Encyclopédie de la tige de molybdène

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Leader mondial de la fabrication intelligente pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

PRÉSENTATION DE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, une filiale en propriété exclusive dotée d'une personnalité juridique indépendante établie par CHINATUNGSTEN ONLINE, se consacre à la promotion de la conception et de la fabrication intelligentes, intégrées et flexibles de matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel. CHINATUNGSTEN ONLINE, fondée en 1997 avec www.chinatungsten.com comme point de départ – le premier site Web de produits en tungstène de premier plan en Chine – est la société de commerce électronique pionnière du pays axée sur les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares. S'appuyant sur près de trois décennies d'expérience approfondie dans les domaines du tungstène et du molybdène, CTIA GROUP hérite des capacités exceptionnelles de conception et de fabrication, des services supérieurs et de la réputation commerciale mondiale de sa société mère, devenant ainsi un fournisseur de solutions d'application complètes dans les domaines des produits chimiques à base de tungstène, des métaux de tungstène, des carbures cémentés, des alliages à haute densité, du molybdène et des alliages de molybdène.

Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a créé plus de 200 sites Web professionnels multilingues sur le tungstène et le molybdène couvrant plus de 20 langues, avec plus d'un million de pages d'actualités, de prix et d'analyses de marché liées au tungstène, au molybdène et aux terres rares. Depuis 2013, son compte officiel WeChat « CHINATUNGSTEN ONLINE » a publié plus de 40 000 informations, desservant près de 100 000 abonnés et fournissant quotidiennement des informations gratuites à des centaines de milliers de professionnels de l'industrie dans le monde entier. Avec des milliards de visites cumulatives sur son site Web et son compte officiel, elle est devenue un centre d'information mondial reconnu et faisant autorité pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares, fournissant des informations multilingues 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, les performances des produits, les prix du marché et les tendances du marché.

S'appuyant sur la technologie et l'expérience de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se concentre sur la satisfaction des besoins personnalisés des clients. À l'aide de la technologie de l'IA, elle conçoit et produit en collaboration des produits en tungstène et en molybdène avec des compositions chimiques et des propriétés physiques spécifiques (telles que la taille des particules, la densité, la dureté, la résistance, les dimensions et les tolérances) avec ses clients. Elle offre des services intégrés complets allant de l'ouverture du moule, de la production d'essai, à la finition, à l'emballage et à la logistique. Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a fourni des services de R&D, de conception et de production pour plus de 500 000 types de produits en tungstène et en molybdène à plus de 130 000 clients dans le monde, jetant ainsi les bases d'une fabrication personnalisée, flexible et intelligente. S'appuyant sur cette base, CTIA GROUP approfondit encore la fabrication intelligente et l'innovation intégrée des matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel.

Le Dr Hanns et son équipe de CTIA GROUP, sur la base de leurs plus de 30 ans d'expérience dans l'industrie, ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix du tungstène et de tendances du marché liées au tungstène, au molybdène et aux terres rares, les partageant librement avec l'industrie du tungstène. Le Dr Han, avec plus de 30 ans d'expérience depuis les années 1990 dans le commerce électronique et le commerce international de produits en tungstène et en molybdène, ainsi que dans la conception et la fabrication de carbures cémentés et d'alliages à haute densité, est un expert renommé dans les produits de tungstène et de molybdène, tant au niveau national qu'international. Adhérant au principe de fournir des informations professionnelles et de haute qualité à l'industrie, l'équipe de CTIA GROUP rédige en permanence des documents de recherche technique, des articles et des rapports sur l'industrie en fonction des pratiques de production et des besoins des clients du marché, ce qui lui vaut de nombreux éloges dans l'industrie. Ces réalisations constituent un soutien solide à l'innovation technologique, à la promotion des produits et aux échanges industriels de CTIA GROUP, ce qui lui permet de devenir un chef de file mondial dans la fabrication de produits en tungstène et en molybdène et les services d'information.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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 ≥ 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 g/cm³
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	≥ 590 MPa
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	≥ 490 MPa
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	Φ1 mm – Φ200 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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Répertoire

Chapitre 1 Introduction
1.1 Définition et aperçu des tiges de molybdène
1.2 Développement historique des tiges de molybdène
1.3 L'importance des tiges de molybdène dans l'industrie moderne
1.4 État du marché mondial et tendances en matière de développement

Chapitre 2 Propriétés matérielles des tiges de molybdène
2.1 Composition chimique et structure atomique du molybdène
2.2 Structure cristalline et changements de phase du molybdène
2.3 Propriétés physiques des tiges de molybdène
2.3.1 Densité et point de fusion des tiges de molybdène
2.3.2 Conductivité thermique et coefficient de dilatation thermique des tiges de molybdène
2.3.3 Conductivité et résistivité des tiges de molybdène
2.4 Propriétés mécaniques des tiges de molybdène
2.4.1 Résistance et dureté des tiges de molybdène
2.4.2 Ductilité et ténacité des tiges de molybdène
2.4.3 Comportement fluage des tiges de molybdène à haute température
2.5 Propriétés chimiques des tiges de molybdène
2.5.1 Résistance à l'oxydation des tiges de molybdène
2.5.2 Résistance à la corrosion des tiges de molybdène (acides, alcalis, sels fondus, etc.)
2.6 Comparaison des alliages à base de molybdène et de molybdène
2.7 Comparaison des propriétés des tiges de molybdène avec d'autres matériaux à haute température
2.8 Tige en molybdène MSDS de CTIA GROUP LTD

Chapitre 3 Processus de préparation et de production des tiges de molybdène
3.1 Acquisition de matières premières de molybdène
3.1.1 Extraction et enrichissement du minerai de molybdène
3.1.2 Purification du concentré de molybdène
3.2 Procédé de métallurgie des poudres des tiges de molybdène
3.2.1 Préparation de la poudre de molybdène (méthode de réduction, méthode d'atomisation)
3.2.2 Contrôle de la taille et de la pureté des particules de poudre
3.2.3 Moulage par compression (pressage isostatique à froid, moulage)
3.3 Procédé de frittage des tiges de molybdène
3.3.1 Frittage sous vide
3.3.2 Frittage de protection contre l'hydrogène
3.3.3 Équipement de frittage à haute température et optimisation des paramètres
3.4 Technologie de traitement thermique des tiges de molybdène
3.4.1 Processus de forgeage
3.4.2 Processus de laminage
3.4.3 Processus de dessin
3.5 Technologie de traitement de surface des tiges de molybdène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3.5.1 Polissage mécanique
3.5.2 Nettoyage chimique
3.5.3 Revêtements de surface (revêtements anti-oxydants, etc.)
3.6 Contrôle de la qualité et optimisation du processus des tiges de molybdène
3.6.1 Contrôle des défauts dans le processus de production
3.6.2 Surveillance et optimisation des paramètres du procédé

Chapitre 4 Types et spécifications des tiges de molybdène
4.1 Classification par composition
4.1.1 Tiges de molybdène de haute pureté (pureté ≥99,95 %)
4.1.2 Tiges de molybdène dopé (TZM, Mo-La, Mo-W, etc.)
4.2 Classification selon l'état de surface
4.2.1 Tiges de molybdène noir
4.2.2 Polissage des tiges de molybdène
4.2.3 Nettoyage des tiges de molybdène
4.3 Classification par taille et forme
4.3.1 Tiges rondes en molybdène
4.3.2 Tiges carrées et autres tiges de molybdène de forme spéciale
4.3.3 Tiges de micro-molybdène et grandes tiges de molybdène
4.4 Conception personnalisée de tige de molybdène
4.4.1 Analyse de la demande des clients
4.4.2 Spécifications spéciales et personnalisation des performances

Chapitre 5 Essais de performance et évaluation des tiges de molybdène
5.1 Essai des propriétés mécaniques des tiges de molybdène
5.1.1 Essai de traction des tiges de molybdène
5.1.2 Essai de compression des tiges de molybdène
5.1.3 Essais de flexion et de cisaillement
5.2 Essai de performance à haute température des tiges de molybdène
5.2.1 Essai de fluage des tiges de molybdène
5.2.2 Essai de fatigue thermique des tiges de molybdène
5.2.3 Essai de résistance à l'oxydation des tiges de molybdène
5.3 Analyse de la microstructure des tiges de molybdène
5.3.1 Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)
5.3.2 Analyse par diffraction des rayons X (DRX)
5.3.3 Spectroscopie d'énergie (SED)
5.4 Essai des propriétés chimiques des tiges de molybdène
5.4.1 Essai de résistance à la corrosion des tiges de molybdène
5.4.2 Évaluation de la stabilité chimique des tiges de molybdène
5.5 Analyse de défaillance des tiges de molybdène
5.5.1 Analyse du mécanisme de rupture des tiges de molybdène
5.5.2 Analyse de la fatigue et de l'usure des tiges de molybdène
5.5.3 Modèle de prédiction de la durée de vie des tiges de molybdène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 6 Équipement de production de tiges de molybdène
6.1 Équipement de manutention des matières premières pour les tiges de molybdène
6.1.1 Équipement de concassage et de broyage
6.1.2 Équipement d'épuration (fours de torréfaction, fours de réduction)
6.2 Équipement de métallurgie des poudres pour les tiges de molybdène
6.2.1 Équipement de mélange et de pressage
6.2.2 Fours de frittage (fours à vide, fours à atmosphère)
6.3 Équipement de traitement thermique pour les tiges de molybdène
6.3.1 Équipement de forgeage
6.3.2 Laminoirs et machines à étirer
6.4 Équipement de traitement de surface pour tiges de molybdène
6.4.1 Machines à polir
6.4.2 Équipement de nettoyage
6.5 Équipement d'essai pour les tiges de molybdène
6.5.1 Équipement de contrôle non destructif (ultrasons, rayons X)
6.5.2 Équipement d'essai de la qualité dimensionnelle et de la qualité de surface
6.6 Équipement de production automatique et intelligent pour les tiges de molybdène
6.6.1 Contrôle automatique des lignes de production
6.6.2 Surveillance intelligente et analyse des données

Chapitre 7 Domaines d'application des tiges de molybdène
7.1 Fours à haute température et équipement thermique
7.1.1 Tiges de molybdène comme éléments chauffants
7.1.2 Pièces de support et de fixation
7.2 Industrie de l'électronique et des semi-conducteurs
7.2.1 Matériaux des électrodes
7.2.2 Cibles de pulvérisation
7.2.3 Tubes à vide et composants de sources d'ions
7.3 Aérospatiale
7.3.1 Pièces structurelles à haute température
7.3.2 Composants du système de propulsion
7.4 Industrie du verre et de la céramique
7.4.1 Électrodes de fusion du verre
7.4.2 Supports de frittage en céramique
7.5 Recherche médicale et scientifique
7.5.1 Cibles de tubes à rayons X
7.5.2 Équipement expérimental de laboratoire à haute température
7.6 Applications émergentes
7.6.1 Impression 3D et fabrication additive
7.6.2 Applications dans l'industrie nucléaire

Chapitre 8 Normes et spécifications nationales et étrangères pour les tiges de molybdène
8.1 Normes internationales pour les tiges de molybdène

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

8.1.1 ASTM Standards (ASTM B387, etc.)
8.1.2 Normes ISO
8.2 Normes nationales pour les tiges de molybdène
8.2.1 Norme GB/T (GB/T 3462, etc.)
8.2.2 Normes de l'industrie et normes d'entreprise
8.3 Certification et conformité des tiges de molybdène
8.3.1 Processus de certification des matériaux
8.3.2 Conformité en matière d'environnement et de sécurité
8.4 Comparaison des normes et analyse des scénarios d'application des tiges de molybdène

Chapitre 9 Traitement, utilisation et entretien des tiges de molybdène
9.1 Technologie de traitement des tiges de molybdène
9.1.1 Découpe (découpe de fil, découpe laser)
9.1.2 Usinage (tournage, fraisage, perçage)
9.1.3 Technologie de soudage et d'assemblage
9.2 Exigences environnementales relatives à l'utilisation des tiges de molybdène
9.2.1 Vide et atmosphères inertes
9.2.2 Protection de l'environnement par oxydation à haute température
9.3 Installation et fixation des tiges de molybdène
9.3.1 Processus d'installation et conception des appareils
9.3.2 Conception d'adaptation de la dilatation thermique
9.4 Entretien et nettoyage des tiges de molybdène
9.4.1 Méthodes de nettoyage des surfaces
9.4.2 Inspection et entretien périodiques
9.5 Spécifications de fonctionnement de sécurité pour les tiges de molybdène
9.5.1 Précautions pour le fonctionnement à haute température
9.5.2 Spécifications de sécurité pour la manipulation des produits chimiques

Chapitre 10 Recyclage et développement durable des tiges de molybdène
10.1 Processus de recyclage des tiges de molybdène
10.1.1 Collecte et tri des déchets
10.1.2 Technologie de recyclage et de purification
10.2 Impact environnemental des tiges de molybdène et de la production verte
10.2.1 Consommation d'énergie et émissions dans le processus de production
10.2.2 Amélioration du processus de protection de l'environnement
10.3 Stratégie d'économie circulaire et de développement durable des tiges de molybdène

Chapitre 11 : La dernière technologie et la tendance future des tiges de molybdène
11.1 Progrès de la recherche et du développement des alliages à base de molybdène
11.1.1 Optimisation des alliages TZM et Mo-La
11.1.2 Nouvelles technologies de dopage
11.2 Développement de bâtonnets de molybdène nanostructurés
11.3 Technologie de production et d'essai intelligente

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

11.3.1 Surveillance en ligne et analyse des mégadonnées
11.3.2 Application de l'intelligence artificielle dans la production de tiges de molybdène
11.4 Le potentiel des tiges de molybdène dans le domaine des nouvelles énergies
11.4.1 Applications de l'énergie hydrogène et du stockage de l'énergie
11.4.2 Support de matériau supraconducteur à haute température
11.5 Orientations et défis futurs de la recherche sur les tiges de molybdène

Appendice
A. Glossaire des termes
B. Références

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 1 Introduction

1.1 Définition et aperçu des tiges de molybdène

La tige de molybdène est un matériau semblable à une tige fabriqué à partir de molybdène de haute pureté ou d'alliages à base de molybdène (tels que TZM, Mo-La), généralement produit par un procédé de métallurgie des poudres ou un processus de traitement thermique, avec d'excellentes propriétés à haute température, une résistance mécanique et une stabilité chimique. La pureté des tiges de molybdène atteint généralement plus de 99,95 %, le diamètre varie de quelques millimètres à des dizaines de millimètres, et la longueur peut être personnalisée en fonction des besoins de l'application. L'état de surface de la tige de molybdène comprend le noir (non poli, couche d'oxyde de surface conservée), le poli (polissage mécanique ou chimique) et le lavé (élimination des impuretés de surface) pour répondre aux besoins de différents scénarios d'application.

En tant que métal réfractaire, le molybdène a un point de fusion élevé (2623 °C), un faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,8\times10^{-6}$/°C) et une bonne conductivité thermique (environ 138 W/m·K) et une bonne conductivité, ce qui le rend excellent à des températures élevées et dans des environnements extrêmes. Les principales caractéristiques de la tige de molybdène comprennent la résistance aux hautes températures, la résistance à la corrosion, la résistance au fluage et de bonnes propriétés de traitement, ce qui la rend largement utilisée dans les fours à haute température, les semi-conducteurs électroniques, l'aérospatiale, la fabrication du verre et d'autres industries. De plus, les tiges de molybdène peuvent être dopées avec des éléments tels que le titane, le zirconium, le lanthane, etc., afin d'optimiser davantage leur résistance aux hautes températures et leur résistance à l'oxydation.

Les tiges de molybdène se présentent sous diverses formes, y compris des tiges rondes, des tiges carrées et d'autres tiges de forme spéciale, et leur processus de production implique un processus complet allant de la purification du minerai de molybdène à la métallurgie des poudres, au traitement thermique et au traitement de surface. Les performances et la qualité des tiges de molybdène sont affectées par des facteurs tels que la pureté des matières premières, le processus de frittage et la précision du traitement, de sorte que les paramètres du processus doivent être strictement contrôlés pendant le processus de production pour assurer la cohérence du produit. Les tiges de molybdène sont utilisées dans des applications avec des exigences différentes en matière de taille, d'état de surface et de performances, telles que la haute pureté et la finition de surface dans l'industrie des semi-conducteurs, et la résistance à l'oxydation et la résistance mécanique dans les fours à haute température.

1.2 Évolution historique des tiges de molybdène

L'histoire du molybdène remonte à la fin du XVIIIe siècle, lorsque le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele a isolé pour la première fois l'acide de molybdène à partir du minerai de molybdène en 1778, jetant ainsi les bases de l'étude de la chimie du molybdène. En 1781, Peter Jacob Hjelm a réussi à préparer du molybdène métallique en réduisant l'acide molybdène, marquant la découverte officielle du molybdène en tant qu'élément métallique. Au début du 19ème siècle, le molybdène était principalement utilisé pour la recherche en laboratoire en raison de sa rareté et de sa difficulté

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

d'extraction, et ce n'est qu'au début du 20ème siècle, avec les progrès de la technologie métallurgique, que la production industrielle de molybdène est progressivement devenue possible.

En tant que type de produits à base de molybdène, le développement de la tige de molybdène est étroitement lié à la maturité de la technologie de la métallurgie des poudres. Au début du 20ème siècle, les tiges de molybdène ont commencé à être utilisées dans la fabrication d'ampoules et de tubes à vide, et sont devenues un matériau alternatif au fil de tungstène en raison de son point de fusion élevé et de sa bonne conductivité électrique. Dans les années 1920, la production industrielle aux États-Unis et en Allemagne a encouragé l'utilisation de barres de molybdène dans les fours à haute température et dans l'industrie du verre. Pendant la Seconde Guerre mondiale, les tiges de molybdène étaient appréciées pour leur potentiel dans le domaine des superalliages et de l'aérospatiale, en particulier dans les moteurs à réaction et les systèmes de propulsion des fusées.

Du milieu à la fin du 20e siècle, avec l'essor de l'industrie des semi-conducteurs, l'utilisation de tiges de molybdène comme cibles de pulvérisation et matériaux d'électrode a considérablement augmenté. Le développement d'alliages TZM (titane-zirconium-molybdène) et d'alliages Mo-La (molybdène-lanthane) a encore amélioré les performances à haute température et la résistance au fluage des barres de molybdène, permettant leur utilisation dans des environnements plus exigeants. Depuis le 21ème siècle, le processus de production des tiges de molybdène a été continuellement optimisé, et l'introduction de l'automatisation et des technologies intelligentes a amélioré l'efficacité de la production et la qualité des produits. Par exemple, la production moderne de tiges de molybdène utilise le frittage sous vide et la technologie de laminage de précision pour produire des tiges de haute pureté et de précision dimensionnelle.

L'industrie chinoise du molybdène s'est développée rapidement au cours des dernières décennies, devenant le plus grand producteur et consommateur mondial de molybdène. Grâce aux ressources abondantes de minerai de molybdène et à la technologie de production avancée, les entreprises chinoises occupent une position importante dans la R&D et la production de tiges de molybdène, ce qui favorise la popularité des tiges de molybdène sur le marché mondial.

1.3 L'importance des tiges de molybdène dans l'industrie moderne

La tige de molybdène occupe une position irremplaçable dans l'industrie moderne, et son importance découle de ses propriétés matérielles uniques et de son large éventail d'applications. Ce qui suit décrit le rôle de la tige de molybdène dans l'industrie moderne à partir de plusieurs aspects clés :

Applications à haute température : Le point de fusion élevé et la résistance au fluage des tiges de molybdène en font des matériaux idéaux pour les fours à haute température (par exemple, les fours à vide, les fours à hydrogène) et sont couramment utilisés dans les éléments chauffants, les tiges de support et les écrans chauffants. Les tiges de molybdène peuvent fonctionner de manière stable dans des environnements allant jusqu'à 1800°C, ce qui est nettement mieux que les matériaux métalliques traditionnels.

Industrie de l'électronique et des semi-conducteurs : Les tiges de molybdène sont largement utilisées

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

comme cibles de pulvérisation dans les processus de dépôt de couches minces pour la production de circuits intégrés, de cellules solaires et d'écrans plats. Sa grande pureté et sa microstructure homogène garantissent la qualité du film. De plus, les tiges de molybdène sont également utilisées comme matériaux d'électrode pour les tubes à vide et les sources ioniques.

Aérospatiale : Les tiges de molybdène sont utilisées dans l'industrie aérospatiale pour fabriquer des pièces structurelles à haute température telles que des tuyères de moteurs à réaction et des composants de systèmes de propulsion de fusée. Son faible coefficient de dilatation thermique et sa résistance élevée garantissent une fiabilité dans des conditions de température et de stress extrêmes.

Industrie du verre et de la céramique : Les tiges de molybdène sont utilisées comme électrodes dans les fours de fusion du verre car elles résistent à la corrosion à haute température et chimiquement stables, et peuvent résister à l'érosion du verre fondu. De plus, les tiges de molybdène sont également utilisées comme composants de support dans le processus de frittage de céramique.

Médecine et recherche : Les tiges de molybdène sont utilisées comme cibles dans les tubes à rayons X pour générer des rayons X à haute énergie pour le diagnostic médical et l'analyse des matériaux. Dans le domaine de la recherche scientifique, les tiges de molybdène sont un composant clé des équipements expérimentaux à haute température, soutenant la recherche en science des matériaux et en physique.

L'importance des tiges de molybdène se reflète également dans leur durabilité. Le molybdène est un métal recyclable, et les déchets de tiges de molybdène peuvent être réutilisés grâce au processus de purification, ce qui répond aux besoins de l'industrie moderne en matière de fabrication écologique. Les diverses applications des barres de molybdène ont entraîné des progrès technologiques dans plusieurs industries, telles que les nouvelles énergies (photovoltaïque, énergie hydrogène) et la fabrication haut de gamme.

1.4 Situation du marché mondial et tendances de développement

Le marché mondial des tiges de molybdène a connu une croissance régulière ces dernières années, principalement en raison de la demande accrue des industries de l'électronique, de l'aérospatiale et de l'énergie. Selon les rapports de l'industrie, la taille du marché mondial du molybdène sera d'environ 200 millions de dollars en 2024, dont la tige de molybdène représente une proportion considérable en tant que forme de produit importante. La Chine est le plus grand producteur mondial de molybdène, représentant plus de 40 % de la production mondiale, suivie par des pays tels que les États-Unis, le Chili et le Pérou.

L'état actuel du marché

Production et approvisionnement : Les entreprises chinoises occupent une position dominante dans la production de tiges de molybdène, s'appuyant sur de riches ressources en minerai de molybdène et une technologie mature de métallurgie des poudres.

Stimulé par la demande : Le développement rapide des industries de l'électronique et des semi-conducteurs stimule la demande de tiges de molybdène de haute pureté, en particulier dans la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

technologie 5G, les puces d'IA et le photovoltaïque. La demande de barres d'alliage TZM et Mo-La dans le secteur aérospatial augmente également.

Fluctuations des prix : Les prix des tiges de molybdène sont fortement affectés par l'approvisionnement en matières premières, la géopolitique et la demande du marché. Ces dernières années, les prix du molybdène se sont généralement stabilisés, mais les coûts de production ont augmenté en raison de la hausse des coûts de l'énergie et des réglementations environnementales plus strictes.

Tendances

Barres en alliage haute performance : La recherche et le développement de barres en molybdène dopé telles que TZM et Mo-La sont au centre de l'avenir, visant à améliorer la résistance aux hautes températures et la résistance à l'oxydation pour répondre aux besoins des industries aérospatiale et nucléaire.

Production verte : Avec l'amélioration des exigences en matière de protection de l'environnement, les fabricants de tiges de molybdène adoptent des processus à faible consommation d'énergie et à faibles émissions, tels que la technologie de purification verte et les systèmes de recyclage des déchets.

Fabrication intelligente : Les lignes de production automatisées et les technologies d'inspection intelligentes, telles que l'inspection par rayons X en ligne, modifient la façon dont les tiges de molybdène sont produites, améliorant ainsi l'efficacité et la cohérence.

Applications émergentes : Le potentiel émergent des barres de molybdène dans de nouveaux domaines énergétiques tels que les électrolyseurs d'hydrogène et les matériaux supraconducteurs à haute température, ainsi que la fabrication additive (impression 3D), devrait stimuler la croissance du marché.

Dynamique du marché régional : La Chine continue de dominer le marché mondial des tiges de molybdène, tandis que la demande en Inde et en Asie du Sud-Est augmente rapidement, ce qui en fait un nouveau point chaud du marché.

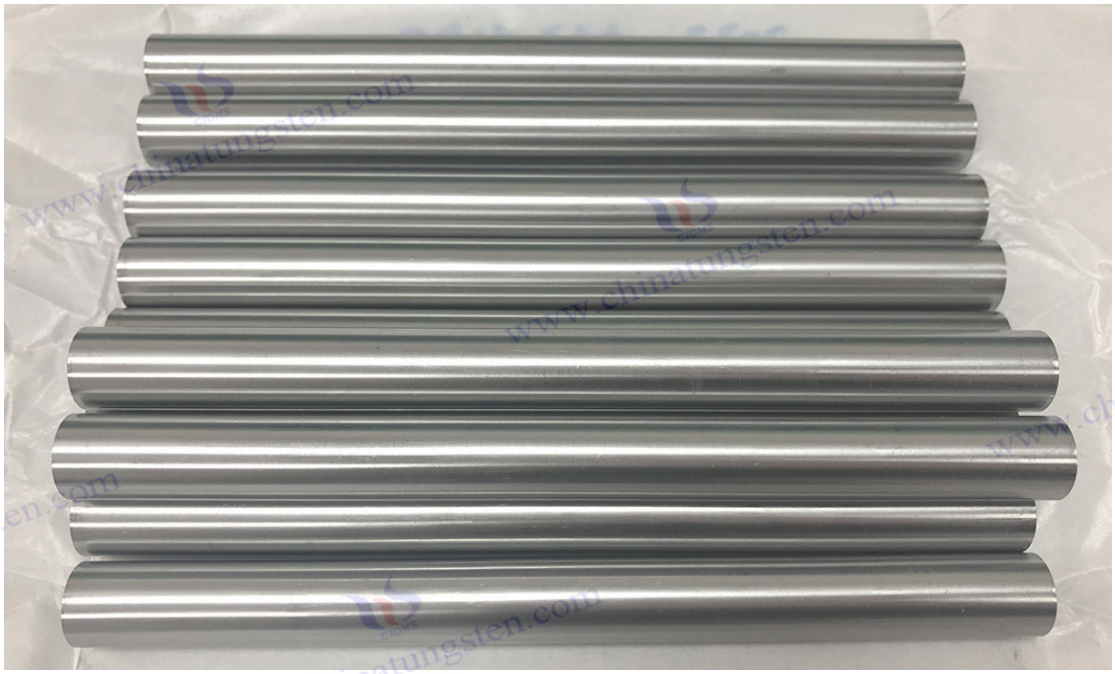
Défi

Risque d'approvisionnement en matières premières : La concentration régionale des ressources en minerai de molybdène peut entraîner des fluctuations de l'approvisionnement.

Barrières techniques : La production de tiges de molybdène de haute pureté et de barres d'alliage spéciales est soumise à des exigences techniques extrêmement élevées, et il est difficile pour les petites et moyennes entreprises d'entrer sur le marché.

Pression environnementale : Les problèmes de consommation d'énergie et d'émissions dans le processus de purification et de traitement du molybdène doivent être résolus davantage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



CTIA GROUP LTD tiges en molybdène poli

Chapitre 2 Propriétés matérielles des tiges de molybdène

2.1 Composition chimique et structure atomique du molybdène

Le molybdène (symbole de l'élément Mo, numéro atomique 42) est un métal de transition appartenant au cinquième groupe d'éléments de la VIe période, avec un poids atomique de 95,94 g/mol. La composition chimique du molybdène est principalement du molybdène élémentaire de haute pureté, et la pureté de la tige de molybdène industrielle atteint généralement plus de 99,95 %, et la teneur en éléments d'impuretés (tels que le fer, le carbone, l'oxygène, l'azote, etc.) est strictement contrôlée au niveau du ppm pour assurer sa stabilité de performance. Les barres de molybdène sont dopées avec des oligo-éléments (par exemple, titane, zirconium, lanthane) dans certaines applications pour former des alliages à base de molybdène tels que TZM (titane-zirconium-molybdène) ou Mo-La (molybdène-lanthane) pour améliorer la résistance à haute température ou la résistance à l'oxydation.

Du point de vue de la structure atomique, la configuration électronique du molybdène est de [Kr] $4d^5$ $5s^1$, qui a une forte capacité de liaison métallique. Son rayon atomique est d'environ 139 pm, son électronégativité est de 2,16 (échelle de Pauling) et il présente une activité chimique modérée. La stabilité chimique du molybdène le rend excellent dans les environnements à haute température et corrosifs, mais il nécessite des mesures de protection dans certaines conditions, telles que les environnements d'oxydation à haute température. Les propriétés chimiques du molybdène sont affectées par sa structure atomique, et la distribution électronique des orbitales 4d et 5s lui confère un point de fusion élevé et une résistance mécanique tout en conservant une certaine ductilité.

La pureté du molybdène est essentielle à ses propriétés. Par exemple, une teneur en oxygène trop élevée (>50 ppm) peut entraîner la fragilisation des joints de grains et réduire la ténacité des tiges

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de molybdène. Par conséquent, les procédés de fusion sous vide ou de réduction de l'hydrogène sont souvent utilisés dans le processus de production pour réduire les impuretés. Les normes de l'industrie (par exemple, ASTM B387) ont des exigences claires pour la composition chimique des tiges de molybdène, telles que 0,01 % de teneur en fer et 0,005 % de teneur en carbone ≤≤ 0,005 %. Chinatungsten Online et d'autres informations de l'industrie ont souligné que la production de tiges de molybdène de haute pureté nécessite un contrôle strict des sources de matières premières et des processus de purification pour répondre aux applications à forte demande telles que les semi-conducteurs et l'aérospatiale.

2.2 Structure cristalline et changements de phase du molybdène

La structure cristalline du molybdène est cubique centrée sur le corps (BCC) avec une constante de réseau d'environ 0,3147 nm. Cette structure confère au molybdène un point de fusion élevé et de bonnes propriétés mécaniques, tout en lui permettant de maintenir une stabilité structurelle à haute température. Les atomes de molybdène de la structure BCC sont étroitement disposés et présentent moins de défauts cristallins (tels que des dislocations, des joints de grains), ce qui contribue à sa capacité à résister au fluage à des températures élevées.

Le molybdène maintient une seule phase BCC de la température ambiante au point de fusion (2623°C) sans transition allotrope, ce qui lui confère des propriétés physiques et mécaniques stables sur une large plage de températures. Cependant, à des températures élevées, les grains de molybdène peuvent se développer, ce qui entraîne une diminution des propriétés mécaniques, de sorte que des éléments dopés tels que le lanthane ou le titane sont souvent utilisés pour affiner les grains et améliorer la résistance des joints de grains. L'alliage Mo-La est formé par l'ajout d'oxyde de lanthane (La_2O_3) pour former une phase dispersée, ce qui inhibe efficacement la croissance des grains et améliore les performances à haute température.

En termes de changement de phase, le molybdène est sublimé directement de l'état solide à l'état gazeux (environ 4650°C) à la pression atmosphérique sans passer par un état liquide, ce qui le rend plus adapté aux applications à haute température sous vide ou dans des atmosphères inertes. La stabilité de phase du molybdène en fait un matériau idéal pour les fours à haute température et les équipements sous vide, mais il doit se méfier des réactions d'oxydation (génération de MoO_3) dans les atmosphères oxydantes. L'analyse par diffraction des rayons X (XRD) a montré que l'orientation cristalline et la microstructure de la tige de molybdène étaient affectées par la technologie de traitement (telle que le laminage et le forgeage), et que l'orientation préférée le long de la direction axiale pouvait améliorer ses propriétés mécaniques.

Des études universitaires ont montré que la structure cristalline des tiges de molybdène a un effet significatif sur sa conductivité électrique et sa conductivité thermique. La disposition compacte de la structure BCC permet d'obtenir une conductivité thermique élevée, tandis que la présence de joints de grains et d'impuretés peut dégrader les performances. Par conséquent, la production de tiges de molybdène haute performance nécessite des processus de frittage et de traitement thermique optimisés pour réduire les défauts de cristaux et les impuretés.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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 ≥ 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 g/cm³
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	≥ 590 MPa
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	≥ 490 MPa
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	Φ1 mm – Φ200 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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

2.3 Propriétés physiques des tiges de molybdène

Les propriétés physiques des tiges de molybdène sont à la base de leur large gamme d'applications à des températures élevées et dans des environnements extrêmes. Ce qui suit est élaboré à partir de trois aspects : la densité et le point de fusion, la conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique, la conductivité et la résistivité.

2.3.1 Masse volumique et point de fusion des tiges de molybdène

La densité des tiges de molybdène est de 10,28 g/cm³ (20 °C), ce qui est légèrement inférieur à celui du tungstène (19,25 g/cm³) mais supérieur à celui de la plupart des métaux courants (par exemple, le fer, le nickel). Cette densité lui confère un avantage dans les applications qui nécessitent une résistance élevée mais qui sont sensibles au poids, comme l'aérospatiale. La densité des barres de molybdène est affectée par leur pureté et leur technologie de traitement, la densité des barres de molybdène de haute pureté se rapprochant de la valeur théorique, tandis que la densité des alliages dopés (par exemple, TZM) varie légèrement (environ 10,1 à 10,3 g/cm³).

Avec un point de fusion de 2623°C, le molybdène a l'un des points de fusion les plus élevés de tous les métaux, juste derrière le tungstène (3422°C) et le rhénium (3186°C). Le point de fusion élevé permet aux tiges de molybdène de conserver leur intégrité structurelle à des températures extrêmement élevées, par exemple au-dessus de 1800 °C dans un four à vide, ce qui les rend adaptées au traitement thermique à haute température, à la fusion du verre et à la fabrication de semi-conducteurs. Le point de fusion affecte également la difficulté de traitement de la tige de molybdène, et le forgeage et le frittage à haute température doivent être effectués à une température proche du point de fusion, ce qui nécessite des exigences élevées en matière d'équipement.

2.3.2 Conductivité thermique et coefficient de dilatation thermique des barres de molybdène

La conductivité thermique de la tige de molybdène est de 138 W/m·K (20°C), ce qui présente une excellente conductivité thermique et convient comme élément chauffant ou matériau d'écran chaud pour les fours à haute température. Par rapport au tungstène (173 W/m·K), le molybdène a une conductivité thermique légèrement inférieure, mais il peut néanmoins dissiper efficacement la chaleur à des températures élevées et réduire la concentration des contraintes thermiques. La conductivité thermique diminue légèrement avec l'augmentation de la température, par exemple environ 100 W/m·K à 1000°C, ce qui reste suffisant pour la plupart des applications à haute température.

Les tiges de molybdène ont un faible coefficient de dilatation thermique d'environ 4,8×10⁻⁶/°C (20-1000°C), ce qui est beaucoup plus faible que l'acier (environ 12×10⁻⁶/°C) et le cuivre (16,5×10⁻⁶/°C). Le faible coefficient de dilatation thermique confère à la tige de molybdène une bonne stabilité dimensionnelle dans les cycles à haute température, réduisant la fissuration ou la déformation causée par le stress thermique. Cette propriété est particulièrement importante dans l'étanchéité du verre et la fabrication de semi-conducteurs, où le coefficient de dilatation thermique des tiges de molybdène correspond à celui de certains matériaux en verre et en céramique.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

2.3.3 Conductivité et résistivité des tiges de molybdène

La conductivité de la tige de molybdène est d'environ $1,9\times10^{7}$ S/m (20°C) et la résistivité est de $5,2\times10^{-8}$ Ω·m, elle présente une bonne conductivité électrique et convient à une utilisation comme électrodes ou pièces conductrices. La résistivité augmente avec l'augmentation de la température, par exemple environ 20×10^{-8} Ω·· à 1000°C m。 Cette dépendance à la température doit être prise en compte lors de la conception d'électrodes ou d'éléments chauffants à haute température pour assurer la stabilité du courant et la puissance de sortie.

La conductivité de la tige de molybdène est affectée par les impuretés et la microstructure, et la conductivité de la tige de molybdène de haute pureté est meilleure que celle des alliages dopés. Par exemple, les alliages TZM ont une résistivité légèrement supérieure à celle des barres de molybdène pur en raison de leur teneur en titane et en zirconium. Selon les rapports de l'industrie, l'industrie des semi-conducteurs a des exigences extrêmement élevées en matière de conductivité des tiges de molybdène, qui nécessitent des processus de purification et des traitements de surface élevés pour réduire les fluctuations de résistivité.

2.4 Propriétés mécaniques des tiges de molybdène

Les propriétés mécaniques de la tige de molybdène sont la clé de sa fiabilité dans les applications industrielles, et ce qui suit est analysé sous trois aspects : résistance et dureté, ductilité et ténacité, et comportement au fluage à haute température.

2.4.1 Résistance et dureté des tiges de molybdène

La résistance à la traction des tiges de molybdène est d'environ 600 à 800 MPa et la limite d'élasticité est d'environ 400 à 600 MPa à température ambiante, en fonction de la pureté, de la technologie de traitement et de la taille des grains. Le travail à chaud (par exemple, forgeage, laminage) peut améliorer considérablement la résistance des tiges de molybdène, par exemple, la résistance à la traction des tiges de molybdène forgées peut atteindre plus de 900 MPa. La dureté des tiges de molybdène (dureté Vickers) est d'environ 200 à 250 HV, avec une légère augmentation de la dureté après polissage.

Les alliages dopés (par exemple, TZM) sont considérablement renforcés par le renforcement en solution et le renforcement par précipitation, et la résistance à la traction des tiges de molybdène TZM peut atteindre 1100 MPa et la dureté est d'environ 270 à 300 HV. Ces propriétés permettent aux tiges de molybdène de conserver leur intégrité structurelle à des températures et des pressions élevées, comme dans les composants aérospatiaux à haute température.

2.4.2 Ductilité et ténacité des barres de molybdène

Les tiges de molybdène pur sont malléables à température ambiante, avec un allongement d'environ 10 à 20 %, mais elles sont moins ductiles et présentent une certaine fragilité, en particulier à basse température (inférieure à -50 °C). La ductilité peut être améliorée par le travail thermique et le dopage, par exemple, les alliages Mo-La peuvent augmenter la résistance des joints de grains en ajoutant de l'oxyde de lanthane, avec des allongements de plus de 25 %.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La ténacité des tiges de molybdène est affectée par la taille des grains et la teneur en impuretés. Les grains fins et la haute pureté réduisent le glissement des joints de grains et la propagation des fissures, et améliorent la résistance à la rupture (K_{1C} environ 10–15 MPa·m$^{1/2}$). À haute température (>1000°C), la ductilité de la tige de molybdène est considérablement améliorée et présente une bonne capacité de déformation plastique, ce qui convient au traitement thermique et au moulage de formes complexes.

2.4.3 Comportement fluage des barres de molybdène à haute température

Le fluage est un indice de performance important de la tige de molybdène à haute température et sous contrainte à long terme. La tige de molybdène pur commence à ramper considérablement au-dessus de 1000°C, et le taux de fluage s'accélère avec l'augmentation de la température et du stress. Par exemple, à 1200°C et à une contrainte de 50 MPa, le molybdène pur a un taux de fluage d'environ 10^{-5}/h. Le taux de fluage des alliages TZM et Mo-La a été considérablement réduit par le renforcement des précipitations, et le taux de fluage du TZM pouvait être inférieur à 10^{-6}/h à 1500°C.

Le comportement du fluage est affecté par la microstructure, et les tiges de molybdène avec une granulométrie plus grande ou plus d'impuretés dans les joints de grains sont plus susceptibles de se fracturer par couplage. Les traitements thermiques, tels que le recuit, optimisent la microstructure et réduisent les tendances au fluage. Des études industrielles ont montré que l'utilisation à long terme des barres de molybdène dans les fours à haute température nécessite une résistance accrue au fluage grâce au dopage et aux revêtements de surface tels que les revêtements de siliciure.

2.5 Propriétés chimiques des tiges de molybdène

Les propriétés chimiques de la tige de molybdène déterminent son applicabilité dans des environnements corrosifs, et ce qui suit est analysé sous deux aspects : la résistance à l'oxydation et la résistance à la corrosion.

2.5.1 Résistance à l'oxydation des tiges de molybdène

La tige de molybdène est stable à l'oxydation à température ambiante, mais il est facile de former des oxydes volatils MoO_3 dans une atmosphère oxydante à haute température (>600°C), entraînant une perte de matériau et une dégradation des performances. Par exemple, dans l'air à 800 °C, le taux d'oxydation des tiges de molybdène est d'environ 0,1 à 0,5 mg/cm²·h. Afin d'améliorer la résistance aux antioxydants, les mesures suivantes sont souvent adoptées dans l'industrie :

Revêtement de surface : Les revêtements en siliciure ($MoSi_2$) ou en alumine forment une couche protectrice qui réduit considérablement le taux d'oxydation.
Modification du dopage : L'alliage Mo-La est renforcé par dispersion d'oxyde de lanthane pour améliorer la résistance à l'oxydation.
Utilisation de contrôles environnementaux : L'utilisation de barres de molybdène dans une atmosphère vide ou inerte (par exemple argon, azote) évite l'oxydation.

2.5.2 Résistance à la corrosion des barres de molybdène (acides, alcalis, sels fondus, etc.)

La tige de molybdène a une bonne résistance à la corrosion à une variété d'acides et d'alcalis à

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

température ambiante. Par exemple, les tiges de molybdène sont pratiquement non corrodées dans l'acide sulfurique dilué, l'acide chlorhydrique et l'acide fluorhydrique, mais ont un taux de corrosion accru dans l'acide nitrique concentré et les solutions alcalines à haute température telles que le NaOH. Les tiges de molybdène ont une bonne résistance à la corrosion aux sels fondus (tels que le chlorure de sodium, les sels fondus de fluorure) et conviennent à une utilisation comme électrodes de fusion du verre.

Dans les environnements corrosifs à haute température, les performances des barres de molybdène dépendent de l'état de surface et du milieu ambiant. La tige de molybdène polie présente moins de défauts de surface et une meilleure résistance à la corrosion que la tige noire. Les alliages TZM surpassent le molybdène pur dans les atmosphères corrosives (par exemple, les gaz contenant du soufre) en raison de leur renforcement des joints de grains qui réduit la sensibilité à la corrosion. Des études universitaires ont montré que les tiges de molybdène bénéficient de leur inertie chimique en raison de leur résistance à la corrosion lors de la fusion du verre et du frittage de céramique, mais le contact à long terme avec des milieux oxydants forts doit être évité.

2.6 Comparaison des alliages à base de molybdène et de molybdène

Les tiges de molybdène peuvent être divisées en barres de molybdène pur et en barres d'alliage à base de molybdène (telles que TZM, Mo-La, Mo-W) en fonction de leur composition. Voici une comparaison du point de vue des performances et de l'application :

Tige de molybdène pur : pureté ≥, avec une excellente conductivité électrique et thermique, adaptée aux industries des semi-conducteurs et de l'électronique. Cependant, sa résistance aux hautes températures et sa résistance à l'oxydation sont médiocres, ce qui limite son application dans des environnements extrêmes.

Tige en alliage TZM (0,5 % Ti, 0,08 % Zr, 0,02 % C) : La résistance à la traction (environ 1100 MPa) et la résistance au fluage du TZM sont nettement meilleures que celles du molybdène pur grâce au renforcement de la solution et à la précipitation, ce qui la rend adaptée aux composants de l'aérospatiale et des fours à haute température. Cependant, sa difficulté de traitement est élevée et son coût est élevé.

Tige en alliage Mo-La (0,3 à 1 % La_2O_3) : Elle convient à une utilisation à long terme à haute température en raison de sa ductilité et de sa ductilité pour améliorer la résistance à l'oxydation à haute température et la résistance des joints de grains grâce au renforcement par dispersion.

Tiges en alliage Mo-W : Le tungstène dopé (5 à 30 %) augmente le point de fusion et la résistance, mais réduit légèrement la conductivité, ce qui le rend adapté aux applications spéciales à haute température.

Les barres en alliage TZM et Mo-La sont supérieures au molybdène pur en termes de performances à haute température, mais légèrement inférieures en termes de conductivité et de facilité de traitement. Le choix doit être pesé en fonction du scénario d'application, par exemple, l'industrie des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

semi-conducteurs préfère les tiges de molybdène de haute pureté, tandis que l'aérospatiale préfère le TZM.

2.7 Comparaison des propriétés des tiges de molybdène avec d'autres matériaux à haute température

Les performances des tiges de molybdène par rapport à d'autres matériaux à haute température (par exemple le tungstène, le niobium, le tantale, les céramiques) sont les suivantes :

Molybdène vs tungstène : Le tungstène a un point de fusion plus élevé (3422 °C) que le molybdène et une densité plus élevée (19,25 g/cm³), ce qui le rend adapté aux environnements à haute température. Cependant, le tungstène est plus difficile et plus coûteux à traiter que le molybdène, et les tiges de molybdène sont plus avantageuses dans les applications sensibles au poids.

Molybdène vs niobium/tantale : Le niobium et le tantale ont des points de fusion légèrement inférieurs ou plus proches (2468°C et 3017°C) que le molybdène, mais sont plus résistants à la corrosion que le molybdène, en particulier dans les environnements fortement acides. Les tiges de molybdène ont un faible coût et conviennent aux applications industrielles à grande échelle.

Molybdène vs céramique : Les céramiques (par exemple, l'alumine, le carbure de silicium) ont une résistance à l'oxydation et une stabilité chimique plus élevées, mais ont une faible ténacité mécanique et sont sujettes à la rupture fragile. La ductilité et la résistance des tiges de molybdène à haute température sont plus adaptées aux environnements de charge dynamiques.

Les propriétés combinées des barres de molybdène (point de fusion élevé, faible dilatation thermique, coût modéré) leur confèrent des avantages uniques dans les fours à haute température, les semi-conducteurs et l'aérospatiale, mais la bonne combinaison de matériaux doit être sélectionnée pour l'application spécifique.

2.8 Tige en molybdène MSDS de CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD, l'un des principaux fournisseurs de produits à base de molybdène en Chine, fournit aux utilisateurs des conseils sur l'utilisation et la manipulation en toute sécurité des tiges de molybdène grâce à sa fiche de données de sécurité (FDS) pour les tiges de molybdène. Voici un aperçu des principaux contenus de la fiche signalétique des tiges de molybdène de CTIA GROUP LTD :

Partie I : Dénominations chimiques

Nom chimique : molybdène
Le nom anglais du produit chimique est Molybdène
N° CAS :7439-98-7
Formule moléculaire : Mo
Poids moléculaire : 99,95

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Partie II : Renseignements sur la composition

Contenance 99,95 % molybdène

Partie III : Aperçu des dangers

Risques pour la santé : Ce produit n'est pas irritant pour les yeux et la peau.
Risque d'explosion : Ce produit est ininflammable et non irritant.

Partie IV : Premiers soins

Contact peau à peau : Retirez les vêtements contaminés et rincez-les abondamment à l'eau courante.
Contact visuel : Soulevez la paupière et rincez à l'eau courante ou à l'aide d'une solution saline. Traitement médical.
Inhalation : Retirer de la scène à l'air frais. Si vous avez des difficultés à respirer, donnez de l'oxygène. Traitement médical.
Apport : Buvez beaucoup d'eau tiède pour provoquer des vomissements. Traitement médical.

Partie V : Mesures de protection contre l'incendie

Produits de combustion nocifs : Les produits de décomposition naturels sont inconnus.
Méthode d'extinction d'incendie : Les pompiers doivent porter des masques à gaz et des combinaisons intégrales de lutte contre les incendies pour éteindre le feu dans la direction du vent.
Agent extincteur : poudre de cuir sèche, sable.

Partie VI : Gestion d'urgence des déversements

Traitement d'urgence : Isolez la zone contaminée par la fuite et limitez l'accès. Coupez la source du feu. Il est conseillé aux intervenants d'urgence de porter des masques anti-poussière (masques faciaux) et des vêtements de protection. Évitez la poussière, balayez-le soigneusement, mettez-le dans un sac et transférez-le dans un endroit sûr. S'il y a une grande quantité de fuites, couvrez-la d'un chiffon en plastique ou d'une toile. Collecter et recycler ou transporter vers un site d'élimination des déchets pour l'élimination.

Partie VII : Manutention, manutention et entreposage

Précautions d'utilisation : Les opérateurs doivent être spécialement formés et suivre strictement les procédures d'utilisation. Il est recommandé aux opérateurs de porter des masques anti-poussière filtrants auto-amorçants, des lunettes de sécurité chimique, une combinaison antipoison anti-pénétration et des gants en caoutchouc. Tenir à l'écart du feu et des sources de chaleur, et il est strictement interdit de fumer sur le lieu de travail. Utilisez des systèmes et des équipements de ventilation antidéflagrants. Évitez la génération de poussière. Évitez tout contact avec des oxydants et des halogènes. Lors de la manipulation, il est nécessaire de charger et de décharger légèrement

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

pour éviter d'endommager l'emballage et les conteneurs. Équipé des variétés et des quantités correspondantes d'équipements de lutte contre l'incendie et d'équipements de traitement d'urgence en cas de fuite. Les récipients vides peuvent laisser des substances nocives derrière eux.

Précautions de stockage : Stocker dans un entrepôt frais et ventilé. Tenir à l'écart du feu et des sources de chaleur. Il doit être stocké séparément des oxydants et des halogènes, et ne doit pas être mélangé. Équipé de la variété et de la quantité correspondantes d'équipements de lutte contre l'incendie. La zone de stockage doit être équipée de matériaux appropriés pour contenir le déversement.

Partie VIII : Contrôle de l'exposition/protection individuelle

CMA Chine (mg/m3) : 6
CMA de l'URSS (mg/m3) : 6
TLVTN : ACGIH 1 mg/m3
TLVWN :ACGIH 3mg/m3
Méthode de surveillance : spectrophotométrie thiocyanure de potassium-chlorure de titane
Contrôle technique : le processus de production est exempt de poussière et entièrement ventilé.
Protection respiratoire : Lorsque la concentration de poussière dans l'air dépasse la norme, un masque anti-poussière filtrant auto-amorçant doit être porté. En cas d'évacuation d'urgence, un appareil respiratoire doit être porté.
Protection oculaire : Portez des lunettes de sécurité chimique.
Protection corporelle : Porter une combinaison anti-poison anti-pénétration.
Protection des mains : Portez des gants en caoutchouc.

Partie IX : Propriétés physicochimiques

Ingrédient principal : Pur
Aspect et propriétés : solide, blanc brillant métallisé ; Blank, finition noire
Point de fusion (°C) : 2620
Point d'ébullition (°C) : 5560
Densité relative (eau = 1) : 9,4 ~ 10,2 (20 °C)
Densité de vapeur (air = 1) : Aucune donnée
Pression de vapeur saturante (kPa) : pas de données disponibles
Chaleur de combustion (kj/mol) : pas de données
Température critique (°C) : Aucune donnée disponible
Pression critique (MPa) : Aucune donnée disponible
Logarithme du coefficient de partage de l'eau : pas de données
Point d'éclair (°C) : Aucune donnée disponible
Température d'inflammation (°C) : Aucune donnée
Limite d'explosion % (V/V) : Aucune donnée
Limite inférieure d'explosion % (V/V) : Aucune donnée
Solubilité : soluble dans l'acide nitrique, l'acide fluorhydrique

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Principales utilisations : utilisé dans la production de moules, de fils de molybdène, de pièces électroniques, etc.

Partie X : Stabilité et réactivité
Substances interdites : acides et alcalis forts.

Partie XI :

Toxicité aiguë : pas de données disponibles
CL50 : Aucune donnée

Partie XII : Données écologiques

Il n'y a pas d'information disponible dans cette section

Partie XIII : Élimination

Méthode d'élimination des déchets : Reportez-vous aux lois et réglementations nationales et locales pertinentes avant l'élimination. Recyclez si possible.

Partie XIV : Renseignements sur l'expédition

Numéro de marchandises dangereuses : pas d'information
Catégorie d'emballage : Z01
Précautions pour le transport : L'emballage doit être complet lors de l'expédition et le chargement doit être sécurisé. Pendant le transport, il est nécessaire de s'assurer que le conteneur ne fuit pas, ne s'effondre pas, ne tombe pas et ne s'endommage pas. Il est strictement interdit de mélanger avec des oxydants, des halogènes, des produits chimiques comestibles, etc. Pendant le transport, il doit être protégé de l'exposition au soleil, à la pluie et aux températures élevées. Les véhicules doivent être soigneusement nettoyés après le transport.

Partie XV : Renseignements réglementaires

Informations réglementaires : Règlement sur la gestion de la sécurité des produits chimiques dangereux (promulgué par le Conseil des Affaires d'État le 17 février 1987), Règles détaillées pour l'application du Règlement sur la gestion de la sécurité des produits chimiques dangereux (Hua Lao Fa [1992] n° 677), Règlement sur l'utilisation sûre des produits chimiques sur le lieu de travail ([1996] Lao Bu Fa n° 423) et autres lois et règlements, qui ont pris des dispositions correspondantes sur l'utilisation, la production, le stockage, le transport, le chargement et le déchargement en toute sécurité des produits chimiques dangereux ; La norme d'hygiène pour le tungstène dans l'air de l'atelier (GB 16229-1996) stipule la concentration maximale autorisée et la méthode de détection de cette substance dans l'air de l'atelier.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Partie XVI : Renseignements sur le fournisseur
Fournisseur : CTIA GROUP LTD
Tél. : 0592-5129696/5129595

CTIA GROUP LTD tiges de molybdène

Chapitre 3 Processus de préparation et de production des tiges de molybdène

La préparation et la production de barres de molybdène est un processus technique complexe qui implique plusieurs étapes, de l'extraction du minerai de molybdène à la forme finale de la barre. Ce qui suit décrit en détail le déroulement du processus d'acquisition de matières premières en molybdène, de métallurgie des poudres, de frittage, de traitement thermique, de traitement de surface et de contrôle de la qualité, en se concentrant sur l'élargissement des détails techniques, de la gamme de paramètres, des facteurs d'influence et des derniers progrès technologiques pour refléter pleinement la base scientifique et technique de la production de tiges de molybdène.

3.1 Acquisition de matières premières molybdène

Le point de départ de la production de tiges de molybdène est l'acquisition de matières premières de molybdène de haute pureté, généralement avec de la molybdénite (MoS_2) comme source principale. L'acquisition de matières premières comprend l'extraction du minerai, l'enrichissement et la purification des concentrés, qui sont complexes et ont un impact significatif sur la qualité du produit final.

3.1.1 Extraction et enrichissement du minerai de molybdène

L'extraction du minerai de molybdène est la première étape de la chaîne de production, et la molybdénite est la principale matière première industrielle en raison de sa teneur élevée en molybdène (environ 60 %) et de ses bonnes propriétés d'enrichissement. La répartition des ressources mondiales en minerai de molybdène est concentrée et les régions riches en réserves

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

comprennent l'Asie, l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud. Les teneurs du minerai varient généralement de 0,05 à 0,5 % Mo, les minéraux associés (par exemple, le cuivre, le plomb, le tungstène) ajoutant à la difficulté de l'enrichissement.

Méthode de minage :

Exploitation minière à ciel ouvert : adaptée aux gisements peu profonds, à l'aide de grandes excavatrices et de véhicules de transport, traitant des dizaines de milliers de tonnes de minerai par jour. Le processus comprend le dynamitage, le chargement et le transport, ce qui présente l'avantage d'être peu coûteux, mais a un impact environnemental important et nécessite un traitement des résidus.

Exploitation minière souterraine : convient aux gisements profonds, à l'aide d'excavation de galeries, de forage de roches et d'équipements de dynamitage et de levage. L'exploitation minière souterraine est plus coûteuse mais convient aux gisements à haute teneur. Pendant le processus d'extraction, il est nécessaire de surveiller la stabilité géologique et de prévenir les glissements de terrain.

Exploitation minière mixte : Certaines mines utilisent une combinaison de mine à ciel ouvert et souterraines pour optimiser le plan d'exploitation en fonction de la profondeur et de l'économie du corps minéralisé.

Processus d'enrichissement :

La flottabilité naturelle du molybdène le rend adapté aux processus de flottation, notamment le broyage, le broyage, la flottation, la déshydratation et le séchage :

Concassage : Le minerai brut est traité par concassage grossier (concasseur à mâchoires, granulométrie < 150 mm), concassage secondaire (concasseur à cône, < 50 mm) et concassage fin (concasseur à percussion, < 10 mm) pour libérer les particules de molybdénite.

Broyage : Un broyeur à boulets humide ou un broyeur à barres est utilisé pour broyer le minerai à 80 % à travers 200 mailles (environ 74 μm) afin d'assurer la dissociation du monomère de molybdénite. Les supports de broyage (par exemple les billes d'acier) doivent être remplacés régulièrement pour éviter toute contamination.

Flottation:

Séparation grossière : Le concentré brut contenant de 10 à 20 % de Mo est obtenu par flottation primaire à un pH de 7 à 9 à l'aide de collecteurs (p. ex., kérosène, xanthate, 0,1 à 0,5 kg/t de minerai) et d'agents moussants (p. ex., huile de pinéol, 0,05 à 0,2 kg/t).

Sélection : Le concentré grossier est sélectionné 3 à 5 fois, et des inhibiteurs (tels que le sulfure de sodium, 0,5 à 2 kg/t) sont ajoutés pour séparer les impuretés telles que le cuivre et le plomb, et enfin le concentré de molybdène contenant 40 à 50 % de Mo est obtenu.

Balayage : reflottation des résidus pour récupérer le molybdène résiduel avec un taux de récupération complet de 85 à 95 %.

Déshydratation et séchage : Le concentré de molybdène est traité par un concentrateur (concentré à 60-70 % de solides), un filtre-presse (<10 % d'humidité) et un sécheur rotatif (<5 % d'humidité) pour préparer les matières premières pour la torréfaction ultérieure.

Facteurs d'influence :

Propriétés du minerai : La taille des grains et les types de minéraux associés à la molybdénite

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

affectent l'efficacité de la flottation. Le minerai enrobé à grain fin nécessite un broyage plus fin pour augmenter la consommation d'énergie.
Sélection de l'agent : Le rapport entre le collecteur et l'inhibiteur doit être optimisé en fonction de la composition du minerai, et l'excès d'agents peut réduire la teneur du concentré.
Contrôle de l'environnement : Les eaux usées de flottation contiennent des métaux lourds et des produits chimiques, qui doivent être neutralisés, précipités et recyclés, et le pH est contrôlé à 6,5-7,5 pour réduire les rejets.

Progrès technologiques :
Enrichissement intelligent : la séparation des rayons X (XRT) et la spectroscopie proche infrarouge (NIR) sont utilisées pour pré-séparer le minerai afin d'augmenter la teneur de broyage et de réduire la consommation d'énergie de 10 à 15 %.
Agents verts : développer des collecteurs non toxiques ou peu toxiques (comme l'acide alkylphosphonique) pour réduire la pollution de l'environnement.
Contrôle automatisé : La cellule de flottation est équipée d'un analyseur de grade en ligne et d'un système de dosage automatique qui ajuste les paramètres du processus en temps réel pour augmenter la récupération de 1 à 2 %.

3.1.2 Purification du concentré de molybdène

La purification du concentré de molybdène est le processus de conversion d'un concentré contenant 40 à 50 % de Mo en oxyde de molybdène de haute pureté (MoO_3) ou en poudre de molybdène métallique, qui comprend trois étapes : la torréfaction, la purification chimique et la réduction.

Torréfaction:
Dans les fours rotatifs, les fours à plusieurs chambres ou les fours à lit fluidisé, la molybdénite réagit avec l'oxygène à 550-650 °C pour former une MoO_3 et libérer du SO_2.

Paramètres du processus :
Température : 550–650°C, trop élevée (>700°C) entraîne une perte de volatilisation MoO_3, réaction trop faible est incomplète.
Concentration en oxygène : riche en air ou en oxygène (teneur en O_2 20–30 %), assurant une oxydation adéquate.
Temps de torréfaction : 2 à 4 heures, selon le type de four et la taille du concentré.

Équipement : Les fours rotatifs (1 à 3 m de diamètre, 20 à 50 m de long) conviennent à la production à grande échelle, et les fours à lit fluidisé sont plus efficaces mais nécessitent une taille de particule stricte (<0,1 mm).
Traitement des sous-produits : le SO_2 est converti en acide sulfurique par la colonne de décapage, et le gaz résiduel doit être désulfuré (absorption de $Ca(OH)_2$) pour respecter les normes d'émission (concentration de SO_2 < 50 mg/m³).
Produit : Après la torréfaction, on obtient du MoO_3 industriel, contenant 55 à 60 % de Mo, et les impuretés comprennent du Cu (<0,5 %), du Pb (<0,1 %) et du Si (<1 %).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Purification chimique :

Afin de répondre à la demande de tiges de molybdène de haute pureté, le MoO_3 doit être purifié davantage, et les méthodes courantes comprennent :

Méthode de lixiviation de l'ammoniac :

Le MoO_3 réagit avec l'eau ammoniacale (concentration de 5 à 10 %) pour former une solution de molybdate d'ammonium

Les impuretés insolubles (telles que SiO_2, Fe_2O_3) sont éliminées par filtration, et la solution est évaporée, cristallisée ou précipitée à l'acide (pH 2-3) pour obtenir du molybdate d'ammonium de haute pureté (pureté ≥99,9 %).

Avantages : technologie mature, adaptée à la production à grande échelle ; Inconvénients : La volatilisation de l'ammoniac doit être récupérée et éliminée.

Méthode de lixiviation acide :

Les impuretés telles que le Cu et le Pb sont dissoutes avec de l'acide nitrique dilué (10 à 20 %) ou de l'acide chlorhydrique, et le MoO_3 est conservé à l'état solide, puis lavé et séché pour obtenir un MoO_3 de haute pureté.

Il convient aux concentrés à forte teneur en impuretés de métaux lourds, mais le coût du traitement des acides résiduaires est élevé.

Méthode d'échange d'ions :

La solution de molybdate d'ammonium adsorbe le MoO_4^{2-} à travers la résine échangeuse d'anions (type D301 ou 717), et après élution, on obtient un MoO_3 de très haute pureté (pureté ≥ 99,99 %), ce qui convient à l'industrie des semi-conducteurs.

Le processus est complexe et la régénération de la résine nécessite un entretien régulier.

Extraction par solvant:

Le molybdène est extrait d'une solution acide à l'aide d'un agent d'extraction (tel que la trioctylamine) pour séparer les impuretés telles que le Cu et le Fe afin d'obtenir une solution de molybdène de haute pureté.

Il convient aux concentrés complexes et l'efficacité d'extraction est supérieure à 95 %.

Restaurer:

Le MoO_3 de haute pureté ou molybdate d'ammonium est réduit en poudre de molybdène métallique dans une atmosphère d'hydrogène en deux étapes :

Réduction primaire (400–600°C) :

Type de four : four à bateau ou à tube avec un débit d'hydrogène de 100 à 200 mL/min et un point de rosée <-50 °C.

Réduction secondaire (900–1100°C) :

La température du four est contrôlée avec précision (erreur ± 10 °C), et la pureté de la poudre de molybdène est de 99,95 à 99,99 % et la taille des particules est de 1 à 5 μm.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Facteurs d'influence :

Qualité de la matière première : La teneur en impuretés telles que le Cu et comme dans le concentré affecte la difficulté de purification, et un prétraitement (tel que la séparation magnétique) est nécessaire.

Atmosphère réductrice : La pureté de l'hydrogène (>99,999 %) et le contrôle du point de rosée sont cruciaux, une teneur en oxygène trop élevée entraîne l'oxydation de la poudre de molybdène.

Etanchéité de l'équipement : Le four de réduction doit être très étanche à l'air pour éviter les infiltrations d'air.

Progrès technologiques :

Purification sans ammoniac : le MoO_3 est directement purifié par un milieu acide (tel que HCl-HNO_3) pour réduire le rejet d'eaux usées d'azote ammoniacal, et l'efficacité de purification atteint 98 %.

Torréfaction au micro-ondes : Le chauffage par micro-ondes (puissance 1 à 5 kW) augmente l'efficacité de la torréfaction, réduit le temps de 20 à 30 % et réduit la consommation d'énergie.

Métallurgie verte : Développement d'une technologie de conversion catalytique du SO_2 pour convertir les sous-produits en acide sulfurique ou soufre à haute valeur ajoutée.

3.2 Procédé de métallurgie des poudres des tiges de molybdène

La métallurgie des poudres est la technologie de base de la production de tiges de molybdène, qui implique la préparation de la poudre de molybdène, le contrôle de la taille et de la pureté des particules et le moulage par compression, qui détermine la microstructure et les propriétés de la barre.

3.2.1 Préparation de la poudre de molybdène (méthode de réduction, méthode d'atomisation)

Méthode de réduction :

La méthode de réduction est la méthode la plus couramment utilisée pour la préparation de la poudre de molybdène dans l'industrie, qui réduit le MoO_3 ou le molybdate d'ammonium par l'hydrogène par étapes. Processus détaillé :

Matière première : MoO_3 de haute pureté (pureté ≥99,9 %) ou molybdate d'ammonium, chargé dans un bateau en molybdène ou en acier inoxydable (épaisseur 5 à 10 mm).

Réduction primaire : MoO_2 avec une granulométrie de 3 à 10 μm à 400-600 °C à 400-600 °C et un point de rosée de <-50 °C dans un four à bateau-pousseur ou un four tubulaire.

Réduction secondaire : 900 à 1100 °C, débit d'hydrogène de 200 à 400 mL/min, pour générer de la poudre de molybdène métallique, taille des particules de 1 à 5 μm, pureté ≥ 99,95 %.

Equipement : Le four de réduction est équipé d'un système de contrôle de température multizone (erreur ± 5°C) et d'un système de traitement des gaz d'échappement (absorption de H_2O et de MoO_3 résiduel).

Contrôle du processus :

Gradient de température : Éviter l'agglomération ou le frittage de poudre.

Capacité du bateau : 5 à 10 kg par bateau, trop élevé affecte l'uniformité de la restauration.

Recyclage de l'hydrogène : récupération de l'hydrogène n'ayant pas réagi, réduction des coûts de 10

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

à 15 %.

Nébulisation:

La méthode d'atomisation prépare une poudre ultrafine ou nano-molybdène en pulvérisant du molybdène fondu dans un milieu à haute pression pour une solidification rapide, ce qui convient aux applications haut de gamme. Procédure:

Fusion : Le molybdène de haute pureté (> 99,99 %) est fondu à l'aide d'un arc plasma (puissance 50-200 kW) ou d'un four à arc électrique à des températures allant jusqu'à 2700-3000°C.
Atomisation : La masse fondue est injectée avec de l'azote à haute pression (5 à 10 MPa) ou de l'argon à travers une buse (taille des pores de 0,5 à 2 mm) à une vitesse de refroidissement de 10 à 10 °C/s pour former une poudre sphérique d'une taille de particule de 40 à 100 nm.
Collection et classification : La poudre est collectée par un cyclone et la distribution granulométrique (D50<100 nm) est contrôlée par un classificateur à air.
Équipement : Équipement d'atomisation plasma (type APS-100), équipé d'un système de circulation de gaz inerte pour éviter l'oxydation.
Avantages : sphéricité élevée de la poudre (>95 %), bonne fluidité, adapté à l'impression 3D et aux cibles de pulvérisation.
Inconvénients : La consommation d'énergie élevée (environ 5 à 10 kWh/kg) et les investissements importants dans les équipements limitent les applications à grande échelle.

Autres méthodes :

Électrolyse : La poudre de nano-molybdène est préparée par une solution de molybdate électrolytique d'une taille de particule de 20 à 50 nm mais de faible pureté (<99,9 %).
Méthode par plasma micro-ondes : Réduction de la phase gazeuse MoO_3 par plasma micro-ondes (2,45 GHz) avec une taille de particule de 10 à 30 nm, adaptée à la recherche en laboratoire.

Facteurs d'influence :

Pureté des matières premières : Les impuretés telles que Fe et C dans MoO_3 affectent la qualité de la poudre de molybdène et doivent être pré-purifiées.
Température de réduction : trop élevée entraînera la croissance des grains, trop basse affectera l'efficacité de la réduction.
Contrôle du débit d'air : Dans la méthode d'atomisation, la pression et le débit du gaz déterminent la distribution granulométrique de la poudre.

Progrès technologiques :

Poudre de nanomolybdène : La technologie de dépôt chimique en phase vapeur par plasma (P-CVD) a été développée pour préparer de la poudre de molybdène d'une taille de particule de < 50 nm afin d'améliorer l'activité de frittage.
Poudre de molybdène à faible teneur en oxygène : La teneur en oxygène est réduite à <0,001 % par de l'hydrogène ultra-pur (>99,9999 %) et une réduction de température à basse température (800-900 °C).
Atomisation efficace : L'atomisation assistée par ultrasons est utilisée pour améliorer l'uniformité

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de la poudre et réduire de 20 % l'écart-type de la distribution granulométrique.

3.2.2 Contrôle de la taille et de la pureté des particules de poudre

La taille des particules et la pureté de la poudre de molybdène affectent directement la densité et les performances de frittage de l'ébauche pressée. Les méthodes de contrôle comprennent :

Contrôle de la taille des particules :

Tamissage : Les poudres d'une granulométrie de 1 à 10 μm sont séparées à l'aide d'un agitateur (100 à 400 mesh) ou d'une machine de tamisage à ultrasons.

Classification du débit d'air : Au moyen d'un classificateur à cyclone ou à turbine, le D50 est contrôlé à 1-5 μm et l'écart-type de la distribution granulométrique est < 0,5 μm.

Broyage : Un broyeur planétaire (200 à 400 tr/min) ou un broyeur à jet (pression 0,5 à 1 MPa) est utilisé pour affiner la poudre, et le fluide de broyage à billes est en carbure cémenté pour éviter la contamination.

Conditions de réduction : réduction lente à basse température (900-950 °C, 4 à 6 heures) pour obtenir des particules fines, réduction rapide à haute température (1050-1100 °C, 1 à 2 heures) pour générer des particules plus grosses.

Contrôle de la pureté :

Sélection des matières premières : Le MoO_3 (≥99,99 %) de très haute pureté est utilisé pour réduire les impuretés telles que Fe (<50 ppm) et C (<30 ppm).

Environnement réducteur : point de rosée de l'hydrogène <-60°C, teneur en oxygène dans le four < 10 ppm pour éviter l'oxydation de la poudre.

Nettoyage de l'équipement : Décapage régulier (5 % HNO_3) du bateau de réduction et des tuyaux pour éliminer les impuretés résiduelles.

Emballage et stockage : La poudre de molybdène est emballée sous vide dans une atmosphère inerte (N_2 ou Ar) pour éviter l'absorption d'humidité et l'oxydation.

Méthode de détection :

Analyse granulométrique : analyseur de taille de particules laser (plage de mesure 0,01–100 μm), détection de D10, D50, D90.

Analyse de la pureté : La spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) a été utilisée pour détecter les impuretés avec une précision de l'ordre du ppb.

Teneur en oxygène : méthode de fusion au gaz inerte, la teneur en oxygène est de <0,005 %.

Facteurs d'influence :

Morphologie de la poudre : La fluidité de la poudre sphérique (méthode d'atomisation) est meilleure que celle de la poudre irrégulière (méthode de réduction), ce qui affecte l'uniformité de la compression.

Agglomération : Les poudres fines (<1 μm) ont tendance à s'agglomérer et un dispersant (p. ex., polyéthylène glycol, 0,1 à 0,5 % en poids) est ajouté.

Humidité ambiante : Une humidité élevée (>60 %) fait que la poudre absorbe l'humidité et augmente la teneur en oxygène.

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Progrès technologiques :

Surveillance en ligne : La technologie de diffusion laser est utilisée pour détecter la distribution granulométrique en temps réel, ajuster les paramètres de réduction et améliorer la cohérence.

Poudre ultrafine : Développement d'un alliage mécanique combiné à une méthode de réduction chimique pour préparer de la poudre de molybdène D50<50 nm pour les nanocomposites.

Amélioration de la pureté : Grâce à la réduction en plusieurs étapes et à la purification par plasma, la pureté de la poudre de molybdène atteint 99,999 %, ce qui répond aux besoins des cibles semi-conductrices.

3.2.3 Moulage par compression (pressage isostatique à froid, moulage)

Le moulage par compression compacte la poudre de molybdène en une ébauche en forme de tige, qui sert de base au frittage ultérieur. Les méthodes courantes comprennent le pressage isostatique à froid et le moulage :

Pressage isostatique à froid (CIP) :

Procédé : La poudre de molybdène est chargée dans un moule en caoutchouc ou en polyuréthane (épaisseur de paroi de 2 à 5 mm) et placée dans un liquide à haute pression (eau ou huile, pression de 100 à 400 MPa) et pressée uniformément pendant 1 à 5 minutes.

Équipement : Presse isostatique à froid à sac humide ou sac sec avec une pression maximale de 600 MPa et un diamètre de matrice de 50 à 500 mm.

Propriétés des billettes : 60 à 70 % de densité théorique, taille uniforme, adapté aux grands diamètres (>50 mm) ou aux longues tiges (>1 m).

Avantages : Répartition uniforme de la pression, réduction des fissures de laminage et des gradients de densité.

Inconvénients : coût de moule élevé, long cycle de pressage.

Moulé:

Procédé : La poudre de molybdène est chargée dans une matrice en acier (dureté HRC 60-65) et pressée dans un sens ou dans les deux sens par une presse hydraulique (pression 50-200 MPa) à une vitesse de pressage de 0,5 à 2 mm/s.

Équipement : Presse hydraulique à quatre colonnes (tonnage 100-1000 t) avec un lubrifiant (par exemple du stéarate de zinc) pour le moule.

Propriétés de la billette : 50 à 60 % de densité théorique, convient aux petits diamètres (<20 mm) ou aux barres profilées.

Inconvénients : Le pressage unidirectionnel permet de produire facilement des gradients de densité, et plusieurs presses à bascule sont nécessaires.

Détails du processus :

Liant : De l'alcool polyvinylique (PVA, 0,5 à 2 % en poids) ou de la cire de paraffine est ajouté pour augmenter la résistance de la billette, et le liant se volatilise (400 à 600 °C) avant d'être fritté.

Conception du moule : Les moules CIP doivent être très élastiques (allongement > 200 %), et les moules moulés doivent avoir une résistance élevée à l'usure (revêtement WC-Co).

Démoulage : Des dispositifs de démoulage pneumatiques ou hydrauliques sont utilisés pour éviter

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

que l'ébauche ne se déforme.

Facteurs d'influence :

Fluidité de la poudre : La poudre sphérique (densité apparente > 3 g/cm³) est mieux pressée que la poudre irrégulière.

Distribution de la pression : l'uniformité de la pression CIP est affectée par la forme du moule, et la conception du poinçon doit être optimisée pour le moulage.

Contrôle de l'environnement : L'humidité de l'atelier de pressage est < 50 % pour éviter que la poudre n'absorbe l'humidité.

Progrès technologiques :

Pressage thermostatique : le pressage à 100-200°C augmente la densité des billettes de 5 à 10 % et réduit le retrait par frittage.

Pressage automatique : Le système de chargement de poudre et de nettoyage des moules par robot est utilisé pour améliorer l'efficacité de la production de 20 %.

Moules de haute précision : la technologie d'impression 3D permet de fabriquer des moules complexes pour répondre aux besoins des tiges de molybdène de forme spéciale.

3.3 Procédé de frittage de la tige de molybdène

Le frittage est une étape clé dans le durcissement de l'ébauche de l'ébauche de barre de molybdène haute densité, qui favorise la liaison des particules à haute température, ce qui affecte considérablement les propriétés mécaniques et la microstructure de la barre.

3.3.1 Frittage sous vide

Le frittage sous vide est effectué dans un environnement à vide poussé pour réduire l'oxydation et la contamination par les impuretés.

Processus:

Température : 5–10°C/min à 1000°C, chaleur pendant 1–2 heures, liants volatils et gaz d'adsorption.

Frittage à haute température : 1800–2200°C, maintien pendant 2–4 heures, densité de billettes jusqu'à 90–95 % de densité théorique (9,2–9,7 g/cm³).

Refroidissement : 10 à 20 °C/min à température ambiante pour éviter la fissuration sous contrainte thermique.

Vide : 10^{-3}–10^{-5} Pa, en utilisant une combinaison de pompe mécanique et de pompe à diffusion pour éviter la volatilisation du MoO_3.

Équipement:

Four à induction sous vide : 50–200 kW, chambre de four en molybdène ou en graphite, résistant à la température > 2300°C.

Système de contrôle de la température : thermocouple (type W-Re) et thermomètre infrarouge, erreur ± 5°C.

Traitement des gaz d'échappement : Le condenseur récupère les MoO_3 volatils et réduit la pollution.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Mérite:

La teneur en oxygène est faible (<0,003 %), ce qui convient à la production de tiges de molybdène de haute pureté.

La croissance des grains est contrôlable et la microstructure est uniforme. Défaut:

Consommation d'énergie élevée (environ 2 à 3 kWh/kg).

L'équipement est coûteux à entretenir et la pompe à vide doit remplacer régulièrement les joints.

Facteurs d'influence :

Température de frittage : Une température trop élevée (>2200°C) entraîne une prolifération des grains (>50 μm) et une perte de résistance.

Temps de maintien : trop long augmente la consommation d'énergie, trop court affecte la densité.

Densité des billettes : La densité initiale < 50 % entraîne un retrait de frittage excessif et une fissuration facile.

3.3.2 Frittage de protection de l'hydrogène

Le frittage protecteur de l'hydrogène a lieu dans une atmosphère d'hydrogène de haute pureté, empêchant l'oxydation et favorisant la réduction du MoO_2. Déroulement du processus :

Température : 5-15°C/min à 800-1000°C pour éliminer le liant.

Frittage à haute température : 1800-2100°C, maintien pendant 2 à 5 heures, densité 90-94 % de densité théorique.

Refroidissement : 10 à 30 °C/min avec un débit d'hydrogène de 50 à 100 mL/min pour éviter la fragilisation par l'hydrogène.

Atmosphère : Point de rosée de l'hydrogène <-40°C, pureté >99,99 %, teneur en oxygène dans le four <5 ppm.

Équipement:

Four de frittage d'hydrogène : horizontal ou vertical, chambre de four en molybdène ou en acier inoxydable, équipée d'une chemise refroidie à l'eau.

Système de sécurité : Détecteur de fuite d'hydrogène et dispositif d'échappement d'urgence pour assurer un fonctionnement en toute sécurité.

Traitement des gaz d'échappement : Combustion de l'hydrogène résiduel dans les gaz d'échappement, émission conformément à la norme (concentration en H_2 <0,1 %).

Mérite:

La vitesse de frittage est rapide, l'efficacité de la production est élevée et il convient à la production à grande échelle.

La finition de surface est meilleure que le frittage sous vide, ce qui réduit la quantité de travail de polissage ultérieur. Défaut:

Les risques liés à la sécurité liés à l'hydrogène doivent être strictement gérés.

Les barres d'alliage telles que les TZM sont sensibles à l'hydrogène et peuvent introduire des traces de fragilisation par l'hydrogène.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Facteurs d'influence :

Débit d'hydrogène : trop élevé augmente le coût, trop faible affecte l'effet de réduction.

Etanchéité du four : L'oxydation causée par des fuites d'air et la bague d'étanchéité doivent être vérifiées régulièrement.

Taille des ébauches : Les grandes ébauches (> 100 mm) doivent être maintenues au chaud pendant une période prolongée.

3.3.3 Équipement de frittage à haute température et optimisation des paramètres

Type d'appareil :

Four à induction sous vide : convient aux barres de molybdène de haute pureté, volume du four 0,1–1 m^3, puissance 100–500 kW.

Four de protection contre l'hydrogène : adapté à la production à grande échelle, longueur du four de 2 à 5 m, contrôle de la température multizone.

Four à résistance : utilisé pour la production à petite et moyenne échelle, le coût est inférieur mais l'uniformité de la température est légèrement inférieure.

Exigences en matière d'équipement :

Matériaux résistants aux hautes températures : Le four est doublé d'une plaque de molybdène ou de feutre graphite, et la couche d'isolation thermique est en fibre d'alumine.

Précision du contrôle de la température : thermocouple et contrôleur PID, fluctuation de température ± 3 à 5 °C.

Surveillance de l'atmosphère : analyseur d'oxygène (plage de détection 0-100 ppm) et compteur du point de rosée (<-80°C).

Optimisation des paramètres :

Profil de température : Chauffage sectionnel (200°C/h à 1000°C, 50°C/h à 2000°C) pour réduire les contraintes thermiques.

Temps de maintien : 2 à 3 heures pour les billettes d'un diamètre de <50 mm et 4 à 6 heures > 100 mm.

Vitesse de refroidissement : un refroidissement rapide (>20 °C/min) peut entraîner des microfissures et doit être optimisé à 10-15 °C/min.

Contrôle de l'atmosphère : le degré de vide initial du frittage sous vide $<10^{-2}$ Pa, $< 10^{-4}$ Pa à haute température ; Débit de frittage d'hydrogène 100–300 mL/min.

Facteurs d'influence :

Uniformité de l'ébauche : une densité de pressage inégale entraîne des différences de retrait de frittage, ce qui affecte la précision dimensionnelle.

Contamination du four : Le MoO_3 résiduel ou le carbure contamine l'ébauche, et le four doit être nettoyé régulièrement.

Gestion de l'énergie : La consommation d'énergie du frittage à haute température représente 30 à 40 % du coût de production, et le temps de maintien et la conception du four doivent être optimisés.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Progrès technologiques:

Frittage par micro-ondes : le chauffage par micro-ondes (2,45 GHz, 10-50 kW) réduit le temps de frittage de 30 à 50 % et la taille des grains de 20 %.

Frittage par plasma à décharge (SPS) : Frittage rapide avec des courants pulsés (1000-5000 A) avec une densité de 98 %, adapté aux petits lots de barres de molybdène haute performance.

Contrôle intelligent de la température : des algorithmes d'IA sont utilisés pour optimiser le profil de température, réduire la consommation d'énergie de 5 à 10 % et améliorer la consistance des billettes.

3.4 Technologie de traitement thermique des tiges de molybdène

Le travail à chaud, qui transforme l'ébauche frittée en la forme finale de la barre de molybdène, comprend le forgeage, le laminage et l'étirage, affectant considérablement les propriétés mécaniques et la qualité de surface de la barre.

3.4.1 Processus de forgeage

Le forgeage affine le grain grâce à une déformation plastique à haute température pour améliorer la résistance de la tige de molybdène.

Processus:

Chauffage : 1200–1600°C dans un four à résistance ou à induction pendant 30–60 minutes dans une atmosphère d'hydrogène ou de vide ($<10^{-2}$ Pa).

Forgeage : 20 à 30 % de déformation en un seul coup et 60 à 80 % au total dans un seul marteau (force d'impact 50 à 2000 kN) ou une forgeuse hydraulique (pression 500 à 2000 t) à l'aide d'un marteau pneumatique (force d'impact 50 à 200 kN).

Recuit intermédiaire : 1000–1200°C, maintenir pendant 1–2 heures, éliminer l'écrouissage.

Refroidissement : Refroidissement par air ou sous atmosphère inerte à une vitesse de 10 à 20 °C/min.

Équipement:

Forgeuse : marteau pneumatique pour les petits lots, presse hydraulique pour les barres de grand diamètre (>50 mm).

Fours : à chambre ou continus, équipés de systèmes de protection à l'hydrogène ou de vide.

Détails du processus :

Taux de déformation : 0,1–1 s^{-1}, trop rapide provoquera des fissures, trop lent affectera l'efficacité.

Matériau du moule : superalliage (par exemple Inconel 718) ou alliage de molybdène avec lubrifiant MoS_2 en surface.

Contrôle du grain : Après le forgeage, la taille des grains est de 10 à 30 μm et la résistance à la traction est augmentée à 800 à 1000 MPa.

Facteurs d'influence :

Température de chauffage : trop élevée (> 1700°C) provoquera la croissance des grains, trop basse (<1100°C) augmentera la résistance à la déformation.

Qualité de la billette : Les fissures sont causées par la porosité ou des inclusions dans la billette frittée.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Conditions de lubrification : Une usure insuffisante entraîne l'usure du moule et des défauts de surface.

Progrès technologiques :

Forgeage isotherme : le forgeage à une température constante de 1400–1500°C augmente l'uniformité de la déformation de 15 %.

Simulation numérique : Un logiciel d'éléments finis (par exemple DEFORM) est utilisé pour optimiser les paramètres de forgeage et réduire le coût des essais et erreurs.

Forgeage automatisé : Le manipulateur actionne l'ébauche pour améliorer l'efficacité et la sécurité de la production.

3.4.2 Processus de laminage

Le laminage produit des tiges de molybdène de diamètre moyen par déformation continue avec une finition de surface élevée et une précision dimensionnelle.

Processus:

Chauffage : 1000–1400°C, incubé pendant 20–40 minutes, hydrogène ou vide.

Laminage : 5 à 15 % de déformation simple et 50 à 70 % de déformation totale à l'aide d'un laminoir à chaud de deux ou quatre hauteurs.

Recuit : 800–1000°C, incubé pendant 1–2 heures pour soulager les contraintes internes.

Refroidissement : Refroidissement lent (5–10°C/min) dans une atmosphère inerte.

Équipement:

Broyeurs : Les broyeurs à quatre hauteurs (200 à 500 mm de diamètre) sont plus précis que les broyeurs à deux hauteurs et conviennent aux barres d'un diamètre de 5 à 20 mm.

Rouleaux : carbure de tungstène (WC-Co) ou acier haute température, poli en surface (Ra<0,4 μm).

Détails du processus :

Vitesse de roulement : 0,5 à 2 m/s, trop rapide peut entraîner des fissures de surface.

Lubrification : émulsion de graphite ou huile de lubrification à haute température pour réduire le coefficient de frottement à 0,1–0,2.

Contrôle dimensionnel : pied à coulisse laser en ligne d'une précision de ± 0,01 mm.

Facteurs d'influence :

Gradient de température : La différence de température entre la surface de l'ébauche et le noyau > 100°C, ce qui entraîne des fissures.

Usure des rouleaux : Il doit être réparé régulièrement pour prolonger la durée de vie.

Déformation : La quantité de dépression unique > 20 % augmente le risque de microfissures.

Progrès technologiques :

Laminoir de précision : laminoir servocommandé avec un écart dimensionnel de <0,005 mm, adapté aux cibles à semi-conducteurs.

Recuit en ligne : Recuit par induction immédiatement après le laminage, réduisant le temps de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

traitement de 30 %.
Lubrification verte : Développer des lubrifiants à base d'eau pour réduire la pollution de l'environnement.

3.4.3 Processus de dessin

L'emboutissage produit des tiges de molybdène de petit diamètre (<5 mm) avec une grande précision et une surface lisse.

Processus:

Prétraitement : Décapage à barres laminées (10 % HNO_3) pour éliminer la couche d'oxyde et appliquer un lubrifiant graphite.
Emboutissage : 800–1200°C avec moule en carbure (diamètre du trou 0,5–5 mm), vitesse d'étirage 0,1–1 m/s, déformation simple 10–20 %.
Recuit intermédiaire : 800–1000°C, maintenir pendant 30–60 minutes, restaurer la plasticité.
Dessin en plusieurs passes : 5 à 10 tractions pour obtenir la taille cible (±0,01 mm).

Équipement:

Extracteur : Extracteur à chaîne ou hydraulique avec une force de traction de 10 à 50 kN.
Moule : WC-Co ou diamanté, précision du trou ± 0,001 mm.

Détails du processus :

Lubrifiant : émulsion de graphite ou MoS_2 avec une épaisseur de revêtement de 0,1 à 0,5 mm.
Contrôle de la température : chauffage par induction ou chauffage par résistance, erreur ± 10°C.
Qualité de surface : Ra <0,2 μm après emboutissage, adapté aux matériaux d'électrode.

Facteurs d'influence :

Usure du moule : Remplacement de la matrice tous les 1000 m de dessin.
Défauts de l'ébauche : Les fissures ou inclusions de surface provoquent des fractures.
Vitesse d'étirage : Augmenter trop rapidement la concentration de contrainte.

Progrès technologiques :

Dessin ultrafin : Développement de moules revêtus de nano-diamant pour la production de tiges de molybdène d'un diamètre de <,1 mm.
Dessin continu : machine d'étirage continu multimode, l'efficacité est augmentée de 50 %.
Surveillance intelligente : capteur de diamètre et de tension en ligne, réglage des paramètres en temps réel.

3.5 Technologie de traitement de surface des tiges de molybdène

Les traitements de surface améliorent la résistance à la corrosion, la finition et les performances à haute température des tiges de molybdène, y compris le polissage mécanique, le nettoyage chimique et les revêtements anti-oxydation.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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 ≥ 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 g/cm³
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	≥ 590 MPa
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	≥ 490 MPa
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	Φ1 mm – Φ200 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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3.5.1 Polissage mécanique

Le polissage mécanique élimine les défauts de surface par meulage et polissage pour obtenir une finition élevée.

Processus:

Meulage grossier : Des meules en carbure de silicium (60 à 120 mesh) à 1000 à 2000 tr/min sont utilisées pour éliminer les couches d'oxyde et les rayures grossières.

Meulage fin : bande abrasive diamantée (granulométrie 400–800 mesh), Ra 0,8–1,6 μm.

Polissage : Roue en feutre et pâte à polir en alumine (granulométrie 0,5-1 μm), vitesse de rotation 1500-3000 tr/min, Ra < 0,2 μm.

Nettoyage : Nettoyage par ultrasons (fréquence 40 kHz, eau déminéralisée) pour éliminer les résidus de polissage.

Équipement:

Polisseuse : Polisseuse plate ou cylindrique CNC, équipée d'un système d'alimentation automatique.

Détecteur : rugomètre de surface (précision 0,01 μm), vérifier la valeur Ra.

Détails du processus :

Sélection de l'abrasif : Le diamant convient aux tiges de molybdène de haute dureté et le coût de l'alumine est faible.

Liquide de refroidissement : Liquide de refroidissement à base d'eau (pH 7-8) pour éviter la surchauffe.

Temps de polissage : Le polissage des tiges de 10 mm de diamètre dure environ 5 à 10 minutes/m.

Facteurs d'influence :

Granulométrie abrasive : trop grossière entraîne des rayures, trop fine et faible efficacité.

Contrôle de la pression : Les microfissures sont générées par une pression trop élevée (>0,5 MPa).

Dureté de la barre : L'alliage TZM est plus difficile à polir que le molybdène pur.

Progrès technologiques :

Polissage électrolytique : Combiné au polissage mécanique, Ra < 0,1 μm et l'efficacité est augmentée de 20 %.

Polissage laser : polissage sans contact, adapté aux barres de forme complexe.

Polissage automatique : Système de polissage robotisé, réduisant les coûts de main-d'œuvre de 30 %.

3.5.2 Nettoyage chimique

Le nettoyage chimique élimine les oxydes de surface, les huiles et les impuretés pour améliorer la résistance à la corrosion et la conductivité.

Processus:

Décapage : Mélange d'acide nitrique-acide sulfurique (HNO_3 :H_2SO_4=1:3, concentration 10–20 %), trempé pendant 5–15 minutes, température 20–40°C, pour enlever la couche d'oxyde.

Lavage caustique : solution de NaOH à 5 à 10 %, 50 à 70 °C, trempée pendant 3 à 10 minutes pour

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

éliminer les contaminants organiques.
Nettoyage par ultrasons : eau désionisée plus détergent neutre (0,1 à 0,5 %) à 28 à 40 kHz sur une période de 5 à 10 minutes pour éliminer les particules.
Séchage : Séchage à l'air chaud (80–100°C) ou séchage sous vide pour éviter l'oxydation secondaire.

Équipement:
Bain de décapage : PP ou PTFE avec système de chauffage et d'agitation.
Nettoyeur à ultrasons : puissance 500-2000 W, volume du réservoir 10-100 L.

Détails du processus :
Traitement des déchets: Neutralisation ($Ca(OH)_2$, pH 6,5–7,5) des déchets de décapage, précipitation des métaux lourds et rejet.
Séquence de nettoyage : décapage-lavage-lavage alcalin-nettoyage par ultrasons pour s'assurer qu'il n'y a pas de résidus sur la surface.
Mesures de protection : Emballage à l'azote immédiatement après le lavage pour éviter l'absorption d'humidité.

Facteurs d'influence :
Concentration d'acide : trop élevée pour corroder la matrice, trop faible pour nettoyer en profondeur.
Contrôle de la température : trop élevée augmentera la volatilisation des gaz d'échappement, trop basse réduira l'efficacité.
État de surface : Les tiges noires prennent plus de temps à nettoyer que les tiges de polissage.

Progrès technologiques :
Nettoyage écologique : Développement de nettoyants à base de citrate, pH 4-6, pour réduire la pollution de l'environnement.
Nettoyage au plasma : le plasma à basse température (puissance de 100 à 500 W) élimine les matières organiques, ce qui convient aux tiges de molybdène de haute pureté.
Nettoyage automatique : ligne de nettoyage continu multi-réservoirs, l'efficacité est augmentée de 40 %.

3.5.3 Revêtements de surface (revêtements anti-oxydation, etc.)
Les revêtements anti-oxydation (par exemple, $MoSi_2$, Al_2O_3) améliorent la durée de vie des tiges de molybdène dans les environnements oxydants à haute température.

Méthode de traitement :
Dépôt chimique en phase vapeur (CVD) :
Procédé : À 800-1200°C, $SiCl_4$ et CH_4 réagissent pour former un revêtement $MoSi_2$ d'une épaisseur de 10-50 μm.
Équipement : four CVD avec vide 10^{-1}–10^{-2} Pa et débit de gaz 50–200 mL/min.
Avantages : revêtement dense et forte adhérence (>50 MPa).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Pulvérisation plasma :

Procédé : L'arc plasma (puissance 20–50 kW) est pulvérisé avec de la poudre Al_2O_3 ou ZrO_2 d'une épaisseur de 50–200 μm.

Équipement : système de pulvérisation plasma atmosphérique ou basse pression avec une vitesse de déplacement du pistolet de 0,1 à 0,5 m/s.

Avantages : Convient aux barres de grande taille, processus simple.

Méthode sol-gel :

Procédé : Revêtement sol avec SiO_2 ou Al_2O_3 et traitement thermique à 500-800°C pour former un revêtement de 5-20 μm.

Avantages : faible coût, adapté aux formes complexes.

Détails du processus :

Prétraitement : décapage des barres et sablage (particules SiC, 0,1 à 0,5 mm) pour améliorer l'adhérence du revêtement.

Performance du revêtement : Température d'oxydation du revêtement $MoSi_2$ jusqu'à 1700°C, revêtement Al_2O_3 excellente résistance à l'usure.

Inspection : analyse MEB de la microstructure du revêtement, méthode de rayure pour tester l'adhérence.

Facteurs d'influence :

Épaisseur du revêtement : trop épais (>100 μm) est facile à décoller, et trop mince a un faible effet antioxydant.

Température du substrat : La surchauffe du substrat (>1300°C) pendant la CVD entraîne la croissance des grains.

Contrôle de l'atmosphère : L'infiltration d'oxygène réduit la qualité du revêtement.

Progrès technologiques :

Revêtement composite : revêtement double couche $MoSi_2/Al_2O_3$, augmentation de 50 % de la durée de vie à l'oxydation.

Nano-revêtement : Revêtement nano-SiC par dépôt PVD (1 à 5 μm d'épaisseur) avec une résistance à l'abrasion et à l'oxydation.

Revêtement auto-cicatrisant : revêtement $MoSi_2$ dopé avec des éléments de terres rares (par exemple, CeO_2) pour les fissures auto-cicatrisantes à haute température.

3.6 Contrôle de la qualité et optimisation du processus des tiges de molybdène

Le contrôle de la qualité garantit des performances constantes et fiables des barres de molybdène, ce qui implique le contrôle des défauts et l'optimisation des paramètres du processus.

3.6.1 Contrôle des défauts dans le processus de production

Les défauts courants comprennent les fissures, la porosité, les inclusions et l'oxydation de surface, et sont contrôlés par :

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Qualité de la matière première :

Le MoO_3 de haute pureté (≥99,9 %) a été utilisé, et l'ICP-MS a été utilisé pour détecter des impuretés telles que Fe et C (<50 ppm).

La teneur en oxygène de la poudre de molybdène < de 0,005 %, et l'oxydation est évitée par le stockage de gaz inerte.

Défauts de frittage :

Température de frittage optimisée (1800–2000°C) et porosité réduite (porosité <2 %).

Un four multizone avec une différence de température de < 10°C assure un retrait uniforme de l'ébauche.

Défauts de traitement :

La déformation par forgeage et laminage < 30 % pour éviter les micro-fissures.

Contrôles non destructifs (CND) :

Contrôle par ultrasons : > des fissures internes de 0,1 mm à une fréquence de 5 à 10 MHz.

Inspection par rayons X : Vérifier la présence d'inclusions (>0,05 mm) à 100-200 kV.

Défauts de surface :

Le polissage élimine les couches d'oxyde (0,01 à 0,05 mm d'épaisseur) et les rayures.

Le rugomètre de surface détecte Ra < 1,6 μm conformément à la norme ASTM B387.

Technologie de détection :

Analyse microscopique : analyse MEB et EBSD de la taille des grains (10-50 μm) et de la distribution des défauts.

Analyse chimique : GD-MS détecte les impuretés avec une précision ppb.

Essai mécanique : machine d'essai de traction (charge 50-200 kN) pour tester la résistance à la traction (>600 MPa).

Facteurs d'influence :

Stabilité du processus : Les fluctuations de température et de pression entraînent une augmentation des taux de défauts.

Vieillissement de l'équipement : La contamination de la chambre du four ou l'usure du moule augmentent les inclusions.

Spécification de fonctionnement : les erreurs de fonctionnement manuel doivent être réduites grâce à la formation.

Progrès technologiques :

CND en ligne : Imagerie par ultrasons en temps réel, augmentation de 20 % du taux de détection des défauts.

Reconnaissance des défauts par l'IA : la vision industrielle analyse les défauts de surface avec un taux de précision de >95 %.

Maintenance préventive : réduisez les temps d'arrêt jusqu'à 30 % en prédisant les pannes

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

d'équipement à l'aide de capteurs.

3.6.2 Surveillance et optimisation des paramètres du procédé

La surveillance et l'optimisation en temps réel des paramètres du processus améliorent l'efficacité de la production et la qualité des produits. Les méthodes comprennent :

Technologie de surveillance :

Température : Thermocouple (type K ou W-Re) et thermomètre infrarouge avec une précision de ± 3°C.

Atmosphère : analyseur d'oxygène (0-100 ppm) et point de rosée (<-80°C).

Pression : Piézomètre (10^{-5}–10^{5} Pa) et débitmètre (0–500 mL/min).

Dimensions : pied à coulisse laser (précision ± 0,001 mm) et système de pesage en ligne.

Acquisition des données :

L'Internet industriel des objets (IIoT) collecte des données telles que la température, la pression et le débit d'air à une fréquence d'échantillonnage de 1 Hz.

Le système SCADA affiche l'état du processus en temps réel et le temps de réponse en cas d'alarmes anormales < 1 s.

Optimisation des paramètres :

Analyse de régression : Etablir un modèle mathématique de température, de pression et de densité de billettes, et optimiser la température de frittage ± 10°C.

Apprentissage automatique : les réseaux neuronaux prédisent les taux de défauts, ajustent les pressions de pression et les vitesses de roulement, et réduisent les taux de défauts de 5 à 10 %.

Simulation : la CFD simule la distribution du flux de gaz dans le four afin d'optimiser le débit d'hydrogène et d'économiser 10 à 15 % du gaz.

Facteurs d'influence :

Précision du capteur : l'écart de température > 10 °C affecte la stabilité du processus.

Qualité des données : Les interférences sonores réduisent la précision du modèle et nécessitent un filtrage.

Compatibilité des appareils : les appareils plus anciens sont difficiles à intégrer dans les systèmes IIoT.

Progrès technologiques :

Jumeau numérique : établissez un modèle numérique de l'ensemble du processus de production de barres de molybdène, prédisez les performances en temps réel et optimisez l'efficacité de 10 à 15 %.

5G+IIoT : Transmission de données à large bande passante, latence de surveillance < 10 ms, adaptée à la collaboration entre plusieurs usines.

Fabrication écologique : optimisez les paramètres du processus pour réduire la consommation d'énergie et les émissions, et réduire l'empreinte carbone de 20 %.

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD tiges de molybdène

Chapitre 4 Types et spécifications des tiges de molybdène

En tant que produit métallique réfractaire haute performance, la tige de molybdène peut répondre aux besoins spécifiques de nombreux domaines tels que l'aérospatiale, l'électronique et l'industrie du verre en raison de sa diversité de types et de spécifications. Ce chapitre classe en détail les tiges de molybdène sous quatre aspects : composition, état de surface, taille et forme, et conception personnalisée, et discute de ses caractéristiques, du processus de préparation, des scénarios d'application et des normes associées.

4.1 Classification par composition

Les tiges de molybdène peuvent être divisées en deux catégories : les tiges de molybdène de haute pureté et les tiges de molybdène dopées en fonction de leur composition chimique. Les tiges de molybdène de haute pureté occupent une position importante dans l'industrie électronique en raison de leur excellente conductivité électrique et thermique, tandis que les tiges de molybdène dopé améliorent considérablement les performances à haute température en ajoutant des éléments d'alliage, ce qui les rend adaptées aux environnements plus exigeants.

4.1.1 Tiges de molybdène de haute pureté (pureté ≥99,95 %)

La tige de molybdène de haute pureté fait référence à la barre avec une teneur en molybdène de 99,95 % ou plus, qui est généralement produite par un processus de métallurgie des poudres, et la teneur en éléments d'impuretés (tels que Fe, C, O, N) est strictement contrôlée au niveau du ppm. Les limites d'impuretés typiques sont les suivantes : fer (Fe) ≤ 0,01 %, carbone (C) ≤ 0,005 %, oxygène (O) ≤ 0,003 %, azote (N) ≤ 0,002 %. L'obtention d'une haute pureté repose sur une matière première à base d'oxyde de molybdène de haute pureté (MoO_3, ≥99,99 %) et sur des processus de réduction sous vide/hydrogène pour garantir d'excellentes propriétés physiques et chimiques des

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

barres.

Caractéristique:

Propriétés physiques : La densité de la tige de molybdène de haute pureté est proche de la valeur théorique (10,28 g/cm³), le point de fusion est de 2623 °C, la conductivité thermique est de 138 W/m·K (20 °C) et le coefficient de dilatation thermique est de $4,8\times10^{-6}$/°C (20-1000 °C).

Propriétés électriques : résistivité $5,2\times10^{-8}$ Ω·m (20°C), conductivité élevée, adaptée aux électrodes et aux pièces conductrices.

Propriétés mécaniques : la résistance à la traction à température ambiante est d'environ 600 à 800 MPa, l'allongement est de 10 à 20 % et la ductilité est considérablement améliorée à haute température (>1000°C).

Stabilité chimique : Il résiste à la corrosion acide et alcaline à température ambiante, mais il est facile de générer des MoO_3 volatils dans une atmosphère oxydante à haute température (>600 °C), qui doit être protégée par le vide ou une atmosphère inerte.

Processus de préparation :

Matières premières : La poudre de molybdène (pureté ≥99,95 %, taille des particules de 1 à 5 μm) a été préparée par réduction de l'hydrogène en plusieurs étapes à l'aide d'un MoO_3 de très haute pureté.

Formage et frittage : pressage isostatique à froid (100–400 MPa), formage sous vide, frittage sous vide (1800–2200°C) pour obtenir des ébauches à haute densité (densité > 90 % valeur théorique).

Traitement : Forgeage à chaud (1200-1600 °C) ou laminage (1000-1400 °C) en barres, la surface peut être polie à Ra < 0,2 μm.

Contrôle de la qualité : Les impuretés sont détectées par ICP-MS, les défauts internes sont détectés par ultrasons et la rugosité de surface assure la finition.

Appliquer:

Electronique et semi-conducteurs : Comme cibles de pulvérisation, des films minces pour les circuits intégrés, les cellules solaires et les écrans plats. La haute pureté garantit la qualité du film et la finition de surface réduit les taux de défauts.

Tubes à vide et sources d'ions : utilisés comme matériaux d'électrode, ils sont supérieurs aux autres métaux en raison de leur conductivité élevée et de leur faible travail électronique (environ 4,6 eV).

Équipement expérimental à haute température : utilisé comme tige de support ou électrode dans un four à haute température en laboratoire, avec une résistance à haute température et une stabilité chimique pour répondre aux besoins de la recherche scientifique.

Standard:

International : ASTM B387-18, spécifiant la composition chimique, les propriétés mécaniques et les tolérances dimensionnelles des tiges de molybdène de haute pureté.

Domestique : GB/T 3462-2017, pureté ≥ 99,95 %, teneur en impuretés conforme aux normes de l'industrie électronique.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Défis techniques :
Le contrôle de la teneur en oxygène nécessite de l'hydrogène ultra-haute pureté (point de rosée <-60°C) et un environnement de vide (<10^{-4} Pa).
La résistance au fluage de la tige de molybdène de haute pureté est faible à haute température, ce qui limite son application sous une charge à haute température à long terme.

4.1.2 Tiges de molybdène dopé (TZM, Mo-La, Mo-W, etc.)

Les tiges de molybdène dopé forment des alliages à base de molybdène en ajoutant des oligo-éléments ou des alliages, ce qui améliore considérablement la résistance aux hautes températures, la résistance au fluage et la résistance à l'oxydation. Les types courants comprennent le TZM (titane-zirconium-molybdène), le Mo-La (molybdène-lanthane), le Mo-W (molybdène-tungstène), etc.

Tiges en molybdène TZM :
Composition : 0,4 à 0,55 % Ti, 0,06 à 0,12 % Zr, 0,01 à 0,04 % C, avec un équilibre de Mo.

Caractéristique:
Grâce au renforcement de la solution et à la résistance à la précipitation du carbure (TiC, ZrC), la résistance à la traction atteint 1100 MPa (20 °C) et la résistance à la traction à haute température (1500 °C) est d'environ 400 MPa, ce qui est bien mieux que le molybdène pur.
Le taux de fluage est faible, par exemple environ 10^{-6}/h à 1200°C à 50 MPa.
La conductivité thermique est légèrement inférieure à celle du molybdène pur (environ 120 W/m·K), et le coefficient de dilatation thermique est similaire (5,0×10^{-6}/°C).
La résistance à l'oxydation est légèrement supérieure à celle du molybdène pur, mais il doit tout de même être utilisé à <600°C ou sous atmosphère protectrice.

Préparation:
Poudre de molybdène mélangée à de la poudre de Ti, Zr, C (broyeur planétaire, 200–400 tr/min), formage isostatique par pression à froid, frittage protégé par l'hydrogène (1800–2100 °C).
Le travail à chaud (forgeage 1400–1700°C, laminage 1200–1500°C) est plus difficile en raison de l'augmentation de la dureté (HV 270–300).

Appliquer:
Aérospatiale : Pièces structurelles à haute température (par exemple, tuyères de moteurs à réaction) en raison de leur résistance élevée et de leur faible densité (10,16 g/cm^3).
Four haute température : élément chauffant et tige de support, résistant à 1800°C pour une utilisation à long terme.
Fabrication de moules : moule d'extrusion à chaud, résistant à l'usure à haute température.

Tiges de molybdène Mo-La :
Composition : 0,3 à 1,0 % de La_2O_3 (oxyde de lanthane) avec une quantité résiduelle de Mo.

Caractéristique:
La dispersion La_2O_3 renforce l'affinement des grains (10 à 20 μm) et augmente la résistance de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

l'enveloppe des grains avec un allongement de 25 % (20 °C).
La résistance à l'oxydation à haute température est meilleure que celle du molybdène pur, et le taux d'oxydation est d'environ 0,05 mg/cm²·h à 800°C.
Excellente résistance au fluage, taux de fluage inférieur à 10^{-6}/h à 1500°C.
La conductivité thermique est d'environ 130 W/m·K, ce qui convient aux pièces conductrices thermiques à haute température.

Préparation:
La poudre de molybdène a été dopée avec de la poudre liquide La_2O_3 (pH 7-8) et séchée par pulvérisation pour préparer une poudre composite.
Frittage sous vide (1900–2200°C), travail à chaud (forgeage 1300–1600°C).
Le polissage de surface ou les revêtements (par exemple $MoSi_2$) améliorent encore les performances.

Appliquer:
Four à haute température : Éléments chauffants et écrans chauds utilisés à des températures élevées à long terme (>1500°C).
Industrie du verre : électrodes fondues, résistantes à la corrosion à haute température.
Recherche scientifique : dispositif expérimental à haute température, prenant en compte la ténacité et la résistance.

Tiges de molybdène Mo-W :
Composition : 5 à 30 % W (tungstène) avec un équilibre de Mo.

Caractéristique:
L'ajout de tungstène augmente le point de fusion (proche de 3422 °C) et la résistance, et la résistance à la traction peut atteindre 1200 MPa (20 °C).
La conductivité thermique diminue (environ 100–120 W/m·K) et la résistivité augmente (6–8×10^{-8} Ω·). m）。
Meilleure résistance à la corrosion que le molybdène pur, adapté aux environnements acides ou à sels fondus.

Préparation:
La poudre de molybdène est alliée mécaniquement à de la poudre de tungstène, pressée et formée, puis frittée sous vide (2000-2300°C).
Forgeage à haute température (1500-1800°C) ou tréfilage (1000-1400°C).

Appliquer:
Industrie nucléaire : composants de réacteurs à haute température en raison de leur point de fusion élevé et de leur résistance aux radiations.
Électrodes spéciales : Électrodes résistantes à la corrosion pour les environnements chimiques difficiles.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Comparer:

TZM : Meilleure résistance à haute température et résistance au fluage, adaptée à l'aérospatiale.

Mo-La : Excellente résistance à l'oxydation et ductilité, adapté aux fours à haute température et à l'industrie du verre.

Mo-W : Point de fusion et résistance à la corrosion exceptionnels, adapté à l'industrie nucléaire et aux environnements spéciaux.

Standard:

ASTM B387-18 : Spécifie la composition, les propriétés mécaniques et les tolérances de TZM et de Mo-La.

GB/T 4188-2015 : Norme de barre TZM, les limites d'impuretés et d'éléments dopants sont claires.

Défis techniques :

L'uniformité de la distribution des éléments dopés doit être contrôlée avec précision pour éviter la ségrégation.

Les barres d'alliage sont difficiles à traiter, nécessitant des équipements à haute température et des processus optimisés.

4.2 Classification par état de surface

L'état de surface de la tige de molybdène a un impact important sur ses performances et son application, et peut être divisé en tige de molybdène noire, tige de molybdène polie et tige de molybdène nettoyée selon la technologie de traitement et les exigences d'utilisation.

4.2.1 Tiges de molybdène noir

La tige de molybdène noir fait référence à une barre qui n'a pas été polie ou traitée chimiquement, et la surface conserve la couche d'oxyde après le travail à chaud (forgeage, laminage), qui est noire ou gris foncé. La rugosité de surface est typiquement Ra 3,2–6,4 μm.

Caractéristique:

Surface : Épaisseur de couche d'oxyde de molybdène (MoO_2/MoO_3) de 0,01 à 0,05 mm, réduisant légèrement la résistance à la corrosion, mais sans effet significatif dans les environnements non oxydants (par exemple, le vide).

Performance : Les propriétés mécaniques sont les mêmes que celles des tiges polies, mais les défauts de surface tels que les microfissures peuvent affecter la résistance à la fatigue.

Coût : Faibles coûts de production car aucun traitement de surface supplémentaire n'est nécessaire.

Préparation:

La billette frittée est formée par forgeage à chaud (1200-1600°C) ou laminage (1000-1400°C) et directement refroidie pour former des tiges noires.

La couche d'oxyde de surface est formée en réagissant avec des traces d'oxygène lors d'un traitement à haute température, et l'épaisseur peut être réduite en contrôlant l'atmosphère (hydrogène ou vide).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Appliquer:

Four à haute température : En tant que tige de support ou élément chauffant, la couche d'oxyde de surface n'affecte pas les performances sous vide ou sous atmosphère inerte.

Ébauche : en tant que produit semi-fini pour le polissage ou l'usinage ultérieur.

Domaines sensibles aux coûts : tels que le frittage de céramique, les tiges de molybdène noir sont préférées pour réduire les coûts.

Standard:

ASTM B387-18 : La surface de la tige en molybdène noir permet une légère oxydation avec une rugosité Ra ≤ 6,4 μm.

GB/T 3462-2017 : Pas de défauts graves tels que des fissures et l'inclusion de scories sur la surface.

Défis techniques :

La couche d'oxyde de surface peut libérer du gaz MoO_3 dans certaines applications et polluer l'environnement.

Les surfaces rugueuses réduisent la résistance à la corrosion et l'environnement d'utilisation doit être évalué.

4.2.2 Polissage des tiges de molybdène

Les tiges de molybdène polies sont polies mécaniquement ou électrolytiquement et ont une finition de surface élevée, généralement Ra 0,1 à 0,8 μm, avec un éclat métallique blanc argenté.

Caractéristique:

Surface : pas de couche d'oxyde, très peu de défauts microscopiques (rayures, fissures), la résistance à la corrosion est meilleure que la tige de molybdène noir.

Performance : Conductivité électrique et thermique légèrement améliorée (grâce à la réduction des défauts de surface) pour les applications de haute précision.

Esthétique : Les surfaces lisses améliorent l'apparence pour répondre aux besoins des industries de l'électronique et de l'optique.

Préparation:

Polissage mécanique : meulage grossier avec une meule en carbure de silicium (60–800 mesh) et polissage fin avec de la pâte à polir diamantée (0,5–1 μm) à 1000–3000 tr/min.

Électropolissage : Polissage dans un électrolyte d'acide phosphorique-acide sulfurique (pH 2–3) avec une densité de courant de 0,5–2 A/cm², polissage pendant 5–10 minutes, Ra < 0,1 μm.

Nettoyage : Nettoyage par ultrasons (40 kHz, eau déminéralisée) pour éliminer les résidus de polissage, séchage à l'azote pour éviter l'oxydation.

Appliquer:

Semi-conducteurs : Cibles de pulvérisation et électrodes qui nécessitent une finition élevée et un faible taux de défauts.

Équipement optique : Tiges de support ou pièces réfléchissantes avec des surfaces lisses qui réduisent la diffusion de la lumière.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Médical : Les mires à tube à rayons X d'une pureté et d'une finition élevées garantissent la qualité de l'image.

Standard:

ASTM B387-18 : Rugosité de la tige en molybdène poli Ra≤0,8 μm sans rayures visibles.
GB/T 3462-2017 : L'état de surface répond aux exigences de l'industrie électronique.

Défis techniques :

Le processus de polissage peut introduire des traces de contamination abrasive et nécessite un nettoyage strict.
Une finition élevée augmente les coûts de production et nécessite un compromis entre les besoins de l'application.

4.2.3 Nettoyage des tiges de molybdène

Les tiges de molybdène sont des tiges qui sont nettoyées chimiquement pour éliminer les oxydes, les huiles et les impuretés de surface, avec un état de surface entre les tiges noires et les tiges polies, et une rugosité généralement de Ra 1,6 à 3,2 μm.

Caractéristique:

Surface : pas de couche d'oxyde et de polluants organiques, blanc cassé, la résistance à la corrosion est meilleure que la tige de molybdène noir.
Performance : Proche des tiges de polissage, mais avec des défauts de surface plus microscopiques, adapté aux applications de précision moyenne.
Coût : inférieur aux tiges polies, supérieur aux tiges de molybdène noir.

Préparation:

Décapage : Mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique (HNO_3 :H_2SO_4=1:3, 10–20 %), trempé pendant 5–15 minutes, 20–40°C, pour enlever la couche d'oxyde.
Lavage caustique : solution de NaOH à 5 à 10 %, 50 à 70 °C, trempage pendant 3 à 10 minutes pour éliminer l'huile.
Nettoyage par ultrasons : eau déminéralisée plus détergent neutre (0,1 à 0,5 %), 40 kHz, 5 à 10 minutes.
Séchage : Séchage sous vide ou à l'air chaud (80–100°C), l'emballage à l'azote empêche l'oxydation secondaire.

Appliquer:

Industrie du verre : fusion d'électrodes, nettoyage des surfaces pour réduire la pollution par les impuretés.
Four haute température : tige de support, résistance à la corrosion pour répondre aux exigences de l'atmosphère inerte.
Prétraitement : en tant que produit intermédiaire pour les tiges de polissage, traitement ultérieur.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Standard:

ASTM B387-18 : Nettoyage de la surface de la tige de molybdène sans oxydes, rugosité Ra≤3,2 μm.
GB/T 3462-2017 : Pas de produits chimiques résiduels en surface.

Défis techniques :

Les déchets liquides de décapage doivent être neutralisés (pH 6,5-7,5) pour répondre aux exigences environnementales.
Un nettoyage incomplet peut laisser des traces de contaminants et affecter les performances.

4.3 Classification par taille et forme

Les tiges en molybdène sont disponibles dans des tailles et des formes adaptées à l'application, notamment rondes, carrées, profilées et micro à grandes tiges.

4.3.1 Tiges rondes en molybdène

Les tiges rondes de molybdène sont la forme la plus courante de tiges de molybdène, dont le diamètre varie de 0,5 mm à 100 mm et généralement d'une longueur de 100 mm à 3000 mm.

Caractéristique:

Précision dimensionnelle : tolérance de diamètre ± 0,01 à 0,1 mm, tolérance de longueur ±1 à 5 mm pour les applications de haute précision.
Propriétés mécaniques : orientation constante du grain dans la direction axiale, résistance à la traction uniforme.
Aptitude au traitement : Facile à tourner, à percer et à souder, adapté à la fabrication de composants complexes.

Préparation:

Petit diamètre (<5 mm) : Procédé d'étirage (800–1200°C) avec une précision de moule de ± 0,001 mm.
Diamètre moyen (5–20 mm) : laminé à chaud (1000–1400°C), mesure du diamètre en ligne pour garantir les tolérances.
Grand diamètre (>20 mm) : forgeage à chaud (1200–1600°C), déformation en plusieurs passes.

Appliquer:

Électronique : électrodes et cibles de pulvérisation, le plus souvent d'un diamètre de 5 à 20 mm.
Four à haute température : éléments chauffants et tiges de support de 20 à 50 mm de diamètre.
Aérospatiale : Pièces structurelles, 50 à 100 mm de diamètre, haute résistance.

Standard:

ASTM B387-18 : Tolérances de diamètre ±0,05 mm (<10 mm), ± 0,1 mm (>10 mm).
GB/T 3462-2017 : Écart de circularité <0,02 mm.

Défis techniques :

Les barres de petit diamètre sont sujettes à la casse et doivent être optimisées pour les vitesses

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

d'étirage (0,1 à 1 m/s).
Le forgeage de barres de grand diamètre nécessite un équipement à haute température et est coûteux.

4.3.2 Tiges carrées et autres tiges de molybdène de forme spéciale

Les tiges carrées de molybdène et les tiges de molybdène de forme spéciale (par exemple rectangulaires, hexagonales) sont utilisées dans des structures ou des moules spéciaux, généralement avec une longueur latérale ou une section transversale de 5 à 50 mm et une longueur de 100 à 2000 mm.

Caractéristique:
Précision géométrique : tolérance de longueur de bord ± 0,05 à 0,2 mm, rectitude de bord < 0,1 mm/m.
Performance : Les propriétés mécaniques sont similaires à celles des barres rondes, mais la difficulté de traitement augmente.
Applicabilité : Conception de forme spéciale pour répondre à des exigences d'installation ou fonctionnelles complexes.

Préparation:
Formage : Le pressage isostatique à froid utilise des moules de forme spéciale, et l'ébauche est proche de la forme finale après frittage.
Usinage : forgeage à chaud (1200–1600°C) ou usinage (tours CNC, vitesse de coupe 10–50 m/min).
Traitement de surface : poli ou nettoyé, rugosité Ra 0,8–3,2 μm.

Appliquer:
Fabrication de moules : la tige carrée de molybdène est utilisée pour la matrice d'extrusion à chaud, qui résiste à l'usure à haute température.
Four haute température : Tige de support de forme spéciale pour optimiser la répartition du champ thermique.
Recherche : Formes personnalisées pour répondre aux besoins des montages expérimentaux.

Standard:
ASTM B387-18 : Tolérance de section de la barre profilée ± 0,1 mm.
GB/T 3462-2017 : Il n'y a pas de fissure sur le bord et la qualité de surface est la même que celle d'une barre ronde.

Défis techniques :
La conception de moules de forme spéciale est complexe et le coût de fabrication est élevé.
L'usinage est sujet à la concentration des contraintes et les données de coupe doivent être optimisées.

4.3.3 Tiges de micro-molybdène et grandes tiges de molybdène

Tiges en micro-molybdène : diamètre <1 mm, longueur 10-500 mm.
Caractéristiques : Haute précision (tolérance de diamètre ± 0,005 mm), finition de surface Ra<0,1 μm, adaptée à la microélectronique et aux instruments de précision.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Préparation : tréfilage ultrafin (600–1000 °C) à l'aide de moules nanodiamants, recuits multiples (800–1000 °C).

Appliquer:
Microélectronique : électrodes et sondes de 0,1 à 0,5 mm de diamètre.
Médical : composants de tubes à rayons X, haute pureté et précision requises.

Défi : Taux de rupture par arrachement élevé, contrôle précis de la vitesse (0,05 à 0,5 m/s) et de la lubrification (MoS_2).

Grandes tiges de molybdène : diamètre > 50 mm, longueur 500 à 3000 mm.
Caractéristiques : Haute résistance (résistance à la traction > 800 MPa), densité > 9,7 g/cm³, adapté aux applications lourdes.
Préparation : Forgeage de gros tonnage (2000–5000 t, 1400–1700 °C), frittage sous vide (> 2200 °C) pour assurer l'absence de porosité interne.

Appliquer:
Aérospatiale : Pièces structurelles à haute température, telles que les tuyères de fusée.
Industrie du verre : grandes électrodes, résistantes à la corrosion à haute température.

Défi : L'équipement de forgeage est exigeant et la taille des grains (>50 μm) est difficile à contrôler.

Standard:
ASTM B387-18 : Tolérance ± 0,01 mm pour les micro-tiges et 0,2 mm ± pour les grandes tiges.
GB/T 3462-2017 : Les défauts internes sont contrôlés par ultrasons (<0,1 mm).

Progrès technologiques :
Micro-bâtons : traction assistée par laser, précision 20 % supérieure.
Grandes tiges : forgeage isotherme (1500°C), uniformité du grain augmentée de 15 %.

4.4 Conception personnalisée de tige de molybdène

Les tiges de molybdène personnalisées sont conçues en fonction des besoins spécifiques du client et impliquent l'optimisation de la composition, de la taille, de l'état de surface et des performances. L'analyse de la demande des clients est le point de départ de la personnalisation, car elle permet de s'assurer que le produit répond au scénario d'application.

4.4.1 Analyse de la demande des clients

L'analyse de la demande des clients est l'étape centrale de la conception personnalisée, qui implique la communication technique avec les clients, l'évaluation des scénarios d'application et les exigences de performance. Voici le processus détaillé :

Collecte des exigences :
Scénario d'application : Le client a besoin de connaître l'environnement dans lequel la tige de

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

molybdène sera utilisée, par exemple dans un four à haute température (1500-1800°C, vide/hydrogène), par pulvérisation de semi-conducteurs (haute pureté, Ra < 0,1 μm) ou dans l'aérospatiale (résistance à la traction > 1000 MPa).
Exigences de performance : notamment les propriétés mécaniques (résistance, ténacité), thermiques (conductivité thermique, coefficient de dilatation thermique), électriques (résistivité) et chimiques (résistance à l'oxydation, résistance à la corrosion).
Taille et forme : diamètre, longueur, forme de la section transversale (par exemple cercle, carré) et exigences de tolérance. Par exemple, les tiges pour la microélectronique ont un diamètre < 0,5 mm et une tolérance ± 0,005 mm.
État de surface : noir, poli ou barre de nettoyage, exigences de rugosité (par exemple Ra<0,2 μm).
Quantité et délai de livraison : production d'essai par lots (10-1000 pièces) ou en petits lots, délai (2-12 semaines).

Évaluation technique :
Sélection des matériaux : Choisissez du molybdène de haute pureté ou un alliage dopé en fonction de vos besoins. Par exemple, les barres Mo-La pour les fours à haute température et les barres de molybdène de haute pureté pour les semi-conducteurs.
Faisabilité du processus : Évaluez si le processus de production (par exemple, emboutissage, forgeage, frittage) répond aux exigences dimensionnelles et de performance. Par exemple, les micro-tiges doivent être étirées ultra-finement et les grandes tiges doivent être forgées en gros tonnage.
Conformité aux normes : Assurez-vous que les produits sont conformes aux normes ASTM B387, GB/T 3462 ou aux normes spécifiées par le client.
Analyse des coûts : Évaluez l'impact financier d'une grande pureté, de formes complexes ou de traitements de surface spéciaux pour fournir une solution rentable.

Communication et reconnaissance :
Proposition technique : Soumettre la proposition de conception au client, y compris la composition, la taille, le traitement de surface et les paramètres de performance.
Production d'échantillons d'essai : production de petits lots d'échantillons, retour d'information du client après les tests (tels que les propriétés mécaniques, la résistance à la corrosion).
Signature du contrat : Clarifier les délais de livraison, les normes de qualité et les processus d'acceptation.

Défis techniques :
Des exigences complexes, telles que des tiges ultra-miniatures ou extra-larges, nécessitent un équipement personnalisé, ce qui augmente les coûts.
Les exigences des clients en matière de performance (par exemple, la résistance à l'oxydation) peuvent dépasser les technologies existantes, nécessitant le développement de nouveaux procédés (par exemple, les nanorevêtements).

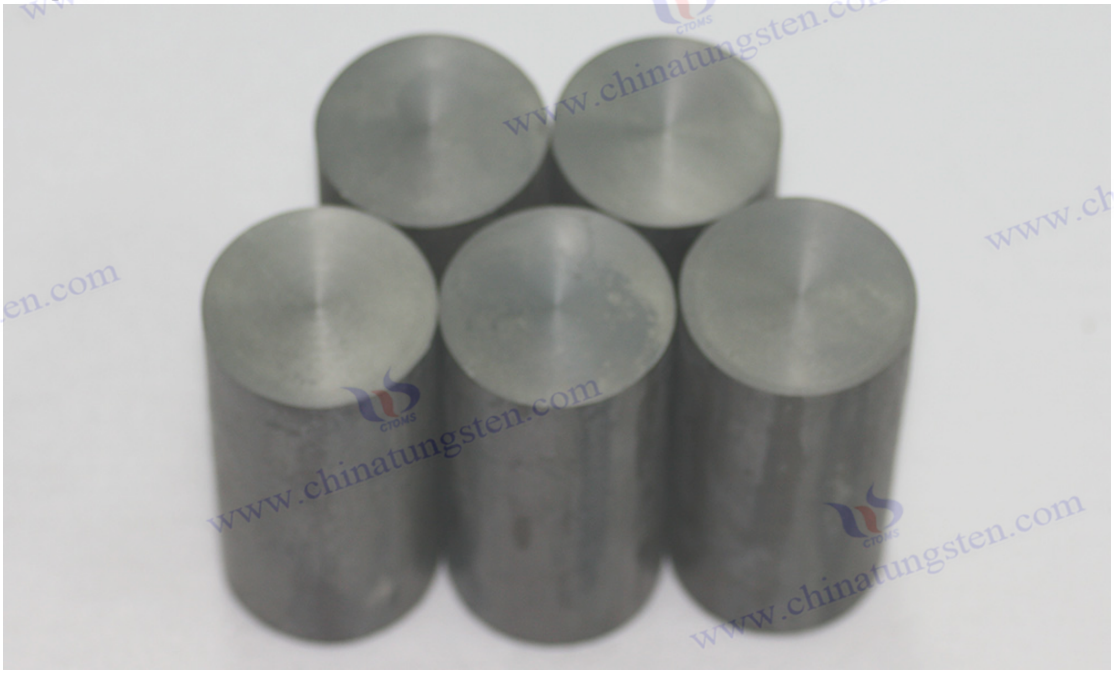
Progrès technologiques :
Conception numérique : un logiciel de CAO/IAO est utilisé pour simuler les performances des tiges

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de molybdène, et le cycle de conception optimisé est raccourci de 30 %.

Prototypage rapide : impression 3D de flans de poudre de molybdène, réduisant le cycle de production d'essai de 50 %.

Collaboration avec les clients : La plateforme en ligne suit l'avancement des commandes en temps réel pour améliorer l'efficacité de la communication.



CTIA GROUP LTD tiges en molybdène noir

Chapitre 5 Essais de performance et évaluation des tiges de molybdène

En tant que matériau métallique réfractaire haute performance, les tests de performance et l'évaluation de la tige de molybdène sont un lien clé pour garantir son application fiable dans des domaines à forte demande tels que l'aérospatiale, l'électronique et l'industrie du verre. Ce chapitre traite en détail des méthodes d'essai et des techniques d'évaluation des barres de molybdène sous cinq aspects : propriétés mécaniques, propriétés à haute température, microstructure, propriétés chimiques et analyse des défaillances. Grâce à des processus d'essai systématiques et à des méthodes d'analyse avancées, le comportement mécanique, la stabilité à haute température, les caractéristiques de la microstructure et la stabilité chimique des tiges de molybdène peuvent être entièrement révélés, fournissant une base scientifique pour l'optimisation des matériaux, le contrôle de la qualité et la prédiction de la durée de vie. Ces tests vérifient non seulement les performances des tiges de molybdène, mais fournissent également une assistance technique pour répondre aux besoins spécifiques de l'application.

5.1 Essai des propriétés mécaniques des tiges de molybdène

L'essai des propriétés mécaniques est le principal moyen d'évaluer les performances des barres de molybdène dans des conditions de contrainte, couvrant les essais de traction, de compression, de flexion et de cisaillement. Ces tests révèlent la résistance, la ténacité et la capacité de déformation des tiges de molybdène, et fournissent des données à l'appui de leurs applications dans les pièces

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

structurelles, les matériaux d'électrode et d'autres domaines. Les tests sont généralement effectués dans des conditions standardisées, combinées à des équipements de test avancés et à des techniques d'analyse de données pour garantir des résultats précis et reproductibles.

5.1.1 Essai de traction des tiges de molybdène

L'essai de traction est la principale méthode d'évaluation de la résistance à la traction, de la limite d'élasticité et de la ductilité des tiges de molybdène, et est largement utilisé dans le contrôle de la qualité et la vérification des performances. L'essai de traction mesure le comportement de déformation des tiges de molybdène sous l'effet d'une force de traction axiale jusqu'à ce que la rupture se produise. Des machines d'essai universelles sont généralement utilisées pour les essais, équipées de jauges de contrainte et de mâchoires de haute précision pour garantir que l'échantillon est uniformément forcé. Les échantillons sont généralement traités de manière cylindrique et la surface est polie pour éliminer les effets des microfissures ou des défauts de surface. L'environnement d'essai peut être à température ambiante ou à haute température pour simuler des conditions d'utilisation réelles, telles que des fours à haute température ou des composants aérospatiaux.

Pendant le processus de traction, l'appareil d'essai enregistre une courbe de contrainte-déformation qui reflète la phase élastique, la phase de déformation plastique et le comportement à la rupture du matériau. Les tiges de molybdène de haute pureté présentent une résistance élevée à température ambiante mais ont une ténacité limitée, tandis que les tiges de molybdène dopées (telles que le TZM) améliorent considérablement la résistance et la résistance à la rupture en ajoutant des éléments d'alliage. À des températures élevées, la ductilité des tiges de molybdène augmente considérablement, mais la résistance diminue, de sorte qu'elle doit être testée sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter les interférences d'oxydation. Après la rupture, la morphologie de la fracture peut être observée à l'aide d'un microscope optique pour déterminer s'il s'agit d'une fracture ductile (se manifestant par une fossette) ou d'une fracture fragile (se manifestant par un plan de clivage), afin d'analyser les défauts microscopiques ou l'état de traitement du matériau.

Les facteurs qui affectent les propriétés de traction comprennent la composition du matériau, la taille des grains, la technologie de traitement et l'environnement d'essai. Par exemple, une structure à grain fin peut augmenter la résistance, tandis qu'un grain trop gros peut entraîner une rupture fragile. Les contraintes résiduelles introduites lors de l'usinage peuvent également affecter les résultats des tests et doivent être éliminées par recuit. Ces dernières années, les progrès technologiques ont considérablement amélioré la précision des essais de traction. Par exemple, l'essai de traction in situ combiné à la microscopie électronique à balayage permet d'observer l'initiation et la propagation des fissures en temps réel. La technologie de corrélation d'images numériques permet une analyse plus précise de la déformation en enregistrant la répartition de la déformation à l'aide d'une caméra haute résolution. L'application de ces techniques permet aux essais de traction d'aller au-delà des propriétés macroscopiques pour révéler des mécanismes microscopiques.

5.1.2 Essai de compression des tiges de molybdène

Les essais de compression sont utilisés pour évaluer la résistance à la compression et la déformation

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

plastique des tiges de molybdène sous pression, en particulier pour la conception de pièces structurelles à haute température, telles que les buses aérospatiales ou les tiges de support de four à haute température. Les essais de compression mesurent le comportement à la déformation et la limite de défaillance d'un échantillon en appliquant une pression aux deux extrémités. L'équipement d'essai est généralement une machine d'essai hydraulique équipée d'un capteur de déplacement de haute précision qui garantit l'enregistrement de petites déformations. L'échantillon est traité en une forme cylindrique, avec une face d'extrémité plate pour éviter les contraintes inégales, et un lubrifiant (par exemple du graphite) appliqué sur la surface pour réduire les effets de frottement.
Au cours des essais de compression, les échantillons peuvent céder ou se déformer plastiquement, ou déformer le cylindre, selon le type de matériau et les conditions d'essai. La tige de molybdène de haute pureté a une résistance à la compression élevée à température ambiante, mais la plasticité est améliorée à haute température et est sujette à de grandes déformations. Les tiges de molybdène dopées (par exemple, Mo-La) sont renforcées par dispersion pour améliorer leur capacité de compression, en particulier à des températures élevées. Une fois l'essai terminé, la section de compression peut être analysée au microscope pour observer la déformation du grain, la distribution des fissures et les défauts microscopiques, et juger des performances de compression du matériau.

Les facteurs qui affectent les performances de compression comprennent le frottement des extrémités, la température et le taux de charge. Un frottement élevé peut entraîner une déformation inégale de l'échantillon et affecter les résultats des tests, de sorte que le choix du lubrifiant et l'uniformité de l'application sont cruciaux. Des tests à haute température sont effectués sous vide pour éviter les interférences d'oxydation. Les progrès technologiques de ces dernières années comprennent le développement de dispositifs de compression à haute température capables d'effectuer des essais à des températures plus élevées, ainsi que l'application d'essais de microcompression pour l'évaluation des performances des tiges de micro-molybdène. De plus, les logiciels de simulation par éléments finis sont largement utilisés pour prédire le comportement de la déformation par compression, ce qui permet d'optimiser les conditions d'essai et la conception des échantillons.

5.1.3 Essais de flexion et de cisaillement

Les essais de flexion et de cisaillement évaluent la résistance à la flexion et au cisaillement des tiges de molybdène dans des conditions de contrainte complexes et conviennent à des applications telles que les tiges de support de four à haute température ou les matériaux de moule. Les essais de flexion utilisent généralement une méthode de flexion à trois ou quatre points pour mesurer la résistance à la flexion et la déflexion d'un échantillon en lui appliquant une charge verticale. L'équipement d'essai est une machine spéciale d'essai de flexion, et l'échantillon est traité en une section transversale rectangulaire ou circulaire, et la surface est polie pour réduire l'impact des défauts. Au cours de l'essai, la courbe force-déflexion a été enregistrée, et l'emplacement de l'initiation de la fissure et la morphologie de la rupture ont été observés pour évaluer la performance en flexion du matériau.

L'essai de cisaillement mesure la résistance au cisaillement de la tige de molybdène en appliquant une charge latérale, généralement à l'aide d'un dispositif de cisaillement spécial. L'échantillon doit

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

être de section transversale et l'écart de la fraise est contrôlé avec précision pour éviter des contraintes supplémentaires. Les barres de molybdène dopées, telles que le TZM, présentent généralement une résistance au cisaillement plus élevée que les barres de molybdène de haute pureté en raison du renforcement des joints de grains. Les résultats des tests sont influencés par la géométrie de l'échantillon, l'état de surface et le taux de charge, et les conditions de test doivent être étroitement contrôlées pour garantir la cohérence.

Les facteurs qui affectent les performances de flexion et de cisaillement comprennent le rapport de portée, les défauts de surface et la température d'essai. Si la portée est trop petite, cela peut introduire un effet de cisaillement et réduire la résistance à la flexion. Les températures élevées réduisent considérablement la résistance mais améliorent la ténacité. Les progrès technologiques comprennent l'utilisation généralisée de l'essai de flexion en quatre points, qui est plus uniforme et les résultats d'essai plus fiables ; La technologie d'imagerie par rayons X in situ permet de surveiller en temps réel la propagation des fissures, ce qui permet une analyse plus détaillée des défaillances. De plus, l'introduction de systèmes de test automatisés a amélioré l'efficacité de l'acquisition de données et la précision des tests.

5.2 Essai de performance à haute température des tiges de molybdène

Les essais de performance à haute température sont la clé pour évaluer les performances des barres de molybdène à des températures extrêmes, impliquant le fluage, la fatigue thermique et la résistance à l'oxydation, ce qui est directement lié à la fiabilité de son application dans les fours à haute température, l'aérospatiale et d'autres domaines. Ces tests sont généralement effectués sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter les interférences d'oxydation.

5.2.1 Essai de fluage des barres de molybdène

L'essai de fluage évalue le comportement à long terme de la déformation des barres de molybdène sous contrainte constante à haute température, reflétant leur stabilité dans des environnements à haute température. L'essai utilise une machine spéciale d'essai de fluage équipée d'un four à vide à haute température pour s'assurer que l'environnement d'essai est exempt d'interférences d'oxygène. L'échantillon est traité en une forme cylindrique et la surface est polie pour réduire la concentration des contraintes. Au cours de l'essai, l'échantillon est maintenu à une température et à une contrainte constantes pendant des centaines à des milliers d'heures, les changements de déformation au fil du temps sont enregistrés et une courbe de fluage est générée, qui est divisée en phases primaires, stationnaires et de fluage accéléré.

Le taux de fluage des tiges de molybdène de haute pureté est plus élevé à haute température, tandis que les tiges de molybdène dopées (telles que TZM, Mo-La) réduisent considérablement le taux de fluage et prolongent la durée de vie en ajoutant des éléments d'alliage. Une fois l'essai terminé, la rupture par fluage peut être analysée par microscopie, et des phénomènes microscopiques tels que le glissement des joints de grain et la formation de vides peuvent être observés, révélant le mécanisme de fluage. Les facteurs qui affectent les propriétés de fluage comprennent la température, le stress et la microstructure. Les températures élevées accélèrent la diffusion des atomes, ce qui entraîne une augmentation du fluage ; Les grains fins et les éléments dopés peuvent inhiber

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

efficacement le glissement des limites de grains.

Les avancées technologiques comprennent le développement d'un système d'essai de fluage multi-axes capable de simuler des états de contrainte complexes et d'améliorer la précision des prédictions ; La technologie de corrélation d'images numériques à haute température enregistre le champ de déformation à l'aide d'une caméra infrarouge, fournissant des données de déformation plus précises. De plus, la méthode d'essai de fluage accéléré améliore considérablement l'efficacité des essais en augmentant la température et les contraintes, en raccourcissant le temps d'essai et en incorporant des modèles mathématiques pour prédire le comportement à long terme.

5.2.2 Essai de fatigue thermique des barres de molybdène

Les essais de fatigue thermique évaluent la résistance à la fissuration des tiges de molybdène sous des contraintes thermiques cycliques et conviennent aux éléments chauffants de four à haute température ou aux composants aérospatiaux. Le test simule un cycle de température dans des conditions de fonctionnement réelles en chauffant et en refroidissant rapidement l'échantillon. L'équipement comprend une machine d'essai de fatigue thermique avec des systèmes de chauffage par induction et de refroidissement par eau capables d'augmenter et de baisser rapidement la température. La surface de l'échantillon est polie pour réduire les fissures initiales, et le test est effectué sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter l'oxydation.

Au cours de l'essai, l'échantillon a subi plusieurs cycles haut-bas-haut-bas, et le temps d'initiation de la fissure et le taux de propagation ont été enregistrés. Les tiges de molybdène dopé présentent généralement une durée de vie plus longue en fatigue thermique en raison de leur excellente résistance à la fissuration et de leur résistance à haute température. Une fois l'essai terminé, la topographie de la fissure est analysée par microscopie ou par ultrasons pour caractériser les franges de fatigue et les dommages oxydatifs. Les facteurs qui affectent les performances en fatigue thermique comprennent les différences de température, les conditions de surface et la fréquence des cycles. Une grande différence de température augmentera la contrainte thermique et accélérera la propagation des fissures. La surface polie peut prolonger efficacement la durée de vie.

Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie d'imagerie thermique in situ, qui enregistre la distribution de la température en temps réel à l'aide de caméras infrarouges pour optimiser les conditions d'essai ; L'application de revêtements anti-oxydation tels que $MoSi_2$ augmente considérablement la durée de vie à la fatigue thermique. De plus, la technologie de simulation numérique prédit l'emplacement de l'initiation de la fissure en simulant le champ de contrainte thermique, ce qui améliore la nature scientifique de l'essai.

5.2.3 Essai de résistance à l'oxydation des tiges de molybdène

Les tests de résistance à l'oxydation évaluent la stabilité des tiges de molybdène dans des environnements oxydants à haute température, critiques pour les fours à haute température et les applications aérospatiales. Le test utilise un oxydant à haute température dans lequel l'échantillon est placé dans une atmosphère d'air ou d'oxygène pour mesurer les changements de masse et la formation d'oxydes. La surface de l'échantillon est polie pour assurer la cohérence, et la plage de

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

température d'essai couvre les conditions dans lesquelles la tige de molybdène peut être utilisée. Les balances de précision sont utilisées pour enregistrer le gain de masse et refléter le taux d'oxydation.

Les tiges de molybdène de haute pureté sont sujettes aux oxydes volatils (MoO_3) à haute température, ce qui entraîne une perte de masse, tandis que les tiges de molybdène dopées (par exemple, Mo-La) améliorent la résistance à l'oxydation en formant une couche d'oxyde protectrice. Une fois le test terminé, la morphologie et la composition de la couche d'oxyde sont analysées par microscopie et spectroscopie d'énergie pour évaluer son effet protecteur. Les facteurs qui affectent la résistance à l'oxydation comprennent la température, l'atmosphère et le revêtement de surface. Les températures élevées et les concentrations d'oxygène accélèrent l'oxydation, et les revêtements tels que le SiC peuvent augmenter considérablement la température de résistance à l'oxydation.

Les avancées technologiques comprennent les tests d'oxydation dynamique, qui simulent les conditions d'oxydation cyclique dans des conditions de fonctionnement réelles ; La technologie de nano-revêtement prépare une couche protectrice dense par dépôt physique en phase vapeur, ce qui prolonge considérablement la durée de vie anti-oxydation. De plus, la surveillance de la qualité en temps réel de l'analyseur thermogravimétrique améliore la précision des tests et fournit un support de données pour la conception du revêtement.

5.3 Analyse de la microstructure des tiges de molybdène

L'analyse de la microstructure utilise des méthodes avancées de microscopie et de spectroscopie pour révéler la taille des grains, la distribution de phase et les caractéristiques de défaut des tiges de molybdène, ce qui fournit une base pour l'optimisation des performances et l'analyse des défaillances.

5.3.1 Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)

L'analyse par microscopie électronique à balayage (MEB) est utilisée pour observer la morphologie de surface, les caractéristiques de rupture et la structure des grains des tiges de molybdène, qui est la méthode de base de l'analyse de la microstructure. Le test utilise un MEB à émission de champ, équipé de détecteurs d'électrons secondaires et d'électrons rétrodiffusés, capables d'imagerie à haute résolution. L'échantillon doit être poli à l'état de miroir, ou la fracture doit être laissée ouverte pour l'analyse de la défaillance. Avant le test, l'échantillon est nettoyé par ultrasons et pulvérisé avec une couche conductrice telle que de l'or ou du carbone pour améliorer l'imagerie.

L'analyse MEB peut révéler la taille des grains, les caractéristiques des joints de grains, la porosité, les inclusions et la topographie des fractures. Les tiges de molybdène de haute pureté présentent généralement des grains plus gros, et les tiges de molybdène dopé ont des structures de grain plus fines en raison des phases précipitées (par exemple, TiC, La_2O_3). L'analyse des ruptures permet de faire la distinction entre les fractures ductiles et cassantes et de guider l'optimisation des matériaux. Les facteurs qui affectent les résultats d'une analyse comprennent la qualité de la préparation de l'échantillon et le processus de traitement. Un polissage inégal peut entraîner la création d'artefacts, et le traitement thermique affine les grains et améliore les performances.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Les progrès technologiques comprennent l'application de la MEB environnementale, qui permet d'observer la formation dynamique des oxydes sous vide faible ; Le faisceau d'ions focalisés (FIB) combiné au MEB permet une reconstruction structurelle tridimensionnelle et fournit des informations microscopiques plus complètes. L'introduction de la technologie de l'intelligence artificielle a amélioré l'efficacité de l'analyse en identifiant automatiquement les joints de grains et les défauts.

5.3.2 Analyse de la diffraction des rayons X (DRX)

L'analyse par diffraction des rayons X (XRD) est utilisée pour déterminer la structure cristalline, la composition de phase et les contraintes résiduelles des tiges de molybdène, et constitue une méthode importante pour évaluer les propriétés microscopiques des matériaux. Le test utilise un diffractomètre à rayons X pour balayer l'échantillon avec un rayonnement Cu Kα afin de générer un spectre de diffraction. La surface de l'échantillon doit être polie jusqu'à ce qu'elle soit très finie pour garantir que le signal de diffraction est clair. Les résultats des tests ont été comparés à la carte standard pour déterminer la structure cubique centrée sur le corps et la phase de dopage (par exemple, TiC, ZrC) du molybdène.

L'analyse XRD peut révéler les contraintes résiduelles introduites pendant le processus d'usinage, qui affectent les propriétés mécaniques des barres de molybdène. La phase précipitée dans la tige de molybdène dopée améliore la résistance du joint de grain et améliore les performances à haute température. Les facteurs qui influencent les résultats de l'analyse comprennent l'oxydation de surface et le stress de traitement. La couche d'oxyde peut interférer avec les pics de diffraction et doit être éliminée par décapage ; Les contraintes introduites par le travail à froid peuvent modifier la position du pic et nécessiter un recuit.

Les progrès technologiques comprennent l'application de la DRX par rayonnement synchrotron pour fournir une analyse de phase à plus haute résolution ; La DRX in situ permet de surveiller en temps réel les transitions de phase et les changements de contraintes à des températures élevées. De plus, la technique de cartographie des contraintes bidimensionnelle améliore la précision de l'analyse de la distribution des contraintes résiduelles.

5.3.3 Spectroscopie d'énergie (SED)

La spectroscopie (EDS) combinée au MEB a été utilisée pour déterminer quantitativement la distribution élémentaire et la teneur en impuretés des tiges de molybdène, et pour évaluer la pureté du matériau et l'uniformité du dopage. Le test détecte les rayons X caractéristiques émis par l'échantillon, identifie les éléments et calcule leur contenu. Les échantillons sont polis et nettoyés pour s'assurer que la surface est exempte de contamination. L'analyse EDS peut détecter la distribution des impuretés à l'état de traces (par exemple, Fe, C, O) et des éléments dopants (par exemple, Ti, La) dans les tiges de molybdène.

L'analyse EDS des barres de molybdène de haute pureté montre généralement un seul élément de molybdène, tandis que les barres de molybdène dopées montrent une distribution uniforme des éléments d'alliage. Les résultats des tests sont affectés par l'état de surface de l'échantillon et la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

profondeur de sonde, et la tension d'accélération et le temps de sonde doivent être optimisés. Les progrès technologiques comprennent l'application de détecteurs EDS à haute résolution, qui améliorent la sensibilité de la détection élémentaire ; Combiné à la diffraction par rétrodiffusion d'électrons (EBSD), il est possible d'analyser à la fois la distribution élémentaire et l'orientation des cristaux, fournissant des informations supplémentaires pour l'optimisation de la microstructure.

5.4 Essai des propriétés chimiques des tiges de molybdène

Les tests de performance chimique évaluent la durabilité et la stabilité chimique des barres de molybdène dans des environnements corrosifs pour une utilisation dans les électrodes de l'industrie du verre et les composants de fours à haute température.

5.4.1 Essai de résistance à la corrosion des tiges de molybdène

Les tests de résistance à la corrosion évaluent la stabilité des tiges de molybdène dans des environnements acides, alcalins ou à sels fondus. L'essai est généralement effectué par immersion ou par des méthodes électrochimiques, où l'échantillon est placé dans un milieu corrosif spécifique et où la perte de masse ou les changements de surface sont observés. L'équipement de test comprend un bain-marie thermostatique et un potentiostat, et la surface de l'échantillon est polie pour assurer la cohérence. Les milieux corrosifs courants comprennent l'acide nitrique, l'acide chlorhydrique, les solutions d'hydroxyde de sodium et les sels fondus à haute température.

La tige de molybdène de haute pureté a une bonne résistance à la corrosion aux acides et aux alcalis à température ambiante, mais une corrosion locale peut se produire dans le sel fondu à haute température. Les tiges de molybdène dopé (par exemple, Mo-W) améliorent considérablement la résistance à la corrosion en améliorant la stabilité des joints de grains. Une fois l'essai terminé, la topographie de la corrosion est observée par microscopie et les caractéristiques de la corrosion par piqûres ou uniforme sont analysées. Les facteurs qui affectent la résistance à la corrosion comprennent la concentration du fluide, la température et l'état de surface. Des températures élevées peuvent accélérer la corrosion, et le polissage de la surface réduit l'apparition de la corrosion.

Les progrès technologiques comprennent l'application de la spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) pour surveiller les taux de corrosion en temps réel ; Développement d'équipements d'essais de corrosion à haute température pour simuler les conditions de travail réelles ; L'utilisation de fluides corrosifs verts, tels que l'acide citrique, réduit l'impact environnemental.

5.4.2 Évaluation de la stabilité chimique des tiges de molybdène

L'évaluation de la stabilité chimique teste la réactivité des tiges de molybdène dans un environnement chimique spécifique, souvent en combinaison avec des tests de résistance à l'oxydation et des tests de résistance à la corrosion. Le test consiste à exposer un échantillon à un environnement gazeux, liquide ou solide à haute température pour observer les changements dans ses réactions chimiques et ses propriétés. L'équipement d'essai comprend un four à haute température et un réacteur chimique, et les échantillons sont testés sous atmosphère contrôlée.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Les tiges de molybdène présentent une excellente stabilité chimique dans des atmosphères inertes ou réductrices, mais sont sujettes à la réactivité dans des environnements oxydants ou corrosifs. Les tiges de molybdène dopé améliorent la stabilité en formant une couche protectrice d'oxyde ou d'alliage. Les résultats des tests sont évalués par une combinaison de variations de qualité, d'analyses de surface et de tests de composition. Les facteurs qui affectent la stabilité chimique comprennent l'atmosphère ambiante, la température et la composition des matériaux. Les progrès technologiques comprennent l'application de techniques d'analyse chimique in situ, telles que la spectroscopie Raman pour la surveillance en temps réel des produits de réaction ; Le développement de revêtements composites a amélioré la stabilité chimique.

5.5 Analyse de défaillance des barres de molybdène

L'analyse des défaillances révèle le mécanisme de défaillance en étudiant le comportement à la rupture, à la fatigue et à l'usure des tiges de molybdène, et fournit une base pour l'optimisation des matériaux et la prédiction de la durée de vie.

5.5.1 Analyse du mécanisme de rupture des tiges de molybdène

L'analyse du mécanisme de fracture étudie le processus de défaillance de la tige de molybdène sous la force et identifie le type et la cause de la fracture. La morphologie de la fracture a été observée par MEB, et les données d'essai mécanique ont été combinées pour déterminer s'il s'agissait d'une fracture ductile, d'une fracture fragile ou d'une fracture de fatigue. Les tiges de molybdène de haute pureté présentent souvent une rupture fragile à température ambiante et se transforment en rupture ductile à haute température. Les tiges de molybdène dopé réduisent la fragilité en renforçant les joints de grains. L'analyse comprend également l'emplacement de l'initiation de la fissure, le chemin de propagation et le rôle des défauts microscopiques.

Les facteurs influençant la fracture comprennent la taille des grains, la teneur en impuretés et les défauts de traitement. Des grains plus gros et des traces d'oxygène peuvent déclencher des fractures cassantes, et les luxations introduites par le travail à froid augmentent le risque de fracture. Les avancées technologiques comprennent l'analyse MEB in situ pour l'observation en temps réel de la propagation des fissures ; L'application d'un modèle de mécanique de la rupture pour prédire le taux de croissance des fissures.

5.5.2 Analyse de la fatigue et de l'usure des tiges de molybdène

L'analyse de la fatigue et de l'usure évalue la durabilité des tiges de molybdène dans des conditions de charge cyclique et de frottement pour les tiges de support de four à haute température et les matériaux de moule. Les essais de fatigue enregistrent l'initiation et la propagation des fissures en appliquant des contraintes cycliques ; Les essais d'abrasion utilisent un tribomètre pour mesurer la perte de masse et la topographie de surface. Les tiges en molybdène dopé présentent une meilleure résistance à la fatigue et à l'usure en raison de leur dureté et de leur résistance plus élevées.

Les facteurs influençant la fatigue et l'usure comprennent l'état de surface, l'environnement et les conditions de charge. Les surfaces polies prolongent considérablement la durée de vie en fatigue et les lubrifiants réduisent l'usure. Les progrès technologiques comprennent l'application de nano-revêtements (par exemple, SiC) pour améliorer la résistance à l'usure ; Technologie d'essai de

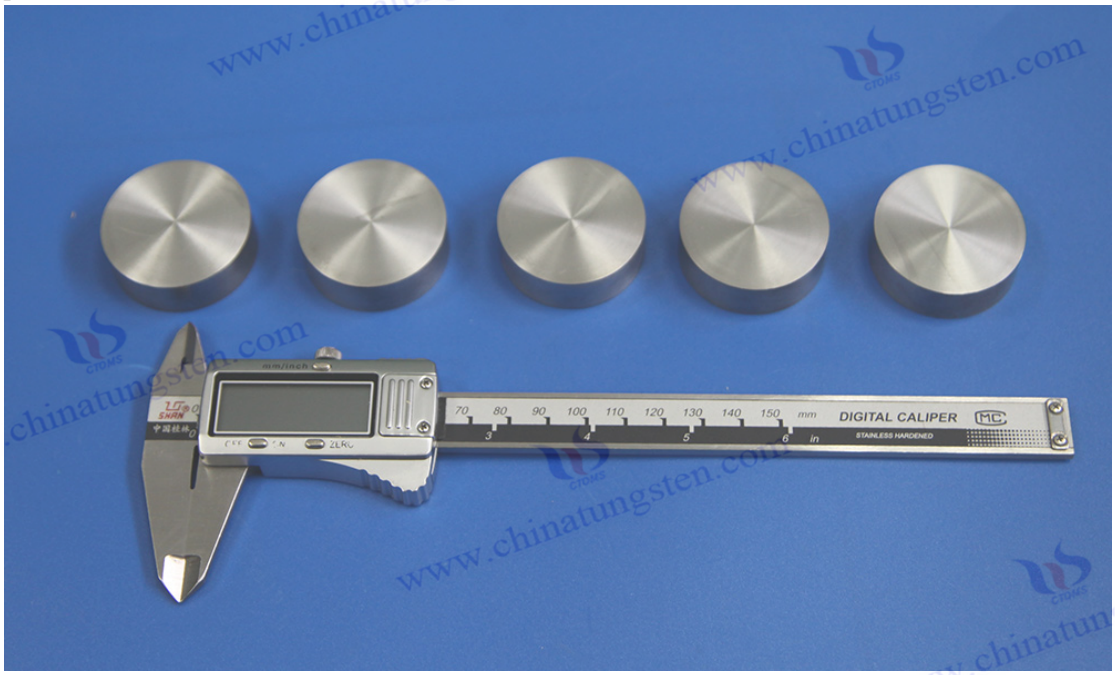
Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

frottement in situ pour la surveillance en temps réel du processus d'usure.

5.5.3 Modèle de prédiction de la durée de vie des tiges de molybdène

Le modèle de prédiction de la durée de vie prédit la durée de vie des barres de molybdène dans des conditions de travail spécifiques en intégrant des données d'essai mécaniques, à haute température et chimiques. Les modèles sont basés sur des données de fluage, de fatigue et de corrosion, combinées à des méthodes mathématiques telles que le modèle d'Arrhenius pour la prédiction. Les données d'essai ont été obtenues par une machine d'essai et une analyse microscopique, et le modèle a pris en compte les effets de la température, du stress et de l'environnement.

La durée de vie des tiges de molybdène de haute pureté est limitée par l'oxydation et le fluage, et les tiges de molybdène dopées prolongent considérablement la durée de vie en renforçant la microstructure. Les avancées technologiques comprennent l'application de la technologie des jumeaux numériques pour simuler les performances des tiges de molybdène en temps réel ; Les modèles d'apprentissage automatique utilisent l'analyse du Big Data pour améliorer la précision des prédictions.



CTIA GROUP LTD tiges en alliage de molybdène et de tungstène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 6 Équipement de production de tiges de molybdène

La production de tiges de molybdène implique de multiples processus complexes, de la manipulation des matières premières au produit final, chacun d'entre eux nécessitant un équipement spécialisé pour garantir la qualité et les performances du produit. Ce chapitre examine en détail l'équipement utilisé dans la production de tiges de molybdène, y compris la manutention des matières premières, la métallurgie des poudres, le traitement thermique, le traitement de surface, les essais et les équipements de production automatisés et intelligents. Ensemble, ces appareils forment une chaîne de production efficace et sophistiquée qui répond à la demande de tiges de molybdène haute performance dans l'aérospatiale, l'électronique, l'industrie du verre et d'autres domaines. En optimisant la conception des équipements et le contrôle des processus, vous pouvez améliorer considérablement la productivité, la qualité et l'uniformité des produits, tout en réduisant la consommation d'énergie et l'impact environnemental.

6.1 Équipement de manutention des matières premières pour les tiges de molybdène

La manutention des matières premières est la première étape de la production de tiges de molybdène, qui implique la conversion du minerai de molybdène ou des composés de molybdène en poudre de molybdène de haute pureté, jetant ainsi les bases des processus ultérieurs de métallurgie des poudres. L'équipement de traitement des matières premières comprend principalement des équipements de concassage et de broyage et des équipements de purification, qui doivent garantir que la taille des particules de matière première est uniforme, d'une haute pureté et d'une faible teneur en impuretés.

6.1.1 Équipement de concassage et de broyage

L'équipement de concassage et de broyage est utilisé pour transformer le minerai de molybdène (par exemple la molybdénite) ou les composés du molybdène (par exemple l'oxyde de molybdène) en particules fines pour la purification ultérieure et la préparation de la poudre. L'équipement de concassage comprend généralement des concasseurs à mâchoires et des concasseurs à cône pour broyer de gros morceaux de matières premières en petites particules. Le concasseur à mâchoires réduit la taille de la matière première de quelques dizaines de centimètres à quelques millimètres grâce à l'extrusion et au cisaillement, ce qui convient au traitement de la molybdénite à haute dureté. Le concasseur à cône affine davantage les particules et convient aux processus de broyage secondaire et fin pour assurer une taille de particule uniforme.

L'équipement de broyage comprend principalement des broyeurs à boulets et des broyeurs à jet, qui sont utilisés pour broyer les particules broyées en poudres de la taille d'un micron. Le broyeur à boulets broie les particules à une taille plus fine par collision et friction entre les billes d'acier et les matières premières, ce qui convient à la production à grande échelle. Le broyeur à jet utilise un flux d'air à grande vitesse pour impacter les matières premières afin de produire une poudre ultra-fine, ce qui est particulièrement adapté à la préparation de poudre de molybdène de haute pureté. Pendant le processus de broyage, l'atmosphère (par exemple, l'azote) doit être contrôlée pour éviter l'oxydation, et l'équipement est doublé de matériaux résistants à l'usure (par exemple, l'alumine ou le carbure de tungstène) pour réduire la contamination.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Les facteurs qui affectent les performances de l'équipement comprennent la dureté de la matière première, la taille des particules d'alimentation et le temps de broyage. Les matières premières d'une dureté plus élevée peuvent entraîner une usure de l'équipement et la doublure doit être remplacée régulièrement ; Des temps de broyage trop longs peuvent introduire des impuretés et les paramètres du processus doivent être optimisés. Les progrès technologiques comprennent l'application de broyeurs à boulets vibrants à haut rendement, qui ont considérablement amélioré l'efficacité du broyage ; Le système de contrôle intelligent ajuste automatiquement les paramètres de broyage en surveillant la taille des particules en temps réel pour garantir une qualité de poudre stable.

6.1.2 Équipement d'épuration (fours de grillage, fours de réduction)

L'équipement de purification est utilisé pour convertir les composés de molybdène broyés et broyés (tels que l'oxyde de molybdène) en poudre de molybdène de haute pureté, y compris principalement les fours de torréfaction et les fours de réduction. Le torréfacteur convertit les sulfures de molybdénite en oxyde de molybdène grâce à un traitement à haute température tout en éliminant les impuretés volatiles. Les torréfacteurs sont généralement conçus comme des fours rotatifs ou des fours à lit fluidisé et sont capables de traiter en continu de grandes quantités de matières premières. L'atmosphère à l'intérieur du four est étroitement contrôlée, généralement dans un environnement d'air ou d'oxygène, afin d'assurer une oxydation complète des sulfures. L'équipement est équipé d'un système de traitement des gaz d'échappement (par exemple, un épurateur humide) pour éliminer les oxydes de soufre et répondre aux exigences environnementales.

Les fours de réduction sont utilisés pour réduire l'oxyde de molybdène en poudre de molybdène métallique, généralement dans une atmosphère d'hydrogène. Le four de réduction tubulaire est un équipement courant, qui réduit progressivement l'oxyde de molybdène à travers une zone de chauffage à plusieurs étages pour produire de la poudre de molybdène de haute pureté. Le corps du four est fabriqué à partir de matériaux résistants aux hautes températures tels que les alliages de quartz ou de molybdène pour assurer un fonctionnement stable à long terme. Le débit d'hydrogène et les gradients de température doivent être contrôlés avec précision pendant le processus de réduction afin d'éviter l'agglomération de particules de poudre ou de résidus d'impuretés. L'équipement est également équipé d'un système de récupération des gaz d'échappement pour récupérer l'hydrogène n'ayant pas réagi et améliorer l'utilisation des ressources.

Les facteurs qui affectent les résultats de purification comprennent la pureté des matières premières, le contrôle de l'atmosphère et l'étanchéité de l'équipement. Les traces d'impuretés (telles que le fer et le silicium) dans les matières premières peuvent affecter la qualité de la poudre de molybdène, qui doit être éliminée par prétraitement ; L'oxygène ou l'humidité dans l'atmosphère peuvent provoquer l'oxydation des poudres, et un environnement d'hydrogène de haute pureté doit être maintenu. Les progrès technologiques comprennent le développement de fours de réduction sous vide, qui ont considérablement amélioré la pureté de la poudre de molybdène ; Le système de surveillance en ligne analyse la composition de l'atmosphère par spectroscopie infrarouge afin d'optimiser le processus de réduction.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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 ≥ 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 g/cm³
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	≥ 590 MPa
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	≥ 490 MPa
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	Φ1 mm – Φ200 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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6.2 Équipement de métallurgie des poudres pour les tiges de molybdène

La métallurgie des poudres est le processus de base de la production de tiges de molybdène, qui fournit la base du traitement ultérieur en pressant et en formant de la poudre de molybdène et en la frittant en flans à haute densité. L'équipement de métallurgie des poudres comprend des équipements de mélange et de pressage et des fours de frittage, qui doivent assurer la densité, l'uniformité et les propriétés mécaniques de la billette.

6.2.1 Équipement de mélange et de pressage

Les équipements de mélange et de pressage sont utilisés pour mélanger de manière homogène la poudre de molybdène avec des éléments dopés (tels que Ti, La) et la presser dans une ébauche de tige. L'équipement de mélange comprend principalement des broyeurs planétaires et des mélangeurs en V, qui sont utilisés pour mélanger la poudre de molybdène et les dopants (tels que La_2O_3, TiC). Le broyeur planétaire permet d'obtenir un mélange uniforme grâce à une rotation et une collision à grande vitesse, ce qui convient à la préparation de tiges de molybdène dopées ; Le mélangeur en V convient à la poudre de molybdène de haute pureté en le retournant à basse vitesse pour éviter l'introduction d'impuretés. Pendant le processus de mélange, l'atmosphère (par exemple l'azote) doit être contrôlée pour éviter l'oxydation de la poudre, et la paroi intérieure de l'équipement est en acier inoxydable ou en matériaux céramiques pour réduire la contamination.

L'équipement de pressage comprend des presses isostatiques à froid et des presses hydrauliques, qui sont utilisées pour presser la poudre mélangée en une ébauche. Les presses isostatiques à froid appliquent une pression uniforme à travers un milieu liquide, tel que l'eau ou l'huile, pour préparer des ébauches à haute densité, en particulier pour les ébauches de barres de molybdène de grande taille ou de forme complexe. La presse hydraulique est pressée par un moule, qui convient à la production de petits lots, et la conception du moule doit tenir compte de la précision géométrique de l'ébauche. La répartition de la pression doit être contrôlée pendant le processus de pressage pour éviter les fissures ou la densité inégale de l'ébauche.

Les facteurs qui affectent les résultats du mélange et du pressage comprennent la taille des particules de poudre, l'uniformité du dopage et le processus de pressage. Les poudres trop fines peuvent entraîner une mauvaise fluidité et affecter la qualité du pressage ; Une distribution inégale du dopant peut dégrader les performances des billettes. Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie de dopage en phase liquide, qui améliore l'uniformité du dopage ; Le système de pressage automatisé optimise le processus de moulage en surveillant la pression et la densité à l'aide de capteurs.

6.2.2 Fours de frittage (fours à vide, fours à atmosphère)

Le four de frittage est utilisé pour chauffer l'ébauche pressée à une température élevée afin que les particules de poudre se combinent pour former une ébauche de tige de molybdène à haute densité. Le four de frittage sous vide est l'équipement principal, qui empêche l'oxydation par un environnement sous vide (basse pression) et assure la haute pureté et la compacité de l'ébauche. Le corps du four adopte un élément chauffant en molybdène ou en graphite, qui résiste aux températures élevées et présente une bonne uniformité thermique. Le processus de frittage s'effectue par étapes,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

d'abord avec un déliantage à basse température pour retirer le liant, puis un frittage à haute température pour favoriser la liaison des particules, et enfin former une ébauche d'une densité proche de la valeur théorique.

Les fours de frittage d'atmosphère utilisent généralement de l'hydrogène ou un gaz inerte (comme l'argon) comme atmosphère protectrice, ce qui convient au frittage avec des barres de molybdène. L'hydrogène est réductible, ce qui permet d'éliminer efficacement les traces d'oxydes et d'améliorer la qualité de l'ébauche. Le four est équipé d'un système de circulation atmosphérique pour assurer une distribution uniforme des gaz et éviter l'oxydation locale. Le four de frittage doit également être équipé d'un système de contrôle précis de la température afin de maintenir un gradient de température uniforme et d'empêcher l'ébauche de se déformer ou de se fissurer.

Les facteurs qui affectent l'effet de frittage comprennent l'atmosphère de frittage, le contrôle de la température et la densité des billettes. Des traces d'oxygène dans l'atmosphère peuvent entraîner une oxydation, et le point de rosée doit être strictement contrôlé ; Une densité initiale de billette trop faible prolongera le temps de frittage. Les avancées technologiques comprennent la mise au point d'un four de frittage par induction à fréquence intermédiaire qui améliore l'efficacité de chauffage ; Le système de surveillance en ligne contrôle la température en temps réel à l'aide d'un thermomètre infrarouge afin d'optimiser la qualité du frittage.

6.3 Équipement de traitement thermique des tiges de molybdène

L'équipement de traitement thermique est utilisé pour traiter les ébauches frittées en forme finale de barre de molybdène, impliquant des processus de forgeage, de laminage et d'étirage pour améliorer la densité du matériau et les propriétés mécaniques.

6.3.1 Matériel de forgeage

L'équipement de forgeage est utilisé pour déformer plastiquement l'ébauche frittée à haute température afin de préparer des tiges de molybdène à grain fin à haute densité. Les équipements couramment utilisés comprennent des forgeuses hydrauliques et des marteaux pneumatiques, qui sont capables d'appliquer une pression de tonnage élevée pour s'assurer que l'ébauche est complètement déformée. Le forgeage est effectué à haute température et nécessite un four à induction pour chauffer l'ébauche à une température appropriée afin d'améliorer la ductilité et de réduire la résistance à la déformation. Pendant le processus de forgeage, le taux et la direction de la déformation doivent être contrôlés pour éviter les fissures ou les contraintes internes.

L'équipement de forgeage est généralement équipé d'un système de refroidissement par eau pour protéger la matrice et la pièce et prolonger la durée de vie de l'équipement. Le matériau du moule doit être fabriqué dans un alliage résistant aux hautes températures (tel que l'alliage de tungstène) pour résister aux températures élevées et à la haute pression. Les facteurs qui affectent la qualité du forgeage comprennent la température de chauffage, la quantité de déformation et la conception de la matrice. Des températures trop basses peuvent provoquer des fissures, et des températures trop élevées peuvent provoquer la croissance des grains. Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie de forgeage isotherme pour améliorer l'uniformité du grain grâce à

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

un contrôle précis de la température ; La forgeuse servocommandée améliore la précision de l'usinage en ajustant la pression en temps réel.

6.3.2 Laminoirs et machines à étirer

Des laminoirs et des machines d'étirage sont utilisés pour transformer l'ébauche forgée en tiges de molybdène de taille précise. Le laminoir comprend un laminoir à chaud et un laminoir à froid, le laminoir à chaud transforme l'ébauche en une barre ronde ou carrée à travers plusieurs passes, ce qui convient à la production de tiges de molybdène de grand diamètre. Pendant le processus de laminage, il est nécessaire d'équiper un dispositif de chauffage pour maintenir la billette à une température appropriée et éviter les fissures dans le travail à froid. Les laminoirs à froid sont utilisés pour la finition, améliorant la précision dimensionnelle et la finition de surface.

Les machines d'étirage sont utilisées pour produire des tiges de petit diamètre ou de micro-molybdène, qui sont étirées en forme par des matrices d'étirage. L'étirage est effectué à des températures élevées, et des lubrifiants tels que le MoS_2 sont utilisés pour réduire la friction et l'usure. Les matrices d'étirage sont généralement fabriquées en matériau diamant ou carbure de tungstène, ce qui garantit une précision et une durabilité élevées. Les facteurs qui affectent les résultats de laminage et d'étirage comprennent la température, le taux de déformation et l'état de la matrice. Un mauvais contrôle de la température peut entraîner des défauts de surface, et l'usure du moule peut affecter la précision dimensionnelle.

Les progrès technologiques comprennent le développement de lignes de production par laminage continu, qui ont amélioré l'efficacité de la production ; L'application d'un pied à coulisse laser permet un suivi en temps réel de la taille de la barre pour assurer le contrôle des tolérances. De plus, le système d'emboutissage automatisé optimise la cohérence de l'usinage en contrôlant la vitesse d'emboutissage via un servomoteur.

6.4 Équipement de traitement de surface des tiges de molybdène

Les équipements de traitement de surface sont utilisés pour améliorer la qualité de surface des tiges de molybdène, améliorer leur résistance à la corrosion et leur esthétique, et répondre aux exigences strictes de l'électronique, de l'aérospatiale et d'autres domaines.

6.4.1 Machines à polir

Les machines à polir sont utilisées pour traiter la surface des tiges de molybdène jusqu'à une finition élevée, réduire les défauts de surface et améliorer les performances. La polisseuse mécanique meut la barre à l'aide d'une meule ou d'une pâte à polir, améliorant ainsi progressivement la douceur de la surface. L'équipement est équipé de meules à plusieurs étages, du meulage grossier au meulage fin, adaptées aux tiges de molybdène avec différentes exigences de surface. La machine de polissage électrolytique élimine les défauts de surface par réaction électrochimique pour obtenir un effet miroir, ce qui est particulièrement adapté au traitement des tiges de molybdène de haute pureté.

Pendant le processus de polissage, la vitesse de rotation et le type d'agent de polissage doivent être contrôlés pour éviter d'introduire de nouvelles contraintes de surface. Les machines à polir sont

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

généralement équipées d'un système de refroidissement pour éviter que la pièce ne surchauffe et ne provoque une oxydation. Les facteurs qui affectent les résultats de polissage comprennent la taille des particules de polissage, la pression et l'état de surface initial. Les progrès technologiques comprennent le développement de systèmes de polissage automatisés qui contrôlent le chemin de polissage à l'aide de robots pour améliorer la cohérence ; L'application d'agents de polissage à l'échelle nanométrique améliore considérablement la finition de surface.

6.4.2 Équipement de nettoyage

L'équipement de nettoyage est utilisé pour éliminer les oxydes, les huiles et les résidus de polissage de la surface des tiges de molybdène afin d'assurer une surface propre. Le nettoyeur à ultrasons est la pièce maîtresse de l'équipement, qui utilise des vibrations à haute fréquence (dizaines de kilohertz) pour créer de minuscules bulles dans la solution de nettoyage afin d'éliminer les contaminants de surface. Le liquide de nettoyage est généralement de l'eau désionisée ou un agent de nettoyage neutre pour éviter la corrosion de la tige de molybdène. L'usine de décapage utilise une solution acide diluée (telle que l'acide nitrique ou l'acide sulfurique) pour éliminer la couche d'oxyde et doit être équipée d'un système de traitement des déchets liquides pour répondre aux exigences environnementales.

Pendant le processus de nettoyage, le temps de nettoyage et la température du liquide doivent être contrôlés pour éviter une corrosion excessive ou des contaminants résiduels. Les facteurs qui affectent les résultats de nettoyage comprennent la composition du liquide de nettoyage, l'état de la surface et l'étanchéité de l'équipement. Le progrès technologique comprend l'application de technologies de nettoyage écologiques, l'utilisation d'agents de nettoyage respectueux de l'environnement pour réduire la pollution ; Le système CIP optimise l'efficacité du nettoyage en surveillant le pH des liquides et les concentrations de contaminants en temps réel.

6.5 Équipement d'essai des tiges de molybdène

L'équipement d'essai est utilisé pour évaluer la qualité des tiges de molybdène afin de s'assurer qu'elles répondent aux exigences des propriétés mécaniques, de la précision dimensionnelle et de la qualité de surface, couvrant les essais non destructifs et l'inspection dimensionnelle de surface.

6.5.1 Équipement de contrôle non destructif (ultrasons, rayons X)

L'équipement d'essai non destructif est utilisé pour détecter les défauts internes et de surface tels que la porosité, les inclusions et les fissures dans les tiges de molybdène sans endommager l'échantillon. L'équipement de contrôle par ultrasons balaie les barres avec des ondes ultrasonores à haute fréquence (quelques mégahertz) pour détecter les défauts internes. L'appareil est équipé d'un transducteur et d'un système d'analyse de signal capable d'identifier les petits défauts et d'en localiser la profondeur. L'équipement d'inspection par rayons X utilise les rayons X pour pénétrer dans la barre afin de produire une image de la structure interne, ce qui est particulièrement adapté pour inspecter la porosité interne ou les inclusions de grandes tiges de molybdène.

Au cours du processus d'inspection, la sensibilité de l'équipement doit être calibrée pour garantir la précision de la détection des défauts. Les facteurs qui affectent les résultats d'inspection

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

comprennent la taille de la barre, l'état de surface et la résolution de l'appareil. Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie des ultrasons multiéléments, qui a amélioré la précision de la localisation des défauts ; Les systèmes de tomodensitométrie à rayons X à haute résolution sont capables de reconstruire des distributions de défauts tridimensionnelles, fournissant ainsi une analyse plus détaillée.

6.5.2 Équipement d'essai de la qualité dimensionnelle et de la qualité de surface

L'équipement d'inspection dimensionnelle et de qualité de surface est utilisé pour mesurer le diamètre, la longueur et la rugosité de surface des tiges de molybdène afin d'assurer la conformité aux exigences standard. Le pied à coulisse laser scanne la barre avec un faisceau laser et mesure le diamètre et la circularité en temps réel, ce qui la rend adaptée à l'inspection en ligne. Le rugomètre de surface scanne la surface à l'aide d'une sonde pour évaluer la finition et les défauts, et convient à l'inspection des tiges de molybdène poli. Les microscopes optiques sont utilisés pour observer la topographie microscopique des surfaces et identifier les rayures ou les marques de corrosion.

Au cours du processus d'inspection, il est nécessaire de s'assurer que l'équipement est calibré et que l'environnement est stable pour éviter les erreurs de mesure. Les facteurs qui affectent les résultats d'inspection comprennent la précision de l'équipement, l'état de surface de l'échantillon et les techniques de manipulation. Les progrès technologiques comprennent l'application de systèmes d'inspection automatisés, qui contrôlent les sondes à l'aide de robots pour améliorer l'efficacité de l'inspection ; Le développement d'un profileur tridimensionnel permet une analyse complète de la topographie de surface.

6.6 Équipement de production automatique et intelligent pour les tiges de molybdène

Les équipements de production automatisés et intelligents améliorent l'efficacité, la cohérence et la traçabilité de la production de tiges de molybdène grâce à des systèmes de contrôle intégrés et à une technologie d'analyse des données.

6.6.1 Contrôle automatique des lignes de production

Le système de contrôle automatique réalise la gestion intégrée de la ligne de production par PLC (contrôleur logique programmable) ou DCS (système de contrôle distribué), couvrant la manutention des matières premières, la métallurgie des poudres, le traitement thermique et le traitement de surface. Le système surveille la température, la pression, la taille et d'autres paramètres en temps réel à l'aide de capteurs, et ajuste automatiquement l'état de fonctionnement de l'équipement. Par exemple, le système de contrôle de la température du four de frittage est capable d'ajuster le profil de chauffage en fonction des caractéristiques de la billette pour assurer la qualité du frittage ; Le système de contrôle automatique du laminoir régule la vitesse de laminage par des servomoteurs afin d'optimiser la précision dimensionnelle des barres.

L'avantage d'une ligne de production automatisée est qu'elle réduit les interventions manuelles et améliore la cohérence de la production. Les facteurs qui affectent l'efficacité de l'automatisation comprennent la précision des capteurs, les algorithmes de contrôle et la compatibilité des appareils. Le progrès technologique comprend l'application de l'Internet industriel, qui réalise l'interconnexion

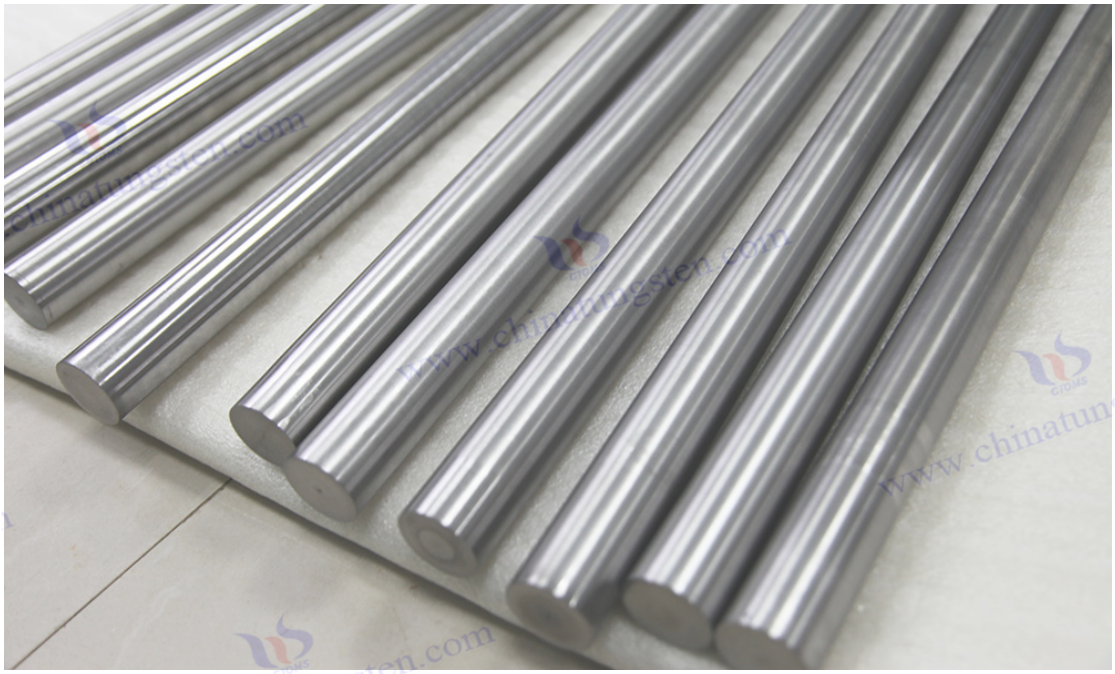
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

des équipements via la plate-forme cloud ; Le développement d'une ligne de production flexible permet de changer rapidement la production de tiges de molybdène de différentes spécifications.

6.6.2 Surveillance intelligente et analyse des données

Le système intelligent de surveillance et d'analyse des données utilise des capteurs, l'Internet des objets et les technologies d'intelligence artificielle pour collecter et analyser les données de production en temps réel afin d'optimiser le contrôle des processus et de la qualité. Le système de surveillance comprend des thermomètres infrarouges, des pieds à coulisse laser et des spectromètres en ligne pour la détection en temps réel de la température, de la taille et de la composition. L'analyse des données utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour identifier les modèles anormaux en production et prédire les défaillances des équipements ou les problèmes de qualité. Par exemple, les fluctuations de température pendant le processus de frittage peuvent être analysées par des modèles d'IA pour ajuster à l'avance les paramètres du processus.

Les avantages des systèmes intelligents sont l'augmentation de l'efficacité de la production et de la traçabilité, ainsi que la réduction des taux de rebut. Les facteurs qui affectent l'efficacité du système comprennent la fréquence d'acquisition des données, la précision de l'algorithme et la stabilité du réseau. Les avancées technologiques comprennent l'application de la technologie des jumeaux numériques pour simuler le processus de production à l'aide de modèles virtuels et optimiser le fonctionnement des équipements ; L'introduction de la technologie blockchain garantit la fiabilité et la sécurité des données de production.



CTIA GROUP LTD tiges en alliage de molybdène et de tungstène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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 ≥ 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 g/cm³
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	≥ 590 MPa
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	≥ 490 MPa
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	Φ1 mm – Φ200 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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 7 Domaines d'application des tiges de molybdène

Avec son point de fusion élevé, ses excellentes propriétés mécaniques, sa bonne conductivité et sa résistance à la corrosion, la tige de molybdène a montré un large éventail de possibilités d'application dans un certain nombre de domaines de haute technologie. Ce chapitre traite en détail des applications des barres de molybdène dans les fours à haute température et les équipements thermiques, les industries de l'électronique et des semi-conducteurs, l'aérospatiale, les industries du verre et de la céramique, la recherche médicale et scientifique et les domaines émergents, et analyse leurs propriétés fonctionnelles, les exigences des processus et les progrès technologiques. Les hautes performances des tiges de molybdène en font un matériau idéal pour les composants critiques afin de répondre aux exigences exigeantes des environnements extrêmes, tandis que la gamme d'applications continue de s'élargir à mesure que la technologie progresse, offrant des solutions innovantes pour l'industrie et la recherche.

7.1 Fours à haute température et équipements thermiques

Les tiges de molybdène sont largement utilisées dans les fours à haute température et les équipements thermiques, en particulier dans les environnements nécessitant des atmosphères à haute température, sous vide ou inertes, et leur point de fusion élevé et leur excellente stabilité thermique en font des matériaux indispensables. Les tiges de molybdène sont principalement utilisées pour chauffer les éléments et soutenir les pièces fixes afin de répondre aux besoins de traitement à haute température et de traitement thermique.

7.1.1 Tiges de molybdène comme éléments chauffants

Les barres de molybdène jouent un rôle central en tant qu'éléments chauffants dans les fours à haute température et sont largement utilisées dans les fours à vide, les fours de protection contre l'hydrogène et les fours à atmosphère inerte pour des processus tels que le frittage de matériaux, le traitement thermique et la croissance cristalline. Le point de fusion élevé et la bonne conductivité électrique de la tige de molybdène lui permettent de résister à des températures extrêmement élevées tout en maintenant une production de chaleur stable. Les éléments chauffants sont généralement usinés en tiges allongées ou en géométries spécifiques pour optimiser la distribution du champ thermique. Les barres de molybdène dopé (par exemple, Mo-La) sont souvent utilisées dans les environnements de four avec un fonctionnement à haute température à long terme en raison de leur excellente résistance au fluage et à l'oxydation.

Au cours du processus de production, les tiges de molybdène sont usinées avec précision pour assurer une surface lisse afin de réduire les concentrations de contraintes thermiques, et fonctionnent sous vide ou sous atmosphère réductrice pour éviter l'oxydation à haute température. Les facteurs qui affectent les performances des éléments chauffants comprennent la pureté du matériau, l'état de surface et l'environnement de fonctionnement. Les impuretés à l'état de traces peuvent réduire la conductivité électrique, et l'oxydation à haute température peut provoquer une volatilisation du matériau, qui doit être traitée par un revêtement (par exemple, $MoSi_2$) ou un contrôle de l'atmosphère.

Les progrès technologiques comprennent le développement d'éléments chauffants composites qui

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

prolongent la durée de vie en appliquant un revêtement anti-oxydant à la surface de la tige de molybdène ; L'application d'un système intelligent de contrôle de la température ajuste la puissance de chauffage en temps réel et optimise l'efficacité énergétique. De plus, de nouvelles tiges de molybdène dopées, telles que Mo-La, améliorent la stabilité à haute température en affinant la structure du grain, ce qui permet des applications thermiques plus exigeantes.

7.1.2 Pièces de support et de fixation

Les tiges de molybdène sont également utilisées dans les fours à haute température comme composants de support et de fixation, tels que des tiges de support, des pinces et des écrans chauffants, pour maintenir la pièce ou se protéger contre le rayonnement thermique. Ces composants doivent résister à des températures élevées et à des charges mécaniques tout en conservant une stabilité géométrique. Les tiges de molybdène dopé, telles que le TZM, sont le matériau de choix en raison de leur résistance élevée et de leur résistance au fluage, ce qui leur permet de maintenir l'intégrité structurelle sur de longues périodes à des températures élevées. Les tiges de molybdène de haute pureté conviennent aux structures de support qui nécessitent une conduction thermique rapide en raison de leur excellente conductivité thermique.

Les composants de support doivent être fabriqués de manière à garantir la précision dimensionnelle et la qualité de surface afin d'éviter la déformation ou la fissuration à haute température. L'environnement de fonctionnement est généralement sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter l'oxydation. Les facteurs qui affectent les performances comprennent la composition des matériaux, la technologie de traitement et la fréquence des cycles thermiques. Les éléments dopés peuvent améliorer considérablement la résistance au fluage, tandis que les cycles thermiques peuvent induire une fatigue thermique, de sorte que la conception doit être optimisée.

Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie d'usinage de précision, telle que l'usinage CNC pour assurer des formes complexes de composants de support ; Les technologies de revêtement, telles que les revêtements SiC, améliorent la résistance à l'oxydation et à l'abrasion. De plus, la conception modulaire des composants de support permet un démontage et un assemblage rapides, ce qui améliore l'efficacité de la maintenance dans le four.

7.2 Industrie de l'électronique et des semi-conducteurs

Les tiges de molybdène sont largement utilisées dans les industries de l'électronique et des semi-conducteurs en raison de leur conductivité élevée, de leur faible coefficient de dilatation thermique et de leur grande pureté, principalement pour les matériaux d'électrode, les cibles de pulvérisation et les composants de tubes à vide.

7.2.1 Matériaux des électrodes

En tant que matériau d'électrode, les tiges de molybdène sont largement utilisées dans la fabrication d'appareils électroniques, tels que les équipements de gravure au plasma et les appareils à électrovide. Les tiges de molybdène de haute pureté peuvent fonctionner de manière stable dans des environnements à haute tension et à haute température en raison de leur faible résistivité et de leur excellente stabilité chimique. Les électrodes sont généralement usinées en tiges allongées ou en

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

formes personnalisées, et la surface doit être polie à une finition élevée pour réduire les arcs électriques et la contamination.

Au cours du processus de production, les tiges de molybdène doivent être soumises à un contrôle de pureté strict et la teneur en impuretés doit être minimisée pour garantir des propriétés électriques stables. L'environnement de fonctionnement est généralement sous vide ou sous gaz inerte pour éviter l'oxydation et la contamination de surface. Les facteurs qui affectent les performances d'une électrode comprennent la pureté du matériau, la qualité de surface et la température de fonctionnement. Des traces d'oxygène peuvent provoquer la corrosion des électrodes, qui doivent être protégées par une atmosphère de haute pureté.

Les avancées technologiques comprennent le développement de tiges de molybdène de très haute pureté pour réduire davantage les impuretés grâce à un processus de purification en plusieurs étapes ; L'application de la technologie d'électropolissage améliore la finition de surface et réduit le risque d'arc électrique. De plus, l'optimisation de la conception de l'électrode améliore l'uniformité et la durée de vie de l'électrode en simulant la distribution du champ électrique.

7.2.2 Cibles de pulvérisation

Les tiges de molybdène sont utilisées comme cibles de pulvérisation pour la production de matériaux à couche mince pour les circuits intégrés, les cellules solaires et les écrans plats. En raison de leur densité élevée et de leur microstructure uniforme, les tiges de molybdène de haute pureté sont capables de fournir un flux stable d'atomes pendant la pulvérisation et d'assurer la qualité du film. Les cibles sont généralement usinées en tiges rondes ou rectangulaires avec une surface polie à l'état miroir pour réduire les défauts et la contamination par les particules.

Les tiges de molybdène utilisées pour produire la cible sont soumises à la métallurgie des poudres et à un traitement thermique pour s'assurer qu'il n'y a pas de porosité et d'inclusions à l'intérieur. Pendant la pulvérisation, la cible est opérée sous vide poussé pour éviter l'oxydation et l'introduction d'impuretés. Les facteurs qui affectent les performances cibles comprennent la pureté du matériau, la taille des grains et l'état de surface. Les grains fins améliorent l'uniformité de la pulvérisation et les surfaces polies réduisent le jet de particules.

Les progrès technologiques comprennent le développement de cibles de grande taille pour répondre aux besoins du dépôt de couches minces de grande surface ; La technologie de préparation de la poudre de molybdène de haute pureté améliore la qualité de la cible. De plus, les progrès de la technologie de recyclage ciblé ont permis de réduire les coûts de production et l'impact environnemental grâce à la purification et au retraitement chimiques.

7.2.3 Tubes à vide et composants de sources d'ions

Les tiges de molybdène sont utilisées comme électrodes, supports ou émetteurs dans les tubes à vide et les sources d'ions, et sont utilisées dans des équipements tels que les microscopes électroniques et les spectromètres de masse. Les tiges de molybdène de haute pureté conviennent comme matériaux émetteurs en raison de leur faible échappement d'électrons et de leur conductivité élevée.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Les tiges de molybdène dopé sont utilisées pour les structures de support en raison de leur stabilité à haute température. Les pièces doivent être usinées dans des formes complexes et des surfaces polies pour réduire la diffusion des électrons.

Au cours du processus de production, les tiges de molybdène sont usinées et nettoyées avec précision pour s'assurer qu'elles sont exemptes de contaminants. L'environnement de fonctionnement est l'ultra-vide poussé, ce qui empêche l'oxydation ou la décharge des électrodes. Les facteurs qui affectent les performances comprennent l'état de surface, la pureté du matériau et la tension de fonctionnement. Les défauts de surface peuvent provoquer des arcs électriques et doivent être éliminés par électropolissage.

Les progrès technologiques comprennent la technologie de traitement des tiges de micro-molybdène pour répondre aux besoins des dispositifs microélectroniques ; Le nano-revêtement de surface améliore la résistance à l'arc. De plus, la technologie d'assemblage automatisé améliore la précision de fabrication et l'uniformité des pièces grâce à un fonctionnement robotisé.

7.3 Aérospatiale

Les tiges de molybdène sont privilégiées dans l'industrie aérospatiale en raison de leur résistance élevée, de leur point de fusion élevé et de leur faible densité, et sont principalement utilisées dans les pièces structurelles à haute température et les composants du système de propulsion.

7.3.1 Pièces structurelles à haute température

Les tiges de molybdène sont utilisées dans l'aérospatiale comme pièces structurelles à haute température telles que les aubes de turbine de moteur à réaction, les écrans thermiques et les connecteurs. Les tiges de molybdène dopées, telles que le TZM, sont capables de maintenir la stabilité structurelle à des températures extrêmement élevées en raison de leur excellente résistance à haute température et de leur résistance au fluage. Les pièces structurelles sont forgées et usinées avec précision pour assurer une précision dimensionnelle et des propriétés mécaniques élevées.

Au cours du processus de production, les tiges de molybdène doivent être traitées et utilisées sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter l'oxydation à haute température. Les facteurs qui affectent les performances comprennent la composition des matériaux, la technologie de traitement et l'environnement d'exploitation. Les éléments dopés améliorent considérablement la résistance au fluage, mais l'oxydation à haute température doit être traitée par une protection par revêtement.

Le progrès technologique comprend l'application de la technologie de forgeage isotherme, qui améliore l'uniformité du grain des pièces structurelles ; Les revêtements anti-oxydation (par exemple $MoSi_2$) prolongent la durée de vie des composants. De plus, la combinaison de matériaux composites et de tiges de molybdène améliore les performances globales grâce à une conception en couches.

7.3.2 Composants du système de propulsion

Les barres de molybdène sont utilisées dans les systèmes de propulsion pour fabriquer des tuyères,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

des revêtements de chambre de combustion et des composants de chambre de poussée, qui sont soumis à des charges gazeuses et mécaniques à haute température. Les tiges de molybdène TZM et Mo-La sont idéales en raison de leur point de fusion élevé et de leur résistance aux chocs thermiques. Les composants sont usinés thermiquement et usinés avec précision pour garantir des formes complexes et une grande précision.

Au cours du processus de production, les tiges de molybdène sont traitées à des températures élevées et un revêtement anti-oxydant est appliqué pour prolonger leur durée de vie. Les facteurs qui affectent les performances comprennent les cycles thermiques, la corrosion des gaz et les contraintes mécaniques. Les avancées technologiques comprennent l'application de la technologie de fabrication additive pour accroître la liberté de conception grâce à l'impression 3D de pièces en alliage de molybdène ; Le développement de la technologie de revêtement à haute température a amélioré la résistance à la corrosion.

7.4 Industrie du verre et de la céramique

Les tiges de molybdène sont largement utilisées dans l'industrie du verre et de la céramique en raison de leur résistance à la corrosion à haute température et de leur stabilité chimique, et sont principalement utilisées pour les électrodes de fusion du verre et les supports de frittage de céramique.

7.4.1 Électrodes de fusion du verre

Les tiges de molybdène sont utilisées comme électrodes de fusion du verre dans les fours de fusion du verre et peuvent fonctionner de manière stable dans le verre fondu à haute température. Les tiges de molybdène de haute pureté conviennent comme matériaux d'électrode en raison de leur excellente conductivité électrique et de leur résistance à la corrosion. Les électrodes doivent être usinées dans une forme spécifique et la surface nettoyée pour éliminer les oxydes et éviter la contamination du verre fondu.

Au cours du processus de production, les tiges de molybdène doivent être utilisées dans une atmosphère réductrice pour éviter l'oxydation et la volatilisation. Les facteurs qui affectent les performances comprennent la composition du verre, la température de fonctionnement et l'état de surface de l'électrode. Le verre alcalin peut provoquer la corrosion des électrodes et la sélection des matériaux doit être optimisée. Les avancées technologiques comprennent le développement d'électrodes Mo-La, qui améliorent la résistance à la corrosion ; Le système de montage automatisé des électrodes augmente la productivité.

7.4.2 Supports de frittage de céramique

Les tiges de molybdène sont utilisées comme tiges de support ou fixations dans les fours de frittage de céramique pour soutenir le processus de frittage de corps céramiques à haute température. Les tiges en molybdène dopé sont stables à des températures élevées en raison de leur résistance élevée et de leur résistance au fluage. Les supports doivent être usinés en formes complexes et polis en surface pour réduire l'adhérence à la céramique.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Au cours du processus de production, les tiges de molybdène doivent être utilisées dans une atmosphère de vide ou d'hydrogène pour éviter l'oxydation. Les facteurs qui affectent les performances comprennent la température de frittage, l'atmosphère et la conception du support. Les progrès technologiques comprennent l'application de revêtements céramiques, qui réduisent la réaction des tiges de molybdène avec la céramique ; La conception modulaire du support améliore l'efficacité du chargement dans le four.

7.5 Recherche médicale et scientifique

Les tiges de molybdène sont utilisées dans des applications de recherche médicale et scientifique en raison de leur grande pureté et de leurs excellentes performances, et sont principalement utilisées dans les cibles de tubes à rayons X et les équipements de laboratoire à haute température.

7.5.1 Cibles de tubes à rayons X

Les tiges de molybdène sont utilisées comme cibles ou structures de support dans les tubes à rayons X en raison de leur point de fusion élevé et de leur faible coefficient de dilatation thermique, qui leur permettent de résister aux températures élevées générées par le bombardement d'électrons. Les tiges de molybdène de haute pureté sont usinées avec précision dans des cibles et la surface est polie à l'état miroir pour réduire la diffusion. Les impuretés doivent être strictement contrôlées pendant le processus de production pour garantir la qualité de l'imagerie.

Dans l'environnement de fonctionnement, la cible est soumise à un cycle thermique rapide pour éviter les défaillances par fatigue thermique. Les facteurs influençant les performances comprennent la qualité de surface, la conductivité thermique et la puissance de fonctionnement. Les progrès technologiques comprennent le développement de cibles composites à base de molybdène, qui ont amélioré la durée de vie en fatigue thermique ; La technologie de traitement laser améliore la précision géométrique de la cible.

7.5.2 Équipement expérimental de laboratoire à haute température

Les tiges de molybdène sont utilisées comme éléments chauffants, tiges de support ou électrodes dans les équipements de laboratoire à haute température pour les essais de matériaux et la croissance cristalline. La tige de molybdène de haute pureté convient aux expériences de haute précision en raison de sa stabilité chimique ; Les tiges de molybdène dopé sont utilisées dans les scénarios où une résistance élevée est requise. Les pièces sont usinées et nettoyées avec précision pour s'assurer qu'elles sont exemptes de contamination.

L'environnement de fonctionnement est généralement un vide ou une atmosphère inerte pour éviter l'oxydation. Les facteurs qui affectent les performances comprennent le contrôle de la température, la conception des composants et la pureté des matériaux. Les progrès technologiques comprennent la mise au point de tiges miniatures de molybdène pour répondre aux besoins de petits dispositifs expérimentaux ; L'application d'un système intelligent de contrôle de la température a amélioré la précision de l'expérience.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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 ≥ 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 g/cm³
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	≥ 590 MPa
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	≥ 490 MPa
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	Φ1 mm – Φ200 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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

7.6 Applications émergentes

L'application des barres de molybdène dans les domaines émergents se développe, en particulier dans l'impression 3D et l'industrie nucléaire, montrant un grand potentiel.

7.6.1 Impression 3D et fabrication additive

Les tiges de molybdène sont utilisées comme matières premières ou structures de support dans l'impression 3D et la fabrication additive pour le prototypage rapide de pièces haute performance. La poudre de molybdène est fondue et déposée par laser ou par faisceau d'électrons pour produire des pièces en alliage de molybdène aux formes complexes, adaptées aux applications aérospatiales et médicales. Les tiges de molybdène peuvent également être utilisées comme matériau de support pour résister aux environnements d'impression à haute température.

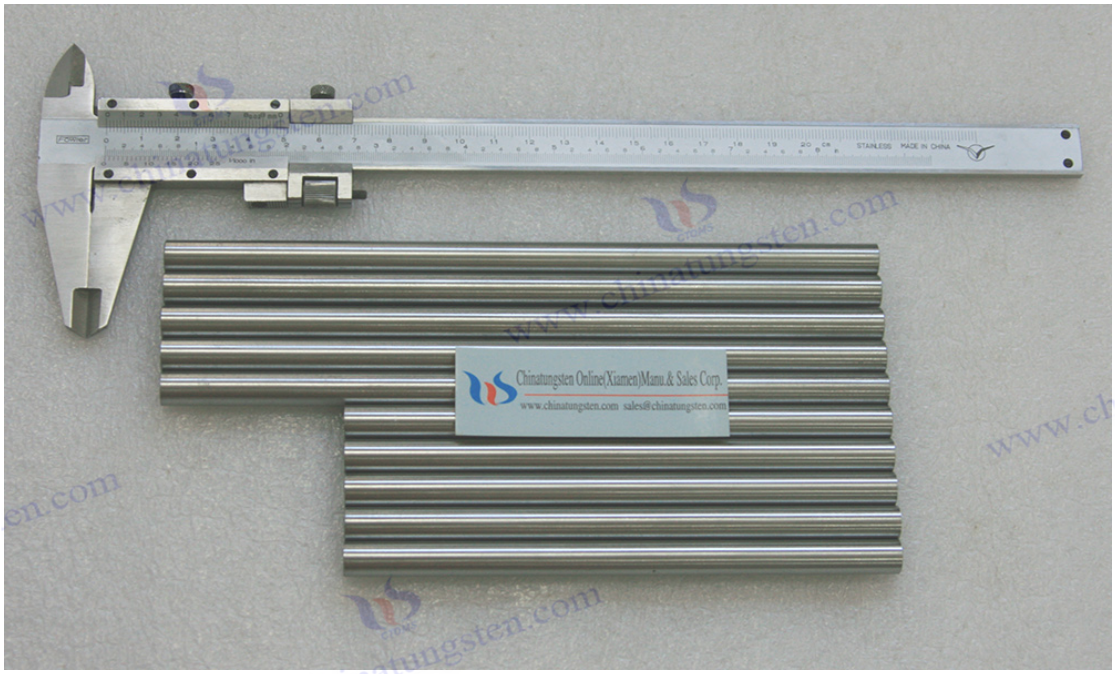
Au cours du processus de production, il est nécessaire de contrôler la qualité de la poudre et l'atmosphère d'impression pour éviter l'oxydation et les défauts. Les facteurs qui affectent les performances comprennent les paramètres d'impression, la taille des particules de poudre et le processus de post-traitement. Les progrès technologiques comprennent la préparation de poudre de molybdène de haute pureté, ce qui améliore la qualité de l'impression ; L'application de la technologie d'impression multi-matériaux permet de réaliser le moulage composite de molybdène et d'autres métaux.

7.6.2 Applications dans l'industrie nucléaire

Les barres de molybdène sont utilisées dans l'industrie nucléaire pour les composants à haute température des réacteurs et les matériaux de protection contre les radiations en raison de leur point de fusion élevé et de leur résistance aux radiations. Les barres de molybdène Mo-W sont adaptées aux environnements de réacteurs nucléaires en raison de leur excellente résistance à la corrosion et de leur résistance à haute température. Les composants sont usinés et revêtus avec précision pour assurer un fonctionnement stable à long terme.

L'environnement de fonctionnement implique des températures élevées et un fort rayonnement, et les propriétés des matériaux doivent être strictement contrôlées. Les facteurs qui affectent les performances comprennent les dommages causés par les radiations, la température et la composition des matériaux. Les progrès technologiques comprennent le développement d'alliages de molybdène résistants aux radiations, qui ont amélioré la durée de vie des composants ; L'application de la technologie de fabrication additive permet d'optimiser la fabrication de pièces complexes.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



CTIA GROUP LTD tiges de molybdène

Chapitre 8 Normes et spécifications nationales et étrangères pour les tiges de molybdène

En tant que matériau métallique réfractaire haute performance, la production, les tests et l'application de la tige de molybdène doivent suivre des normes et des spécifications strictes pour garantir la constance de la qualité, la fiabilité des performances et la sécurité d'utilisation. Ce chapitre traite en détail des normes internationales, des normes nationales, des exigences de certification et de conformité des tiges de molybdène, ainsi que de la comparaison et de l'analyse des scénarios d'application des normes nationales et étrangères. Ces normes fournissent un soutien technique pour l'application de la tige de molybdène dans l'aérospatiale, l'électronique, l'industrie du verre et d'autres domaines, et favorisent en même temps la normalisation du commerce mondial et des échanges techniques. En comprenant et en mettant en œuvre ces normes, les fabricants sont en mesure d'optimiser leurs processus pour répondre aux besoins des clients et assurer la compétitivité de leurs produits sur les marchés nationaux et internationaux.

8.1 Normes internationales pour les tiges de molybdène

Les normes internationales fournissent un cadre technique unifié pour la production, les essais et l'application des barres de molybdène, qui sont largement utilisées dans les chaînes d'approvisionnement mondiales et la coopération transfrontalière. Principalement développées par l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et l'Organisation internationale de normalisation (ISO), les normes internationales couvrent la composition chimique, les propriétés mécaniques, les tolérances dimensionnelles et les méthodes d'essai des tiges de molybdène, fournissant une référence de qualité pour le marché mondial.

8.1.1 ASTM Standards (ASTM B387, etc.)

La norme ASTM est la spécification faisant autorité dans le monde pour la production et les essais

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de tiges de molybdène, et est largement utilisée dans les industries de haute technologie en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Parmi elles, la norme ASTM B387-18 est la norme de base pour les barres, barres et fils de molybdène et d'alliage de molybdène, qui spécifie en détail les exigences techniques pour les tiges de molybdène de haute pureté et les tiges de molybdène dopé (telles que TZM et Mo-La). La norme exige que la teneur en molybdène des tiges de molybdène de haute pureté ≥ de 99,95 %, et que les impuretés (telles que Fe<0,01 %, C<0,005 %, O<0,003 %) soient strictement contrôlées pour garantir la stabilité des performances dans des environnements à haute température et corrosifs. En termes de propriétés mécaniques, la norme exige que la résistance à la traction de la tige de molybdène de haute pureté soit de 600 à 800 MPa à température ambiante, et que la résistance à la traction de la tige TZM soit de 900 à 1100 MPa, et que l'essai soit effectué à 20±5 °C selon ASTM E8/E8M (essai de traction). La qualité de surface est divisée en tige noire (Ra<3,2 μm), tige de polissage (Ra<0,8 μm) et tige de nettoyage pour répondre aux différents besoins de l'aérospatiale, de l'électronique et d'autres domaines. Les tolérances dimensionnelles nécessitent un écart de diamètre de ±0,05 mm et un écart de longueur de ±1 mm pour assurer un usinage et un assemblage de précision.

Les normes ASTM incluent également des spécifications complémentaires telles que ASTM E9-19 (essai de compression), ASTM E139-11 (essai de fluage) et ASTM G54-14 (essai de résistance à l'oxydation) pour fournir des conseils systématiques pour l'évaluation des performances des tiges de molybdène. Les fabricants doivent vérifier la conformité du produit par l'analyse chimique (par exemple, ICP-MS, précision de détection de 0,001 %), l'observation microstructurale (taille des grains de 10 à 50 μm) et les tests non destructifs (par exemple, ultrasons, 5 MHz). La force de la norme ASTM réside dans son exhaustivité et son applicabilité internationale, qui s'applique aux industries des fours à haute température, des semi-conducteurs et de l'aérospatiale. Les facteurs influençant la mise en œuvre de la norme comprennent la précision de l'équipement d'essai (par exemple, résolution de charge universelle de la machine d'essai de 0,01 kN), la spécification de la préparation de l'échantillon (par exemple, polissage de surface Ra <0,8 μm) et le contrôle de l'environnement (par exemple, vide < 10^{-3} Pa). Les progrès technologiques comprennent des mises à jour régulières des normes ASTM, de nouvelles spécifications pour les alliages Mo-W et les tiges de molybdène miniatures (< 1 mm de diamètre) et la prise en charge de techniques d'essai in situ telles que l'analyse des fissures en temps réel par MEB.

8.1.2 Normes ISO

Les normes ISO fournissent une spécification commune pour le commerce international et l'application des tiges de molybdène, en mettant l'accent sur la traçabilité des matériaux et l'uniformité à l'échelle mondiale. Bien que l'ISO n'ait pas encore élaboré de norme spécifique pour les barres de molybdène, ses normes connexes sont largement utilisées dans les essais de performance des barres de molybdène. Par exemple, l'ISO 6892-1:2019 spécifie une méthode d'essai de traction pour les métaux, nécessitant une vitesse d'essai de 0,5 à 5 mm/min, qui convient à l'évaluation de la résistance à la traction et de l'allongement des barres de molybdène ; L'ISO 6506-1:2014 réglemente l'essai de dureté Brinell et s'applique à l'évaluation de la dureté des tiges de molybdène (HB 200–300). Les normes ISO exigent que les fabricants fournissent des rapports d'analyse de la composition chimique pour s'assurer que les niveaux d'impuretés (par exemple,

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

O<0,005 %) répondent aux exigences et pour assurer la comparabilité internationale des résultats au moyen de procédures d'essai normalisées.

La mise en œuvre des normes ISO est vérifiée par des organismes de certification tiers (par exemple SGS, TÜV) et implique des analyses chimiques, des essais mécaniques et des tests de qualité de surface. La norme met l'accent sur les contrôles environnementaux pendant la production, tels que le vide ou les atmosphères inertes (point de rosée <-40°C), afin de prévenir l'oxydation et la contamination. Les facteurs influençant la mise en œuvre des normes ISO comprennent la qualification des laboratoires d'essais (par exemple, la certification ISO/IEC 17025), la normalisation des méthodes d'essai et l'harmonisation internationale. Les progrès technologiques comprennent la reconnaissance mutuelle des normes ISO avec l'ASTM et le GB/T, simplifiant le processus de certification transfrontalière ; La plateforme de certification numérique améliore l'efficacité grâce à la soumission de données et à l'audit en ligne. De plus, les normes ISO intègrent progressivement des exigences environnementales, telles que la réduction des émissions de gaz d'échappement (SO_2<10 ppm), afin de guider les fabricants dans l'optimisation de leurs processus.

8.2 Normes nationales pour les tiges de molybdène

En tant que plus grand producteur mondial de produits en molybdène, la Chine a élaboré une série de normes nationales couvrant la production, les essais et l'application des tiges de molybdène. Ces normes comprennent des normes nationales (GB/T) et des normes industrielles pour garantir que les besoins du marché intérieur sont satisfaits et que la coopération internationale est soutenue.

Norme 8.2.1 GB/T (GB/T 3462, etc.)

La norme GB / T est la spécification de base pour la production et l'application de la tige de molybdène en Chine, et GB / T 3462-2017 est la norme principale pour la tige de molybdène et la barre de molybdène, qui stipule les exigences techniques pour la tige de molybdène de haute pureté et la tige de molybdène dopée. La norme exige que la teneur en molybdène ≥ de 99,95 % et que les impuretés soient contrôlées à Fe<0,01 %, C<0,005 % et O<0,003 % pour garantir des performances à haute température. Les propriétés mécaniques sont testées pour la résistance à la traction (600-800 MPa pour les barres en molybdène de haute pureté et 900-1100 MPa pour les barres TZM), la limite d'élasticité et l'allongement (10-20 % pour les barres de molybdène de haute pureté), qui doivent être effectuées à température ambiante ou à haute température (800-1200°C) conformément à la norme GB/T 228.1-2021. L'état de surface est divisé en tige noire (Ra<3,2 μm), tige de polissage (Ra<0,8 μm) et baguette de nettoyage, et la tolérance dimensionnelle nécessite un écart de diamètre de ±0,05 mm et un écart de longueur de ±1 mm, ce qui convient à l'usinage de précision.

La norme GB/T comprend également des spécifications de soutien, telles que GB/T 2039-2012 (test de fluage, 1200-1800°C), GB/T 13303-1991 (test d'oxydation, 600-1200°C) et GB/T 7314-2017 (test de compression), afin de fournir des conseils pour l'évaluation des performances. Les fabricants sont tenus de vérifier la conformité par l'analyse chimique (ICP-MS, précision de 0,001 %), les contrôles non destructifs (ultrasons, 5 MHz) et l'observation microstructurale (taille des grains de 10 à 50 μm). L'avantage de la norme GB/T est qu'elle s'adapte au système industriel chinois, qu'elle est hautement compatible avec les normes ASTM et qu'elle est facile à exporter. Les facteurs

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

influençant la mise en œuvre de la norme comprennent la précision de l'équipement (par exemple, la résolution de charge de la machine d'essai hydraulique de 0,01 kN), le contrôle de l'environnement d'essai (par exemple, le niveau de vide $<10^{-3}$ Pa) et le niveau de gestion de la qualité de l'entreprise. Les avancées techniques comprennent la révision de la norme GB/T, l'ajout de spécifications pour les tiges de molybdène Mo-La et miniatures (< 1 mm de diamètre) ; Les systèmes d'inspection automatisés, tels que les pieds à coulisse laser d'une précision de 0,01 mm, augmentent l'efficacité de l'exécution.

8.2.2 Normes de l'industrie et normes d'entreprise

Les normes industrielles sont formulées par l'Association chinoise de l'industrie des métaux non ferreux ou des comités techniques, et des exigences détaillées sont proposées pour des scénarios d'application spécifiques. Par exemple, la norme YS/T 495-2005 (norme industrielle pour les métaux non ferreux) stipule la résistance à la corrosion des tiges de molybdène dans les fours de fusion du verre, exigeant un taux d'oxydation de <0,2 mg/cm²·h dans les sels fondus à haute température ; Les normes de l'industrie des semi-conducteurs peuvent exiger une rugosité de surface de Ra <0,4 μm. Ces normes complètent les normes GB/T et couvrent les détails techniques de l'industrie du verre, de l'aérospatiale et d'autres domaines.

Les normes d'entreprise sont fixées par les grands producteurs et sont souvent plus strictes que les normes nationales. Par exemple, une norme d'entreprise peut exiger une teneur en molybdène de ≥ 99,97 % et une tolérance dimensionnelle de ± 0,02 mm pour répondre aux besoins des clients haut de gamme. La norme de l'entreprise comprend également des processus de contrôle de qualité internes tels que le criblage des matières premières (impuretés < 0,005 %), l'optimisation du processus de frittage (densité > 99 % de densité théorique) et les spécifications de traitement de surface (Ra<0,4 μm). Les facteurs influençant la mise en œuvre de la norme comprennent la demande du marché, les capacités techniques et les exigences des clients. Les progrès technologiques comprennent l'arrimage des normes d'entreprise aux normes internationales, la simplification de la certification à l'exportation ; Le système numérique de gestion de la qualité améliore l'efficacité de la mise en œuvre des normes grâce à l'acquisition de données en temps réel (fréquence 1 kHz).

8.3 Certification et conformité des tiges de molybdène

La certification et la conformité sont des éléments clés pour garantir la qualité et la sécurité des tiges de molybdène, impliquant le processus de certification des matériaux et les exigences de conformité en matière d'environnement et de sécurité pour garantir que les produits répondent aux normes, lois et réglementations nationales et étrangères.

8.3.1 Processus de certification des matériaux

Le processus de qualification des matériaux est utilisé pour vérifier que les tiges de molybdène répondent aux exigences de la norme, garantissant ainsi leur fiabilité dans l'aérospatiale, l'électronique et d'autres domaines. La certification est effectuée par un organisme tiers (par exemple, SGS, TÜV) ou un laboratoire de certification national (par exemple, le Centre national de supervision et d'inspection de la qualité des métaux non ferreux de Chine) et couvre les tests de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

composition chimique, de propriétés mécaniques, de qualité de surface et de précision dimensionnelle. Le processus comprend : le fabricant soumet des échantillons et des registres de production (y compris les lots de matières premières, les paramètres du processus, les données de contrôle de la qualité) ; Analyse chimique (p. ex., ICP-MS, détection de Fe, C, O, précision 0,001 %), essais mécaniques (p. ex., traction, vitesse 0,5–5 mm/min), essais non destructifs (p. ex., ultrasons, 5 MHz) et mesure dimensionnelle (pied à coulisse laser, précision 0,01 mm) ; Enfin, un rapport de certification est délivré pour prouver la conformité aux normes ASTM B387, GB/T 3462 ou aux normes du client.

La certification est nécessaire pour garantir la représentativité de l'échantillon et la répétabilité des tests. Les facteurs influençant les résultats comprennent la qualité de la préparation des échantillons (par exemple, Ra poli <0,8 μm), la précision du dispositif et les qualifications institutionnelles. Les progrès technologiques comprennent le développement d'un système de certification en ligne, le téléchargement en temps réel des données d'essai et le raccourcissement du cycle de certification ; L'application de la technologie blockchain garantit la traçabilité et l'infalsification des données.

8.3.2 Conformité en matière d'environnement et de sécurité

La conformité en matière d'environnement et de sécurité exige que la production de tiges de molybdène réponde aux réglementations environnementales et aux normes de sécurité afin de réduire l'impact sur l'environnement et le corps humain. La conformité environnementale implique le traitement des gaz résiduaires, des eaux usées et des déchets solides dans le processus de production. Par exemple, les émissions de SO_2 (<10 ppm) doivent être contrôlées pendant le processus de torréfaction, et les eaux usées doivent être neutralisées (pH 6-9) avant d'être rejetées, conformément à la loi sur la protection de l'environnement et à la norme GB 25466-2010 (norme de rejet de polluants industriels de métaux non ferreux). Le respect de la sécurité exige que les équipements de production soient équipés de dispositifs de protection (par exemple, des systèmes de protection contre les explosions pour les fours à haute température) et d'une formation à la sécurité pour les opérateurs.

Les facteurs influençant la conformité comprennent les processus de production, les technologies de traitement des déchets et le renforcement de la réglementation. Les progrès technologiques comprennent l'application de technologies de production écologiques, telles que la purification par voie humide pour réduire les émissions de gaz d'échappement ; Le système de surveillance intelligent surveille les émissions et les paramètres de sécurité en temps réel à l'aide de capteurs (fréquence 1 kHz). De plus, la mise en place du système de management environnemental ISO 14001 aide les entreprises à optimiser leurs processus de conformité.

8.4 Comparaison des normes et analyse des scénarios d'application de la tige de molybdène

L'analyse comparative des normes nationales et étrangères aide les fabricants à sélectionner les normes appropriées pour répondre aux besoins de différents scénarios d'application. Les normes ASTM B387 et GB/T 3462 sont très cohérentes en termes de composition chimique (teneur en molybdène ≥ de 99,95 %), de propriétés mécaniques (résistance à la traction de 600 à 1100 MPa) et de tolérances dimensionnelles (±0,05 mm), mais la norme ASTM B387 se concentre davantage sur

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

les applications internationales et couvre davantage les tiges de molybdène dopées (telles que le Mo-W), tandis que la norme GB/T 3462 est plus adaptée au système industriel chinois et met l'accent sur la rentabilité. Les normes ISO, telles que l'ISO 6892-1, se concentrent sur la normalisation des méthodes d'essai et conviennent à la certification transfrontalière, mais ne spécifient pas spécifiquement les tiges de molybdène.

Les scénarios applicables sont analysés comme suit :

Aérospatiale : La norme ASTM B387 est plus adaptée aux composants de structures et de systèmes de propulsion à haute température en raison de ses exigences strictes en matière de performances à haute température (taux de fluage $<10^{-5}$/h, 1500°C) et de précision dimensionnelle (±0,02 mm).
Électronique et semi-conducteurs : Les normes ASTM B387 et GB/T 3462 sont toutes deux applicables et exigent une pureté (≥99,97 %) et une finition de surface (Ra<0,4 μm) élevées, ISO 6892-1 pour la vérification des essais de traction.
Industrie du verre : GB/T 3462 est plus courant car il convient aux électrodes de fusion en raison de ses exigences anti-corrosion (taux d'oxydation <0,2 mg/cm²·h) et son coût est inférieur.
Domaines émergents (e.g. 3D l'impression) : la norme ASTM B387 est plus adaptée, prenant en charge de nouveaux alliages de molybdène et des micro-barres (< 1 mm de diamètre).

Les facteurs influençant le choix des normes comprennent l'environnement d'application, les exigences du client et le coût. Les progrès technologiques comprennent la mise en place d'un mécanisme de reconnaissance mutuelle des normes afin de réduire la duplication des certifications ; Le développement d'une base de données numérique standard facilite les recherches et les comparaisons rapides.

CTIA GROUP LTD tiges en molybdène noir

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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 ≥ 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 g/cm³
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	≥ 590 MPa
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	≥ 490 MPa
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	Φ1 mm – Φ200 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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 9 Traitement, utilisation et entretien des tiges de molybdène

Les tiges de molybdène sont largement utilisées dans l'aérospatiale, l'électronique, l'industrie du verre et d'autres domaines exigeants en raison de leur point de fusion élevé, de leurs excellentes propriétés mécaniques et de leur stabilité chimique. Son traitement, son utilisation et sa maintenance impliquent des technologies et des processus complexes, qui affectent directement ses performances et sa durée de vie. Ce chapitre traite en détail de la technologie de traitement, des exigences environnementales, des méthodes d'installation et de fixation, des procédures d'entretien et de nettoyage et des spécifications de fonctionnement en toute sécurité des tiges de molybdène. Grâce à une technologie de traitement scientifique, à une conception d'environnement d'utilisation raisonnable, à une installation et à une maintenance standardisées et à un fonctionnement de sécurité strict, les performances de la tige de molybdène peuvent être maximisées, la durée de vie peut être prolongée et la sécurité de fonctionnement peut être assurée. Ce contenu fournit des conseils techniques complets aux fabricants et aux utilisateurs pour utiliser de manière fiable les tiges de molybdène dans une variété d'environnements exigeants.

9.1 Technologie de traitement de la tige de molybdène

La technologie de traitement des tiges de molybdène est essentielle pour s'assurer qu'elles répondent aux besoins d'applications spécifiques, impliquant des processus tels que la découpe, l'usinage, le soudage et l'assemblage. Ces processus sont effectués sur des équipements de haute précision et les conditions de traitement sont étroitement contrôlées pour éviter d'endommager les matériaux ou de détériorer les performances.

9.1.1 Découpe (découpe de fil, découpe laser)

La découpe est le premier processus de traitement des tiges de molybdène et est utilisée pour traiter les tiges dans la longueur ou la forme souhaitée. L'électroérosion à fil est une méthode de coupe couramment utilisée qui utilise des étincelles électriques à haute fréquence pour produire un matériau fondu localisé à haute température à la surface d'une tige de molybdène et couper avec précision des fils métalliques tels que des fils de cuivre ou de molybdène. L'électroérosion à fil convient à l'usinage de formes complexes ou de tiges de molybdène de petit diamètre avec une grande précision (tolérance ± 0,01 mm) et une surface lisse (Ra<1,6 μm). L'eau déminéralisée est utilisée comme moyen de refroidissement pendant le processus de traitement pour éviter l'oxydation à haute température, et l'équipement doit être équipé d'un système CNC de haute précision pour contrôler la trajectoire de coupe.

La découpe laser est une autre méthode très efficace qui utilise un faisceau laser à haute énergie tel que les lasers YAG ou CO_2 pour faire fondre ou vaporiser la surface des tiges de molybdène, ce qui la rend adaptée à la découpe rapide de tiges de molybdène grandes ou à paroi épaisse. La découpe laser présente l'avantage d'être sans contact et à grande vitesse, mais elle peut créer une zone affectée par la chaleur (HAZ) dans la zone de coupe, qui doit être éliminée par un polissage ultérieur. Le processus de découpe est effectué sous la protection d'un gaz inerte tel que l'azote ou l'argon pour éviter l'oxydation.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Les facteurs qui affectent la qualité de la coupe comprennent la vitesse de coupe, l'état de surface de la pièce et les conditions de refroidissement. Des vitesses de coupe trop rapides peuvent entraîner des fissures ou des surfaces rugueuses, et la couche d'oxyde de surface doit être éliminée de manière préventive pour améliorer la précision. Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie de découpe laser ultrarapide pour réduire la zone affectée par la chaleur ; Le système de coupe automatisé améliore l'uniformité de l'usinage en surveillant la trajectoire de coupe en temps réel.

9.1.2 Usinage (tournage, fraisage, perçage)

L'usinage est utilisé pour finir davantage les tiges de molybdène afin de répondre à des exigences complexes de forme et de taille, notamment le tournage, le fraisage et le perçage. Le tournage à l'aide d'un tour CNC permet d'usiner des tiges de molybdène à des diamètres précis ou à des géométries spécifiques, en utilisant des outils en carbure tels que WC-Co pour faire face à la dureté élevée du molybdène. L'usinage doit être effectué à basse vitesse et à des avances élevées, avec du liquide de refroidissement (par exemple une émulsion à base d'eau) pour réduire la température de coupe et éviter l'usure de l'outil et les dommages de surface de la pièce. La rugosité de surface après tournage peut atteindre Ra<0,8 μm, ce qui la rend adaptée aux applications électroniques et aérospatiales.

Le fraisage est utilisé pour usiner des plans, des rainures ou des contours complexes de tiges de molybdène, à l'aide de fraiseuses CNC et d'outils diamantés pour garantir une précision élevée et une qualité de surface. Les vibrations doivent être contrôlées pendant le processus de fraisage pour éviter les microfissures. Le perçage est utilisé pour traiter des trous traversants ou borgnes sur des tiges de molybdène, et est souvent utilisé pour fabriquer des électrodes ou des connecteurs, nécessitant l'utilisation de forets en acier rapide ou en carbure cémenté, et avec des fixations de haute précision pour assurer la précision de la position du trou.

Les facteurs qui affectent la qualité de l'usinage comprennent le matériau de l'outil, les données de coupe et la façon dont la pièce est maintenue. La fragilité du molybdène nécessite de faibles vitesses de coupe, et l'usure de l'outil doit être vérifiée régulièrement pour maintenir la précision de l'usinage. Les avancées technologiques comprennent l'application de technologies d'usinage d'ultra-précision, telles que les machines-outils CNC à cinq axes pour améliorer la capacité à traiter des formes complexes ; Développement de la technologie de découpe à sec pour réduire la pollution de l'environnement grâce au refroidissement par gaz inerte.

9.1.3 Technique de soudage et d'assemblage

Les techniques de soudage et d'assemblage sont utilisées pour connecter les tiges de molybdène à d'autres composants ou aux tiges de molybdène, que l'on trouve couramment dans les fours à haute température et les équipements électroniques. Le soudage par faisceau d'électrons (EBW) est la principale méthode qui utilise un faisceau d'électrons à haute énergie pour faire fondre des tiges de molybdène dans un environnement sous vide afin de former une soudure à haute résistance. L'environnement de vide (<10^{-3} Pa) empêche l'oxydation et la qualité du cordon de soudure est élevée, ce qui le rend adapté aux composants aérospatiaux. Le soudage sous gaz inerte (TIG) au

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

tungstène est également couramment utilisé pour le soudage à la baguette de molybdène, en utilisant une protection contre l'argon ou l'hélium, adaptée aux environnements sans vide, mais la température de soudage doit être contrôlée pour éviter la croissance des grains.

La technologie d'assemblage comprend également les assemblages mécaniques (par exemple, les assemblages filetés, le rivetage) et le brasage. La connexion mécanique nécessite des filetages ou des trous à la surface de la tige de molybdène, ce qui nécessite un usinage de haute précision pour assurer la résistance de la connexion. Le brasage utilise des métaux d'apport de brasage à haute température (par exemple, des alliages à base de Ni ou à base d'Ag) qui sont effectués sous vide ou sous atmosphère d'hydrogène et qui conviennent à l'assemblage de tiges de molybdène avec des matériaux différents (par exemple, des céramiques). Les facteurs qui affectent la qualité des soudures et des joints comprennent le contrôle de l'atmosphère, la température de la soudure et la conception des joints. Des traces d'oxygène peuvent provoquer l'oxydation de la soudure et le point de rosée de l'atmosphère (<-40°C) doit être strictement contrôlé.

Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie de soudage au laser pour contrôler avec précision l'apport de chaleur et réduire la zone affectée par la chaleur ; L'introduction de la technologie de contrôle par ultrasons pour surveiller la qualité des soudures en temps réel. De plus, le développement d'un nouveau métal de brasage a amélioré la résistance de la liaison entre la tige de molybdène et la céramique pour répondre aux besoins des composants complexes à haute température.

9.2 Exigences environnementales pour l'utilisation des tiges de molybdène

L'environnement dans lequel les tiges de molybdène sont utilisées a un impact significatif sur leurs performances et leur durée de vie, et une atmosphère appropriée et des mesures de protection doivent être sélectionnées en fonction du scénario d'application pour assurer sa stabilité dans des environnements à haute température ou corrosifs.

9.2.1 Vide et atmosphères inertes

Les tiges de molybdène sont sensibles à l'oxydation à haute température, elles sont donc principalement utilisées dans des atmosphères sous vide ou inertes (telles que l'argon, l'azote, l'hydrogène) pour empêcher l'oxydation de surface et la dégradation des performances. Les environnements sous vide ($<10^{-3}$ Pa) sont largement utilisés dans les fours à haute température, les tubes à vide et les équipements à semi-conducteurs, et conviennent aux tiges de molybdène en tant qu'éléments chauffants ou électrodes. Les systèmes de vide doivent être équipés de groupes de pompes à haut rendement (par exemple, des pompes turbomoléculaires) pour maintenir une basse pression et empêcher l'oxydation par des traces d'oxygène. L'atmosphère inerte utilise un gaz de haute pureté (pureté ≥ 99,999 %), qui maintient une atmosphère homogène grâce à un système de circulation de gaz pour éviter l'oxydation locale.

Les facteurs qui affectent l'efficacité de l'utilisation comprennent la pureté de l'atmosphère, l'étanchéité et le contrôle de la température. Des traces d'humidité (point de rosée >-40°C) peuvent provoquer l'oxydation de la surface de la tige de molybdène et doivent être éliminées à l'aide d'un

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

système de séchage. Les avancées technologiques comprennent le développement de systèmes d'ultravide (<10^{-6} Pa) pour améliorer la stabilité des tiges de molybdène dans des environnements extrêmes ; La technologie de surveillance de l'atmosphère en ligne utilise un analyseur de spectre pour détecter les niveaux d'oxygène et d'humidité en temps réel afin d'optimiser le contrôle de l'environnement.

9.2.2 Protection de l'environnement par oxydation à haute température

Dans les environnements oxydants à haute température, tels que les atmosphères d'air ou d'oxygène, les tiges de molybdène sont sujettes à la formation d'oxydes volatils (MoO_3), entraînant une perte de masse. Par conséquent, il est nécessaire d'appliquer un revêtement antioxydant (par exemple $MoSi_2$, SiC) ou d'utiliser une atmosphère protectrice. Les revêtements $MoSi_2$ sont appliqués par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou par pulvérisation plasma pour former une couche protectrice dense qui empêche efficacement l'oxydation à 1200-1600°C. Le revêtement doit être uniforme et sans fissures, avec une épaisseur de quelques dizaines à centaines de microns pour équilibrer protection et coût.

Les mesures de protection comprennent également la conception d'un corps de four étanche au gaz, combiné à un rinçage au gaz inerte, afin de réduire l'exposition à l'oxygène. Les facteurs qui affectent l'efficacité de la protection comprennent la qualité du revêtement, la température de fonctionnement et l'atmosphère ambiante. Les défauts de revêtement peuvent provoquer une oxydation localisée, ce qui nécessite des tests par ultrasons pour vérifier la qualité. Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie de nano-revêtement, qui améliore la compacité et l'adhérence du revêtement ; Les équipements d'essai d'oxydation dynamique optimisent les solutions de protection en surveillant le taux d'oxydation en temps réel.

9.3 Installation et fixation des tiges de molybdène

L'installation et la fixation de la tige de molybdène affectent directement ses performances et sa durée de vie, et il est nécessaire d'assurer la stabilité grâce à la technologie et à la conception scientifiques, en particulier dans des environnements à haute température et à stress complexes.

9.3.1 Processus d'installation et conception des appareils

Des tiges de molybdène doivent être installées pour assurer leur stabilité géométrique et leur force uniforme dans des environnements à haute température, que l'on trouve couramment dans les fours à haute température et les applications d'électrodes. Les processus d'installation comprennent le serrage, l'accrochage et l'emboîtement. Le serrage utilise des pinces à haute température (telles que les alliages de molybdène ou les céramiques) pour appliquer une pression uniforme à travers les boulons ou les ressorts afin d'éviter les concentrations de contraintes locales. La suspension est fixée au moyen d'un fil de molybdène ou d'un crochet en molybdène pour suspendre la barre, adapté aux éléments chauffants, et la résistance du point de suspension doit être assurée. Les tiges de molybdène imbriquées et fixes sont intégrées dans des fentes réfractaires, adaptées aux électrodes de fusion du verre, où les encoches doivent être usinées avec précision pour s'adapter à la taille de la barre.

La résistance aux hautes températures et à la corrosion est prise en compte dans la conception des

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

luminaires, et des matériaux tels que les alliages TZM ou les céramiques d'alumine sont souvent utilisés dans la fabrication des luminaires. La surface du luminaire doit être polie (Ra<1,6 μm) pour réduire les dommages causés par le frottement avec la tige de molybdène. Les facteurs qui affectent l'effet d'installation comprennent le matériau du luminaire, la force de fixation et la précision de l'installation. Une force de fixation excessive peut entraîner la déformation des tiges de molybdène, et la conception doit être optimisée par la simulation mécanique. Les avancées technologiques comprennent le développement d'équipements d'installation automatisés permettant de contrôler avec précision la position des luminaires à l'aide de robots ; La conception modulaire du luminaire améliore l'efficacité et la flexibilité de l'installation.

9.3.2 Conception adaptée à la dilatation thermique

La tige de molybdène a un faible coefficient de dilatation thermique (environ 5×10^{-6}/°C), ce qui peut provoquer une contrainte thermique avec d'autres matériaux (tels que la céramique et l'acier) à des températures élevées, il est donc nécessaire de concevoir pour l'adaptation de la dilatation thermique. La conception comprend la sélection de matériaux d'assemblage ayant des coefficients de dilatation thermique similaires (par exemple, les alliages Mo-La et les céramiques d'alumine) ou l'absorption des différences de dilatation thermique par des connexions flexibles (par exemple, des pinces à ressort). Un dégagement de dilatation (généralement de 0,1 à 0,5 mm) doit être réservé à l'installation afin d'éviter la déformation de l'extrusion à des températures élevées.

Les facteurs influençant l'adaptation de la dilatation thermique comprennent le choix du matériau, le gradient de température et le style de connexion. Un gradient de température excessif peut entraîner une concentration des contraintes, et la conception doit être optimisée par la simulation du champ thermique. Les progrès technologiques comprennent l'application de techniques d'analyse par éléments finis (FEA) pour prédire les distributions de contraintes thermiques ; Développement de luminaires composites pour équilibrer les exigences de dilatation thermique et de résistance.

9.4 Entretien et nettoyage des tiges de molybdène

L'entretien et le nettoyage des tiges de molybdène sont essentiels pour prolonger leur durée de vie et maintenir leurs performances, ce qui implique un nettoyage de surface et des inspections régulières pour garantir leur fiabilité dans des environnements difficiles.

9.4.1 Méthodes de nettoyage des surfaces

Le nettoyage de surface est utilisé pour éliminer les oxydes, les huiles et les contaminants de la surface des tiges de molybdène et restaurer leurs propriétés. Le nettoyage par ultrasons est une méthode courante qui utilise des vibrations à haute fréquence (20 à 40 kHz) pour créer des bulles dans l'eau déminéralisée ou des fluides de nettoyage neutres pour éliminer les contaminants de surface. La température de la solution de nettoyage est contrôlée à 40-60 °C pour éviter la corrosion de la tige de molybdène. Le décapage utilise une solution acide diluée (par exemple de l'acide nitrique à 10 % ou de l'acide chlorhydrique à 5 %) pour éliminer la couche d'oxyde, qui est réalisée dans une hotte et équipée d'un système de traitement des déchets liquides pour répondre aux exigences environnementales.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Le polissage mécanique élimine les oxydes tenaces avec du papier de verre ou de la pâte à polir (granulométrie 1-5 μm) et convient au nettoyage des taches. Après le nettoyage, il doit être séché avec de l'azote de haute pureté pour éviter la pollution secondaire. Les facteurs qui affectent l'efficacité du nettoyage comprennent la composition du liquide de nettoyage, le temps et l'état de la surface. Un temps de décapage excessif peut entraîner une corrosion de surface, qui doit être contrôlée avec précision. Les progrès technologiques comprennent l'application de technologies de nettoyage écologiques, l'utilisation d'agents de nettoyage respectueux de l'environnement (tels que l'acide citrique) pour réduire la pollution ; L'équipement de nettoyage automatisé utilise des capteurs pour surveiller le pH de la solution de nettoyage (6 à 8) afin d'améliorer l'efficacité du nettoyage.

9.4.2 Inspection et entretien périodiques

L'inspection et l'entretien périodiques sont utilisés pour surveiller les performances et l'état des tiges de molybdène et prévenir les défaillances. Les inspections comprennent l'observation de la qualité de surface (avec un microscope optique, grossissement de 50 à 100x), des mesures dimensionnelles (pied à coulisse laser, précision de 0,01 mm) et des contrôles non destructifs (par exemple, ultrasons, 5 MHz) pour détecter les fissures ou les défauts internes. L'entretien comprend le repolissage de la surface (Ra<0,8 μm), le remplacement du revêtement anti-oxydation ou la réparation des dommages mécaniques.

La fréquence d'entretien est déterminée en fonction de l'environnement d'utilisation, l'environnement d'oxydation à haute température doit être inspecté tous les mois et l'environnement de vide peut être vérifié tous les trimestres. Les facteurs qui affectent l'efficacité de la maintenance comprennent la fréquence des inspections, la précision de l'équipement et les spécifications de fonctionnement. Parmi les avancées technologiques, citons le développement d'un système de surveillance en ligne permettant de détecter la température de surface et l'état d'oxydation en temps réel grâce à des caméras infrarouges ; La plate-forme de maintenance intelligente prédit les cycles de maintenance grâce à l'analyse des données et réduit les temps d'arrêt.

9.5 Spécifications de fonctionnement de sécurité pour les tiges de molybdène

Des pratiques d'utilisation sûres pour les tiges de molybdène garantissent la sécurité des personnes et la protection de l'équipement pendant le traitement et l'utilisation, en particulier dans les environnements à haute température et de manipulation de produits chimiques.

9.5.1 Précautions pour un fonctionnement à haute température

Les barres de molybdène sont soumises à des règles de sécurité strictes lors d'opérations à haute température (par exemple, fours à haute température, soudage). Les opérateurs sont tenus de porter des vêtements de protection, des gants et des masques pour les protéger des rayonnements thermiques et des éclaboussures. Le four haute température doit être équipé d'un système de mise hors tension automatique pour éviter les accidents causés par une surchauffe (>1800°C). L'installation et le démontage de la tige de molybdène doivent être effectués après refroidissement à température ambiante pour éviter les contraintes thermiques entraînant une rupture.

Les facteurs qui affectent la sécurité des opérations à haute température comprennent l'étanchéité

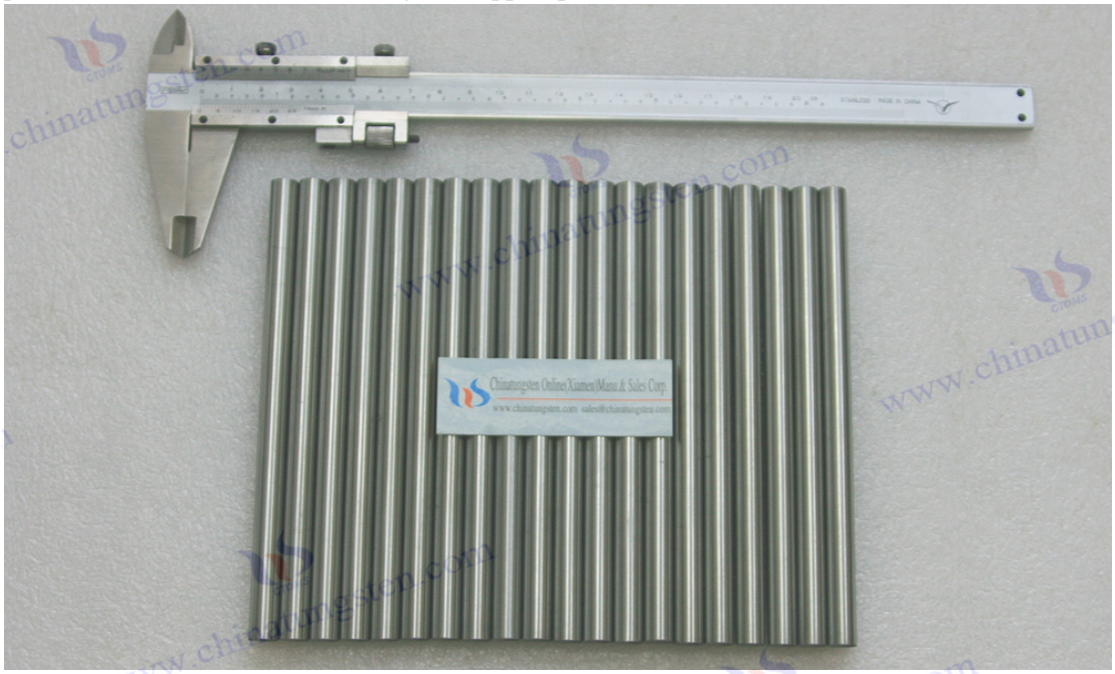
Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de l'équipement, le contrôle de la température et la formation de l'opérateur. Une mauvaise étanchéité peut entraîner une oxydation due à une fuite d'oxygène, et le niveau de vide ($<10^{-3}$ Pa) doit être vérifié régulièrement. Les progrès technologiques comprennent l'application d'un système intelligent de contrôle de la température pour surveiller la température dans le four en temps réel (précision ± 1°C) ; La technologie de commande à distance réduit les risques pour le personnel en effectuant le travail à chaud à l'aide de robots.

9.5.2 Spécifications de sécurité pour la manipulation des produits chimiques

Les traitements chimiques (par exemple, décapage, préparation du revêtement) sont soumis à des règles de sécurité strictes afin d'éviter les dommages chimiques. L'opération s'effectue dans une hotte équipée d'un dispositif de traitement des gaz d'échappement (par exemple adsorption sur charbon actif) pour absorber les gaz acides. Les opérateurs doivent porter des gants, des lunettes de protection et des respirateurs résistants à l'acide pour éviter tout contact avec la peau et l'inhalation de gaz nocifs. La solution de décapage doit être stockée dans un récipient spécial, avec une concentration indiquée (par exemple 10 % d'acide nitrique) et vérifiée régulièrement pour détecter les fuites.

Les facteurs qui affectent la sécurité du traitement chimique comprennent le stockage des produits chimiques, l'élimination des déchets et les meilleures pratiques. Les déchets liquides doivent être neutralisés (pH 6-9) avant d'être évacués, conformément à la norme GB 25466-2010. Les progrès technologiques comprennent la mise au point d'équipements automatisés de traitement chimique pour réduire les contacts humains ; Le système de surveillance en temps réel utilise des capteurs pour détecter les concentrations de gaz (<1 ppm) pour une sécurité accrue.



CTIA GROUP LTD tiges de molybdène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
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

Chapitre 10 Recyclage et développement durable des tiges de molybdène

En tant que matériau métallique réfractaire de grande valeur, la production et l'utilisation de la tige de molybdène ont un impact important sur les ressources et l'environnement. Avec l'accent mis à l'échelle mondiale sur le développement durable, le recyclage et la production verte de tiges de molybdène sont devenus l'orientation clé du développement de l'industrie. Ce chapitre examine en détail le processus de recyclage des tiges de molybdène, l'impact environnemental et l'amélioration de la production verte, ainsi que les stratégies d'économie circulaire et de durabilité. Grâce à une technologie de recyclage efficace, à l'optimisation des processus de protection de l'environnement et à la mise en œuvre d'un modèle d'économie circulaire, la consommation de ressources et la pollution de l'environnement peuvent être considérablement réduites et le développement durable de l'industrie des tiges de molybdène peut être encouragé. Ceux-ci fournissent des conseils techniques aux producteurs tout en répondant aux réglementations environnementales mondiales et à la demande du marché pour des matériaux verts.

10.1 Processus de recyclage des tiges de molybdène

Le processus de recyclage des tiges de molybdène est conçu pour extraire le molybdène de haute pureté des déchets et le réutiliser dans la production, réduisant ainsi la dépendance aux minéraux vierges. Le processus de recyclage comprend la collecte et le tri des déchets ainsi que des technologies de recyclage et de purification pour assurer un recyclage efficace tout en maintenant la qualité du molybdène.

10.1.1 Collecte et tri des déchets

La collecte et le tri des déchets constituent la première étape du recyclage des tiges de molybdène, qui implique la récupération des déchets de tiges de molybdène, des copeaux traités et des pièces en fin de vie de la production et de l'utilisation. Les sources de rebut comprennent les déchets provenant de la production de barres de molybdène (p. ex., les copeaux de coupe et de tournage), les tiges de molybdène usagées (p. ex., les éléments chauffants de four à haute température, les électrodes de fusion du verre) et les composants à base de molybdène mis au rebut (p. ex., pièces structurelles aérospatiales). Le processus de collecte nécessite un système de recyclage robuste pour garantir une collecte efficace des déchets dans l'usine, les utilisateurs et les stations de recyclage.

Le tri est effectué en fonction de la forme, de la composition et du degré de contamination des déchets. Les tiges de molybdène solide (par exemple, les électrodes usagées) font la distinction entre le molybdène de haute pureté et le molybdène dopé (par exemple, TZM, Mo-La) par une inspection visuelle et une analyse chimique. Les déchets en poudre (par exemple les copeaux) sont tamisés et séparés magnétiquement pour éliminer les impuretés métalliques (par exemple la limaille de fer). Les déchets fortement contaminés (par exemple, les pièces avec des surfaces oxydées ou les pièces contaminées par l'huile) doivent être pré-nettoyés pour éliminer les oxydes ou les matières organiques. L'équipement de tri comprend des tamis vibrants, des séparateurs magnétiques et des systèmes de tri optique pour garantir que les déchets sont regroupés par type et par pureté.
Les facteurs influençant l'efficacité de la collecte et du tri des déchets comprennent la couverture du système de recyclage, le degré de pollution par les déchets et la précision du tri. Les déchets

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

fortement pollués peuvent augmenter le coût de l'épuration ultérieure, et le processus de prétraitement doit être optimisé. Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie de tri automatisé pour identifier les types de déchets grâce à la vision artificielle et à l'intelligence artificielle afin d'améliorer l'efficacité du tri ; L'introduction de la technologie blockchain assure la traçabilité des sources de déchets et optimise la gestion de la chaîne d'approvisionnement.

10.1.2 Technologie de recyclage et de purification

La technologie de recyclage et de purification est utilisée pour convertir les déchets triés en poudre de molybdène de haute pureté ou en tiges de molybdène réutilisables, ce qui implique une purification chimique et un traitement métallurgique. L'épuration chimique se fait principalement par le procédé hydrométallurgique, qui dissout les déchets dans des solutions acides ou alcalines (telles que l'ammoniac ou l'acide nitrique) pour en extraire le molybdate ou l'oxyde de molybdène. La solution est filtrée et précipitée pour éliminer les impuretés (par exemple, le fer, le cuivre). Par la suite, l'oxyde de molybdène de haute pureté est généré par cristallisation ou par grillage, qui est réduit en poudre de molybdène (pureté ≥99,95 %) sous atmosphère d'hydrogène. L'équipement comprend un réacteur, un filtre et un four de réduction tubulaire, et l'atmosphère (point de rosée <-40°C) doit être strictement contrôlée pour éviter l'oxydation.

Le traitement métallurgique est appliqué aux tiges de molybdène solide pour éliminer les impuretés volatiles (telles que le carbone, l'oxygène) par fusion sous vide ou par fusion par faisceau d'électrons pour produire des lingots de molybdène de haute pureté. Les fours de fusion sous vide doivent maintenir un niveau de vide élevé ($<10^{-3}$ Pa) pour garantir que le processus de fusion est exempt de pollution. Les lingots de molybdène purifiés peuvent être transformés en tiges de molybdène par métallurgie des poudres ou par traitement thermique. Les facteurs qui affectent les résultats de purification comprennent la pureté initiale des déchets, les paramètres du processus de purification et l'étanchéité de l'équipement. Les déchets très polluants peuvent nécessiter plusieurs étapes d'épuration pour augmenter la consommation d'énergie.

Le progrès technologique comprend le développement de technologies de purification vertes, telles que l'utilisation de solvants respectueux de l'environnement (acide citrique) au lieu d'acides forts pour réduire la pollution des déchets liquides ; L'application de la technologie d'échange d'ions améliore l'efficacité de l'élimination des impuretés. De plus, le système de purification automatisé optimise l'efficacité de la purification et la récupération du molybdène en surveillant la composition de la solution et les paramètres de l'atmosphère en temps réel.

10.2 Impact environnemental de la tige de molybdène et de la production verte

Le processus de production des tiges de molybdène implique une forte consommation d'énergie et une pollution potentielle de l'environnement, et l'application de technologies de production vertes peut réduire considérablement l'impact environnemental et répondre aux objectifs de développement durable.

10.2.1 Consommation d'énergie et émissions dans le processus de production

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La production de tiges de molybdène comprend la purification des matières premières, la métallurgie des poudres, le traitement thermique et le traitement de surface, chacun d'entre eux consommant beaucoup d'énergie et générant des émissions. La purification des matières premières (par exemple, la torréfaction et la réduction) est effectuée à des températures élevées (600-1000°C), ce qui consomme beaucoup d'électricité et peut libérer des oxydes de soufre (par exemple SO_2) pendant le processus de torréfaction. Le processus de frittage en métallurgie des poudres utilise des fours à vide ou à hydrogène, qui doivent maintenir des températures élevées (1500-1800°C) et une atmosphère de haute pureté pour augmenter la consommation d'énergie. Le traitement à chaud (par exemple, forgeage, laminage) nécessite un chauffage répété et consomme beaucoup d'électricité. Les traitements de surface (par exemple le décapage) produisent des déchets liquides acides et des gaz d'échappement, qui doivent être correctement éliminés pour être conformes aux réglementations environnementales (par exemple GB 25466-2010).

Les émissions comprennent principalement les gaz d'échappement (par exemple le SO_2, les NOx), les eaux usées (contenant des acides ou des métaux lourds) et les déchets solides (par exemple les scories). Les gaz résiduaires doivent être traités par épuration humide ou adsorption sur charbon actif, les eaux usées doivent être neutralisées (pH 6-9) avant d'être rejetées, et les déchets solides doivent être triés et recyclés ou mis en décharge en toute sécurité. Les facteurs influençant l'impact environnemental comprennent l'échelle de la production, l'efficacité de l'équipement et la capacité de traitement des déchets. Les progrès technologiques comprennent l'application de systèmes de surveillance de la consommation d'énergie pour enregistrer les données de consommation d'énergie et d'émissions en temps réel grâce à des capteurs ; Le développement de la technologie de récupération de la chaleur résiduelle utilise la chaleur résiduelle du four à haute température pour préchauffer les matières premières et réduire la consommation d'énergie.

10.2.2 Amélioration du processus de protection de l'environnement

Les améliorations des processus environnementaux visent à réduire la consommation d'énergie et les émissions dans la production de tiges de molybdène et à améliorer l'utilisation des ressources. Les améliorations comprennent l'optimisation du processus de torréfaction, le remplacement des fours rotatifs traditionnels par des torréfacteurs à lit fluidisé, l'amélioration de l'efficacité thermique et la réduction des émissions de SO_2 par la circulation des flux de gaz. Le processus de réduction utilise des agents réducteurs écologiques, tels que l'hydrogène dérivé de la biomasse, pour remplacer les combustibles fossiles traditionnels et réduire l'empreinte carbone. Le processus de frittage adopte un four de chauffage par induction à fréquence intermédiaire pour contrôler avec précision la température (±1°C), raccourcir le temps de chauffage et réduire la consommation d'énergie.

En termes de traitement des déchets, le système de recyclage des eaux usées récupère l'acide et l'eau grâce à la technologie de l'échange d'ions et de l'osmose inverse pour réduire les émissions. Le traitement des gaz d'échappement utilise des catalyseurs à haut rendement, tels que la technologie SCR, pour convertir les NOx en gaz inoffensifs. Les déchets solides sont recyclés par fusion à haute température afin de réduire la quantité de molybdène dans les sites d'enfouissement. Les facteurs influençant l'efficacité des améliorations comprennent l'investissement en équipement, la stabilité du processus et la maturité technologique. Les avancées technologiques comprennent l'application

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de systèmes de contrôle intelligents pour optimiser les paramètres du processus et réduire la consommation d'énergie grâce à l'IA ; La mise en œuvre de systèmes de certification écologiques, tels que l'ISO 14001, guide les entreprises vers une production respectueuse de l'environnement.

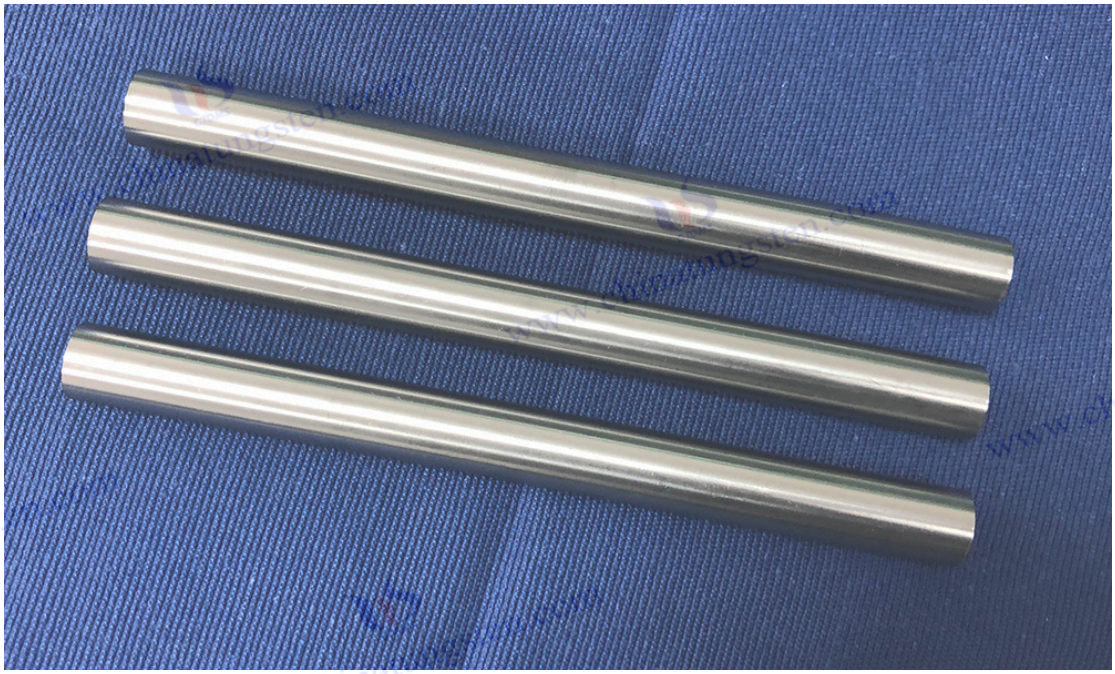
10.3 Économie circulaire et stratégie de développement durable de la tige de molybdène

La stratégie d'économie circulaire et de développement durable favorise le développement vert de l'industrie des tiges de molybdène et réduit la dépendance aux ressources primaires grâce au recyclage des ressources et aux synergies industrielles.

Le modèle d'économie circulaire met l'accent sur la gestion du cycle de vie complet des tiges de molybdène, de la production au recyclage. Les déchets de tiges de molybdène sont recyclés et purifiés et réintroduits dans la chaîne de production pour fabriquer de nouvelles tiges de molybdène ou des produits à base de molybdène, réduisant ainsi l'extraction de la molybdénite. Le modèle circulaire comprend la mise en place d'un réseau de recyclage des déchets, en collaboration avec les utilisateurs et les stations de recyclage pour assurer une collecte efficace des déchets ; Optimiser le processus de purification pour améliorer le taux de récupération (objectif > 95 %) ; Développement de technologies de reconditionnement pour transformer le molybdène recyclé en produits à haute valeur ajoutée tels que des cibles de pulvérisation ou des poudres d'impression 3D.

Les stratégies de durabilité comprennent la conservation des ressources, le respect de l'environnement et la responsabilité sociale. Conservation des ressources : Réduction des déchets de matières premières grâce à des processus de production efficaces tels que le forgeage isotherme ; Respectueux de l'environnement : réduire les émissions grâce aux technologies vertes et au recyclage des déchets ; La responsabilité sociale comprend la sensibilisation des employés à l'environnement et le soutien aux projets de durabilité communautaire. Les facteurs influençant la mise en œuvre d'une économie circulaire comprennent l'exhaustivité des systèmes de recyclage, le coût de la technologie et la demande du marché. Les avancées technologiques comprennent l'application de la technologie des jumeaux numériques pour optimiser les processus de recyclage et de production grâce à des modèles virtuels ; La technologie blockchain assure la transparence de la chaîne de recyclage. En outre, le soutien politique, tel que la loi chinoise sur la promotion de l'économie circulaire, offre des incitations à l'industrie des tiges de molybdène pour promouvoir le développement durable.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



CTIA GROUP LTD tiges de molybdène

Chapitre 11 : La dernière technologie et la tendance future des tiges de molybdène

En tant que matériau métallique réfractaire haute performance, la tige de molybdène est en constante expansion dans l'aérospatiale, l'électronique, les nouvelles énergies et d'autres domaines, et sa recherche et développement technologiques et sa mise à niveau industrielle favorisent le développement de l'industrie dans une direction plus efficace, verte et intelligente. Ce chapitre traite en détail des progrès de la recherche et du développement des alliages à base de molybdène, du développement de barres de molybdène nanostructurées, des technologies de production et d'essai intelligentes, du potentiel des barres de molybdène dans le domaine des nouvelles énergies, ainsi que des orientations et des défis futurs de la recherche. Reflétant les dernières frontières de la technologie des tiges de molybdène, ces contenus sont conçus pour fournir aux fabricants, aux chercheurs et aux utilisateurs des informations techniques qui aident l'industrie à garder une longueur d'avance sur la concurrence mondiale tout en relevant les défis de la durabilité et de l'innovation technologique.

11.1 Progrès de la recherche et du développement d'alliages à base de molybdène

Les alliages à base de molybdène améliorent considérablement les performances à haute température, la résistance au fluage et la résistance à la corrosion des tiges de molybdène en optimisant leur composition et leur microstructure, répondant ainsi aux besoins d'applications exigeantes telles que les industries aérospatiale et nucléaire. La R&D se concentre sur l'optimisation des alliages TZM et Mo-La ainsi que sur les nouvelles technologies de dopage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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 ≥ 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 g/cm³
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	≥ 590 MPa
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	≥ 490 MPa
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	Φ1 mm – Φ200 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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

11.1.1 Optimisation des alliages TZM et Mo-La

L'alliage TZM (titane-zirconium-molybdène) améliore considérablement la résistance, la résistance au fluage et la stabilité à haute température du molybdène en ajoutant une petite quantité de titane, de zirconium et de carbone, et est largement utilisé dans les fours à haute température, les pièces structurelles aérospatiales et d'autres domaines. La dernière R&D optimise encore les propriétés des alliages TZM grâce à un contrôle précis des rapports d'éléments de dopage et des processus de traitement thermique. Par exemple, les technologies de forgeage isotherme et de refroidissement contrôlé sont utilisées pour affiner la taille des grains et améliorer la résistance à la fatigue thermique. Au cours du processus de traitement thermique, l'atmosphère et le gradient de température sont contrôlés avec précision pour réduire l'oxydation des joints de grains et améliorer la stabilité à long terme de l'alliage à haute température.

Les alliages Mo-La (molybdène-lanthane) sont dopés à l'oxyde de lanthane (La_2O_3) pour améliorer la résistance au fluage et à l'oxydation, ce qui les rend particulièrement adaptés aux électrodes de fusion du verre et aux éléments chauffants à haute température. Les progrès de la R&D comprennent l'optimisation de la distribution et de la taille des particules d'oxyde de lanthane, et la dispersion uniforme des particules d'oxyde dans la matrice de molybdène grâce à la technologie de dopage en phase liquide et de frittage à haute température, afin d'améliorer la force de liaison interfaciale. La technologie de revêtement anti-oxydation des alliages Mo-La est également en cours d'amélioration, comme l'application de revêtements $MoSi_2$ par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) pour améliorer leur durabilité dans les environnements oxydants.

Les facteurs influençant l'optimisation des alliages TZM et Mo-La comprennent l'uniformité du dopage, le processus de traitement thermique et le coût de production. Un dopage inégal peut entraîner des performances instables et doit être traité par un équipement de mélange de haute précision. Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie du rayonnement synchrotron et l'analyse en temps réel de la distribution des éléments dopés ; Le nouveau four de traitement thermique utilise le chauffage par induction pour améliorer l'uniformité de la température et optimiser les propriétés de l'alliage.

11.1.2 Nouvelles technologies de dopage

La nouvelle technologie de dopage améliore encore les propriétés globales des barres de molybdène en introduisant des éléments de terres rares (tels que le cérium et l'yttrium) ou d'autres éléments métalliques (tels que le tungstène et le rhénium). Le dopage aux terres rares améliore la résistance au fluage et la résistance à haute température du molybdène en formant des particules d'oxyde à l'échelle nanométrique, ce qui le rend adapté aux réacteurs nucléaires et aux applications supraconductrices à haute température. Par exemple, les alliages Mo-Ce améliorent considérablement la résistance aux radiations en ajoutant de l'oxyde de cérium. Le dopage au tungstène ou au rhénium améliore la dureté et la résistance à la corrosion des tiges de molybdène grâce au renforcement en solution, qui convient aux composants des systèmes de propulsion aérospatiaux.

Le processus de dopage doit être réalisé par la métallurgie des poudres ou la technologie de fusion, et le dopage en phase liquide et le dopage au plasma sont devenus des méthodes émergentes qui

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

peuvent obtenir une distribution uniforme au niveau nanométrique. Les facteurs influençant l'efficacité du dopage comprennent le choix des dopants, la taille des particules et le contrôle du processus. Les progrès technologiques comprennent le développement de la technologie de nanodopage pour préparer des particules dopées ultrafines par broyage à billes ou dépôt en phase vapeur ; Les techniques d'analyse in situ, telles que la diffraction des rayons X, surveillent le processus de dopage en temps réel et améliorent la cohérence. De plus, l'application de dopants verts (tels que les agents réducteurs biosourcés) réduit la pollution de l'environnement.

11.2 Développement de bâtonnets de molybdène nanostructurés

Les tiges de molybdène nanostructurées améliorent considérablement la résistance, la ténacité et la résistance à la corrosion en contrôlant la microstructure à l'échelle nanométrique (taille des grains< 100 nm), ce qui convient aux domaines de pointe tels que la microélectronique et l'impression 3D. Le processus de développement comprend des technologies de préparation de nanopoudres, de frittage et de moulage. La poudre de nano-molybdène est préparée par broyage à billes à haute énergie ou dépôt en phase vapeur, et la taille des particules est contrôlée avec précision pour assurer l'uniformité. Le frittage utilise la technologie de frittage par plasma d'étincelle (SPS) pour réaliser un moulage à haute densité à haute température et à haute pression (1500-1800 °C, 50-100 MPa) dans un court laps de temps, tout en préservant la nanostructure.

Le défi des tiges de molybdène nanostructurées est de maintenir la stabilité des nanocristaux, qui sont faciles à cultiver à haute température et doivent être supprimés par dopage ou revêtement. Le dopage à l'oxyde de lanthane ou à l'oxyde d'yttrium peut clouer les joints de grains et empêcher la croissance des grains ; Les revêtements SiC ou Al_2O_3 améliorent la résistance à la corrosion de surface. Les facteurs influençant les résultats de développement comprennent la qualité de la poudre, les paramètres de frittage et le contrôle des coûts. Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie de frittage laser ultrarapide, qui contrôle avec précision la vitesse de chauffage et réduit la croissance des grains ; La microscopie à rayonnement synchrotron est utilisée pour analyser l'évolution des nanostructures. De plus, la technologie d'impression 3D de tiges de molybdène nanostructurées réalise le moulage direct de formes complexes par dépôt de fusion au laser.

11.3 Technologie de production et d'essai intelligente

Grâce à l'automatisation, à l'analyse des données et à l'intelligence artificielle, la technologie intelligente de production et d'inspection a considérablement amélioré l'efficacité, la qualité et la traçabilité de la production de tiges de molybdène, s'adaptant à la tendance de développement de l'industrie 4.0.

11.3.1 Surveillance en ligne et analyse des mégadonnées

Le système de surveillance en ligne utilise des capteurs pour capturer en temps réel les paramètres clés du processus de production, tels que la température, la pression, la taille et la composition de l'atmosphère, afin d'optimiser le processus et de contrôler la qualité. Par exemple, un thermomètre infrarouge dans le four de frittage (précision ± 1 °C) surveille la distribution de la température en temps réel, un pied à coulisse laser (précision ± 0,01 mm) détecte la taille des barres de molybdène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

et un spectromètre infrarouge analyse la teneur en oxygène et en humidité de l'atmosphère (point de rosée <-40 °C). L'analyse du Big Data permet de collecter d'énormes quantités de données de production afin d'identifier les anomalies de processus et d'optimiser le paramétrage. Par exemple, en analysant la relation entre la température et la densité de frittage, il est possible de raccourcir le temps de frittage et de réduire la consommation d'énergie.

Les facteurs qui affectent l'efficacité de la surveillance en ligne comprennent la précision des capteurs, la fréquence d'acquisition des données et l'intégration du système. Les avancées technologiques comprennent l'application de la technologie de l'Internet des objets (IoT) pour permettre l'interconnexion des appareils et le partage de données ; La plate-forme cloud prédit les pannes d'équipement grâce à des algorithmes de big data et réduit les temps d'arrêt. De plus, la technologie des jumeaux numériques simule le processus de production à l'aide d'un modèle virtuel afin d'optimiser les paramètres du processus.

11.3.2 Application de l'intelligence artificielle dans la production de tiges de molybdène

L'intelligence artificielle (IA) est utilisée dans la production de tiges de molybdène pour l'optimisation des processus, la prédiction de la qualité et le diagnostic des défauts. Les algorithmes d'apprentissage automatique analysent les données historiques pour optimiser les paramètres de métallurgie des poudres et de traitement thermique. Par exemple, un modèle de réseau neuronal prédit la densité et la taille des grains de la tige de molybdène pendant le processus de frittage, en guidant les réglages de température et de pression. L'IA est également utilisée dans la reconnaissance d'images pour détecter des défauts microscopiques tels que la porosité ou les inclusions en analysant des images au microscope (grossissement de 50 à 100x). Le système de diagnostic des pannes analyse les données des capteurs grâce à l'IA pour prédire l'usure ou la défaillance de l'équipement et planifier la maintenance à l'avance.

Les facteurs qui affectent l'efficacité des applications d'IA comprennent la qualité des données, la précision des algorithmes et la puissance de calcul. Les avancées technologiques comprennent l'application de réseaux antagonistes génératifs (GAN) pour simuler l'évolution de la microstructure des tiges de molybdène ; L'introduction de la technologie Edge Computing permet de traiter les données en temps réel sur le site de production afin de réduire la latence. De plus, l'IA est combinée à la blockchain pour assurer la sécurité et la traçabilité des données de production.

11.4 Le potentiel des tiges de molybdène dans le domaine des nouvelles énergies

Le potentiel d'application de la tige de molybdène dans le domaine des nouvelles énergies continue d'émerger, en particulier dans les domaines de l'énergie hydrogène, du stockage d'énergie et de la supraconductivité à haute température, montrant des avantages uniques avec ses performances à haute température et sa stabilité chimique.

11.4.1 Applications de l'énergie hydrogène et du stockage de l'énergie

Les barres de molybdène sont utilisées dans le domaine de l'énergie hydrogène pour les électrodes et les composants à haute température des équipements de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau en raison de leur excellente conductivité et de leur résistance à la corrosion. En tant que

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

matériau d'électrode, la tige en alliage Mo-La peut fonctionner de manière stable dans un électrolyte alcalin à haute température et prolonger la durée de vie de l'électrode. Dans le domaine du stockage d'énergie, les tiges de molybdène sont utilisées dans les électrodes ou les collecteurs de courant des batteries métalliques liquides à haute température, qui sont soumises à des températures élevées (>600°C) et à des environnements corrosifs. La production nécessite un usinage de précision et des revêtements de surface (par exemple, $MoSi_2$) pour améliorer la résistance à la corrosion.

Les facteurs qui affectent l'efficacité de l'application comprennent l'état de surface de l'électrode, la composition de l'électrolyte et la température de fonctionnement. Les progrès technologiques comprennent l'application de la technologie de nano-revêtement pour améliorer l'efficacité catalytique des électrodes ; Développement d'une technologie de fabrication additive pour la préparation d'électrodes à base de molybdène aux formes complexes. De plus, l'application de tiges de molybdène dans les batteries à l'état solide a montré un potentiel d'amélioration de la conductivité électrique par dopage.

11.4.2 Support de matériau supraconducteur à haute température

Les tiges de molybdène sont utilisées dans le domaine de la supraconductivité à haute température pour les structures de support ou les électrodes, et sont utilisées dans les aimants supraconducteurs et les équipements de transmission de puissance. Les barres en alliage TZM ou Mo-W sont stables dans des environnements d'azote liquide ou d'hélium (-196°C à -269°C) en raison de leur résistance élevée et de leur faible coefficient de dilatation thermique. Un usinage ultra-précis est nécessaire pour assurer la précision dimensionnelle (±0,01 mm) et le polissage de surface (Ra <0,4 μm) afin de réduire la résistance. L'environnement d'exploitation doit contrôler strictement l'oxygène et l'humidité pour éviter la contamination par des matériaux supraconducteurs.

Les facteurs qui affectent l'efficacité de l'application comprennent la pureté du matériau, la précision du traitement et les performances à basse température. Les avancées technologiques comprennent le développement d'alliages Mo-Re pour améliorer la ténacité à basse température ; La technique d'essai in situ évalue les performances des barres de molybdène par un essai de traction à basse température. De plus, la recherche sur l'application des barres de molybdène dans les réacteurs à fusion nucléaire, comme les composants de support des dispositifs tokamaks, montre un potentiel à long terme.

11.5 Orientations de recherche futures et défis des tiges de molybdène

Les futures orientations de recherche de la tige de molybdène comprennent les aspects suivants :

Développement d'alliages haute performance : recherche et développement de nouveaux alliages à base de molybdène (tels que Mo-Re, Mo-Nb) pour améliorer la résistance aux radiations et la résistance aux hautes températures pour répondre aux besoins de l'industrie nucléaire et de l'aérospatiale.
Applications des nanotechnologies : Développement de tiges de molybdène nanostructurées stables pour explorer leurs applications en microélectronique et en biomédecine, telles que les nanoélectrodes ou les capteurs implantables.

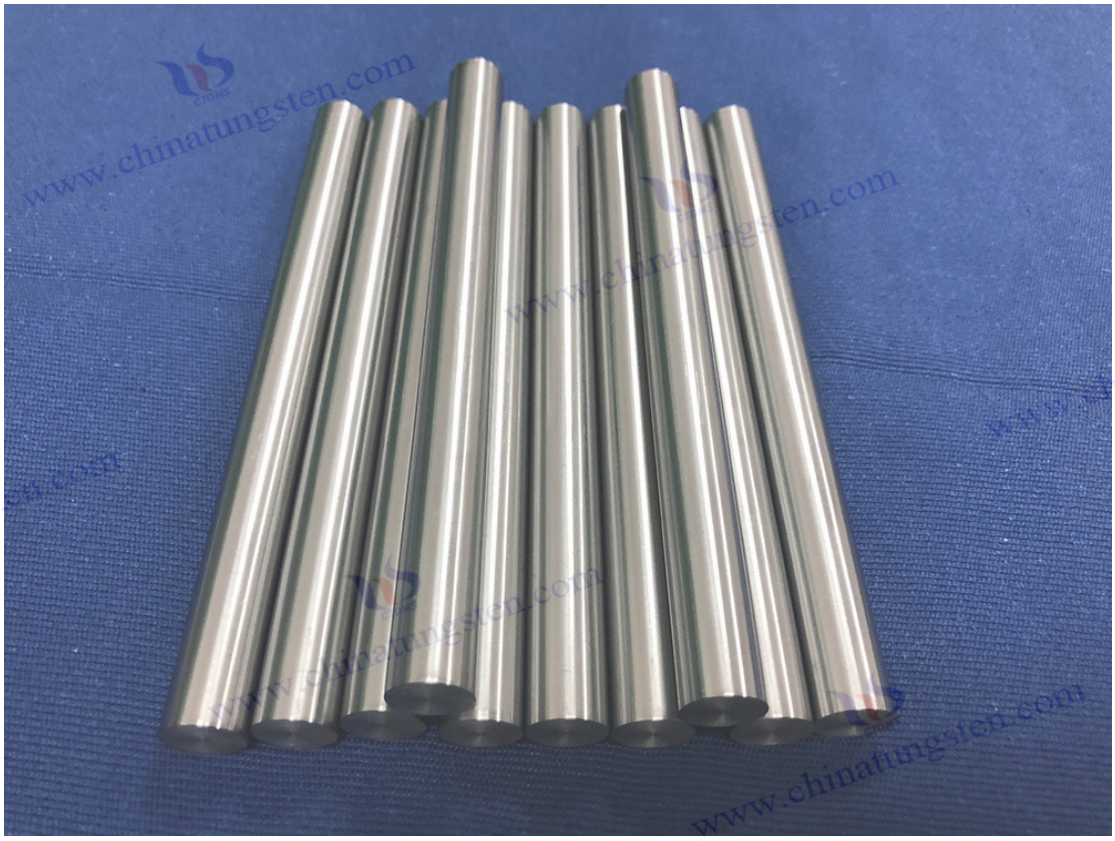
Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Technologie de production verte : Promouvoir les technologies d'épuration et de recyclage à faible consommation d'énergie afin de réduire les émissions de gaz résiduaires et d'eaux usées, conformément à l'objectif de neutralité carbone.
Fabrication intelligente : Approfondir l'application de l'IA et de la technologie des jumeaux numériques dans la production afin de réaliser l'automatisation et l'optimisation de l'ensemble du processus.
Nouvelle expansion énergétique : explorez de nouvelles applications des barres de molybdène dans la fusion nucléaire, les cellules solaires à pérovskite et le stockage d'énergie à haute performance.

Les principaux défis sont les suivants :
Contrôle des coûts : Le coût des nouvelles technologies de dopage et de nanotechnologie est élevé, et le processus doit être optimisé pour réduire les coûts de production.
Pressions environnementales : Des réglementations environnementales strictes exigent une meilleure gestion des déchets et de l'énergie, ainsi qu'une augmentation des investissements dans la technologie.
Stabilité technique : La stabilité à long terme des nanostructures et des technologies intelligentes doit être vérifiée plus avant.
Concurrence sur le marché : les tiges de molybdène doivent rivaliser avec des matériaux alternatifs tels que le tungstène et le niobium, et le rapport performance/prix doit être amélioré.

Les avancées technologiques comprennent la collaboration interdisciplinaire pour accélérer l'innovation grâce à la convergence de la science des matériaux, de l'intelligence artificielle et des nouvelles technologies énergétiques ; Augmentation des projets de coopération internationale visant à promouvoir le partage de technologies et l'harmonisation des normes.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



CTIA GROUP LTD tiges de molybdène

Appendice

A. Glossaire

Tige de molybdène : Un matériau semblable à une tige fabriqué à partir de molybdène de haute pureté ou d'alliages de molybdène, couramment utilisé dans des applications à haute température ou à haute performance.

Alliage TZM : Alliage titane-zirconium-molybdène, avec une excellente résistance à haute température et une résistance au fluage.

Alliage Mo-La : Alliage de molybdène-lanthane pour améliorer la résistance à l'oxydation et la ductilité à haute température.

Métallurgie des poudres: Le processus de préparation des matériaux par pressage et frittage de poudres métalliques.

Frittage: Le processus de chauffage d'une poudre métallique à une température inférieure au point de fusion pour former un matériau solide.

Travail à chaud : Le processus de déformation plastique du métal à haute température.

Contrôle non destructif (CND) : Méthode de détection des défauts internes sans endommager la structure d'un matériau, comme le contrôle par ultrasons, l'inspection par rayons X.

Revêtement anti-oxydation : Utilisé pour protéger le revêtement de surface de la tige de molybdène dans un environnement d'oxydation à haute température.

Fluage : Phénomène par lequel un matériau se déforme lentement sous des températures élevées et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

des contraintes constantes.

Cible de pulvérisation : Matériau utilisé pour la préparation de films minces par dépôt physique en phase vapeur (PVD).

B. Références

[1] Chinatungsten en ligne. Production de tiges de molybdène avec des spécifications standard.
[2] GB/T 3462-2017. Norme nationale pour la tige de molybdène et la barre de molybdène.
[3] Journal de la science et de l'ingénierie des matériaux. Recherche sur le recyclage des tiges de molybdène et la production respectueuse de l'environnement.
[4] YS/T 495-2005. Méthodes d'analyse chimique du molybdène et des alliages de molybdène.
[5] GB 25466-2010. Normes d'émission de polluants industriels pour les métaux non ferreux.
[6] GB/T 4188-2015. Barre en alliage de molybdène TZM standard.
[7] Journal de la science et de l'ingénierie des matériaux. Propriétés et préparation des barres d'alliage à base de molybdène.
[8] Rapport sur le développement de l'industrie du molybdène. Association chinoise de l'industrie des métaux non ferreux.
[9] Matériaux de la nature. Alliages de molybdène haute performance pour les applications énergétiques.
[10] Matériaux avancés. L'IA dans la fabrication des matériaux.
[11] Énergie renouvelable. Le molybdène dans l'hydrogène et le stockage de l'énergie.
[12] Association internationale du molybdène (IMOA). Recyclage du molybdène et durabilité.
[13] ASTM B387-18. Spécification standard pour les barres, les tiges et les fils en molybdène et en alliage de molybdène.
[14] ISO 6892-1:2019. Matériaux métalliques – Essais de traction.
[15] ASTM E8/E8M-21. Méthodes d'essai standard pour les essais de traction des matériaux métalliques.
[16] Norme ASTM E9-19. Méthodes d'essai standard pour les essais de compression des matériaux métalliques.
[17] Norme ASTM E290-14. Méthodes d'essai standard pour l'essai de ductilité du matériau.
[18] Association internationale du molybdène (IMOA). Test et analyse du molybdène.
[19] Association internationale du molybdène (IMOA). Aperçu du marché mondial du molybdène.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved