der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

letzten Jahre gehören die Entwicklung von Hochtemperatur-Druckvorrichtungen, die bei höheren Temperaturen getestet werden können, sowie die Anwendung von Mikrokompressionstests zur Leistungsbewertung von Mikromolybdänstäben. Darüber hinaus wird Finite-Elemente-Simulationssoftware häufig eingesetzt, um das Druckverformungsverhalten vorherzusagen und so die Prüfbedingungen und das Probendesign zu optimieren.

5.1.3 Biege- und Schubprüfung

Biege- und Scherversuche bewerten die Biege- und Scherfestigkeit von Molybdänstäben unter komplexen Belastungsbedingungen und eignen sich für Anwendungen wie Hochtemperatur-Ofenstützstäbe oder Formmaterialien. Bei der Biegeprüfung wird in der Regel ein Drei- oder Vierpunkt-Biegeverfahren verwendet, um den Biege widerstand und die Durchbiegung einer Probe zu messen, indem eine vertikale Last auf sie aufgebracht wird. Bei der Prüfeinrichtung handelt es sich um eine spezielle Biegeprüfmaschine, bei der die Probe zu einem rechteckigen oder kreisförmigen Querschnitt verarbeitet und die Oberfläche poliert wird, um die Auswirkungen von Defekten zu reduzieren. Während des Versuchs wurde die Kraft-Durchbiegungs-Kurve aufgezeichnet und die Rissinitiationsstelle und die Bruchmorphologie beobachtet, um die Biegeleistung des Materials zu bewerten.

Der Scherversuch misst die Scherfestigkeit des Molybdänstabes, indem eine seitliche Last aufgebracht wird, in der Regel unter Verwendung einer speziellen Schervorrichtung. Die Probe muss einen Querschnitt haben und der Fräerspalt wird genau kontrolliert, um zusätzliche Belastungen zu vermeiden. Dotierte Molybdänstäbe wie z. B. TZM weisen aufgrund der Verstärkung der Korngrenzen in der Regel eine höhere Scherfestigkeit auf als hochreine Molybdänstäbe. Die Testergebnisse werden von der Probengeometrie, der Oberflächenbeschaffenheit und der Belastungsrate beeinflusst, und die Testbedingungen müssen streng kontrolliert werden, um die Konsistenz zu gewährleisten.

Zu den Faktoren, die sich auf die Biege- und Scherleistung auswirken, gehören das Spannweitenverhältnis, Oberflächenfehler und die Prüftemperatur. Wenn die Spannweite zu klein ist, kann dies zu einem Schereffekt führen und die Biegefestigkeit verringern. Hohe Temperaturen verringern die Festigkeit erheblich, verbessern aber die Zähigkeit. Zu den technologischen Fortschritten gehört die weit verbreitete Anwendung des Vierpunkt-Biegeversuchs, der gleichmäßiger und die Prüfergebnisse zuverlässiger ist; Die In-situ-Röntgenbildgebungstechnologie ermöglicht die Echtzeitüberwachung der Rissausbreitung und ermöglicht eine detailliertere Fehleranalyse. Darüber hinaus wurden durch die Einführung automatisierter Testsysteme die Effizienz der Datenerfassung und die Testgenauigkeit verbessert.

5.2 Hochtemperatur-Leistungstest von Molybdänstäben

Die Leistungsprüfung bei hohen Temperaturen ist der Schlüssel zur Bewertung der Leistung von Molybdänstäben bei extremen Temperaturen, einschließlich Kriechen, thermischer Ermüdung und Oxidationsbeständigkeit, was in direktem Zusammenhang mit ihrer Anwendungszuverlässigkeit in Hochtemperaturöfen, in der Luft- und Raumfahrt und in anderen Bereichen steht. Diese Tests werden in der Regel im Vakuum oder in inerter Atmosphäre durchgeführt, um Oxidationsstörungen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

zu vermeiden.

5.2.1 Zeitstandversuch an Molybdänstäben

Der Zeitstandversuch bewertet das Langzeitverformungsverhalten von Molybdänstäben unter ständiger Beanspruchung bei hohen Temperaturen und spiegelt ihre Stabilität in Umgebungen mit hohen Temperaturen wider. Bei der Prüfung wird eine spezielle Zeitstandprüfmaschine verwendet, die mit einem Hochtemperatur-Vakuumofen ausgestattet ist, um sicherzustellen, dass die Prüfumgebung frei von Sauerstoffstörungen ist. Die Probe wird in eine zylindrische Form gebracht und die Oberfläche poliert, um die Spannungskonzentration zu reduzieren. Während des Tests wird die Probe über Hunderte bis Tausende von Stunden bei konstanter Temperatur und Spannung gehalten, die Verformungsänderungen im Laufe der Zeit werden aufgezeichnet und eine Kriechkurve erstellt, die in Primär-, stationäre und beschleunigte Kriechphasen unterteilt ist.

Die Kriechgeschwindigkeit von hochreinen Molybdänstäben ist bei hohen Temperaturen höher, während dotierte Molybdänstäbe (wie z.B. TZM, Mo-La) die Kriechgeschwindigkeit deutlich reduzieren und die Lebensdauer durch Zugabe von Legierungselementen verlängern. Nach Abschluss des Tests kann der Kriechbruch mikroskopisch analysiert werden, und mikroskopische Phänomene wie Korngrenzschlupf und Hohlraumbildung können beobachtet werden, wodurch der Kriechmechanismus aufgedeckt wird. Zu den Faktoren, die die Kriecheigenschaften beeinflussen, gehören Temperatur, Spannung und Mikrostruktur. Hohe Temperaturen beschleunigen die Diffusion von Atomen, was zu einem verstärkten Kriechen führt; Feine Körner und dotierte Elemente können das Gleiten der Korngrenzen wirksam verhindern.

Zu den technologischen Fortschritten gehört die Entwicklung eines mehrachsigen Zeitstandprüfsystems, das komplexe Belastungszustände simulieren und die Vorhersagegenauigkeit verbessern kann; Die digitale Hochtemperatur-Bildkorrelationstechnologie zeichnet das Dehnungsfeld mit einer Infrarotkamera auf und liefert so genauere Verformungsdaten. Darüber hinaus verbessert die beschleunigte Zeitstandprüfmethode die Prüfeffizienz erheblich, indem sie Temperatur und Spannung erhöht, die Prüfzeit verkürzt und mathematische Modelle zur Vorhersage des Langzeitverhaltens einbezieht.

5.2.2 Prüfung der thermischen Ermüdung von Molybdänstäben

Die thermische Ermüdungsprüfung bewertet die Rissbeständigkeit von Molybdänstäben unter zyklischen thermischen Beanspruchungen und eignet sich für Hochtemperatur-Ofenheizelemente oder Komponenten für die Luft- und Raumfahrt. Der Test simuliert Temperaturwechsel unter realen Betriebsbedingungen, indem die Probe schnell erhitzt und abgekühlt wird. Die Ausrüstung umfasst eine thermische Ermüdungsprüfmaschine mit Induktionserwärmung und Wasserkühlsystemen, die einen schnellen Temperaturanstieg und -abfall ermöglichen. Die Oberfläche der Probe wird poliert, um anfängliche Risse zu reduzieren, und der Test wird in einem Vakuum oder einer inerten Atmosphäre durchgeführt, um Oxidation zu vermeiden.

Während des Tests durchlief die Probe mehrere Hochtemperatur-Niedrig-Zyklen, und die Rissinitiationszeit und die Ausbreitungsgeschwindigkeit wurden aufgezeichnet. Dotierte

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdänstäbe weisen aufgrund ihrer hervorragenden Rissbeständigkeit und Hochtemperaturfestigkeit in der Regel eine längere Lebensdauer der thermischen Ermüdung auf. Nach Abschluss der Prüfung wird die Risttopographie durch Mikroskopie oder Ultraschallprüfung analysiert, um Ermüdungsstreifen und oxidative Schäden zu charakterisieren. Zu den Faktoren, die sich auf die thermische Ermüdung auswirken, gehören Temperaturunterschiede, Oberflächenbedingungen und Zyklushäufigkeit. Ein großer Temperaturunterschied erhöht die thermische Spannung und beschleunigt die Rissausbreitung. Die polierte Oberfläche kann die Lebensdauer effektiv verlängern.

Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung der In-situ-Wärmebildtechnologie, die die Temperaturverteilung in Echtzeit durch Infrarotkameras aufzeichnet, um die Testbedingungen zu optimieren; Das Auftragen von Antioxidationschichten wie MoSi₂ erhöht die Lebensdauer der thermischen Ermüdung erheblich. Darüber hinaus prognostiziert die numerische Simulationstechnologie den Ort der Rissentstehung durch Simulation des thermischen Spannungsfeldes, was den wissenschaftlichen Charakter des Tests verbessert.

5.2.3 Prüfung der Oxidationsbeständigkeit von Molybdänstäben

Oxidationsbeständigkeitstests bewerten die Stabilität von Molybdänstäben in oxidierenden Hochtemperaturumgebungen, die für Hochtemperaturöfen und Luft- und Raumfahrtanwendungen von entscheidender Bedeutung sind. Bei dem Test wird ein Hochtemperatur-Oxidationsmittel verwendet, bei dem die Probe in eine Luft- oder Sauerstoffatmosphäre gebracht wird, um Massenänderungen und Oxidbildung zu messen. Die Oberfläche der Probe wird poliert, um die Konsistenz zu gewährleisten, und der Prüftemperaturbereich deckt die Bedingungen ab, unter denen der Molybdänstab verwendet werden darf. Präzisionswaagen werden verwendet, um den Massengewinn aufzuzeichnen und die Oxidationsrate widerzuspiegeln.

Hochreine Molybdänstäbe sind bei hohen Temperaturen anfällig für flüchtige Oxide (MoO₃), was zu Massenverlusten führt, während dotierte Molybdänstäbe (z. B. Mo-La) die Oxidationsbeständigkeit verbessern, indem sie eine schützende Oxidschicht bilden. Nach Abschluss des Tests werden die Morphologie und Zusammensetzung der Oxidschicht durch Mikroskopie und Energiespektroskopie analysiert, um ihre Schutzwirkung zu bewerten. Zu den Faktoren, die die Oxidationsbeständigkeit beeinflussen, gehören Temperatur, Atmosphäre und Oberflächenbeschichtung. Hohe Temperaturen und Sauerstoffkonzentrationen beschleunigen die Oxidation, und Beschichtungen wie SiC können die Temperatur der Oxidationsbeständigkeit deutlich erhöhen.

Zu den technologischen Fortschritten gehören dynamische Oxidationsprüfungen, die zyklische Oxidationsbedingungen unter realen Betriebsbedingungen simulieren; Die Nanobeschichtungstechnologie bereitet durch physikalische Gasphasenabscheidung eine dichte Schutzschicht vor, die die Lebensdauer der Antioxidation erheblich verlängert. Darüber hinaus verbessert die Echtzeit-Qualitätsüberwachung des thermogravimetrischen Analysators die Prüfgenauigkeit und bietet Datenunterstützung für das Beschichtungsdesign.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

5.3 Gefügeanalyse von Molybdänstäben

Bei der Mikrostrukturanalyse werden fortschrittliche Mikroskopie- und Spektroskopiemethoden eingesetzt, um die Korngröße, die Phasenverteilung und die Defekteigenschaften von Molybdänstäben aufzudecken, was eine Grundlage für die Leistungsoptimierung und Fehleranalyse bietet.

5.3.1 Rasterelektronenmikroskopische Analyse (REM)

Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) wird verwendet, um die Oberflächenmorphologie, die Brucheigenschaften und die Kornstruktur von Molybdänstäben zu beobachten, was die Kernmethode der Mikrostrukturanalyse ist. Der Test verwendet Feldemissions-REM, das mit Sekundärelektronen- und Rückstreuelektronendetektoren ausgestattet ist, die eine hochauflösende Bildgebung ermöglichen. Die Probe muss auf einen Spiegelzustand poliert werden, oder der Bruch sollte für die Fehleranalyse offen gelassen werden. Vor dem Test wird die Probe mit Ultraschall gereinigt und mit einer leitfähigen Schicht wie Gold oder Kohlenstoff besprüht, um die Bildgebung zu verbessern.

Die REM-Analyse kann die Korngröße, die Eigenschaften der Korngrenzen, die Porosität, die Einschlüsse und die Bruchtopographie aufdecken. Hochreine Molybdänstäbe weisen in der Regel größere Körner auf, und dotierte Molybdänstäbe weisen aufgrund ausgefallter Phasen (z. B. TiC, La₂O₃) feinere Kornstrukturen auf. Mit der Bruchanalyse kann zwischen duktilen und spröden Brüchen unterschieden und die Materialoptimierung geleitet werden. Zu den Faktoren, die die Ergebnisse einer Analyse beeinflussen, gehören die Qualität der Probenvorbereitung und der Verarbeitungsprozess. Ungleichmäßiges Polieren kann zu Artefakten führen, und die thermische Verarbeitung verfeinert die Körner und verbessert die Leistung.

Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung von Umwelt-REM, das die Beobachtung der dynamischen Oxidbildung im Niedervakuum ermöglicht; Fokussierter Ionenstrahl (FIB) in Kombination mit REM ermöglicht eine dreidimensionale Strukturrekonstruktion und liefert umfassendere mikroskopische Informationen. Die Einführung der Technologie der künstlichen Intelligenz hat die Effizienz der Analyse verbessert, indem Korngrenzen und Defekte automatisch identifiziert werden.

5.3.2 Röntgenbeugungsanalyse (XRD)

Die Röntgenbeugungsanalyse (XRD) wird verwendet, um die Kristallstruktur, die Phasenzusammensetzung und die Eigenspannungen von Molybdänstäben zu bestimmen, und ist eine wichtige Methode zur Bewertung der mikroskopischen Eigenschaften von Materialien. Bei dem Test wird ein Röntgendiffraktometer verwendet, um die Probe mit Cu K α -Strahlung abzutasten und so ein Beugungsspektrum zu erzeugen. Die Oberfläche der Probe muss auf Hochglanz poliert werden, um sicherzustellen, dass das Beugungssignal klar ist. Die Testergebnisse wurden mit der Standardkarte abgeglichen, um die körperzentrierte kubische Struktur und die Dotierungsphase (z.B. TiC, ZrC) von Molybdän zu bestimmen.

Die XRD-Analyse kann die während des Bearbeitungsprozesses eingebrachten Eigenspannungen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

aufdecken, die die mechanischen Eigenschaften von Molybdänstäben beeinflussen. Die Ausfällungsphase im dotierten Molybdänstab erhöht die Korngrenzfestigkeit und verbessert die Hochtemperaturleistung. Zu den Faktoren, die die Ergebnisse der Analyse beeinflussen, gehören die Oberflächenoxidation und die Prozessspannung. Die Oxidschicht kann die Beugungsspitzen stören und muss durch Beizen entfernt werden; Die durch die Kaltumformung eingebrachten Spannungen können die Spitzenposition verändern und ein Glühen erfordern.

Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung von Synchrotronstrahlung XRD, um eine höher aufgelöste Phasenanalyse zu ermöglichen; Die In-situ-XRD ermöglicht die Echtzeitüberwachung von Phasenübergängen und Spannungsänderungen bei hohen Temperaturen. Darüber hinaus verbessert die zweidimensionale Spannungskartierungstechnik die Genauigkeit der Analyse der Eigenspannungsverteilung.

5.3.3 Energiespektroskopie (EDS)

Die Spektroskopie (EDS) in Kombination mit dem REM wurde verwendet, um die Elementverteilung und den Verunreinigungsgehalt von Molybdänstäben quantitativ zu bestimmen und die Materialreinheit und Dotierungs gleichmäßigkeit zu bewerten. Der Test detektiert die charakteristischen Röntgenstrahlen, die von der Probe emittiert werden, identifiziert die Elemente und berechnet deren Gehalt. Die Proben werden poliert und gereinigt, um sicherzustellen, dass die Oberfläche frei von Verunreinigungen ist. Die EDS-Analyse kann die Verteilung von Spurenverunreinigungen (z. B. Fe, C, O) und Dotierungselementen (z. B. Ti, La) in Molybdänstäben nachweisen.

Die EDS-Analyse von hochreinen Molybdänstäben zeigt in der Regel ein einzelnes Molybdänelement, während dotierte Molybdänstäbe eine gleichmäßige Verteilung der Legierungselemente aufweisen. Die Prüfergebnisse werden durch die Oberflächenbeschaffenheit der Probe und die Sondierungstiefe beeinflusst, und die Beschleunigungsspannung und die Sondierungszeit müssen optimiert werden. Zu den technologischen Fortschritten gehören der Einsatz von hochauflösenden EDS-Detektoren, die die Empfindlichkeit der Elementdetektion verbessern; In Kombination mit der Elektronenrückstreubeugung (EBSD) ist es möglich, sowohl die Elementverteilung als auch die Kristallorientierung zu analysieren, was weitere Informationen für die Mikrostrukturoptimierung liefert.

5.4 Prüfung der chemischen Eigenschaften von Molybdänstäben

Chemische Leistungstests bewerten die Haltbarkeit und chemische Stabilität von Molybdänstäben in korrosiven Umgebungen für den Einsatz in Elektroden der Glasindustrie und Hochtemperatur-Ofenkomponenten.

5.4.1 Prüfung der Korrosionsbeständigkeit von Molybdänstäben

Korrosionsbeständigkeitstests bewerten die Stabilität von Molybdänstäben in sauren, alkalischen oder geschmolzenen Salzumgebungen. Die Prüfung wird in der Regel durch Tauch- oder elektrochemische Verfahren durchgeführt, bei denen die Probe in ein spezifisches korrosives Medium gelegt wird und der Massenverlust oder die Oberflächenveränderungen beobachtet werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Die Testausrüstung umfasst ein thermostatisches Wasserbad und einen Potentiostaten, und die Probenoberfläche ist poliert, um die Konsistenz zu gewährleisten. Zu den gängigen korrosiven Medien gehören Salpetersäure, Salzsäure, Natronlauge und geschmolzene Salze bei hohen Temperaturen.

Hochreiner Molybdänstab hat eine gute Korrosionsbeständigkeit gegen Säuren und Laugen bei Raumtemperatur, aber lokale Korrosion kann in Hochtemperatursalz auftreten. Dotierte Molybdänstäbe (z. B. Mo-W) erhöhen die Korrosionsbeständigkeit erheblich, indem sie die Stabilität der Korngrenzen verbessern. Nach Abschluss des Tests wird die Korrosionstopographie mikroskopisch beobachtet und die Eigenschaften von Lochfraß oder gleichmäßiger Korrosion analysiert. Zu den Faktoren, die die Korrosionsbeständigkeit beeinflussen, gehören die Medienkonzentration, die Temperatur und die Oberflächenbeschaffenheit. Hohe Temperaturen können die Korrosion beschleunigen, und das Polieren der Oberfläche reduziert das Auftreten von Korrosion.

Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung der elektrochemischen Impedanzspektroskopie (EIS) zur Überwachung der Korrosionsraten in Echtzeit; Entwicklung von Hochtemperatur-Korrosionsprüfgeräten zur Simulation der tatsächlichen Arbeitsbedingungen; Die Verwendung von grünen korrosiven Medien, wie z. B. Zitronensäure, reduziert die Umweltbelastung.

5.4.2 Bewertung der chemischen Stabilität von Molybdänstäben

Bei der Bewertung der chemischen Stabilität wird die Reaktivität von Molybdänstäben in einer bestimmten chemischen Umgebung getestet, häufig in Kombination mit Oxidationsbeständigkeitstests und Korrosionsbeständigkeitstests. Bei dem Test wird eine Probe einer gasförmigen, flüssigen oder festen Umgebung mit hohen Temperaturen ausgesetzt, um Veränderungen in ihren chemischen Reaktionen und Eigenschaften zu beobachten. Die Testausrüstung umfasst einen Hochtemperaturofen und einen chemischen Reaktor, und die Proben werden unter kontrollierter Atmosphäre getestet.

Molybdänstäbe weisen eine ausgezeichnete chemische Stabilität in inerten oder reduzierenden Atmosphären auf, sind jedoch anfällig für Reaktivität in oxidierenden oder korrosiven Umgebungen. Dotierte Molybdänstäbe verbessern die Stabilität, indem sie eine schützende Oxid- oder Legierungsschicht bilden. Die Testergebnisse werden durch eine Kombination aus Qualitätsvariation, Oberflächenanalyse und Zusammensetzungsprüfung bewertet. Zu den Faktoren, die die chemische Stabilität beeinflussen, gehören die Umgebungsatmosphäre, die Temperatur und die Materialzusammensetzung. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung chemischer In-situ-Analysetechniken wie der Raman-Spektroskopie zur Echtzeitüberwachung von Reaktionsprodukten; Durch die Entwicklung von Verbundschichten hat sich die chemische Stabilität verbessert.

5.5 Schadensanalyse von Molybdänstäben

Die Fehleranalyse deckt den Versagensmechanismus auf, indem sie das Bruch-, Ermüdungs- und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Verschleißverhalten von Molybdänstäben untersucht und eine Grundlage für die Materialoptimierung und Lebensdauervorhersage bietet.

5.5.1 Analyse des Bruchmechanismus von Molybdänstäben

Die Analyse des Bruchmechanismus untersucht den Versagensprozess eines Molybdänstabs unter Kraft und identifiziert die Art und Ursache des Bruchs. Die Frakturmorphologie wurde mittels REM beobachtet und die mechanischen Testdaten kombiniert, um zu bestimmen, ob es sich um einen duktilen Bruch, einen Sprödbbruch oder einen Ermüdungsbruch handelte. Hochreine Molybdänstäbe zeigen bei Raumtemperatur oft einen spröden Bruch und werden bei hohen Temperaturen zu einem duktilen Bruch. Dotierte Molybdänstäbe verringern die Sprödigkeit durch Verstärkung der Korngrenzen. Die Analyse umfasst auch den Ort der Rissinitiierung, den Ausbreitungsweg und die Rolle mikroskopischer Defekte.

Zu den Faktoren, die den Bruch beeinflussen, gehören die Korngröße, der Gehalt an Verunreinigungen und Verarbeitungsfehler. Größere Körner und Spuren von Sauerstoff können Sprödbüche auslösen, und Versetzungen, die durch die Kaltumformung verursacht werden, erhöhen das Bruchrisiko. Zu den technologischen Fortschritten gehören die In-situ-REM-Analyse zur Echtzeitbeobachtung der Rissausbreitung; Die Anwendung des bruchmechanischen Modells zur Vorhersage der Risswachstumsrate.

5.5.2 Ermüdungs- und Verschleißanalyse von Molybdänstäben

Die Ermüdungs- und Verschleißanalyse bewertet die Haltbarkeit von Molybdänstäben unter zyklischen Belastungs- und Reibungsbedingungen für Hochtemperatur-Ofenstützstäbe und Formmaterialien. Ermüdungsprüfungen erfassen die Rissinitiierung und -ausbreitung durch Aufbringen zyklischer Spannungen; Bei der Abriebprüfung wird ein Tribometer verwendet, um den Massenverlust und die Oberflächentopographie zu messen. Dotierte Molybdänstäbe weisen aufgrund ihrer höheren Härte und Festigkeit eine bessere Ermüdungs- und Verschleißfestigkeit auf. Zu den Faktoren, die Ermüdung und Verschleiß beeinflussen, gehören die Oberflächenbeschaffenheit, die Umgebung und die Lastbedingungen. Polierte Oberflächen verlängern die Lebensdauer der Ermüdung erheblich und Schmierstoffe reduzieren den Verschleiß. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung von Nanobeschichtungen (z. B. SiC) zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit; In-situ-Reibungsprüftechnik zur Echtzeitüberwachung des Verschleißprozesses.

5.5.3 Lebensdauervorhersagemodell für Molybdänstäbe

Das Lebensdauervorhersagemodell prognostiziert die Lebensdauer von Molybdänstäben unter bestimmten Arbeitsbedingungen durch die Integration von mechanischen, Hochtemperatur- und chemischen Testdaten. Die Modelle basieren auf Kriech-, Ermüdungs- und Korrosionsdaten, kombiniert mit mathematischen Methoden wie dem Arrhenius-Modell zur Vorhersage. Die Testdaten wurden durch maschinelle und mikroskopische Analysen gewonnen, und das Modell berücksichtigte die Auswirkungen von Temperatur, Stress und Umgebung.

Die Lebensdauer von hochreinen Molybdänstäben wird durch Oxidation und Kriechen begrenzt,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

und dotierte Molybdänstäbe verlängern die Lebensdauer erheblich, indem sie die Mikrostruktur stärken. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung der digitalen Zwillingstechnologie, um die Leistung von Molybdänstäben in Echtzeit zu simulieren; Machine-Learning-Modelle nutzen Big-Data-Analysen, um die Vorhersagegenauigkeit zu verbessern.



CTIA GROUP LTD Stäbe aus Molybdän-Wolframlegierung

Kapitel 6 Produktionsanlagen für Molybdänstäbe

Die Herstellung von Molybdänstäben umfasst mehrere komplexe Prozesse, von der Rohstoffhandhabung bis zum Endprodukt, von denen jeder spezielle Geräte erfordert, um die Produktqualität und -leistung zu gewährleisten. In diesem Kapitel werden die bei der Herstellung von Molybdänstäben verwendeten Geräte in den Bereichen Rohstoffhandhabung, Pulvermetallurgie, Wärmeverarbeitung, Oberflächenbehandlung, Prüfung sowie automatisierte und intelligente Produktionsanlagen ausführlich untersucht. Zusammen bilden diese Geräte eine effiziente und ausgeklügelte Produktionskette, die die Nachfrage nach Hochleistungs-Molybdänstäben in der Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Glasindustrie und anderen Bereichen erfüllt. Durch die Optimierung des Anlagendesigns und der Prozesssteuerung können Sie die Produktivität, Produktqualität und Konsistenz erheblich verbessern und gleichzeitig den Energieverbrauch und die Umweltbelastung reduzieren.

6.1 Ausrüstung für den Materialumschlag für Molybdänstäbe

Das Handling von Rohstoffen ist der erste Schritt bei der Herstellung von Molybdänstäben, bei dem Molybdän-erz oder Molybdänverbindungen in hochreines Molybdänpulver umgewandelt werden und damit die Grundlage für nachfolgende pulvermetallurgische Prozesse gelegt wird. Zu den Rohstoffverarbeitungsanlagen gehören hauptsächlich Brech- und Mahlanlagen sowie Reinigungsanlagen, die sicherstellen müssen, dass die Partikelgröße des Rohmaterials gleichmäßig, hochreines und geringes Gehalt an Verunreinigungen ist.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces

Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry

Electrodes and targets for vacuum coating equipment

High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines

Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry

Medical devices and X-ray targets

High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 - 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10 - 25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm - 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

6.1.1 Zerkleinerungs- und Mahlanlagen

Zerkleinerungs- und Mahlanlagen werden verwendet, um Molybdänerz (z. B. Molybdänit) oder Molybdänverbindungen (z. B. Molybdänoxid) zu feinen Partikeln für die anschließende Reinigung und Pulveraufbereitung zu verarbeiten. Zu den Brechanlagen gehören in der Regel Backenbrecher und Kegelschleifer zum Zerkleinern großer Rohmaterialstücke in kleine Partikel. Der Backenbrecher reduziert die Größe des Rohmaterials durch Extrusion und Scherung von mehreren zehn Zentimetern auf wenige Millimeter, was für die Verarbeitung von Molybdänit mit hoher Härte geeignet ist. Der Kegelschleifer veredelt die Partikel weiter und ist sowohl für Sekundär- als auch für Feinzerkleinerungsprozesse geeignet, um eine gleichmäßige Korngröße zu gewährleisten.

Zu den Mahlanlagen gehören hauptsächlich Kugelmøhlen und Strahlmøhlen, mit denen die zerkleinerten Partikel zu mikrometergroßen Pulvern zerkleinert werden. Die Kugelmøhle mahlt die Partikel durch die Kollision und Reibung zwischen den Stahlkugeln und den Rohstoffen auf eine feinere Größe, die für die Großserienproduktion geeignet ist. Die Strahlmøhle verwendet einen Hochgeschwindigkeits-Luftstrom, um Rohstoffe zu beeinflussen und ultrafeines Pulver herzustellen, das sich besonders für die Herstellung von hochreinem Molybdänpulver eignet. Während des Schleifprozesses muss die Atmosphäre (z. B. Stickstoff) kontrolliert werden, um eine Oxidation zu verhindern, und die Anlage ist mit verschleißfesten Materialien (z. B. Aluminiumoxid oder Wolframkarbid) ausgekleidet, um Verunreinigungen zu reduzieren.

Zu den Faktoren, die sich auf die Anlagenleistung auswirken, gehören die Härte des Rohmaterials, die Partikelgröße und die Schleifzeit. Rohstoffe mit höherer Härte können zu Verschleiß an der Ausrüstung führen, und die Auskleidung muss regelmäßig ausgetauscht werden. Zu lange Schleifzeiten können zu Verunreinigungen führen, und die Prozessparameter müssen optimiert werden. Zu den technologischen Fortschritten gehört der Einsatz von hocheffizienten vibrierenden Kugelmøhlen, die die Mahleffizienz erheblich verbessert haben; Die intelligente Steuerung passt die Mahlparameter automatisch an, indem sie die Partikelgröße in Echtzeit überwacht, um eine stabile Pulverqualität zu gewährleisten.

6.1.2 Reinigungsanlagen (Röstöfen, Reduktionsöfen)

Die Reinigungsanlage wird verwendet, um die zerkleinerten und gemahlene Molybdänverbindungen (wie z. B. Molybdänoxid) in hochreines Molybdänpulver umzuwandeln, hauptsächlich in Röstöfen und Reduktionsöfen. Der Röster wandelt die Sulfide im Molybdänit durch Hochtemperaturbehandlung in Molybdänoxid um und entfernt dabei flüchtige Verunreinigungen. Röster sind typischerweise als Drehrohröfen oder Wirbelschichtöfen konzipiert und in der Lage, kontinuierlich große Mengen an Rohstoffen zu verarbeiten. Die Atmosphäre im Inneren des Ofens wird streng kontrolliert, in der Regel in einer Luft- oder Sauerstoffumgebung, um eine vollständige Oxidation der Sulfide zu gewährleisten. Das Gerät ist mit einem Abgasbehandlungssystem (z. B. einem Nasswäscher) ausgestattet, um Schwefeloxide zu entfernen und die Umweltauforderungen zu erfüllen.

Reduktionsöfen werden verwendet, um Molybdänoxid zu Metall-Molybdänpulver zu reduzieren, in der Regel in einer Wasserstoffatmosphäre. Der Rohrreduktionsofen ist eine gängige Ausrüstung, die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdänoxid durch eine mehrstufige Heizzone schrittweise reduziert, um hochreines Molybdänpulver herzustellen. Der Ofenkörper besteht aus hochtemperaturbeständigen Materialien wie Quarz- oder Molybdänlegierungen, um einen langzeitstabilen Betrieb zu gewährleisten. Der Wasserstofffluss und die Temperaturgradienten müssen während des Reduktionsprozesses genau gesteuert werden, um eine Ansammlung von Pulverpartikeln oder Verunreinigungsrückständen zu vermeiden. Die Anlage ist außerdem mit einem Abgasrückgewinnungssystem ausgestattet, um nicht umgesetzten Wasserstoff zurückzugewinnen und die Ressourcennutzung zu verbessern.

Zu den Faktoren, die sich auf die Reinigungsergebnisse auswirken, gehören die Reinheit des Rohmaterials, die Atmosphärenkontrolle und die Dichtheit der Ausrüstung. Spurenverunreinigungen (wie Eisen und Silizium) in Rohstoffen können die Qualität von Molybdänpulver beeinträchtigen, das durch Vorbehandlung entfernt werden muss. Sauerstoff oder Feuchtigkeit in der Atmosphäre können zur Oxidation des Pulvers führen, und es muss eine Umgebung mit hochreinem Wasserstoff aufrechterhalten werden. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von Vakuum-Reduktionsöfen, die die Reinheit von Molybdänpulver erheblich verbessert haben; Das Online-Überwachungssystem analysiert die Zusammensetzung der Atmosphäre durch Infrarotspektroskopie, um den Reduktionsprozess zu optimieren.

6.2 Pulvermetallurgische Anlagen für Molybdänstäbe

Die Pulvermetallurgie ist der Kernprozess der Molybdänstabherstellung, der durch das Pressen, Formen und Sintern von Molybdänpulver zu Rohlingen mit hoher Dichte die Grundlage für die anschließende Verarbeitung bildet. Zu den pulvermetallurgischen Anlagen gehören Misch- und Pressanlagen sowie Sinteröfen, die die Dichte, Gleichmäßigkeit und mechanischen Eigenschaften des Knüppels sicherstellen müssen.

6.2.1 Misch- und Pressanlagen

Misch- und Pressanlagen werden verwendet, um Molybdänpulver mit dotierten Elementen (wie Ti, La) homogen zu mischen und in einen Stabrohling zu pressen. Die Mischanlage umfasst hauptsächlich Planetenmühlen und V-Mischer, die zum Mischen von Molybdänpulver und Dotierstoffen (wie z.B. La_2O_3 , TiC) eingesetzt werden. Die Planetenmühle erreicht durch Hochgeschwindigkeitsrotation und Kollision eine gleichmäßige Durchmischung, die für die Vorbereitung von dotierten Molybdänstäben geeignet ist; Der V-Mischer eignet sich für hochreines Molybdänpulver, indem er mit niedriger Geschwindigkeit umkippt, um das Eindringen von Verunreinigungen zu vermeiden. Während des Mischprozesses muss die Atmosphäre (z. B. Stickstoff) kontrolliert werden, um eine Pulveroxidation zu verhindern, und die Innenwand der Anlage besteht aus Edelstahl oder Keramikmaterialien, um Verunreinigungen zu reduzieren.

Zu den Pressanlagen gehören kaltisostatische Pressen und hydraulische Pressen, mit denen das gemischte Pulver in einen Rohling gepresst wird. Kaltisostatische Pressen üben einen gleichmäßigen Druck durch ein flüssiges Medium wie Wasser oder Öl aus, um Rohlinge mit hoher Dichte herzustellen, insbesondere für große oder komplex geformte Molybdän-Stabrohlinge. Die hydraulische Presse wird von einer Form gepresst, die für die Kleinserienproduktion geeignet ist,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

und das Formdesign muss die geometrische Genauigkeit des Rohlings berücksichtigen. Die Druckverteilung muss während des Pressvorgangs kontrolliert werden, um Risse oder ungleichmäßige Dichte des Rohlings zu vermeiden.

Zu den Faktoren, die sich auf das Misch- und Pressergebnis auswirken, gehören die Partikelgröße des Pulvers, die Gleichmäßigkeit der Dotierung und der Pressprozess. Zu feine Pulver können zu einer schlechten Fließfähigkeit führen und die Qualität der Pressung beeinträchtigen. Eine ungleichmäßige Verteilung des Dotierungsmittels kann die Leistung des Knüppels beeinträchtigen. Zum technologischen Fortschritt gehört auch die Anwendung der Flüssigphasen-Dotier-technologie, die die Gleichmäßigkeit der Dotierung verbessert; Das automatisierte Presssystem optimiert den Formprozess durch die Überwachung von Druck und Dichte mit Sensoren.

6.2.2 Sinteröfen (Vakuumöfen, Atmosphärenöfen)

Mit dem Sinterofen wird der gepresste Rohling auf eine hohe Temperatur erhitzt, so dass sich die Pulverpartikel zu einem Molybdän-Stabrohling mit hoher Dichte verbinden. Der Vakuum-Sinterofen ist die Hauptausrüstung, die eine Oxidation durch eine Vakuumumgebung (niedriger Druck) verhindert und die hohe Reinheit und Kompaktheit des Rohlings gewährleistet. Der Ofenkörper besteht aus einem Molybdän- oder Graphit-Heizelement, das gegen hohe Temperaturen beständig ist und eine gute thermische Gleichmäßigkeit aufweist. Der Sinterprozess wird in Stufen durchgeführt, zunächst mit Niedertemperatur-Entbinderung, um das Bindemittel zu entfernen, und dann mit Hochtemperatur-Sintern, um die Bindung der Partikel zu fördern, und schließlich Formung eines Rohlings mit einer Dichte nahe dem theoretischen Wert.

Atmosphärensinteröfen verwenden in der Regel Wasserstoff oder Inertgas (wie Argon) als Schutzatmosphäre, die für das Sintern mit Molybdänstäben geeignet ist. Wasserstoff ist reduzierbar, wodurch Spurenoxide effektiv entfernt und die Qualität des Rohlings verbessert werden können. Der Ofen ist mit einem Atmosphärenzirkulationssystem ausgestattet, um eine gleichmäßige Verteilung der Gase zu gewährleisten und eine lokale Oxidation zu vermeiden. Der Sinterofen muss außerdem mit einem präzisen Temperiersystem ausgestattet sein, um einen gleichmäßigen Temperaturgradienten aufrechtzuerhalten und eine Verformung oder Rissbildung des Rohlings zu verhindern.

Zu den Faktoren, die den Sintereffekt beeinflussen, gehören die Sinteratmosphäre, die Temperaturregelung und die Knüppeldichte. Spuren von Sauerstoff in der Atmosphäre können zu Oxidation führen, und der Taupunkt muss streng kontrolliert werden. Eine zu geringe anfängliche Knüppeldichte verlängert die Sinterzeit. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung eines Induktionssinterofens mit mittlerer Frequenz, der die Heizeffizienz verbessert; Das Online-Überwachungssystem regelt die Temperatur in Echtzeit über ein Infrarot-Thermometer, um die Sinterqualität zu optimieren.

6.3 Thermische Prozessanlagen für Molybdänstäbe

Wärmebehandlungsanlagen werden verwendet, um gesinterte Rohlinge in die endgültige Molybdänbarrenform zu verarbeiten, wobei Schmiede-, Walz- und Ziehprozesse zur Verbesserung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

der Materialdichte und der mechanischen Eigenschaften erforderlich sind.

6.3.1 Schmiedeausrüstung

Mit der Schmiedeanlage wird der Sinterrohling bei hoher Temperatur plastisch verformt, um feinkörnige Molybdänstäbe mit hoher Dichte herzustellen. Zu den häufig verwendeten Geräten gehören hydraulische Schmiedemaschinen und Drucklufthämmern, die in der Lage sind, einen hohen Tonnagedruck auszuüben, um sicherzustellen, dass der Rohling vollständig verformt wird. Das Schmieden erfolgt bei hohen Temperaturen und erfordert einen Induktionsofen, um den Rohling auf eine geeignete Temperatur zu erhitzen, um die Duktilität zu verbessern und den Verformungswiderstand zu verringern. Während des Schmiedeprozesses müssen die Verformungsgeschwindigkeit und -richtung gesteuert werden, um Risse oder innere Spannungen zu vermeiden.

Schmiedeanlagen sind in der Regel mit einer Wasserkühlung ausgestattet, um die Matrize und das Werkstück zu schützen und die Lebensdauer der Anlage zu verlängern. Das Formmaterial muss aus einer hochtemperaturbeständigen Legierung (z. B. Wolframlegierung) bestehen, um hohen Temperaturen und hohem Druck standzuhalten. Zu den Faktoren, die sich auf die Schmiedequalität auswirken, gehören die Heiztemperatur, das Ausmaß der Verformung und das Design der Form. Zu niedrige Temperaturen können zu Rissbildung führen, und zu hohe Temperaturen können zu Kornwachstum führen. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung der isothermen Schmiedetechnologie zur Verbesserung der Korngleichmäßigkeit durch präzise Temperaturregelung; Die servogesteuerte Schmiedemaschine verbessert die Bearbeitungsgenauigkeit, indem sie den Druck in Echtzeit anpasst.

6.3.2 Walzwerke und Ziehmaschinen

Walzwerke und Ziehmaschinen werden eingesetzt, um den geschmiedeten Rohling zu maßgenauen Molybdänstäben weiterzuverarbeiten. Das Walzwerk umfasst ein Warmwalzwerk und ein Kaltwalzwerk, das Warmwalzwerk verarbeitet den Rohling in mehreren Durchgängen zu einem Rund- oder Vierkantstab, der für die Herstellung von Molybdänstäben mit großem Durchmesser geeignet ist. Während des Walzprozesses ist es notwendig, eine Heizvorrichtung auszurüsten, um den Knüppel auf einer geeigneten Temperatur zu halten und Risse bei der Kaltumformung zu verhindern. Kaltwalzwerke werden zum Schlichten eingesetzt, um die Maßgenauigkeit und Oberflächengüte zu verbessern.

Ziehmaschinen werden zur Herstellung von Stäben mit kleinem Durchmesser oder Mikromolybdänstäben eingesetzt, die mit Ziehwerkzeugen in Form gestreckt werden. Das Ziehen erfolgt bei hohen Temperaturen, und es werden Schmierstoffe wie MoS₂ verwendet, um Reibung und Verschleiß zu reduzieren. Ziehsteine werden in der Regel aus Diamant- oder Wolframkarbidmaterial hergestellt, was eine hohe Präzision und Haltbarkeit gewährleistet. Zu den Faktoren, die sich auf die Walz- und Ziehergebnisse auswirken, gehören Temperatur, Verformungsrate und Werkzeugzustand. Eine unsachgemäße Temperaturregelung kann zu Oberflächenfehlern führen, und der Verschleiß der Form kann die Maßgenauigkeit beeinträchtigen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von kontinuierlich rollenden Produktionslinien, die die Produktionseffizienz verbessert haben; Die Anwendung eines Lasermessschiebers ermöglicht die Echtzeitüberwachung der Stangengröße, um die Toleranzkontrolle zu gewährleisten. Darüber hinaus optimiert das automatisierte Ziehsystem die Bearbeitungskonsistenz, indem es die Ziehgeschwindigkeit über einen Servomotor steuert.

6.4 Oberflächenbehandlungsanlagen für Molybdänstäbe

Oberflächenbehandlungsgeräte werden verwendet, um die Oberflächenqualität von Molybdänstäben zu verbessern, ihre Korrosionsbeständigkeit und Ästhetik zu verbessern und die strengen Anforderungen der Elektronik, Luft- und Raumfahrt und anderer Bereiche zu erfüllen.

6.4.1 Poliermaschinen

Poliermaschinen werden verwendet, um die Oberfläche von Molybdänstäben auf ein hohes Finish zu bearbeiten, Oberflächenfehler zu reduzieren und die Leistung zu verbessern. Die mechanische Poliermaschine schleift die Stange mit einer Schleifscheibe oder Polierpaste und verbessert so nach und nach die Glätte der Oberfläche. Die Anlage ist mit mehrstufigen Schleifscheiben ausgestattet, vom Grobschliff bis zum Feinschliff, geeignet für Molybdänstäbe mit unterschiedlichen Oberflächenanforderungen. Die elektrolytische Poliermaschine entfernt die Oberflächenfehler durch elektrochemische Reaktion und erhält so einen Spiegeleffekt, der sich besonders für die Bearbeitung von hochreinen Molybdänstäben eignet.

Während des Polierprozesses müssen die Drehzahl und die Art des Poliermittels gesteuert werden, um neue Oberflächenspannungen zu vermeiden. Poliermaschinen sind in der Regel mit einem Kühlsystem ausgestattet, um eine Überhitzung des Werkstücks und eine Oxidation zu verhindern. Zu den Faktoren, die das Polierergebnis beeinflussen, gehören die Größe der Polierpartikel, der Druck und die anfängliche Oberflächenbeschaffenheit. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung automatisierter Poliersysteme, die den Polierpfad durch Roboter steuern, um die Konsistenz zu verbessern; Durch den Einsatz von nanoskaligen Poliermitteln wird die Oberflächengüte deutlich verbessert.

6.4.2 Reinigungsgeräte

Reinigungsgeräte werden verwendet, um Oxide, Öle und Polierrückstände von der Oberfläche von Molybdänstäben zu entfernen, um eine saubere Oberfläche zu gewährleisten. Der Ultraschallreiniger ist das Hauptgerät, das hochfrequente Vibrationen (Dutzende von Kilohertz) verwendet, um winzige Blasen in der Reinigungslösung zu erzeugen und Oberflächenverunreinigungen zu entfernen. Bei der Reinigungsflüssigkeit handelt es sich in der Regel um entionisiertes Wasser oder ein neutrales Reinigungsmittel, um Korrosion des Molybdänstabes zu vermeiden. Die Beizanlage verwendet eine verdünnte Säurelösung (z. B. Salpetersäure oder Schwefelsäure), um die Oxidschicht zu entfernen, und muss mit einem Abfallflüssigkeitsbehandlungssystem ausgestattet werden, um die Umwelanforderungen zu erfüllen.

Während des Reinigungsprozesses sollten die Reinigungszeit und die Flüssigkeitstemperatur

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

kontrolliert werden, um übermäßige Korrosion oder Restverunreinigungen zu vermeiden. Zu den Faktoren, die das Reinigungsergebnis beeinflussen, gehören die Zusammensetzung der Reinigungsflüssigkeit, der Zustand der Oberfläche und die Dichtheit des Geräts. Zum technologischen Fortschritt gehören die Anwendung umweltfreundlicher Reinigungstechnologien, die Verwendung umweltfreundlicher Reinigungsmittel zur Verringerung der Umweltverschmutzung; Das CIP-System optimiert die Reinigungseffizienz, indem es den pH-Wert von Flüssigkeiten und die Schadstoffkonzentrationen in Echtzeit überwacht.

6.5 Prüfeinrichtungen für Molybdänstäbe

Prüfgeräte werden verwendet, um die Qualität von Molybdänstäben zu bewerten, um sicherzustellen, dass sie die Anforderungen an mechanische Eigenschaften, Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität erfüllen, einschließlich zerstörungsfreier Prüfung und maßlicher Oberflächenprüfung.

6.5.1 Zerstörungsfreie Prüfgeräte (Ultraschall, Röntgen)

Zerstörungsfreie Prüfgeräte werden verwendet, um innere und Oberflächenfehler wie Porosität, Einschlüsse und Risse in Molybdänstäben zu erkennen, ohne die Probe zu beschädigen. Ultraschallprüfgeräte scannen Stangen mit hochfrequenten Ultraschallwellen (einige Megahertz), um interne Fehler zu erkennen. Das Gerät ist mit einem Wandler und einem Signalanalysesystem ausgestattet, das in der Lage ist, kleine Defekte zu identifizieren und deren Tiefe zu lokalisieren. Röntgeninspektionsgeräte verwenden Röntgenstrahlen, um den Stab zu durchdringen, um ein Bild der inneren Struktur zu erzeugen, das sich besonders für die Inspektion der inneren Porosität oder Einschlüsse von großen Molybdänstäben eignet.

Während des Inspektionsprozesses muss die Empfindlichkeit des Geräts kalibriert werden, um die Genauigkeit der Fehlererkennung zu gewährleisten. Zu den Faktoren, die sich auf die Prüfergebnisse auswirken, gehören die Stabgröße, die Oberflächenbeschaffenheit und die Geräteauflösung. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung der Phased-Array-Ultraschalltechnologie, die die Genauigkeit der Fehlerlokalisierung verbessert hat; Hochauflösende Röntgen-CT-Systeme sind in der Lage, dreidimensionale Defektverteilungen zu rekonstruieren und so eine detailliertere Analyse zu ermöglichen.

6.5.2 Prüfgeräte für Abmessungen und Oberflächengüte

Prüfgeräte für die Maß- und Oberflächenqualität werden verwendet, um den Durchmesser, die Länge und die Oberflächenrauheit von Molybdänstäben zu messen und so die Einhaltung der Normanforderungen sicherzustellen. Der Lasermessschieber tastet die Stange mit einem Laserstrahl ab und misst in Echtzeit den Durchmesser und die Rundheit, wodurch er für die Inline-Inspektion geeignet ist. Das Oberflächenrauheitsmessgerät tastet die Oberfläche mit einer Sonde ab, um das Finish und die Defekte zu bewerten, und eignet sich für die Inspektion von polierten Molybdänstäben. Optische Mikroskope werden eingesetzt, um die mikroskopische Topographie von Oberflächen zu beobachten und Kratzer oder Korrosionsspuren zu identifizieren.

Während des Inspektionsprozesses muss sichergestellt werden, dass das Gerät kalibriert und die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Umgebung stabil ist, um Messfehler zu vermeiden. Zu den Faktoren, die sich auf die Prüfergebnisse auswirken, gehören die Genauigkeit der Ausrüstung, die Oberflächenbeschaffenheit der Probe und die Handhabungstechniken. Zu den technologischen Fortschritten gehört der Einsatz automatisierter Inspektionssysteme, die Sonden durch Roboter steuern, um die Inspektionseffizienz zu verbessern; Die Entwicklung eines dreidimensionalen Profilers ermöglicht eine umfassende Analyse der Oberflächentopographie.

6.6 Automatische und intelligente Produktionsanlagen für Molybdänstäbe

Automatisierte und intelligente Produktionsanlagen verbessern die Effizienz, Konsistenz und Rückverfolgbarkeit der Molybdänstabproduktion durch integrierte Steuerungssysteme und Datenanalysetechnologie.

6.6.1 Automatische Steuerung von Produktionslinien

Das automatische Steuerungssystem realisiert die integrierte Verwaltung der Produktionslinie durch SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) oder DCS (verteiltes Steuerungssystem) und deckt die Handhabung von Rohstoffen, die Pulvermetallurgie, die Wärmeverarbeitung und die Oberflächenbehandlung ab. Das System überwacht Temperatur, Druck, Größe und andere Parameter in Echtzeit über Sensoren und passt den Betriebszustand der Anlage automatisch an. Zum Beispiel ist das Temperaturregelungssystem des Sinterofens in der Lage, das Heizprofil entsprechend den Eigenschaften des Knüppels anzupassen, um die Qualität des Sinterns zu gewährleisten. Die automatische Steuerung des Walzwerks regelt die Walzgeschwindigkeit durch Servomotoren, um die Maßhaltigkeit der Stangen zu optimieren.

Der Vorteil einer automatisierten Produktionslinie besteht darin, dass sie manuelle Eingriffe reduziert und die Produktionskonsistenz verbessert. Zu den Faktoren, die sich auf die Effektivität der Automatisierung auswirken, gehören die Sensorgenauigkeit, Steuerungsalgorithmen und die Gerätekompatibilität. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung des industriellen Internets, das die Vernetzung von Geräten über die Cloud-Plattform ermöglicht; Die Entwicklung einer flexiblen Produktionslinie ermöglicht eine schnelle Umstellung der Produktion von Molybdänstäben unterschiedlicher Spezifikationen.

6.6.2 Intelligentes Monitoring und Datenanalyse

Das intelligente Überwachungs- und Datenanalyseystem nutzt Sensoren, das Internet der Dinge und Technologien der künstlichen Intelligenz, um Produktionsdaten in Echtzeit zu sammeln und zu analysieren und so die Prozess- und Qualitätskontrolle zu optimieren. Das Überwachungssystem umfasst Infrarot-Thermometer, Lasermessschieber und Inline-Spektrometer zur Echtzeit-Erfassung von Temperatur, Größe und Zusammensetzung. Bei der Datenanalyse werden Algorithmen des maschinellen Lernens verwendet, um abnormale Muster in der Produktion zu identifizieren und Geräteausfälle oder Qualitätsprobleme vorherzusagen. So können beispielsweise Temperaturschwankungen während des Sinterprozesses durch KI-Modelle analysiert werden, um Prozessparameter im Vorfeld anzupassen.

Die Vorteile intelligenter Systeme sind eine gesteigerte Produktionseffizienz und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Rückverfolgbarkeit sowie reduzierte Ausschussraten. Zu den Faktoren, die die Effektivität des Systems beeinflussen, gehören die Häufigkeit der Datenerfassung, die Genauigkeit des Algorithmus und die Netzwerkstabilität. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung der digitalen Zwillingstechnologie, um den Produktionsprozess durch virtuelle Modelle zu simulieren und den Anlagenbetrieb zu optimieren; Die Einführung der Blockchain-Technologie gewährleistet die Vertrauenswürdigkeit und Sicherheit der Produktionsdaten.



CTIA GROUP LTD Stäbe aus Molybdän-Wolframlegierung

Kapitel 7 Anwendungsgebiete von Molybdänstäben

Mit seinem hohen Schmelzpunkt, den hervorragenden mechanischen Eigenschaften, der guten Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit hat Molybdänstab ein breites Anwendungsspektrum in einer Reihe von High-Tech-Bereichen gezeigt. In diesem Kapitel werden die Anwendungen von Molybdänstäben in Hochtemperaturöfen und thermischen Geräten, in der Elektronik- und Halbleiterindustrie, in der Luft- und Raumfahrt, in der Glas- und Keramikindustrie, in der medizinischen und wissenschaftlichen Forschung sowie in aufstrebenden Bereichen ausführlich erörtert und deren funktionale Eigenschaften, Prozessanforderungen und technologischer Fortschritt analysiert. Die hohe Leistungsfähigkeit von Molybdänstäben macht sie zu einem idealen Material für kritische Komponenten, um die anspruchsvollen Anforderungen extremer Umgebungen zu erfüllen, während das Anwendungsspektrum mit dem technologischen Fortschritt weiter erweitert wird und innovative Lösungen für Industrie und Forschung bietet.

7.1 Hochtemperaturöfen und thermische Anlagen

Molybdänstäbe werden häufig in Hochtemperaturöfen und thermischen Geräten eingesetzt, insbesondere in Umgebungen, die hohe Temperaturen, Vakuum oder inerte Atmosphären erfordern, und ihr hoher Schmelzpunkt und ihre hervorragende thermische Stabilität machen sie zu unverzichtbaren Materialien. Molybdänstäbe werden hauptsächlich für Heizelemente und tragende

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

festen Teile verwendet, um den Anforderungen der Hochtemperaturverarbeitung und Wärmebehandlung gerecht zu werden.

7.1.1 Molybdänstäbe als Heizelemente

Molybdänstäbe spielen eine zentrale Rolle als Heizelemente in Hochtemperaturöfen und werden häufig in Vakuumöfen, Wasserstoffschutzöfen und Öfen mit inerte Atmosphäre für Prozesse wie Materialintern, Wärmebehandlung und Kristallzüchtung eingesetzt. Der hohe Schmelzpunkt und die gute elektrische Leitfähigkeit des Molybdänstabs ermöglichen es ihm, extrem hohen Temperaturen standzuhalten und gleichzeitig eine stabile Wärmeabgabe beizubehalten. Heizelemente werden in der Regel in längliche Stäbe oder bestimmte Geometrien eingearbeitet, um die thermische Feldverteilung zu optimieren. Dotierte Molybdänstäbe (z. B. Mo-La) werden aufgrund ihrer hervorragenden Kriech- und Oxidationsbeständigkeit häufig in Ofenumgebungen mit langfristigem Hochtemperaturbetrieb eingesetzt.

Während des Produktionsprozesses werden Molybdänstäbe präzisionsbearbeitet, um eine glatte Oberfläche zu gewährleisten, um die Konzentrationen thermischer Spannungen zu reduzieren, und in einem Vakuum oder einer reduzierenden Atmosphäre laufen, um eine Oxidation bei hohen Temperaturen zu verhindern. Zu den Faktoren, die die Leistung von Heizelementen beeinflussen, gehören die Materialreinheit, die Oberflächenbeschaffenheit und die Betriebsumgebung. Spurenverunreinigungen können die elektrische Leitfähigkeit verringern, und die Oxidation bei hohen Temperaturen kann zu einer Materialverflüchtigung führen, die durch Beschichtung (z. B. MoSi_2) oder Atmosphärenkontrolle behoben werden muss.

Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von Verbundheizelementen, die die Lebensdauer verlängern, indem sie eine Antioxidationsbeschichtung auf die Oberfläche des Molybdänstabs aufbringen; Durch den Einsatz eines intelligenten Temperaturregelungssystems wird die Heizleistung in Echtzeit angepasst und die Energieeffizienz optimiert. Darüber hinaus verbessern neue dotierte Molybdänstäbe wie Mo-La die Stabilität bei hohen Temperaturen, indem sie die Kornstruktur verfeinern und so anspruchsvollere thermische Anwendungen ermöglichen.

7.1.2 Stütz- und Befestigungsteile

Molybdänstäbe werden auch in Hochtemperaturöfen als Stütz- und Befestigungskomponenten wie Stützstangen, Klemmen und Wärmeschirme verwendet, um das Werkstück zu halten oder gegen Wärmestrahlung abzuschirmen. Diese Bauteile müssen hohen Temperaturen und mechanischen Belastungen standhalten und gleichzeitig die geometrische Stabilität bewahren. Dotierte Molybdänstäbe, wie z. B. TZM, sind aufgrund ihrer hohen Festigkeit und Kriechfestigkeit das Material der Wahl, wodurch sie ihre strukturelle Integrität über lange Zeiträume bei hohen Temperaturen aufrechterhalten können. Hochreine Molybdänstäbe eignen sich aufgrund ihrer hervorragenden Wärmeleitfähigkeit für Stützkonstruktionen, die eine schnelle Wärmeleitung erfordern.

Stützkomponenten müssen so gefertigt werden, dass sie Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität gewährleisten, um Verformungen oder Rissbildung bei hohen Temperaturen zu verhindern. Die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Betriebsumgebung ist in der Regel ein Vakuum oder eine inerte Atmosphäre, um Oxidation zu vermeiden. Zu den Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken, gehören die Materialzusammensetzung, die Verarbeitungstechnologie und die Häufigkeit thermischer Zyklen. Dotierte Elemente können die Kriechfestigkeit erheblich verbessern, während thermische Zyklen zu thermischer Ermüdung führen können, so dass das Design optimiert werden muss.

Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung von Präzisionsbearbeitungstechnologien, wie z. B. der CNC-Bearbeitung, um komplexe Formen von Stützkomponenten zu gewährleisten; Oberflächenbeschichtungstechnologien, wie z. B. SiC-Beschichtungen, verbessern die Oxidations- und Abriebbeständigkeit. Darüber hinaus ermöglicht der modulare Aufbau der Stützkomponenten eine schnelle Demontage und Montage, was die Effizienz der Wartung im Ofen verbessert.

7.2 Elektronik- und Halbleiterindustrie

Molybdänstäbe werden aufgrund ihrer hohen Leitfähigkeit, ihres niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten und ihrer hohen Reinheit häufig in der Elektronik- und Halbleiterindustrie verwendet, hauptsächlich für Elektrodenmaterialien, Sputtertargets und Vakuumröhrenkomponenten.

7.2.1 Elektroden-Materialien

Als Elektrodenmaterial werden Molybdänstäbe häufig bei der Herstellung elektronischer Geräte verwendet, z. B. bei Plasmaätzgeräten und Elektrovakuumgeräten. Hochreine Molybdänstäbe können aufgrund ihres geringen spezifischen Widerstands und ihrer hervorragenden chemischen Stabilität in Hochspannungs- und Hochtemperaturumgebungen stabil arbeiten. Die Elektroden werden in der Regel zu länglichen Stäben oder kundenspezifischen Formen verarbeitet, und die Oberfläche muss auf ein hohes Finish poliert werden, um Lichtbögen und Verunreinigungen zu reduzieren.

Während des Produktionsprozesses müssen Molybdänstäbe einer strengen Reinheitskontrolle unterzogen werden, und der Gehalt an Verunreinigungen muss minimiert werden, um stabile elektrische Eigenschaften zu gewährleisten. Die Betriebsumgebung ist in der Regel Vakuum oder Inertgas, um Oxidation und Oberflächenkontamination zu verhindern. Zu den Faktoren, die die Leistung einer Elektrode beeinflussen, gehören Materialreinheit, Oberflächenqualität und Betriebstemperatur. Spuren von Sauerstoff können Elektrodenkorrosion verursachen, die durch eine hochreine Atmosphäre geschützt werden muss.

Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von ultrahochreinen Molybdänstäben, um Verunreinigungen durch einen mehrstufigen Reinigungsprozess weiter zu reduzieren; Die Anwendung der Elektropolierstechnologie verbessert die Oberflächengüte und verringert das Risiko von Lichtbögenbildung. Darüber hinaus verbessert die Optimierung des Elektrodendesigns die Gleichmäßigkeit und Lebensdauer der Elektrode durch die Simulation der elektrischen Feldverteilung.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 - 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10 - 25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm - 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

7.2.2 Sputtern von Zielen

Molybdänstäbe werden als Sputtertargets für die Herstellung von Dünnschichtmaterialien für integrierte Schaltkreise, Solarzellen und Flachbildschirme verwendet. Aufgrund ihrer hohen Dichte und gleichmäßigen Mikrostruktur sind hochreine Molybdänstäbe in der Lage, während des Sputterns für einen stabilen Atomfluss zu sorgen und die Schichtqualität zu gewährleisten. Targets werden in der Regel zu runden oder rechteckigen Stäben mit einer polierten Oberfläche in einem spiegelnden Zustand bearbeitet, um Defekte und Partikelverunreinigungen zu reduzieren.

Die Molybdänstäbe, die zur Herstellung des Targets verwendet werden, werden einer Pulvermetallurgie und thermischen Behandlung unterzogen, um sicherzustellen, dass sich im Inneren keine Porositäten und Einschlüsse befinden. Beim Sputtern wird das Target im Hochvakuum betrieben, um eine Oxidation und das Einbringen von Verunreinigungen zu verhindern. Zu den Faktoren, die sich auf die Zielerreichung auswirken, gehören Materialreinheit, Korngröße und Oberflächenbeschaffenheit. Feine Körner verbessern die Gleichmäßigkeit des Sputterns und polierende Oberflächen reduzieren das Spritzen von Partikeln.

Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von großformatigen Targets, um die Anforderungen der großflächigen Dünnschichtabscheidung zu erfüllen; Die Präparationstechnologie von hochreinem Molybdänpulver verbessert die Qualität des Targets. Darüber hinaus haben Fortschritte in der Zielrecyclingtechnologie die Produktionskosten und die Umweltbelastung durch chemische Reinigung und Wiederaufbereitung gesenkt.

7.2.3 Vakuumröhren und Komponenten für Ionenquellen

Molybdänstäbe werden als Elektroden, Stützen oder Emitter in Vakuumröhren und Ionenquellen verwendet und werden in Geräten wie Elektronenmikroskopen und Massenspektrometern verwendet. Hochreine Molybdänstäbe eignen sich aufgrund ihrer geringen Elektronenaustrittsarbeit und ihrer hohen Leitfähigkeit als Emittermaterialien. Dotierte Molybdänstäbe werden aufgrund ihrer hohen Temperaturstabilität für Stützkonstruktionen verwendet. Die Teile müssen in komplexe Formen und polierte Oberflächen gebracht werden, um die Elektronenstreuung zu reduzieren.

Während des Produktionsprozesses werden Molybdänstäbe präzisionsbearbeitet und gereinigt, um sicherzustellen, dass sie frei von Verunreinigungen sind. Die Betriebsumgebung ist Ultrahochvakuum, was eine Oxidation oder Entladung der Elektroden verhindert. Zu den Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken, gehören die Oberflächengüte, die Materialreinheit und die Betriebsspannung. Oberflächenfehler können Lichtbögen verursachen und müssen durch Elektropolieren beseitigt werden.

Zu den technologischen Fortschritten gehören die Verarbeitungstechnologie von Mikromolybdänstäben, um den Anforderungen mikroelektronischer Geräte gerecht zu werden; Die Oberflächen-Nanobeschichtung verbessert die Lichtbogenbeständigkeit. Darüber hinaus verbessert die automatisierte Montagetechnologie die Fertigungsgenauigkeit und Konsistenz von Teilen durch Roboterbetrieb.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

7.3 Luft- und Raumfahrt

Molybdänstäbe werden in der Luft- und Raumfahrtindustrie aufgrund ihrer hohen Festigkeit, ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer geringen Dichte bevorzugt und hauptsächlich in Hochtemperatur-Strukturteilen und Komponenten von Antriebssystemen verwendet.

7.3.1 Hochtemperatur-Strukturbauteile

Molybdänstäbe werden in der Luft- und Raumfahrt als Hochtemperatur-Strukturteile wie Turbinenschaufeln von Düsentriebwerken, Wärmeschirme und Steckverbinder verwendet. Dotierte Molybdänstäbe, wie z. B. TZM, sind aufgrund ihrer hervorragenden Hochtemperaturfestigkeit und Kriechfestigkeit in der Lage, die strukturelle Stabilität bei extrem hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten. Die Strukturteile werden geschmiedet und präzisionsgefertigt, um Maßgenauigkeit und hohe mechanische Eigenschaften zu gewährleisten.

Während des Produktionsprozesses müssen Molybdänstäbe in einem Vakuum oder einer inerten Atmosphäre verarbeitet und verwendet werden, um eine Oxidation bei hohen Temperaturen zu verhindern. Zu den Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken, gehören die Materialzusammensetzung, die Verarbeitungstechnologie und die Betriebsumgebung. Dotierte Elemente verbessern die Kriechbeständigkeit erheblich, aber die Oxidation bei hohen Temperaturen muss durch einen Beschichtungsschutz verhindert werden.

Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung der isothermen Schmiedetechnologie, die die Gleichmäßigkeit der Körnung von Strukturteilen verbessert. Anti-Oxidations-Beschichtungen (z. B. MoSi_2) verlängern die Lebensdauer der Bauteile. Darüber hinaus verbessert die Kombination aus Verbundwerkstoffen und Molybdänstäben die Gesamtleistung durch einen mehrschichtigen Aufbau.

7.3.2 Komponenten des Antriebssystems

Molybdänstäbe werden in Antriebssystemen zur Herstellung von Düsen, Brennkammerauskleidungen und Schubkammerkomponenten verwendet, die hohen Temperaturgasen und mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. TZM- und Mo-La-Molybdänstäbe sind aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer Temperaturwechselbeständigkeit ideal. Die Komponenten werden thermisch und präzisionsgefertigt, um komplexe Formen und hohe Präzision zu gewährleisten.

Während des Produktionsprozesses werden Molybdänstäbe bei hohen Temperaturen bearbeitet und mit einer Antioxidationsbeschichtung versehen, um ihre Lebensdauer zu verlängern. Zu den Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken, gehören thermische Zyklen, Gaskorrosion und mechanische Beanspruchung. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung der additiven Fertigungstechnologie zur Erhöhung der Designfreiheit durch den 3D-Druck von Teilen aus Molybdänlegierungen; Die Entwicklung der Hochtemperatur-Beschichtungstechnologie hat die Korrosionsbeständigkeit verbessert.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

7.4 Glas- und Keramikindustrie

Molybdänstäbe sind in der Glas- und Keramikindustrie aufgrund ihrer hohen Temperaturkorrosionsbeständigkeit und chemischen Stabilität weit verbreitet und werden hauptsächlich für Glasschmelzelektroden und keramische Sinterstützen verwendet.

7.4.1 Schmelzelektroden aus Glas

Molybdänstäbe werden als Glasschmelzelektroden in Glasschmelzöfen verwendet und können in geschmolzenem Hochtemperaturglas stabil arbeiten. Als Elektrodenmaterialien eignen sich hochreine Molybdänstäbe aufgrund ihrer hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Die Elektroden müssen in eine bestimmte Form gebracht und die Oberfläche gereinigt werden, um Oxide zu entfernen und eine Kontamination der Glasschmelze zu verhindern.

Während des Produktionsprozesses müssen Molybdänstäbe in einer reduzierenden Atmosphäre betrieben werden, um Oxidation und Verflüchtigung zu vermeiden. Zu den Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken, gehören die Glaszusammensetzung, die Betriebstemperatur und der Zustand der Elektrodenoberfläche. Alkaliglas kann Elektrodenkorrosion verursachen, und die Materialauswahl muss optimiert werden. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von Mo-La-Elektroden, die die Korrosionsbeständigkeit verbessern; Das automatisierte Elektrodenmontagesystem erhöht die Produktivität.

7.4.2 Keramische Sinterstützen

Molybdänstäbe werden als Stützstäbe oder Vorrichtungen in keramischen Sinteröfen verwendet, um den Sinterprozess von keramischen Körpern bei hohen Temperaturen zu unterstützen. Dotierte Molybdänstäbe sind aufgrund ihrer hohen Festigkeit und Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen stabil. Die Stützen müssen in komplexe Formen bearbeitet und oberflächenpoliert werden, um die Haftung auf der Keramik zu verringern.

Während des Produktionsprozesses müssen Molybdänstäbe in einer Vakuum- oder Wasserstoffatmosphäre betrieben werden, um eine Oxidation zu verhindern. Zu den Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken, gehören die Sintertemperatur, die Atmosphäre und das Design der Stütze. Zu den technologischen Fortschritten gehört das Aufbringen von Keramikbeschichtungen, die die Reaktion von Molybdänstäben mit Keramik reduzieren; Der modulare Stützaufbau verbessert die Beschickungseffizienz im Ofen.

7.5 Medizinische und wissenschaftliche Forschung

Molybdänstäbe werden aufgrund ihrer hohen Reinheit und hervorragenden Leistung in medizinischen und wissenschaftlichen Forschungsanwendungen eingesetzt und werden hauptsächlich in Röntgenröhrentargets und Hochtemperatur-Laborgeräten verwendet.

7.5.1 Targets für Röntgenröhren

Molybdänstäbe werden aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihres niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten als Ziele oder Stützstrukturen in Röntgenröhren verwendet,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

wodurch sie den hohen Temperaturen standhalten, die durch Elektronenbeschuss entstehen. Hochreine Molybdänstäbe werden präzise zu Targets verarbeitet und die Oberfläche wird auf einen Spiegelzustand poliert, um die Streuung zu reduzieren. Verunreinigungen müssen während des Produktionsprozesses streng kontrolliert werden, um die Qualität der Bildgebung zu gewährleisten.

In der Betriebsumgebung wird das Ziel schnellen thermischen Zyklen ausgesetzt, um ein Versagen der thermischen Ermüdung zu verhindern. Zu den Faktoren, die die Leistung beeinflussen, gehören die Oberflächenqualität, die Wärmeleitfähigkeit und die Betriebsleistung. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von Molybdän-basierten Verbundstofftargets, die die Lebensdauer der thermischen Ermüdung verbessert haben; Die Laserbearbeitungstechnologie verbessert die geometrische Genauigkeit des Ziels.

7.5.2 Hochtemperatur-Versuchsgeräte für Laboratorien

Molybdänstäbe werden als Heizelemente, Stützstäbe oder Elektroden in Hochtemperatur-Laborgeräten zur Materialprüfung und Kristallzüchtung eingesetzt. Hochreiner Molybdänstab eignet sich aufgrund seiner chemischen Stabilität für hochpräzise Experimente; Dotierte Molybdänstäbe werden in Szenarien eingesetzt, in denen eine hohe Festigkeit erforderlich ist. Die Teile werden präzisionsbearbeitet und gereinigt, um sicherzustellen, dass sie frei von Verunreinigungen sind.

Die Betriebsumgebung ist in der Regel ein Vakuum oder eine inerte Atmosphäre, um Oxidation zu verhindern. Zu den Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken, gehören die Temperaturregelung, das Komponentendesign und die Materialreinheit. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von Miniatur-Molybdänstäben, um den Anforderungen kleiner experimenteller Geräte gerecht zu werden; Die Anwendung eines intelligenten Temperaturregelungssystems hat die Genauigkeit des Experiments verbessert.

7.6 Neue Anwendungen

Die Anwendung von Molybdänstäben in aufstrebenden Bereichen nimmt zu, insbesondere im 3D-Druck und in der Nuklearindustrie, und zeigt ein großes Potenzial.

7.6.1 3D-Druck und additive Fertigung

Molybdänstäbe werden als Rohmaterial oder Stützstrukturen im 3D-Druck und in der additiven Fertigung für das Rapid Prototyping von Hochleistungsteilen eingesetzt. Molybdänpulver wird geschmolzen und durch Laser- oder Elektronenstrahl abgeschieden, um Molybdänlegierungsteile mit komplexen Formen herzustellen, die für die Luft- und Raumfahrt und medizinische Anwendungen geeignet sind. Molybdänstäbe können auch als Stützmaterial verwendet werden, um Druckumgebungen mit hohen Temperaturen standzuhalten.

Während des Produktionsprozesses ist es notwendig, die Qualität des Pulvers und der Druckatmosphäre zu kontrollieren, um Oxidation und Defekte zu vermeiden. Zu den Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken, gehören Druckparameter, Pulverpartikelgröße und Nachbearbeitungsprozess. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Herstellung von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

hochreinem Molybdänpulver, das die Druckqualität verbessert; Die Anwendung der Multimaterial-Drucktechnologie realisiert das Verbundformen von Molybdän und anderen Metallen.

7.6.2 Anwendungen in der Nuklearindustrie

Molybdänstäbe werden in der Nuklearindustrie aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer Strahlungsbeständigkeit für Reaktor-Hochtemperaturbauteile und Strahlenschutzmaterialien verwendet. Mo-W Molybdänstäbe eignen sich aufgrund ihrer hervorragenden Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturfestigkeit für Kernreaktorumgebungen. Die Komponenten werden präzisionsbearbeitet und beschichtet, um einen langfristig stabilen Betrieb zu gewährleisten.

Die Betriebsumgebung ist mit hohen Temperaturen und starker Strahlung verbunden, und die Materialeigenschaften müssen streng kontrolliert werden. Zu den Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken, gehören Strahlenschäden, Temperatur und Materialzusammensetzung. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung strahlungsbeständiger Molybdänlegierungen, die die Lebensdauer der Komponenten verbessert haben; Der Einsatz der additiven Fertigungstechnologie optimiert die Herstellung komplexer Teile.



CTIA GROUP LTD Molybdänstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

8. Kapitel: In- und ausländische Normen und Spezifikationen für Molybdänstäbe

Da es sich um ein hochleistungsfähiges Refraktärmetall handelt, müssen bei der Herstellung, Prüfung und Anwendung von Molybdänstäben strenge Standards und Spezifikationen eingehalten werden, um Qualitätskonsistenz, Leistungszuverlässigkeit und Verwendungssicherheit zu gewährleisten. In diesem Kapitel werden die internationalen Normen, die nationalen Normen, die Zertifizierung und die Konformitätsanforderungen von Molybdänstäben sowie der Vergleich und die Analyse von Anwendungsszenarien von in- und ausländischen Normen ausführlich erörtert. Diese Normen bieten technische Unterstützung für die Anwendung von Molybdänstäben in der Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Glasindustrie und anderen Bereichen und fördern gleichzeitig die Standardisierung des globalen Handels und des technischen Austauschs. Durch das Verständnis und die Umsetzung dieser Standards sind Hersteller in der Lage, ihre Prozesse zu optimieren, um die Kundenbedürfnisse zu erfüllen und die Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte auf nationalen und internationalen Märkten zu gewährleisten.

8.1 Internationale Normen für Molybdänstäbe

Internationale Normen bieten einen einheitlichen technischen Rahmen für die Herstellung, Prüfung und Anwendung von Molybdänstäben, die in globalen Lieferketten und grenzüberschreitender Zusammenarbeit weit verbreitet sind. Internationale Normen, die in erster Linie von der American Society for Testing and Materials (ASTM) und der International Organization for Standardization (ISO) entwickelt wurden, decken die chemische Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften, die Maßtoleranzen und die Prüfmethode von Molybdänstäben ab und stellen einen Qualitätsmaßstab für den Weltmarkt dar.

8.1.1 ASTM-Normen (ASTM B387 usw.)

Die ASTM-Norm ist die weltweit maßgebliche Spezifikation für die Herstellung und Prüfung von Molybdänstäben und wird in der High-Tech-Industrie in Nordamerika, Europa und Asien häufig eingesetzt. Unter ihnen ist ASTM B387-18 die Kernnorm für Stäbe, Stangen und Drähte aus Molybdän und Molybdänlegierungen, die die technischen Anforderungen an hochreine Molybdänstäbe und dotierte Molybdänstäbe (wie TZM und Mo-La) detailliert festlegt. Die Norm verlangt, dass der Molybdängehalt von hochreinen Molybdänstäben $\geq 99,95\%$ und Verunreinigungen (wie $Fe < 0,01\%$, $C < 0,005\%$, $O < 0,003\%$) streng kontrolliert werden müssen, um die Leistungsstabilität in Umgebungen mit hohen Temperaturen und korrosiven Umgebungen zu gewährleisten. In Bezug auf die mechanischen Eigenschaften verlangt die Norm, dass die Zugfestigkeit von hochreinem Molybdänstab bei Raumtemperatur 600–800 MPa und die Zugfestigkeit von TZM-Stab 900–1100 MPa beträgt, und der Test muss bei $20 \pm 5\text{ °C}$ gemäß ASTM E8/E8M (Zugversuch) durchgeführt werden. Die Oberflächenqualität wird in Schwarzstab ($Ra < 3,2\text{ }\mu\text{m}$), Polierstab ($Ra < 0,8\text{ }\mu\text{m}$) und Reinigungsstab unterteilt, um den unterschiedlichen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, Elektronik und anderer Bereiche gerecht zu werden. Maßtoleranzen erfordern eine Durchmesserabweichung von $\pm 0,05\text{ mm}$ und eine Längenabweichung von $\pm 1\text{ mm}$, um eine präzise Bearbeitung und Montage zu gewährleisten.

ASTM-Normen enthalten auch Begleitspezifikationen wie ASTM E9-19 (Druckprüfung), ASTM

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

E139-11 (Zeitstandprüfung) und ASTM G54-14 (Oxidationsbeständigkeitsprüfung), um eine systematische Anleitung für die Bewertung der Leistung von Molybdänstäben zu geben. Hersteller müssen die Produktkonformität durch chemische Analysen (z. B. ICP-MS, Nachweisgenauigkeit 0,001 %), mikrostrukturelle Beobachtung (Korngröße 10–50 µm) und zerstörungsfreie Prüfungen (z. B. Ultraschall, 5 MHz) überprüfen. Die Stärke der ASTM-Norm liegt in ihrer Vollständigkeit und internationalen Anwendbarkeit, die auf die Hochtemperaturofen-, Halbleiter- und Luft- und Raumfahrtindustrie anwendbar ist. Zu den Faktoren, die die Implementierung der Norm beeinflussen, gehören die Genauigkeit der Prüfmittel (z. B. eine universelle Lastauflösung der Prüfmaschine von 0,01 kN), die Spezifikation der Probenvorbereitung (z. B. Oberflächenpolitur Ra <0,8 µm) und die Umweltkontrolle (z. B. Vakuum < 10⁻³ Pa). Zu den technologischen Fortschritten gehören regelmäßige Aktualisierungen der ASTM-Normen, neue Spezifikationen für Mo-W-Legierungen und Miniatur-Molybdänstäbe (< 1 mm Durchmesser) sowie die Unterstützung von In-situ-Prüftechniken wie der REM-Echtzeit-Rissanalyse.

8.1.2 ISO-Normen

ISO-Normen bieten eine gemeinsame Spezifikation für den internationalen Handel und die Anwendung von Molybdänstäben, wobei der Schwerpunkt auf der Rückverfolgbarkeit von Materialien und der globalen Konsistenz liegt. Obwohl die ISO noch keine spezifische Norm für Molybdänstäbe entwickelt hat, werden die entsprechenden Normen bei der Leistungsprüfung von Molybdänstäben häufig verwendet. Zum Beispiel legt ISO 6892-1:2019 ein Zugprüfverfahren für Metalle fest, das eine Prüfgeschwindigkeit von 0,5–5 mm/min erfordert und für die Bewertung der Zugfestigkeit und Dehnung von Molybdänstäben geeignet ist; Die ISO 6506-1:2014 regelt die Brinell-Härteprüfung und ist auf die Härtebewertung von Molybdänstäben (HB 200–300) anwendbar. ISO-Normen verlangen von den Herstellern, dass sie Analyseberichte über die chemische Zusammensetzung vorlegen, um sicherzustellen, dass die Verunreinigungswerte (z. B. O<0,005 %) den Anforderungen entsprechen, und um die internationale Vergleichbarkeit der Ergebnisse durch standardisierte Testverfahren zu gewährleisten.

Die Umsetzung der ISO-Normen wird von unabhängigen Zertifizierungsstellen (z. B. SGS, TÜV) überprüft und umfasst chemische Analysen, mechanische Prüfungen und Prüfungen der Oberflächenqualität. Die Norm legt den Schwerpunkt auf Umweltkontrollen während der Produktion, wie z. B. Vakuum oder inerte Atmosphären (Taupunkt <-40 °C), um Oxidation und Kontamination zu verhindern. Zu den Faktoren, die die Umsetzung von ISO-Normen beeinflussen, gehören die Qualifizierung von Prüflaboratorien (z. B. ISO/IEC 17025-Zertifizierung), die Standardisierung von Prüfmethoden und die internationale Harmonisierung. Zu den technologischen Fortschritten gehört die gegenseitige Anerkennung von ISO-Normen mit ASTM und GB/T, wodurch das grenzüberschreitende Zertifizierungsverfahren vereinfacht wird; Die digitale Zertifizierungsplattform verbessert die Effizienz durch Online-Datenübermittlung und -prüfung. Darüber hinaus werden in ISO-Normen nach und nach Umweltauflagen wie die Reduzierung von Abgasemissionen (SO₂<10 ppm) aufgenommen, um die Hersteller bei der Optimierung ihrer Prozesse zu unterstützen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

8.2 Inländische Normen für Molybdänstäbe

Als weltweit größter Produzent von Molybdänprodukten hat China eine Reihe von inländischen Normen für die Herstellung, Prüfung und Anwendung von Molybdänstäben entwickelt. Zu diesen Standards gehören nationale Standards (GB/T) und Industriestandards, um sicherzustellen, dass die Anforderungen des Inlandsmarktes erfüllt und die internationale Zusammenarbeit unterstützt werden.

8.2.1 GB/T-Standard (GB/T 3462 usw.)

Der GB / T-Standard ist die Kernspezifikation für die Herstellung und Anwendung von Molybdänstäben in China, und GB / T 3462-2017 ist die Hauptnorm für Molybdänstäbe und Molybdänstäbe, die die technischen Anforderungen für hochreine Molybdänstäbe und dotierte Molybdänstäbe festlegen. Die Norm verlangt, dass der Molybdängehalt $99,95\% \geq$ und die Verunreinigungen bei $Fe < 0,01\%$, $C < 0,005\%$ und $O < 0,003\%$ kontrolliert werden, um eine Leistung bei hohen Temperaturen zu gewährleisten. Die mechanischen Eigenschaften werden auf Zugfestigkeit (600–800 MPa für hochreine Molybdänstäbe und 900–1100 MPa für TZM-Stäbe), Streckgrenze und Dehnung (10–20 % für hochreine Molybdänstäbe) getestet, die gemäß GB/T 228.1-2021 bei Raumtemperatur oder hoher Temperatur (800–1200 °C) durchgeführt werden müssen. Der Oberflächenzustand wird unterteilt in Schwarzstab ($Ra < 3,2 \mu m$), Polierstab ($Ra < 0,8 \mu m$) und Reinigungsstab, und die Maßtoleranz erfordert eine Durchmesserabweichung von $\pm 0,05$ mm und eine Längenabweichung von ± 1 mm, was für die Präzisionsbearbeitung geeignet ist.

Der GB/T-Standard enthält auch unterstützende Spezifikationen wie GB/T 2039-2012 (Zeitstandtest, 1200–1800 °C), GB/T 13303-1991 (Oxidationstest, 600–1200 °C) und GB/T 7314-2017 (Kompressionstest), um als Leitfaden für die Leistungsbewertung zu dienen. Die Hersteller sind verpflichtet, die Einhaltung durch chemische Analysen (ICP-MS, 0,001 % Genauigkeit), zerstörungsfreie Prüfungen (Ultraschall, 5 MHz) und mikrostrukturelle Beobachtungen (Korngröße 10–50 μm) zu überprüfen. Der Vorteil des GB/T-Standards besteht darin, dass er sich an das chinesische Industriesystem anpasst, in hohem Maße mit den ASTM-Standards kompatibel ist und leicht zu exportieren ist. Zu den Faktoren, die die Implementierung der Norm beeinflussen, gehören die Genauigkeit der Ausrüstung (z. B. eine Lastauflösung der hydraulischen Prüfmaschine von 0,01 kN), die Kontrolle der Prüfumgebung (z. B. das Vakuumniveau $< 10^{-3}$ Pa) und das Niveau des Qualitätsmanagements des Unternehmens. Zu den technischen Fortschritten gehören die Überarbeitung des GB/T-Standards, die Hinzufügung von Spezifikationen für Mo-La- und Miniatur-Molybdänstäbe (< 1 mm Durchmesser); Automatisierte Inspektionssysteme, wie z. B. Lasermessschieber mit einer Genauigkeit von 0,01 mm, erhöhen die Effizienz der Ausführung.

8.2.2 Industriestandards und Unternehmensstandards

Industriestandards werden von der China Nonferrous Metals Industry Association oder technischen Komitees formuliert und detaillierte Anforderungen für bestimmte Anwendungsszenarien erarbeitet. So schreibt beispielsweise die Norm YS/T 495-2005 (Industrienorm für Nichteisenmetalle) die Korrosionsbeständigkeit von Molybdänstäben in Glasschmelzöfen vor und verlangt eine Oxidationsrate von $< 0,2$ mg/cm²·h in Hochtemperatur-Salzschnmelzen; In den Normen der Halbleiterindustrie kann eine Oberflächenrauheit von $Ra < 0,4 \mu m$ gefordert werden. Diese Normen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

ergänzen die GB/T-Normen und decken technische Details in der Glasindustrie, der Luft- und Raumfahrt und anderen Bereichen ab.

Unternehmensstandards werden von großen Herstellern festgelegt und sind oft strenger als nationale Standards. Beispielsweise kann eine Unternehmensnorm einen Molybdängehalt von $\geq 99,97\%$ und eine Maßtoleranz von $\pm 0,02$ mm erfordern, um die Anforderungen von High-End-Kunden zu erfüllen. Der Unternehmensstandard umfasst auch interne Qualitätskontrollprozesse wie das Screening von Rohstoffen (Verunreinigungen $< 0,005\%$), die Optimierung des Sinterprozesses (Dichte $> 99\%$ theoretische Dichte) und die Spezifikationen der Oberflächenbehandlung ($Ra < 0,4$ μm). Zu den Faktoren, die die Implementierung des Standards beeinflussen, gehören die Marktnachfrage, die technischen Fähigkeiten und die Kundenanforderungen. Zum technologischen Fortschritt gehören das Andocken von Unternehmensstandards an internationale Standards, die Vereinfachung der Exportzertifizierung; Das digitale Qualitätsmanagementsystem verbessert die Effizienz der Standardimplementierung durch Echtzeit-Datenerfassung (Frequenz 1 kHz).

8.3 Zertifizierung und Konformität von Molybdänstäben

Zertifizierung und Compliance sind ein wichtiger Bestandteil der Gewährleistung der Qualität und Sicherheit von Molybdänstäben, einschließlich des Materialzertifizierungsprozesses und der Anforderungen an die Einhaltung von Umwelt- und Sicherheitsvorschriften, um sicherzustellen, dass die Produkte in- und ausländischen Normen sowie Gesetzen und Vorschriften entsprechen.

8.3.1 Prozess der Materialzertifizierung

Der Materialqualifizierungsprozess wird verwendet, um zu überprüfen, ob Molybdänstäbe die Anforderungen der Norm erfüllen, um ihre Zuverlässigkeit in der Luft- und Raumfahrt, Elektronik und anderen Bereichen zu gewährleisten. Die Zertifizierung wird von einer Drittorganisation (z. B. SGS, TÜV) oder einem nationalen Zertifizierungslabor (z. B. China National Nonferrous Metals Quality Supervision and Inspection Center) durchgeführt und umfasst die Prüfung der chemischen Zusammensetzung, der mechanischen Eigenschaften, der Oberflächenqualität und der Maßhaltigkeit. Der Prozess umfasst: Der Hersteller legt Muster und Produktionsunterlagen vor (einschließlich Rohstoffchargen, Prozessparameter, Qualitätskontrolldaten); Chemische Analyse (z. B. ICP-MS, Detektion von Fe, C, O, Genauigkeit 0,001 %), mechanische Prüfung (z. B. Zugfestigkeit, Geschwindigkeit 0,5–5 mm/min), zerstörungsfreie Prüfung (z. B. Ultraschall, 5 MHz) und Dimensionsmessung (Lasermessschieber, Genauigkeit 0,01 mm); Schließlich wird ein Zertifizierungsbericht ausgestellt, um die Einhaltung von ASTM B387, GB/T 3462 oder Kundenstandards nachzuweisen.

Eine Zertifizierung ist erforderlich, um die Repräsentativität der Probe und die Wiederholbarkeit der Tests zu gewährleisten. Zu den Faktoren, die die Ergebnisse beeinflussen, gehören die Qualität der Probenvorbereitung (z. B. poliertes $Ra < 0,8$ μm), die Präzision des Geräts und die institutionelle Qualifikation. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung eines Online-Zertifizierungssystems, das Hochladen von Testdaten in Echtzeit und die Verkürzung des Zertifizierungszyklus; Die Anwendung der Blockchain-Technologie gewährleistet die Rückverfolgbarkeit der Daten und die Manipulationssicherheit.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces

Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry

Electrodes and targets for vacuum coating equipment

High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines

Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry

Medical devices and X-ray targets

High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 - 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10 - 25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm - 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

8.3.2 Einhaltung von Umwelt- und Sicherheitsvorschriften

Die Einhaltung von Umwelt- und Sicherheitsvorschriften erfordert, dass die Produktion von Molybdänstäben Umweltvorschriften und Sicherheitsstandards erfüllt, um die Auswirkungen auf die Umwelt und den menschlichen Körper zu reduzieren. Die Einhaltung von Umweltvorschriften umfasst die Behandlung von Abgasen, Abwässern und festen Abfällen im Produktionsprozess. So müssen beispielsweise die SO₂-Emissionen (<10 ppm) während des Röstprozesses kontrolliert und das Abwasser vor der Einleitung neutralisiert (pH 6–9) werden, in Übereinstimmung mit dem Umweltschutzgesetz und GB 25466-2010 (Norm für die Abgabe von Nichteisenmetallen in der Industrie). Die Einhaltung der Sicherheitsvorschriften erfordert, dass die Produktionsanlagen mit Schutzeinrichtungen (z. B. Explosionsschutzsysteme für Hochtemperaturöfen) und Sicherheitsschulungen für die Bediener ausgestattet sind.

Zu den Faktoren, die die Einhaltung der Vorschriften beeinflussen, gehören Produktionsprozesse, Abfallbehandlungstechnologien und die Stärke der Vorschriften. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung umweltfreundlicher Produktionstechnologien, wie z. B. die Nassreinigung zur Reduzierung der Abgasemissionen; Das intelligente Überwachungssystem überwacht Emissionen und Sicherheitsparameter in Echtzeit mittels Sensoren (Frequenz 1 kHz). Darüber hinaus hilft die Implementierung des Umweltmanagementsystems ISO 14001 Unternehmen dabei, ihre Compliance-Prozesse zu optimieren.

8.4 Normvergleich und Analyse des Anwendungsszenarios von Molybdänstäben

Die vergleichende Analyse von in- und ausländischen Normen hilft Herstellern, geeignete Normen auszuwählen, die den Anforderungen unterschiedlicher Anwendungsszenarien gerecht werden. ASTM B387 und GB/T 3462 sind in Bezug auf die chemische Zusammensetzung (Molybdängehalt $\geq 99,95\%$), die mechanischen Eigenschaften (Zugfestigkeit 600–1100 MPa) und die Maßtoleranzen ($\pm 0,05$ mm) sehr konsistent, aber ASTM B387 konzentriert sich mehr auf internationale Anwendungen und deckt eher dotierte Molybdänstäbe (wie Mo-W) ab, während GB/T 3462 eher für das chinesische Industriesystem geeignet ist und die Kosteneffizienz betont. ISO-Normen, wie z.B. ISO 6892-1, fokussieren sich auf die Normung von Prüfverfahren und eignen sich für eine grenzüberschreitende Zertifizierung, es fehlen jedoch spezifische Vorgaben für Molybdänstäbe.

Die anwendbaren Szenarien werden wie folgt analysiert:

Luft- und Raumfahrt: ASTM B387 eignet sich aufgrund ihrer strengen Anforderungen an die Hochtemperaturleistung (Kriechgeschwindigkeit $< 10^{-5}/h$, 1500 °C) und der Maßgenauigkeit ($\pm 0,02$ mm) besser für Hochtemperatur-Struktur- und Antriebssystemkomponenten.

Elektronik und Halbleiter: ASTM B387 und GB/T 3462 sind beide anwendbar und erfordern eine hohe Reinheit ($\geq 99,97\%$) und Oberflächengüte ($Ra < 0,4 \mu m$), ISO 6892-1 für die Überprüfung von Zugversuchen.

Glasindustrie: GB/T 3462 ist gebräuchlicher, da es aufgrund seiner Anforderungen an den Korrosionsschutz (Oxidationsrate $< 0,2 \text{ mg/cm}^2 \cdot h$) zum Schmelzen von Elektroden geeignet ist und die Kosten niedriger sind.

Aufstrebende Bereiche (e.g. 3D Druck): ASTM B387 ist besser geeignet und unterstützt neue

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdänlegierungen und Mikrostäbe (< 1 mm Durchmesser).

Zu den Faktoren, die die Auswahl der Standards beeinflussen, gehören die Anwendungsumgebung, die Kundenanforderungen und die Kosten. Zum technologischen Fortschritt gehört die Einrichtung eines Mechanismus zur gegenseitigen Anerkennung von Normen, um Doppelzertifizierungen zu verringern; Der Aufbau einer digitalen Standarddatenbank ermöglicht eine schnelle Abfrage und einen Vergleich.



CTIA GROUP LTD schwarze Molybdänstäbe

9. Kapitel: Verarbeitung, Verwendung und Wartung von Molybdänstäben

Molybdänstäbe werden aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts, ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften und ihrer chemischen Stabilität häufig in der Luft- und Raumfahrt, in der Elektronik, in der Glasindustrie und in anderen anspruchsvollen Bereichen eingesetzt. Ihre Verarbeitung, Verwendung und Wartung sind mit komplexen Technologien und Prozessen verbunden, die sich direkt auf ihre Leistung und Lebensdauer auswirken. In diesem Kapitel werden die Verarbeitungstechnologie, die Umweltauflagen, die Installations- und Befestigungsmethoden, die Wartungs- und Reinigungsverfahren sowie die Spezifikationen für den sicheren Betrieb von Molybdänstäben ausführlich erörtert. Durch wissenschaftliche Verarbeitungstechnologie, ein vernünftiges Design der Nutzungsumgebung, eine standardisierte Installation und Wartung sowie einen strengen Sicherheitsbetrieb kann die Leistung von Molybdänstäben maximiert, die Lebensdauer verlängert und die Betriebssicherheit gewährleistet werden. Diese Inhalte bieten Herstellern und Anwendern eine umfassende technische Anleitung, um Molybdänstäbe in einer Vielzahl anspruchsvoller Umgebungen zuverlässig einzusetzen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

9.1 Verarbeitungstechnologie von Molybdänstäben

Die Verarbeitungstechnologie von Molybdänstäben ist der Schlüssel, um sicherzustellen, dass sie die Anforderungen spezifischer Anwendungen erfüllen, die Prozesse wie Schneiden, Bearbeiten, Schweißen und Fügen umfassen. Diese Prozesse werden auf hochpräzisen Geräten durchgeführt und die Verarbeitungsbedingungen werden streng kontrolliert, um Materialschäden oder eine Verschlechterung der Leistung zu vermeiden.

9.1.1 Schneiden (Drahtschneiden, Laserschneiden)

Das Schneiden ist der erste Prozess bei der Verarbeitung von Molybdänstäben und dient dazu, die Stäbe in die gewünschte Länge bzw. Form zu bringen. Das Drahterodieren ist ein häufig verwendetes Schneidverfahren, bei dem hochfrequente elektrische Funken verwendet werden, um lokalisiertes Hochtemperatur-Schmelzmaterial auf der Oberfläche eines Molybdänstabs herzustellen und Metalldrähte wie Kupfer- oder Molybdändrähte präzise zu durchtrennen. Das Drahterodieren eignet sich für die Bearbeitung komplexer Formen oder Molybdänstäbe mit kleinem Durchmesser mit hoher Präzision (Toleranz $\pm 0,01$ mm) und einer glatten Oberfläche ($Ra < 1,6 \mu\text{m}$). Während des Verarbeitungsprozesses wird deionisiertes Wasser als Kühlmedium verwendet, um eine Oxidation bei hohen Temperaturen zu vermeiden, und die Ausrüstung muss mit einem hochpräzisen CNC-System ausgestattet sein, um den Schneidpfad zu steuern.

Das Laserschneiden ist ein weiteres hocheffizientes Verfahren, bei dem ein hochenergetischer Laserstrahl wie YAG- oder CO₂-Laser verwendet wird, um die Oberfläche von Molybdänstäben zu schmelzen oder zu verdampfen, wodurch es sich für das schnelle Schneiden von großen oder dickwandigen Molybdänstäben eignet. Das Laserschneiden hat den Vorteil der Berührungslosigkeit und der hohen Geschwindigkeit, kann jedoch eine Wärmeeinflusszone (WEZ) im Schneidbereich erzeugen, die durch nachträgliches Polieren beseitigt werden muss. Der Schneidprozess wird unter dem Schutz eines Inertgases wie Stickstoff oder Argon durchgeführt, um eine Oxidation zu verhindern.

Zu den Faktoren, die die Qualität des Schnitts beeinflussen, gehören die Schnittgeschwindigkeit, die Oberflächenbeschaffenheit des Werkstücks und die Kühlbedingungen. Zu hohe Schnittgeschwindigkeiten können zu Rissen oder rauen Oberflächen führen, und die Oberflächenoxidschicht muss präventiv entfernt werden, um die Genauigkeit zu verbessern. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung der ultraschnellen Laserschneidtechnologie zur Reduzierung der Wärmeeinflusszone; Das automatisierte Schneidsystem verbessert die Prozesskonsistenz, indem es den Schnittweg in Echtzeit überwacht.

9.1.2 Zerspanung (Drehen, Fräsen, Bohren)

Die Bearbeitung wird verwendet, um Molybdänstäbe weiter zu bearbeiten, um komplexe Form- und Größenanforderungen zu erfüllen, einschließlich Drehen, Fräsen und Bohren. Beim Drehen wird eine CNC-Drehmaschine verwendet, um Molybdänstäbe auf exakte Durchmesser oder bestimmte Geometrien zu bearbeiten, wobei Hartmetallwerkzeuge wie WC-Co verwendet werden, um der hohen Härte von Molybdän gerecht zu werden. Die Bearbeitung muss bei niedrigen Drehzahlen und hohen Vorschüben mit Kühlmittel (z. B. Emulsion auf Wasserbasis) erfolgen, um die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Schnitttemperatur zu senken und Werkzeugverschleiß und Oberflächenschäden am Werkstück zu vermeiden. Die Oberflächenrauheit nach dem Drehen kann $Ra < 0,8 \mu\text{m}$ erreichen, wodurch es für Anwendungen in der Elektronik und Luft- und Raumfahrt geeignet ist.

Beim Fräsen werden Ebenen, Nuten oder komplexe Konturen von Molybdänstäben mit CNC-Fräsmaschinen und diamantbeschichteten Werkzeugen bearbeitet, um eine hohe Präzision und Oberflächenqualität zu gewährleisten. Während des Mahlvorgangs müssen Vibrationen kontrolliert werden, um Mikrorisse zu vermeiden. Das Bohren wird zur Bearbeitung von Durchgangslöchern oder Sacklöchern an Molybdänstäben verwendet und wird häufig zur Herstellung von Elektroden oder Verbindern verwendet, wobei die Verwendung von Bohrern aus Schnellarbeitsstahl oder Hartmetall und mit hochpräzisen Vorrichtungen erforderlich ist, um die Genauigkeit der Lochposition zu gewährleisten.

Zu den Faktoren, die sich auf die Bearbeitungsqualität auswirken, gehören das Werkzeugmaterial, die Schnittdaten und die Art und Weise, wie das Werkstück gehalten wird. Die Sprödigkeit von Molybdän erfordert niedrige Schnittgeschwindigkeiten, und der Werkzeugverschleiß muss regelmäßig überprüft werden, um die Bearbeitungsgenauigkeit zu erhalten. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung von Ultrapräzisionsbearbeitungstechnologien, wie z. B. fünfschneidigen CNC-Werkzeugmaschinen, um die Fähigkeit zur Bearbeitung komplexer Formen zu verbessern; Entwicklung einer Trockenschneidtechnologie zur Reduzierung der Umweltbelastung durch Inertgaskühlung.

9.1.3 Schweiß- und Fügetechnik

Schweiß- und Fügetechniken werden verwendet, um Molybdänstäbe mit anderen Komponenten oder Molybdänstäben zu verbinden, die häufig in Hochtemperaturöfen und elektronischen Geräten zu finden sind. Das Elektronenstrahlschweißen (EBW) ist das primäre Verfahren, bei dem ein hochenergetischer Elektronenstrahl verwendet wird, um Molybdänstäbe in einer Vakuumumgebung zu schmelzen, um eine hochfeste Schweißnaht zu bilden. Das Vakuummilieu ($< 10^{-3} \text{ Pa}$) verhindert Oxidation und die Schweißnahtqualität ist hoch, wodurch es für Komponenten in der Luft- und Raumfahrt geeignet ist. Das Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) wird auch häufig für das Schweißen von Molybdänstäben verwendet, wobei ein Argon- oder Heliumschutz verwendet wird, der für Umgebungen ohne Vakuum geeignet ist, aber die Schweißtemperatur kontrolliert werden, um Kornwachstum zu vermeiden.

Zur Fügetechnik gehören auch mechanische Verbindungen (z.B. Gewindeverbindungen, Nieten) und Löten. Die mechanische Verbindung erfordert Gewinde oder Löcher auf der Oberfläche des Molybdänstabs, die eine hochpräzise Bearbeitung erfordern, um die Festigkeit der Verbindung zu gewährleisten. Beim Löten werden Hochtemperaturlote (z. B. Legierungen auf Ni- oder Ag-Basis) verwendet, die im Vakuum oder in Wasserstoffatmosphäre durchgeführt werden und zum Verbinden von Molybdänstäben mit unterschiedlichen Materialien (z. B. Keramik) geeignet sind. Zu den Faktoren, die sich auf die Qualität von Schweißnähten und Verbindungen auswirken, gehören die Atmosphärenkontrolle, die Schweißtemperatur und das Verbindungsdesign. Spuren von Sauerstoff können zu einer Oxidation der Schweißnaht führen, und der Taupunkt in der Atmosphäre ($< -40 \text{ °C}$)

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

muss streng kontrolliert werden.

Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung der Laserschweißtechnologie, um den Wärmeeintrag präzise zu steuern und die Wärmeinflusszone zu reduzieren; Die Einführung der Ultraschallprüftechnologie zur Überwachung der Qualität von Schweißnähten in Echtzeit. Darüber hinaus wurde durch die Entwicklung eines neuen Lötmetalls die Verbindungsfestigkeit zwischen Molybdänstab und Keramik verbessert, um den Anforderungen komplexer Hochtemperaturkomponenten gerecht zu werden.

9.2 Umweltaforderungen für die Verwendung von Molybdänstäben

Die Umgebung, in der Molybdänstäbe verwendet werden, hat einen erheblichen Einfluss auf ihre Leistung und Lebensdauer, und je nach Anwendungsszenario müssen geeignete Atmosphären- und Schutzmaßnahmen ausgewählt werden, um ihre Stabilität in Umgebungen mit hohen Temperaturen oder korrosiven Umgebungen zu gewährleisten.

9.2.1 Vakuum und inerte Atmosphären

Molybdänstäbe sind anfällig für Oxidation bei hohen Temperaturen, daher werden sie hauptsächlich im Vakuum oder in inerten Atmosphären (wie Argon, Stickstoff, Wasserstoff) eingesetzt, um Oberflächenoxidation und Leistungsver schlechterung zu verhindern. Vakuumumgebungen ($<10^{-3}$ Pa) werden häufig in Hochtemperaturöfen, Vakuumröhren und Halbleiteranlagen eingesetzt und eignen sich für Molybdänstäbe als Heizelemente oder Elektroden. Vakuumsysteme müssen mit hocheffizienten Pumpenaggregaten (z. B. Turbomolekularpumpen) ausgestattet werden, um einen niedrigen Druck aufrechtzuerhalten und eine Oxidation durch Spuren von Sauerstoff zu verhindern. Die inerte Atmosphäre verwendet ein hochreines Gas (Reinheit $\geq 99,999\%$), das durch ein Gaszirkulationssystem eine homogene Atmosphäre aufrechterhält, um eine lokale Oxidation zu verhindern.

Zu den Faktoren, die die Wirksamkeit der Verwendung beeinflussen, gehören die Reinheit der Atmosphäre, die Dichte und die Temperaturkontrolle. Spuren von Feuchtigkeit (Taupunkt >-40 °C) können zu einer Oxidation der Oberfläche des Molybdänstabes führen und müssen mit einem Trocknungssystem entfernt werden. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von Ultrahochvakuumsystemen ($<10^{-6}$ Pa) zur Verbesserung der Stabilität von Molybdänstäben in extremen Umgebungen; Die Online-Technologie zur Überwachung der Atmosphäre verwendet einen Spektrumanalysator, um den Sauerstoff- und Feuchtigkeitsgehalt in Echtzeit zu erfassen und so die Umgebungskontrolle zu optimieren.

9.2.2 Umweltschutz bei Hochtemperaturoxidation

In oxidierenden Umgebungen mit hohen Temperaturen, wie z. B. in Luft- oder Sauerstoffatmosphären, neigen Molybdänstäbe zur Bildung flüchtiger Oxide (MoO_3), was zu Massenverlusten führt. Daher ist es notwendig, eine antioxidative Beschichtung (z.B. MoSi_2 , SiC) aufzutragen oder eine Schutzatmosphäre zu verwenden. MoSi_2 -Beschichtungen werden durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder Plasmaspritzen aufgebracht, um eine dichte Schutzschicht zu bilden, die eine Oxidation bei $1200-1600$ °C wirksam verhindert. Die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Beschichtung muss gleichmäßig und rissfrei sein und eine Dicke von Dutzenden bis Hunderten von Mikrometern aufweisen, um Schutz und Kosten in Einklang zu bringen.

Zu den Schutzmaßnahmen gehört auch die Konstruktion eines gasdichten Ofenkörpers in Kombination mit einer Inertgasspülung, um die Sauerstoffbelastung zu reduzieren. Zu den Faktoren, die die Wirksamkeit des Schutzes beeinflussen, gehören die Beschichtungsqualität, die Betriebstemperatur und die Umgebungsatmosphäre. Beschichtungsfehler können zu einer lokalen Oxidation führen, die eine Ultraschallprüfung erfordert, um die Qualität zu überprüfen. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung der Nanobeschichtungstechnologie, die die Kompaktheit und Haftung der Beschichtung verbessert; Dynamische Oxidationsprüfgeräte optimieren Schutzlösungen, indem sie die Oxidationsrate in Echtzeit überwachen.

9.3 Einbau und Befestigung von Molybdänstäben

Die Installation und Befestigung von Molybdänstäben wirkt sich direkt auf ihre Leistung und Lebensdauer aus, und es ist notwendig, die Stabilität durch wissenschaftliche Technologie und Design zu gewährleisten, insbesondere in Umgebungen mit hohen Temperaturen und komplexer Beanspruchung.

9.3.1 Installationsprozess und Konstruktion der Vorrichtung

Molybdänstäbe müssen installiert werden, um ihre geometrische Stabilität und gleichmäßige Kraft in Hochtemperaturumgebungen zu gewährleisten, wie sie häufig in Hochtemperaturöfen und Elektrodenanwendungen zu finden sind. Zu den Installationsprozessen gehören das Klemmen, Aufhängen und Verschachteln. Beim Spannen werden Hochtemperaturklemmen (z. B. Molybdänlegierungen oder Keramik) verwendet, um einen gleichmäßigen Druck durch Schrauben oder Federn auszuüben und so lokale Spannungskonzentrationen zu vermeiden. Die Aufhängung wird mit Hilfe von Molybdändraht oder Molybdänhaken zur Aufhängung der Stange befestigt, die für Heizelemente geeignet ist, und die Festigkeit des Aufhängepunkts muss sichergestellt werden. Verschachtelte und fixierte Molybdänstäbe sind in feuerfeste Schlitze eingebettet, die für Glasschmelzelektroden geeignet sind, wobei die Kerben präzise bearbeitet werden müssen, um sie an die Stabgröße anzupassen.

Hochtemperaturfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit werden bei der Konstruktion von Vorrichtungen berücksichtigt, und Materialien wie TZM-Legierungen oder Aluminiumoxidkeramik werden häufig im Vorrichtungsbau verwendet. Die Oberfläche der Vorrichtung muss poliert werden ($Ra < 1,6 \mu m$), um Reibungsschäden mit dem Molybdänstab zu reduzieren. Zu den Faktoren, die den Installationseffekt beeinflussen, gehören das Befestigungsmaterial, die Befestigungskraft und die Installationsgenauigkeit. Eine zu hohe Fixierkraft kann zur Verformung von Molybdänstäben führen, und die Konstruktion muss durch mechanische Simulation optimiert werden. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung automatisierter Installationsgeräte zur präzisen Steuerung der Position von Vorrichtungen durch Roboter; Das modulare Vorrichtungsdesign verbessert die Installationseffizienz und Flexibilität.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

9.3.2 Angepasstes Design der Wärmeausdehnung

Molybdänstäbe haben einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten (ca. $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), der bei hohen Temperaturen zu thermischen Spannungen mit anderen Materialien (wie Keramik und Stahl) führen kann, daher ist es notwendig, für die Anpassung der Wärmeausdehnung zu entwerfen. Die Konstruktion umfasst die Auswahl von Fügwerkstoffen mit ähnlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten (z. B. Mo-La-Legierungen und Aluminiumoxidkeramiken) oder die Aufnahme von Wärmeausdehnungsunterschieden durch flexible Verbindungen (z. B. Federklemmen). Das Ausdehnungsspiel (in der Regel 0,1–0,5 mm) sollte für die Installation reserviert werden, um eine Verformung des Extrusionsprofils bei hohen Temperaturen zu vermeiden.

Zu den Faktoren, die die Anpassung der Wärmeausdehnung beeinflussen, gehören die Materialauswahl, der Temperaturgradient und die Verbindungsart. Ein zu hoher Temperaturgradient kann zu einer Spannungskonzentration führen, und das Design muss durch thermische Feldsimulation optimiert werden. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung von Techniken der Finite-Elemente-Analyse (FEA) zur Vorhersage thermischer Spannungsverteilungen; Entwicklung von Verbundstoffvorrichtungen, um die Anforderungen an Wärmeausdehnung und Festigkeit auszugleichen.

9.4 Wartung und Reinigung von Molybdänstäben

Die Wartung und Reinigung von Molybdänstäben ist der Schlüssel zur Verlängerung ihrer Lebensdauer und zur Aufrechterhaltung der Leistung, einschließlich Oberflächenreinigung und regelmäßiger Inspektionen, um ihre Zuverlässigkeit in rauen Umgebungen zu gewährleisten.

9.4.1 Methoden der Oberflächenreinigung

Die Oberflächenreinigung wird verwendet, um Oxide, Öle und Verunreinigungen von der Oberfläche von Molybdänstäben zu entfernen und deren Eigenschaften wiederherzustellen. Die Ultraschallreinigung ist eine gängige Methode, bei der hochfrequente Schwingungen (20–40 kHz) verwendet werden, um Blasen in deionisiertem Wasser oder neutralen Reinigungsflüssigkeiten zu erzeugen und Oberflächenverunreinigungen zu entfernen. Die Temperatur der Reinigungslösung wird auf 40–60 °C geregelt, um Korrosion des Molybdänstabs zu vermeiden. Beim Beizen wird eine verdünnte saure Lösung (z. B. 10 % Salpetersäure oder 5 % Salzsäure) verwendet, um die Oxidschicht zu entfernen, was in einem Abzug erfolgt und mit einem Abfallbehandlungssystem ausgestattet ist, um die Umweltauflagen zu erfüllen.

Die mechanische Politur entfernt hartnäckige Oxide mit Schleifpapier oder Polierpaste (Partikelgröße 1–5 µm) und eignet sich für die Fleckenreinigung. Nach der Reinigung muss es mit hochreinem Stickstoff getrocknet werden, um eine Sekundärverschmutzung zu vermeiden. Zu den Faktoren, die die Wirksamkeit der Reinigung beeinflussen, gehören die Zusammensetzung der Reinigungsflüssigkeit, die Zeit und der Zustand der Oberfläche. Zu lange Beizezeiten können zu Oberflächenkorrosion führen, die genau kontrolliert werden muss. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung umweltfreundlicher Reinigungstechnologien, die Verwendung umweltfreundlicher Reinigungsmittel (wie Zitronensäure) zur Verringerung der Umweltverschmutzung; Automatisierte Reinigungsgeräte verwenden Sensoren, um den pH-Wert

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

der Reinigungslösung (6–8) zu überwachen, um die Reinigungseffizienz zu verbessern.

9.4.2 Regelmäßige Inspektion und Wartung

Regelmäßige Inspektionen und Wartungen dienen der Überwachung der Leistung und des Zustands von Molybdänstäben und der Vermeidung von Ausfällen. Zu den Prüfungen gehören die Beobachtung der Oberflächenqualität (mit einem optischen Mikroskop, 50–100-fache Vergrößerung), dimensionale Messungen (Lasermessschieber, Genauigkeit 0,01 mm) und zerstörungsfreie Prüfungen (z. B. Ultraschall, 5 MHz) zur Erkennung von Rissen oder internen Defekten. Die Wartung umfasst das Nachpolieren der Oberfläche ($R_a < 0,8 \mu\text{m}$), das Ersetzen der Antioxidationsbeschichtung oder das Reparieren mechanischer Beschädigungen.

Die Wartungshäufigkeit wird je nach Einsatzumgebung bestimmt, die Hochtemperatur-Oxidationsumgebung muss monatlich überprüft werden, und die Vakuumumgebung kann vierteljährlich überprüft werden. Zu den Faktoren, die sich auf die Effektivität der Wartung auswirken, gehören die Häufigkeit von Inspektionen, die Genauigkeit der Ausrüstung und die Betriebsspezifikationen. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung eines Online-Überwachungssystems zur Erfassung der Oberflächentemperatur und des Oxidationsstatus in Echtzeit durch Infrarotkameras; Die intelligente Wartungsplattform prognostiziert Wartungszyklen durch Datenanalyse und reduziert Ausfallzeiten.

9.5 Sicherheitsvorschriften für Molybdänstäbe

Sichere Betriebspraktiken für Molybdänstäbe gewährleisten die persönliche Sicherheit und den Schutz der Ausrüstung während der Verarbeitung und Verwendung, insbesondere in Umgebungen mit hohen Temperaturen und beim Umgang mit Chemikalien.

9.5.1 Vorsichtsmaßnahmen für den Betrieb bei hohen Temperaturen

Molybdänstäbe unterliegen strengen Sicherheitsvorschriften während des Hochtemperaturbetriebs (z. B. Hochtemperaturöfen, Schweißen). Die Bediener sind verpflichtet, Schutzkleidung, Handschuhe und Masken zu tragen, um sie vor Wärmestrahlung und Spritzern zu schützen. Der Hochtemperaturofen muss mit einer Abschaltautomatik ausgestattet sein, um Unfälle durch Überhitzung ($>1800^\circ\text{C}$) zu vermeiden. Die Installation und Demontage des Molybdänstabs sollte nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur erfolgen, um thermische Spannungen zu vermeiden, die zum Bruch führen.

Zu den Faktoren, die sich auf die Sicherheit von Hochtemperaturvorgängen auswirken, gehören die Dichtheit der Geräte, die Temperaturregelung und die Bedienschulung. Eine schlechte Abdichtung kann aufgrund von Sauerstoffaustritt zu Oxidation führen, und das Vakuumniveau ($<10^{-3} \text{ Pa}$) muss regelmäßig überprüft werden. Zum technologischen Fortschritt gehört die Anwendung eines intelligenten Temperaturregelungssystems zur Überwachung der Temperatur im Ofen in Echtzeit (Genauigkeit $\pm 1^\circ\text{C}$); Die Fernbedienungstechnologie reduziert das Risiko für das Personal, indem sie Heißenarbeiten durch Roboter erledigt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

9.5.2 Sicherheitsvorschriften für den Umgang mit Chemikalien

Chemische Behandlungen (z.B. Beizen, Beschichtungsvorbereitung) unterliegen strengen Sicherheitsvorschriften, um chemische Schäden zu vermeiden. Der Vorgang wird in einem Abzug durchgeführt, der mit einer Abgasnachbehandlungseinrichtung (z. B. Aktivkohleadsorption) zur Absorption von sauren Gasen ausgestattet ist. Die Bediener sind verpflichtet, säurebeständige Handschuhe, Schutzbrillen und Atemschutzmasken zu tragen, um Hautkontakt und das Einatmen schädlicher Gase zu verhindern. Die Beizlösung sollte in einem speziellen Behälter mit einer angegebenen Konzentration (z. B. 10 % Salpetersäure) gelagert und regelmäßig auf Undichtheit überprüft werden.

Zu den Faktoren, die sich auf die Sicherheit der chemischen Verarbeitung auswirken, gehören die Lagerung von Chemikalien, die Abfallentsorgung und Best Practices. Die Abfallflüssigkeit muss vor der Entladung gemäß der Norm GB 25466-2010 neutralisiert werden (pH 6–9). Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung automatisierter chemischer Verarbeitungsanlagen, um den Kontakt mit Menschen zu reduzieren; Das Echtzeit-Überwachungssystem verwendet Sensoren zur Erkennung von Gaskonzentrationen (<1 ppm) und erhöht so die Sicherheit.



CTIA GROUP LTD Molybdänstäbe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 10 Recycling und nachhaltige Entwicklung von Molybdänstäben

Als hochwertiges Refraktärmetall hat die Herstellung und Verwendung von Molybdänstäben einen wichtigen Einfluss auf Ressourcen und Umwelt. Mit der weltweiten Betonung der nachhaltigen Entwicklung sind das Recycling und die umweltfreundliche Produktion von Molybdänstäben zur Schlüsselrichtung der Entwicklung der Branche geworden. In diesem Kapitel werden der Recyclingprozess von Molybdänstäben, die Umweltauswirkungen und Verbesserungen der umweltfreundlichen Produktion sowie die Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeitsstrategien ausführlich untersucht. Durch effiziente Recyclingtechnologie, Umweltschutz, Prozessoptimierung und die Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsmodells können Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung deutlich reduziert und die nachhaltige Entwicklung der Molybdänstabindustrie gefördert werden. Diese bieten den Herstellern technische Orientierungshilfe und reagieren gleichzeitig auf globale Umweltvorschriften und die Marktnachfrage nach umweltfreundlichen Materialien.

10.1 Recyclingprozess von Molybdänstäben

Der Recyclingprozess von Molybdänstäben ist darauf ausgelegt, hochreines Molybdän aus Abfallstoffen zu extrahieren und in der Produktion wiederzuverwenden, wodurch die Abhängigkeit von neuen Mineralien verringert wird. Der Recyclingprozess umfasst die Sammlung und Sortierung von Abfällen sowie Recycling- und Reinigungstechnologien, um ein effizientes Recycling bei gleichzeitiger Beibehaltung der Qualität von Molybdän zu gewährleisten.

10.1.1 Sammlung und Sortierung von Abfällen

Die Sammlung und Sortierung von Schrott ist der erste Schritt beim Recycling von Molybdänstäben, bei dem es um die Rückgewinnung von Molybdänschrott, verarbeiteten Spänen und Alteilen aus der Produktion und Verwendung geht. Zu den Schrottquellen gehören Schrotte aus der Herstellung von Molybdänstäben (z. B. Späne beim Schneiden und Drehen), gebrauchte ausgefallene Molybdänstäbe (z. B. Hochtemperatur-Ofenheizelemente, Glasschmelzelektroden) und verschrottete Komponenten auf Molybdänbasis (z. B. Strukturteile für die Luft- und Raumfahrt). Der Sammelprozess erfordert ein robustes Recyclingsystem, um sicherzustellen, dass der Abfall effizient im Werk, bei den Nutzern und an den Recyclingstationen gesammelt wird.

Die Sortierung erfolgt nach Form, Zusammensetzung und Verschmutzungsgrad des Abfalls. Bei massiven Molybdänstäben (z. B. verbrauchten Elektroden) wird durch visuelle Inspektion und chemische Analyse zwischen hochreinem Molybdän und dotiertem Molybdän (z. B. TZM, Mo-La) unterschieden. Pulverförmiger Schrott (z.B. Späne) wird gesiebt und magnetisch getrennt, um metallische Verunreinigungen (z.B. Eisenspäne) zu entfernen. Stark verschmutzte Abfallstoffe (z. B. Teile mit oxidierten Oberflächen oder ölverunreinigte Teile) müssen vorgereinigt werden, um Oxide oder organische Stoffe zu entfernen. Zu den Sortieranlagen gehören Vibrationssiebe, Magnetabscheider und optische Sortiersysteme, um sicherzustellen, dass der Abfall nach Art und Reinheit gruppiert wird.

Zu den Faktoren, die die Wirksamkeit der Abfallsammlung und -sortierung beeinflussen, gehören die Abdeckung des Recyclingsystems, der Grad der Abfallverschmutzung und die Genauigkeit der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Sortierung. Stark verschmutzte Abfälle können die Kosten für die anschließende Reinigung erhöhen, und der Vorbehandlungsprozess muss optimiert werden. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung automatisierter Sortiertechnologie zur Identifizierung von Abfallarten durch maschinelles Sehen und künstliche Intelligenz, um die Sortiereffizienz zu verbessern; Die Einführung der Blockchain-Technologie stellt die Rückverfolgbarkeit von Abfallquellen sicher und optimiert das Lieferkettenmanagement.

10.1.2 Recycling- und Reinigungstechnik

Die Recycling- und Reinigungstechnologie wird eingesetzt, um sortierte Molybdänstäbe in hochreines Molybdänpulver oder wiederverwendbare Molybdänstäbe umzuwandeln, was eine chemische Reinigung und metallurgische Behandlung erfordert. Die chemische Reinigung erfolgt hauptsächlich durch das hydrometallurgische Verfahren, bei dem Abfallstoffe in sauren oder alkalischen Lösungen (wie Ammoniak oder Salpetersäure) gelöst werden, um Molybdat oder Molybdänoxid zu extrahieren. Die Lösung wird filtriert und ausgefällt, um Verunreinigungen (z. B. Eisen, Kupfer) zu entfernen. Anschließend wird durch Kristallisation oder Rösten hochreines Molybdänoxid erzeugt, das unter Wasserstoffatmosphäre zu Molybdänpulver (Reinheit $\geq 99,95\%$) reduziert wird. Die Ausrüstung umfasst einen Reaktor, einen Filter und einen Rohrreduktionsofen, und die Atmosphäre (Taupunkt $< -40\text{ }^{\circ}\text{C}$) muss streng kontrolliert werden, um Oxidation zu vermeiden.

Die metallurgische Behandlung von festen Molybdänstäben wird angewendet, um flüchtige Verunreinigungen (wie Kohlenstoff, Sauerstoff) durch Vakuumschmelzen oder Elektronenstrahlschmelzen zu entfernen, um hochreine Molybdänbarren herzustellen. Vakuumschmelzöfen müssen ein hohes Vakuumniveau ($< 10^{-3}\text{ Pa}$) aufrechterhalten, um sicherzustellen, dass der Schmelzprozess schadstofffrei ist. Die gereinigten Molybdänbarren können durch Pulvermetallurgie oder thermische Verarbeitung zu Molybdänstäben umgearbeitet werden. Zu den Faktoren, die sich auf die Reinigungsergebnisse auswirken, gehören die anfängliche Reinheit des Schrotts, die Parameter des Reinigungsprozesses und die Dichtheit der Ausrüstung. Stark umweltschädliche Abfälle können mehrere Reinigungsstufen erfordern, um den Energieverbrauch zu erhöhen.

Zu den technologischen Fortschritten gehört die Entwicklung umweltfreundlicher Reinigungstechnologien, wie z. B. die Verwendung umweltfreundlicher Lösungsmittel (Zitronensäure) anstelle von starken Säuren, um die Verschmutzung durch Abfallflüssigkeiten zu verringern; Die Anwendung der Ionenaustauschtechnologie verbessert die Effizienz der Entfernung von Verunreinigungen. Darüber hinaus optimiert das automatisierte Reinigungssystem die Reinigungseffizienz und die Molybdänrückgewinnung, indem es die Zusammensetzung der Lösung und die Atmosphärenparameter in Echtzeit überwacht.

10.2 Umweltauswirkungen von Molybdänstäben und grüner Produktion

Der Produktionsprozess von Molybdänstäben ist mit einem hohen Energieverbrauch und einer potenziellen Umweltbelastung verbunden, und der Einsatz umweltfreundlicher Produktionstechnologien kann die Umweltbelastung erheblich reduzieren und die Ziele für

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

nachhaltige Entwicklung erreichen.

10.2.1 Energieverbrauch und Emissionen im Produktionsprozess

Die Herstellung von Molybdänstäben umfasst die Reinigung von Rohstoffen, die Pulvermetallurgie, die thermische Verarbeitung und die Oberflächenbehandlung, die jeweils viel Energie verbrauchen und Emissionen erzeugen. Die Reinigung der Rohstoffe (z. B. Rösten und Reduzieren) erfolgt bei hohen Temperaturen (600–1000 °C), die viel Strom verbrauchen und während des Röstprozesses Schwefeloxide (z. B. SO₂) freisetzen können. Beim Sinterprozess in der Pulvermetallurgie werden Vakuumöfen oder Wasserstofföfen verwendet, die hohe Temperaturen (1500–1800 °C) und eine hochreine Atmosphäre aufrechterhalten müssen, um den Energieverbrauch zu erhöhen. Die Warmverarbeitung (z. B. Schmieden, Walzen) erfordert wiederholtes Erhitzen und verbraucht viel Strom. Bei Oberflächenbehandlungen (z.B. Beizen) entstehen saure Abfallflüssigkeiten und Abgase, die zur Einhaltung von Umweltvorschriften (z.B. GB 25466-2010) fachgerecht entsorgt werden müssen.

Zu den Emissionen gehören vor allem Abgase (z. B. SO₂, NO_x), Abwässer (die Säuren oder Schwermetalle enthalten) und feste Abfälle (z. B. Schlacke). Abgase müssen durch Nasswäsche oder Aktivkohleabsorption behandelt werden, Abwasser muss vor der Einleitung neutralisiert werden (pH 6–9) und feste Abfälle müssen sortiert und recycelt oder sicher deponiert werden. Zu den Faktoren, die die Umweltauswirkungen beeinflussen, gehören der Umfang der Produktion, die Effizienz der Anlagen und die Abfallbehandlungskapazität. Zu den technologischen Fortschritten gehört der Einsatz von Systemen zur Überwachung des Energieverbrauchs, um den Stromverbrauch und die Emissionsdaten in Echtzeit durch Sensoren aufzuzeichnen; Die Entwicklung der Abwärmerückgewinnungstechnologie nutzt die Abwärme des Hochtemperaturofens, um die Rohstoffe vorzuwärmen und den Energieverbrauch zu senken.

10.2.2 Verbesserung des Umweltschutzprozesses

Ökologische Prozessverbesserungen zielen darauf ab, den Energieverbrauch und die Emissionen bei der Herstellung von Molybdänstäben zu senken und die Ressourcennutzung zu verbessern. Zu den Verbesserungen gehören die Optimierung des Röstprozesses, der Ersatz traditioneller Drehrohröfen durch Wirbelschichtroster, die Verbesserung des thermischen Wirkungsgrads und die Reduzierung der SO₂-Emissionen durch zirkulierende Gasströme. Im Rahmen des Reduktionsprozesses werden umweltfreundliche Reduktionsmittel wie aus Biomasse gewonnener Wasserstoff eingesetzt, um traditionelle fossile Brennstoffe zu ersetzen und den CO₂-Fußabdruck zu verringern. Beim Sinterprozess wird ein Induktionsheizofen mit mittlerer Frequenz verwendet, um die Temperatur (±1 °C) genau zu steuern, die Aufheizzeit zu verkürzen und den Energieverbrauch zu senken.

Bei der Abfallbehandlung gewinnt das Abwasserrecyclingsystem durch Ionenaustausch- und Umkehrosmose-Technologie Säure und Wasser zurück, um die Emissionen zu reduzieren. Bei der Abgasnachbehandlung werden hocheffiziente Katalysatoren wie die SCR-Technologie eingesetzt, um NO_x in unschädliche Gase umzuwandeln. Feste Abfälle werden durch Hochtemperaturverhüttung recycelt, um die Menge an Molybdän auf Deponien zu reduzieren. Zu

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

den Faktoren, die die Wirksamkeit von Verbesserungen beeinflussen, gehören Anlageninvestitionen, Prozessstabilität und Technologiereife. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung intelligenter Steuerungssysteme zur Optimierung von Prozessparametern und zur Reduzierung des Energieverbrauchs durch KI; Die Implementierung von grünen Zertifizierungssystemen, wie z. B. ISO 14001, unterstützt Unternehmen dabei, eine umweltfreundliche Produktion zu erreichen.

10.3 Kreislaufwirtschaft und Strategie für nachhaltige Entwicklung von Molybdänstäben

Die Strategie für Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Entwicklung fördert die umweltfreundliche Entwicklung der Molybdänstabindustrie und verringert die Abhängigkeit von Primärressourcen durch Ressourcenrecycling und industrielle Synergien.

Das Kreislaufwirtschaftsmodell legt den Schwerpunkt auf das gesamte Lebenszyklusmanagement von Molybdänstäben, von der Produktion bis zum Recycling. Abfälle von Molybdänstäben werden recycelt und gereinigt und wieder in die Produktionskette eingespeist, um neue Molybdänstäbe oder Produkte auf Molybdänbasis herzustellen, wodurch der Abbau von Molybdänit reduziert wird. Das Kreislaufmodell umfasst die Einrichtung eines Abfallrecyclingnetzes, die Zusammenarbeit mit Nutzern und Recyclingstationen, um eine effiziente Abfallsammlung zu gewährleisten; Optimierung des Reinigungsprozesses, um die Rückgewinnungsrate zu verbessern (Ziel > 95 %); Entwicklung von Remanufacturing-Technologien zur Verarbeitung von recyceltem Molybdän zu Produkten mit hoher Wertschöpfung wie Sputtertargets oder 3D-Druckpulvern.

Zu den Nachhaltigkeitsstrategien gehören Ressourcenschonung, Umweltfreundlichkeit und soziale Verantwortung. Ressourcenschonung: Reduzierung von Rohstoffabfällen durch effiziente Produktionsverfahren wie z.B. isothermes Schmieden; Umweltfreundlich: Reduzierung von Emissionen durch grüne Technologie und Abfallrecycling; Zu der sozialen Verantwortung gehört es, das Umweltbewusstsein der Mitarbeiter zu schärfen und Nachhaltigkeitsprojekte in der Gemeinschaft zu unterstützen. Zu den Faktoren, die die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft beeinflussen, gehören die Vollständigkeit der Recyclingsysteme, die Technologiekosten und die Marktnachfrage. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung der digitalen Zwillingstechnologie zur Optimierung von Recycling- und Produktionsprozessen durch virtuelle Modelle; Die Blockchain-Technologie sorgt für Transparenz in der Recyclingkette. Darüber hinaus bietet politische Unterstützung, wie z. B. das chinesische Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft, Anreize für die Molybdänstabindustrie, eine nachhaltige Entwicklung zu fördern.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



CTIA GROUP LTD Molybdänstäbe


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces

Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry

Electrodes and targets for vacuum coating equipment

High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines

Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry

Medical devices and X-ray targets

High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 - 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10 - 25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm - 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Kapitel 11 Die neueste Technologie und der zukünftige Trend von Molybdänstäben

Als hochleistungsfähiges Refraktärmetall expandiert Molybdänstab ständig in der Luft- und Raumfahrt, Elektronik, neuen Energie und anderen Bereichen, und seine technologische Forschung und Entwicklung sowie industrielle Modernisierung fördern die Entwicklung der Industrie in eine effizientere, umweltfreundlichere und intelligentere Richtung. In diesem Kapitel werden die Forschungs- und Entwicklungsfortschritte von Molybdänbasislegierungen, die Entwicklung nanostrukturierter Molybdänstäbe, intelligente Produktions- und Prüftechnologien, das Potenzial von Molybdänstäben im Bereich der neuen Energie sowie die zukünftigen Forschungsrichtungen und Herausforderungen ausführlich erörtert. Diese Inhalte spiegeln die neuesten Grenzen der Molybdänstabtechnologie wider und sollen Herstellern, Forschern und Anwendern technische Einblicke bieten, die der Branche helfen, im globalen Wettbewerb einen Schritt voraus zu sein und gleichzeitig die Herausforderungen der Nachhaltigkeit und technologischen Innovation zu bewältigen.

11.1 Forschungs- und Entwicklungsfortschritte bei Molybdänbasislegierungen

Legierungen auf Molybdänbasis verbessern die Hochtemperaturleistung, die Kriechfestigkeit und die Korrosionsbeständigkeit von Molybdänstäben erheblich, indem sie ihre Zusammensetzung und Mikrostruktur optimieren und so die Anforderungen anspruchsvoller Anwendungen wie der Luft- und Raumfahrt und der Nuklearindustrie erfüllen. Die F&E-Schwerpunkte liegen in der Optimierung von TZM- und Mo-La-Legierungen sowie auf neuen Dotierungstechnologien.

11.1.1 Optimierung von TZM- und Mo-La-Legierungen

Die TZM-Legierung (Titan-Zirkonium-Molybdän) verbessert die Festigkeit, Kriechfestigkeit und Hochtemperaturstabilität von Molybdän erheblich, indem eine kleine Menge Titan, Zirkonium und Kohlenstoff hinzugefügt wird, und wird häufig in Hochtemperaturöfen, Strukturteilen der Luft- und Raumfahrt und anderen Bereichen verwendet. Neueste Forschungs- und Entwicklungsarbeiten optimieren die Eigenschaften von TZM-Legierungen durch eine präzise Steuerung der Dotierungselementverhältnisse und der Wärmebehandlungsprozesse. So werden beispielsweise isothermes Schmieden und kontrollierte Kühltechnologien eingesetzt, um die Korngröße zu verfeinern und die thermische Ermüdungsbeständigkeit zu verbessern. Während des Wärmebehandlungsprozesses werden die Atmosphäre und der Temperaturgradient präzise gesteuert, um die Oxidation der Korngrenzen zu reduzieren und die Langzeitstabilität der Legierung bei hohen Temperaturen zu verbessern.

Mo-La (Molybdän-Lanthan)-Legierungen sind mit Lanthanoxid (La_2O_3) dotiert, um die Kriech- und Oxidationsbeständigkeit zu verbessern, wodurch sie sich besonders für Glasschmelzelektroden und Hochtemperatur-Heizelemente eignen. Zu den F&E-Fortschritten gehören die Optimierung der Verteilung und Größe von Lanthanoxidpartikeln und die gleichmäßige Dispersion von Oxidpartikeln in der Molybdänmatrix durch Flüssigphasendotierung und Hochtemperatur-Sintertechnologie, um die Grenzflächenhaftfestigkeit zu verbessern. Auch die Antioxidationsbeschichtungstechnologie von Mo-La-Legierungen wird verbessert, wie z. B. das Aufbringen von MoSi_2 -Beschichtungen durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD), um deren

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Haltbarkeit in oxidierenden Umgebungen zu verbessern.

Zu den Faktoren, die die Optimierung von TZM- und Mo-La-Legierungen beeinflussen, gehören die Gleichmäßigkeit der Dotierung, der Wärmebehandlungsprozess und die Produktionskosten. Ungleichmäßige Dotierung kann zu einer instabilen Leistung führen und muss mit hochpräzisen Mischgeräten behoben werden. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung der Synchrotronstrahlungstechnologie und die Echtzeitanalyse der Verteilung dotierter Elemente; Der neue Wärmebehandlungs-ofen nutzt die Induktionserwärmung, um die Temperaturgleichmäßigkeit zu verbessern und die Legierungseigenschaften zu optimieren.

11.1.2 Neue Dopingtechnologien

Die neue Dotierungstechnologie verbessert die umfassenden Eigenschaften von Molybdänstäben weiter, indem sie Seltenerdelemente (wie Cer und Yttrium) oder andere Metallelemente (wie Wolfram und Rhenium) einbringt. Die Seltenerd-dotierung erhöht die Kriechfestigkeit und Hochtemperaturfestigkeit von Molybdän durch die Bildung nanoskaliger Oxidpartikel, wodurch es für Kernreaktoren und supraleitende Hochtemperaturanwendungen geeignet ist. So verbessern Mo-Ce-Legierungen die Strahlungsbeständigkeit durch Zugabe von Ceroxid erheblich. Die Wolfram- oder Rheniumdotierung verbessert die Härte und Korrosionsbeständigkeit von Molybdänstäben durch Lösungsverstärkung, die für Komponenten von Antriebssystemen in der Luft- und Raumfahrt geeignet ist.

Der Dotierungsprozess muss durch Pulvermetallurgie oder Schmelztechnologie realisiert werden, und die Flüssigphasendotierung und die Plasmadotierung sind zu neuen Methoden geworden, die eine gleichmäßige Verteilung auf Nanometerebene erreichen können. Zu den Faktoren, die die Wirksamkeit der Dotierung beeinflussen, gehören die Auswahl des Dotierungsmittels, die Partikelgröße und die Prozesskontrolle. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung der Nanodotierungstechnologie zur Herstellung ultrafeiner dotierter Partikel durch Kugelmahlen oder Aufdampfen; In-situ-Analysetechniken wie die Röntgenbeugung überwachen den Dotierungsprozess in Echtzeit und verbessern die Konsistenz. Darüber hinaus reduziert der Einsatz von grünen Dotierstoffen (wie z.B. biobasierten Reduktionsmitteln) die Umweltbelastung.

11.2 Entwicklung nanostrukturierter Molybdänstäbe

Nanostrukturierte Molybdänstäbe verbessern die Festigkeit, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit erheblich, indem sie die Mikrostruktur auf die Nanoskala (Korngröße < 100 nm) steuern, was für hochmoderne Bereiche wie Mikroelektronik und 3D-Druck geeignet ist. Der Entwicklungsprozess umfasst die Nanopulveraufbereitung, das Sintern und die Formgebungstechnologien. Nano-Molybdänpulver wird durch Hochenergie-Kugelmahlen oder Gasphasenabscheidung hergestellt, und die Partikelgröße wird genau kontrolliert, um eine Gleichmäßigkeit zu gewährleisten. Beim Sintern wird die Spark-Plasma-Sinter-Technologie (SPS) verwendet, um in kurzer Zeit eine hohe Spritzdichte bei hohen Temperaturen und hohem Druck (1500–1800 °C, 50–100 MPa) zu erzielen, wobei die Nanostruktur erhalten bleibt.

Die Herausforderung bei nanostrukturierten Molybdänstäben besteht darin, die Stabilität der Nanokristalle zu erhalten, die bei hohen Temperaturen leicht zu züchten sind und durch Dotierung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

oder Beschichtung unterdrückt werden müssen. Die Dotierung von Lanthanoxid oder Yttriumoxid kann Korngrenzen festnageln und das Kornwachstum verhindern. SiC- oder Al₂O₃-Beschichtungen verbessern die Korrosionsbeständigkeit von Oberflächen. Zu den Faktoren, die die Entwicklungsergebnisse beeinflussen, gehören die Pulverqualität, die Sinterparameter und die Kostenkontrolle. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung der ultraschnellen Lasersinter-technologie, die die Heizrate präzise steuert und das Kornwachstum reduziert; Die Synchrotronstrahlungsmikroskopie wird eingesetzt, um die Entwicklung von Nanostrukturen zu analysieren. Darüber hinaus ermöglicht die 3D-Drucktechnologie von nanostrukturierten Molybdänstäben das direkte Formen durch Laserschmelzabscheiden.

11.3 Intelligente Produktions- und Prüftechnik

Durch Automatisierung, Datenanalyse und künstliche Intelligenz hat die intelligente Produktions- und Inspektionstechnik die Effizienz, Qualität und Rückverfolgbarkeit der Molybdänstabproduktion deutlich verbessert und sich an den Entwicklungstrend der Industrie 4.0 angepasst.

11.3.1 Online-Monitoring und Big-Data-Analyse

Das Inline-Überwachungssystem verwendet Sensoren, um wichtige Parameter im Produktionsprozess wie Temperatur, Druck, Größe und Zusammensetzung der Atmosphäre in Echtzeit zu erfassen und so den Prozess zu optimieren und die Qualität zu kontrollieren. So überwacht beispielsweise ein Infrarot-Thermometer im Sinterofen (Genauigkeit ± 1 °C) die Temperaturverteilung in Echtzeit, ein Lasermessschieber (Genauigkeit $\pm 0,01$ mm) erfasst die Größe von Molybdänstäben und ein Infrarot-Spektrometer analysiert den Sauerstoff- und Feuchtigkeitsgehalt in der Atmosphäre (Taupunkt <-40 °C). Big Data Analytics sammelt riesige Mengen an Produktionsdaten, um Prozessanomalien zu identifizieren und Parametereinstellungen zu optimieren. Durch die Analyse des Zusammenhangs zwischen Sinter-temperatur und -dichte ist es beispielsweise möglich, die Sinterzeit zu verkürzen und den Energieverbrauch zu senken.

Zu den Faktoren, die sich auf die Effektivität der Online-Überwachung auswirken, gehören die Sensorgenauigkeit, die Häufigkeit der Datenerfassung und die Systemintegration. Zu den technologischen Fortschritten gehört die Anwendung der Internet-of-Things-Technologie (IoT), um die Vernetzung von Geräten und den Datenaustausch zu ermöglichen; Die Cloud-Plattform prognostiziert Geräteausfälle durch Big-Data-Algorithmen und reduziert Ausfallzeiten. Darüber hinaus simuliert die Technologie des digitalen Zwillings den Produktionsprozess durch ein virtuelles Modell, um die Prozessparameter zu optimieren.

11.3.2 Anwendung von Künstlicher Intelligenz bei der Herstellung von Molybdänstäben

Künstliche Intelligenz (KI) wird in der Molybdänstabproduktion zur Prozessoptimierung, Qualitätsvorhersage und Fehlerdiagnose eingesetzt. Algorithmen für maschinelles Lernen analysieren historische Daten, um die Pulvermetallurgie und die thermischen Verarbeitungsparameter zu optimieren. Ein neuronales Netzwerkmodell sagt beispielsweise die Dichte und Korngröße des Molybdänstabs während des Sinterprozesses voraus und steuert die Temperatur- und Druckeinstellungen. KI wird auch in der Bilderkennung eingesetzt, um

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

mikroskopische Defekte wie Porosität oder Einschlüsse durch die Analyse von Mikroskopbildern (50–100-fache Vergrößerung) zu erkennen. Das Fehlerdiagnosesystem analysiert Sensordaten durch KI, um Geräteverschleiß oder -ausfälle vorherzusagen und die Wartung im Voraus zu planen.

Zu den Faktoren, die die Effektivität von KI-Anwendungen beeinflussen, gehören die Datenqualität, die Genauigkeit des Algorithmus und die Rechenleistung. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung von Generative Adversarial Networks (GANs) zur Simulation der Mikrostrukturentwicklung von Molybdänstäben; Durch die Einführung der Edge-Computing-Technologie können Daten in Echtzeit am Produktionsstandort verarbeitet werden, um die Latenz zu reduzieren. Darüber hinaus wird KI mit Blockchain kombiniert, um die Sicherheit und Rückverfolgbarkeit von Produktionsdaten zu gewährleisten.

11.4 Das Potenzial von Molybdänstäben im Bereich der neuen Energie

Das Anwendungspotenzial von Molybdänstäben im Bereich der neuen Energie zeichnet sich weiter ab, insbesondere in den Bereichen Wasserstoffenergie, Energiespeicherung und Hochtemperatur-Supraleitung, und zeigt einzigartige Vorteile mit seiner Hochtemperaturleistung und chemischen Stabilität.

11.4.1 Wasserstoffenergie und Energiespeicheranwendungen

Molybdänstäbe werden aufgrund ihrer hervorragenden Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit im Bereich der Wasserstoffenergie für Elektroden und Hochtemperaturkomponenten von Wasserelektrolyse-Wasserstoffproduktionsanlagen eingesetzt. Als Elektrodenmaterial kann der Mo-La-Legierungsstab stabil in einem alkalischen Hochtemperatur-Elektrolyten arbeiten und die Lebensdauer der Elektrode verlängern. Im Bereich der Energiespeicherung werden Molybdänstäbe in den Elektroden oder Stromabnehmern von Hochtemperatur-Flüssigmetallbatterien eingesetzt, die hohen Temperaturen (>600°C) und korrosiven Umgebungen ausgesetzt sind. Die Produktion erfordert Präzisionsbearbeitung und Oberflächenbeschichtungen (z. B. MoSi₂), um die Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.

Zu den Faktoren, die die Wirksamkeit der Anwendung beeinflussen, gehören die Oberflächenbeschaffenheit der Elektrode, die Elektrolytzusammensetzung und die Betriebstemperatur. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Anwendung der Nanobeschichtungstechnologie zur Verbesserung der katalytischen Effizienz von Elektroden; Entwicklung einer additiven Fertigungstechnologie zur Herstellung von Molybdän-basierten Elektroden mit komplexen Formen. Darüber hinaus hat die Anwendung von Molybdänstäben in Festkörperbatterien das Potenzial gezeigt, die elektrische Leitfähigkeit durch Dotierung zu verbessern.

11.4.2 Hochtemperatur-supraleitender Materialträger

Molybdänstäbe werden im Bereich der Hochtemperatur-Supraleitung für Stützstrukturen oder Elektroden eingesetzt und werden in supraleitenden Magneten und Energieübertragungsanlagen eingesetzt. Stäbe aus TZM- oder MO-W-Legierungen sind aufgrund ihrer hohen Festigkeit und ihres niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten in Umgebungen mit flüssigem Stickstoff oder Halogen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

(-196 °C bis -269 °C) stabil. Eine Ultrapräzisionsbearbeitung ist erforderlich, um die Maßgenauigkeit ($\pm 0,01$ mm) und die Oberflächenpolitur ($R_a < 0,4$ μm) zu gewährleisten, um den Widerstand zu verringern. In der Betriebsumgebung müssen Sauerstoff und Feuchtigkeit streng kontrolliert werden, um eine Kontamination durch supraleitende Materialien zu verhindern.

Zu den Faktoren, die die Wirksamkeit der Anwendung beeinflussen, gehören Materialreinheit, Verarbeitungsgenauigkeit und Leistung bei niedrigen Temperaturen. Zu den technologischen Fortschritten gehören die Entwicklung von Mo-Re-Legierungen zur Verbesserung der Zähigkeit bei niedrigen Temperaturen; Bei der In-situ-Prüftechnik wird die Leistungsfähigkeit von Molybdänstäben durch einen Zugversuch bei niedrigen Temperaturen bewertet. Darüber hinaus zeigt die Forschung zur Anwendung von Molybdänstäben in Kernfusionsreaktoren, wie z. B. den Stützkomponenten von Tokamak-Bauelementen, langfristiges Potenzial.

11.5 Zukünftige Forschungsrichtungen und Herausforderungen bei Molybdänstäben

Die zukünftigen Forschungsrichtungen des Molybdänstabs umfassen folgende Aspekte:

Entwicklung von Hochleistungslegierungen: Forschung und Entwicklung neuer Legierungen auf Molybdänbasis (z. B. Mo-Re, Mo-Nb) zur Verbesserung der Strahlungsbeständigkeit und der Hochtemperaturfestigkeit, um den Anforderungen der Nuklearindustrie und der Luft- und Raumfahrt gerecht zu werden.

Anwendungen in der Nanotechnologie: Entwicklung stabiler nanostrukturierter Molybdänstäbe zur Erforschung ihrer Anwendungen in der Mikroelektronik und Biomedizin, wie z.B. Nanoelektroden oder implantierbare Sensoren.

Umweltfreundliche Produktionstechnologie: Förderung energiesparender Reinigungs- und Recyclingtechnologien zur Reduzierung von Abgas- und Abwasseremissionen im Einklang mit dem Ziel der Klimaneutralität.

Intelligente Fertigung: Vertiefen Sie die Anwendung von KI und digitaler Zwillingsstechnologie in der Produktion, um die Automatisierung und Optimierung des gesamten Prozesses zu realisieren.

Neue Energieerweiterung: Erforschung neuer Anwendungen von Molybdänstäben in der Kernfusion, Perowskit-Solarzellen und Hochleistungs-Energiespeicherung.

Zu den wichtigsten Herausforderungen gehören:

Kostenkontrolle: Die Kosten für neue Dotierung und Nanotechnologie sind hoch, und der Prozess muss optimiert werden, um die Produktionskosten zu senken.

Umweltbelastungen: Strenge Umweltvorschriften erfordern ein verbessertes Abfall- und Energiemanagement sowie verstärkte Investitionen in Technologie.

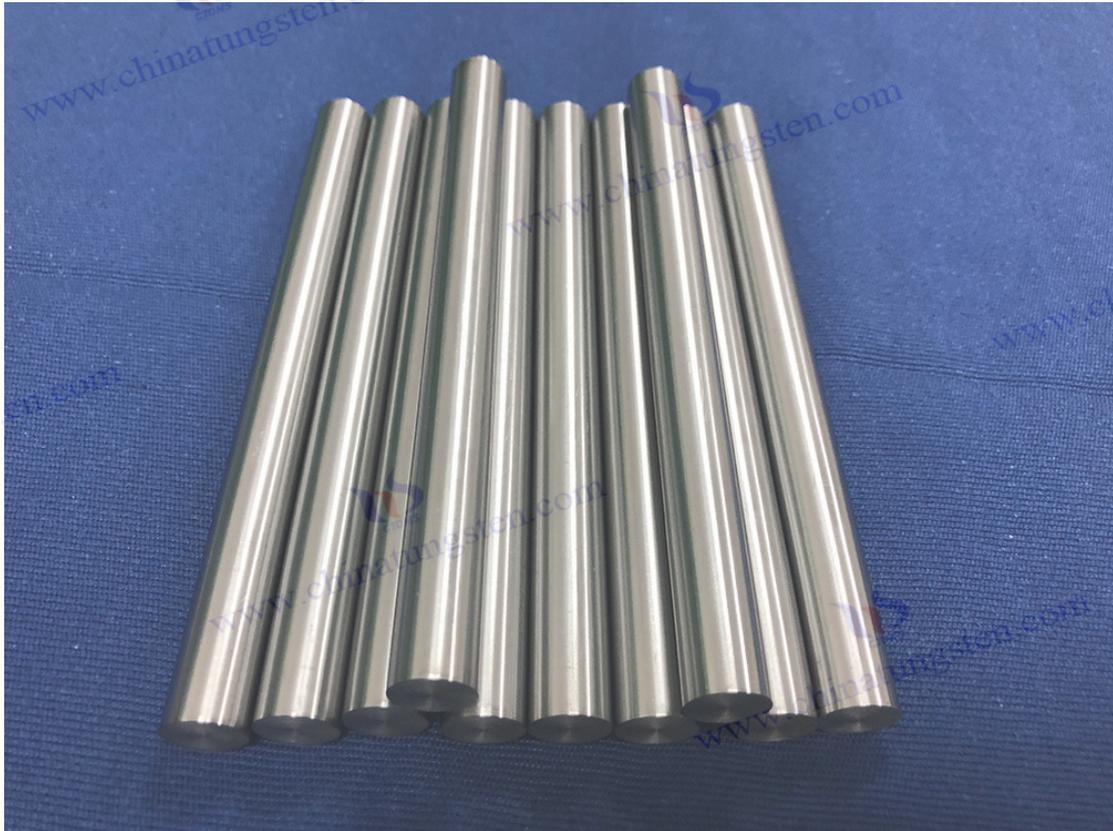
Technische Stabilität: Die Langzeitstabilität von Nanostrukturen und smarten Technologien muss weiter überprüft werden.

Wettbewerb auf dem Markt: Molybdänstäbe müssen mit alternativen Materialien wie Wolfram und Niob konkurrieren, und das Preis-Leistungs-Verhältnis muss verbessert werden.

Zu den technologischen Fortschritten gehören die interdisziplinäre Zusammenarbeit, um Innovationen durch die Konvergenz von Materialwissenschaften, künstlicher Intelligenz und neuen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Energietechnologien zu beschleunigen; Zunahme internationaler Kooperationsprojekte zur Förderung des Technologieaustauschs und der Harmonisierung von Normen.



CTIA GROUP LTD Molybdänstäbe

Anhang

A. Glossar

Molybdänstab: Ein stabartiges Material aus hochreinem Molybdän oder Molybdänlegierungen, das häufig in Hochtemperatur- oder Hochleistungsanwendungen verwendet wird.

TZM-Legierung: Titan-Zirkonium-Molybdän-Legierung mit ausgezeichneter Hochtemperaturfestigkeit und Kriechfestigkeit.

Mo-La-Legierung : Molybdän-Lanthan-Legierung zur Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit und Duktilität bei hohen Temperaturen.

Pulvermetallurgie: Der Prozess der Aufbereitung von Materialien durch Pressen und Sintern von Metallpulvern.

Sintern: Der Prozess des Erhitzens eines Metallpulvers auf eine Temperatur unter dem Schmelzpunkt, um ein festes Material zu bilden.

Warmumformung: Der Prozess der plastischen Verformung von Metall bei hohen Temperaturen.

Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP): Eine Methode zur Erkennung interner Defekte, ohne die Struktur eines Materials zu beschädigen, wie z. B. Ultraschallprüfung, Röntgenprüfung.

Antioxidationsbeschichtung: Wird verwendet, um die Oberflächenbeschichtung von Molybdänstäben in einer Hochtemperatur-Oxidationsumgebung zu schützen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kriechen: Das Phänomen, bei dem sich ein Material unter hohen Temperaturen und ständiger Belastung langsam verformt.

Sputtertarget: Ein Material, das zur Herstellung dünner Schichten durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) verwendet wird.

B. Verweise

- [1] Chinatungsten Online. Herstellung von Molybdänstäben mit Standardspezifikationen.
- [2] GB/T 3462-2017. Nationale Norm für Molybdänstäbe und Molybdänstäbe.
- [3] Zeitschrift für Materialwissenschaft und -technik. Forschung zum Recycling von Molybdänstäben und zur Herstellung von Umweltschutz.
- [4] YS/T 495-2005. Chemische Analysemethoden für Molybdän und Molybdänlegierungen.
- [5] GB 25466-2010. Emissionsnormen für industrielle Schadstoffe aus Nichteisenmetallen.
- [6] GB/T 4188-2015. TZM Molybdänlegierungsstab Standard.
- [7] Zeitschrift für Materialwissenschaft und -technik. Eigenschaften und Herstellung von Legierungsstäben auf Molybdänbasis.
- [8] Bericht über die Entwicklung der Molybdänindustrie. Chinesischer Verband der Nichteisenmetallindustrie.
- [9] Naturmaterialien. Hochleistungs-Molybdänlegierungen für Energieanwendungen.
- [10] Fortgeschrittene Materialien. KI in der Materialfertigung.
- [11] Erneuerbare Energien. Molybdän in Wasserstoff und Energiespeicherung.
- [12] Internationale Molybdän-Vereinigung (IMOA). Molybdän-Recycling und Nachhaltigkeit.
- [13] ASTM B387-18. Standardspezifikation für Stangen, Stangen und Drähte aus Molybdän und Molybdänlegierungen.
- [14] ISO 6892-1:2019. Metallische Werkstoffe – Zugversuch.
- [15] ASTM E8/E8M-21. Standardprüfverfahren für die Zugprüfung von metallischen Werkstoffen.
- [16] ASTM E9-19. Standardprüfverfahren für die Druckprüfung von metallischen Werkstoffen.
- [17] ASTM E290-14. Standardprüfverfahren für die Biegeprüfung von Material auf Duktilität.
- [18] Internationaler Molybdän-Verband (IMOA). Molybdän-Tests und -Analysen.
- [19] Internationale Molybdän-Vereinigung (IMOA). Globaler Molybdän-Marktüberblick.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung