

Encyclopédie du fil 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
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

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

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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
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

Répertoire

Chapitre 1 : Introduction

- 1.1 Définition et aperçu du fil de molybdène
- 1.2 Histoire et développement du fil de molybdène
- 1.3 L'importance du fil de molybdène dans l'industrie moderne
- 1.4 État actuel de la recherche et de l'application du fil de molybdène

Chapitre 2 : Classification du fil de molybdène

- 2.1 Classification selon la composition chimique
 - 2.1.1 Fil de molybdène pur
 - 2.1.2 Fil de molybdène lanthane
 - 2.1.3 Fil de mérium et de rhénium
 - 2.1.4 Autres fils d'alliage de molybdène
- 2.2 Classification par utilisation
 - 2.2.1 Fil de molybdène pour source lumineuse électrique
 - 2.2.2 Fil de molybdène pour la coupe du fil
 - 2.2.3 Fil de molybdène pour la pulvérisation
 - 2.2.4 Fil de molybdène pour revêtement sous vide
 - 2.2.5 Fil de molybdène pour éléments chauffants
 - 2.2.6 Fil de molybdène pour composants de four à haute température
 - 2.2.7 Fil de molybdène pour composants électroniques
 - 2.2.8 Fil de molybdène à usage médical et aérospatial
- 2.3 Classification par état de surface
 - 2.3.1 Fil de molybdène noir
 - 2.3.2 Fil de molybdène nettoyé
- 2.4 Classification par méthode de traitement
 - 2.4.1 Fil de molybdène étiré à chaud
 - 2.4.2 Fil de molybdène étiré à froid
 - 2.4.3 Fil de molybdène de précision
- 2.5 Classification par spécification
 - 2.5.1 Fil de molybdène ultra-fin (diamètre < 0,05 mm)
 - 2.5.2 Fil de molybdène fin standard (0,05 à 0,3 mm)
 - 2.5.3 Fil de molybdène moyennement grossier (0,3 à 1,0 mm de diamètre)
 - 2.5.4 Fil de molybdène grossier (diamètre > 1,0 mm)

Chapitre 3 : Caractéristiques du fil de molybdène

- 3.1 Propriétés physiques du fil de molybdène
 - 3.1.1 Point de fusion et point d'ébullition du fil de molybdène
 - 3.1.2 Densité du fil de molybdène
 - 3.1.3 Coefficient de dilatation thermique du fil de molybdène
 - 3.1.4 Conductivité du fil de molybdène
 - 3.1.5 Conductivité thermique du fil de molybdène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 3.1.6 Dureté Mohs du fil de molybdène
- 3.2 Propriétés chimiques du fil de molybdène
 - 3.2.1 Stabilité chimique du fil de molybdène
 - 3.2.2 Résistance à la corrosion du fil de molybdène
 - 3.2.3 Caractéristiques d'oxydation du fil de molybdène
 - 3.2.4 Valence et réaction chimique du fil de molybdène
- 3.3 Propriétés mécaniques du fil de molybdène
 - 3.3.1 Résistance à la traction du fil de molybdène
 - 3.3.2 Ductilité du fil de molybdène
 - 3.3.3 Ténacité du fil de molybdène
 - 3.3.4 Propriétés de fatigue du fil de molybdène
- 3.4 Propriétés spéciales du fil de molybdène
 - 3.4.1 Performance à haute température du fil de molybdène
 - 3.4.2 Résistance à l'abrasion du fil de molybdène
 - 3.4.3 Propriétés non magnétiques du fil de molybdène
- 3.5 CTIA GROUP LTD Fil de molybdène MSDS

Chapitre 4 : Technologie de préparation et de production du fil de molybdène

- 4.1 Préparation des matières premières
 - 4.1.1 Enrichissement et purification du concentré de molybdène
 - 4.1.2 Production de poudre de molybdène
 - 4.1.3 Ajout d'éléments d'alliage
- 4.2 Processus de métallurgie des poudres
 - 4.2.1 Pressage et moulage de la poudre de molybdène
 - 4.2.2 Processus de frittage
 - 4.2.3 Préparation des ébauches
- 4.3 Tréfilage
 - 4.3.1 Technologie de tréfilage à chaud
 - 4.3.2 Technologie d'étirage à froid
 - 4.3.3 Dessin en plusieurs passes
 - 4.3.4 Technologie de lubrification et de refroidissement
- 4.4 Traitement de surface
 - 4.4.1 Procédé de lavage caustique (fil de molybdène nettoyé)
 - 4.4.2 Processus de polissage
 - 4.4.3 Traitement du revêtement
- 4.5 Traitement thermique et recuit
 - 4.5.1 Paramètres du procédé de recuit
 - 4.5.2 Équipement de traitement thermique
- 4.6 Préparation du fil de molybdène en alliage spécial
 - 4.6.1 Procédé de dopage du fil de lanthane et de molybdène
 - 4.6.2 Production de fils d'alliage molybdène-rhénium
- 4.7 Optimisation des procédés et innovation technologique
 - 4.7.1 Technologie de production automatisée

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

4.7.2 Protection de l'environnement et procédés d'économie d'énergie

Chapitre 5 : Utilisations du fil de molybdène

5.1 Fil de molybdène pour source de lumière électrique

5.1.1 Fils de support et fils dans la fabrication des ampoules

5.1.2 Matériaux des électrodes pour les lampes halogènes et fluorescentes

5.1.3 Base de la lampe LED et matériel de connexion

5.2 Fil de molybdène pour la coupe du fil

5.2.1 Fil pour machines-outils d'électroérosion à fil

5.2.2 Découpe des métaux non ferreux, de l'acier et du carbure cémenté

5.2.3 Moules de précision et traitement de formes complexes

5.3 Fil de molybdène pour la pulvérisation

5.3.1 Revêtements résistants à l'usure pour les pièces d'automobile

5.3.2 Réparation de la surface et renforcement des composants mécaniques

5.3.3 Projection thermique des composants des moteurs d'avion

5.4 Fil de molybdène pour revêtement sous vide

5.4.1 Matériaux sources d'évaporation dans le dépôt de couches minces

5.4.2 Revêtements optiques et décoratifs

5.4.3 Revêtements de semi-conducteurs et de cellules solaires

5.5 Fil de molybdène pour éléments chauffants

5.5.1 Fil chauffant pour fournaise électrique à haute température

5.5.2 Éléments chauffants dans les fours à vide et les fours à atmosphère

5.5.3 Applications dans les équipements de traitement thermique

5.6 Fil de molybdène pour composants de four à haute température

5.6.1 Composants de support et de fixation des fours à haute température

5.6.2 Fils et pièces de blindage des fours à vide

5.6.3 Matériaux structuraux pour les fours à croissance cristalline

5.7 Fil de molybdène pour composants électroniques

5.7.1 Électronique du vide (tubes, tubes à rayons X)

5.7.2 Fabrication de thermocouples et de capteurs

5.7.3 Matériaux de raccordement pour la microélectronique et les circuits intégrés

5.8 Fil de molybdène à usage médical et aérospatial

5.8.1 Composants à haute température dans les instruments médicaux (p. ex. cibles à rayons X)

5.8.2 Pièces structurales d'engins spatiaux résistantes aux températures élevées et à la corrosion

5.8.3 Outils chirurgicaux mini-invasifs et matériaux d'implants

Chapitre 6 : Équipement de production de fil de molybdène

6.1 Équipement de manutention des matières premières

6.1.1 Équipement de traitement des minéraux

6.1.2 Équipement de production de poudre de molybdène

6.2 Équipement de métallurgie des poudres

6.2.1 Presses

6.2.2 Fours de frittage

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 6.3 Équipement de tréfilage
 - 6.3.1 Machines à tréfiler
 - 6.3.2 Moules et systèmes de lubrification
- 6.4 Équipement de traitement thermique
 - 6.4.1 Fours de recuit
 - 6.4.2 Fours à vide
- 6.5 Équipement de traitement de surface
 - 6.5.1 Équipement de lavage caustique
 - 6.5.2 Équipement de polissage et de revêtement
- 6.6 Équipement d'essai et de contrôle de la qualité
 - 6.6.1 Équipement de détection des défauts par courants de Foucault
 - 6.6.2 Machines d'essai de traction
 - 6.6.3 Microscopes et spectromètres
- 6.7 Automatisation et équipement intelligent
 - 6.7.1 Ligne de production automatique de tréfilage
 - 6.7.2 Système de surveillance en ligne

Chapitre 7 : Normes relatives aux fils de molybdène

- 7.1 Norme domestique pour le fil de molybdène
 - 7.1.1 GB/T 4182-2003 《钨丝》
 - 7.1.2 GB/T 3462-2007
 - 7.1.3 Autres normes nationales pertinentes
- 7.2 Normes internationales pour le fil de molybdène
 - 7.2.1 Norme ASTM B387 pour les tiges, barres et fils en molybdène et en alliage de molybdène
 - 7.2.2 Normes ISO
 - 7.2.3 Autres normes internationales (par exemple JIS, DIN)
- 7.3 Norme de l'industrie du fil de molybdène
 - 7.3.1 Comité technique national de normalisation des métaux non ferreux (TC243)
 - 7.3.2 Normes internes
- 7.4 Comparaison et analyse des étalons de fil de molybdène
 - 7.4.1 Différences entre les normes canadiennes et étrangères
 - 7.4.2 Applicabilité et limites des normes

Chapitre 8 : Méthodes de détection du fil de molybdène

- 8.1 Essai de composition chimique du fil de molybdène
 - 8.1.1 Analyse spectrale (ICP-MS, XRF)
 - 8.1.2 Titrage chimique
- 8.2 Essai des propriétés physiques du fil de molybdène
 - 8.2.1 Essai de résistance à la traction
 - 8.2.2 Essai d'allongement
 - 8.2.3 Essai de dureté
- 8.3 Inspection de la qualité de surface du fil de molybdène
 - 8.3.1 Observation microscopique

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 8.3.2 Détection des défauts par courants de Foucault
- 8.3.3 Essai de rugosité de surface
- 8.4 Essai de taille et de tolérance des fils de molybdène
 - 8.4.1 Pied à coulisse laser
 - 8.4.2 Micromètres et micromesures
- 8.5 Autres tests de fil de molybdène
 - 8.5.1 Essai de résistance à haute température
 - 8.5.2 Essai de résistance à la corrosion
 - 8.5.3 Essai de performance électrique
- 8.6 Méthode d'identification des déchets de fil de molybdène
 - 8.6.1 Essai de brûlure
 - 8.6.2 Test magnétique
 - 8.6.3 Essai à l'acide nitrique concentré
 - 8.6.4 Vérifications du poids et de l'élasticité

Chapitre 9 : Marché du fil de molybdène et tendance de développement

- 9.1 Vue d'ensemble du marché mondial du fil de molybdène
 - 9.1.1 Principaux pays producteurs
 - 9.1.2 L'offre et la demande du marché
- 9.2 Marché national du fil de molybdène
 - 9.2.1 Principaux fabricants (p. ex. fabrication de tungstène en Chine)
 - 9.2.2 Part de marché et paysage concurrentiel
- 9.3 Tendance de développement du fil de molybdène
 - 9.3.1 Mise au point de nouveaux matériaux et procédés
 - 9.3.2 Technologie de fabrication intelligente et de traçabilité de la qualité
 - 9.3.3 Mise au point de nouveaux fils en alliage de molybdène
 - 9.3.4 Mise au point de matériaux dégradables ou alternatifs
 - 9.3.5 Nouvelles perspectives d'application du fil de molybdène dans les nouvelles énergies, la 5G et la médecine

Chapitre 10 : Environnement et sécurité du fil de molybdène

- 10.1 Impact environnemental de la production de fil de molybdène
 - 10.1.1 Traitement des gaz résiduels et des eaux usées
 - 10.1.2 Gestion des déchets solides
- 10.2 Spécifications de sécurité pour la production de fil de molybdène
 - 10.2.1 Sécurité du fonctionnement à haute température
 - 10.2.2 Utilisation sécuritaire des produits chimiques
- 10.3 Recyclage et réutilisation des déchets de fil de molybdène
 - 10.3.1 Processus de recyclage

Appendice

- A. Glossaire des termes
- B. Références

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Chapitre 1 Introduction

1.1 Définition et aperçu du fil de molybdène

Le fil de molybdène est une sorte de matériau semblable à un filament fabriqué à partir de molybdène métallique ou de son alliage, par métallurgie des poudres, tréfilage, traitement thermique et autres processus, généralement d'un diamètre compris entre 0,03 mm et plusieurs mm. Le molybdène (symbole chimique Mo, numéro atomique 42) est un métal de transition à point de fusion élevé avec d'excellentes propriétés physiques, chimiques et mécaniques, tels qu'une résistance élevée, une résistance aux températures élevées, une résistance à la corrosion et une bonne conductivité électrique et thermique. Ces caractéristiques font du fil de molybdène un rôle irremplaçable dans une variété de domaines industriels. Le fil de molybdène peut être divisé en fil de molybdène pur (pureté généralement $\geq 99,95\%$) et en fil d'alliage de molybdène (tel que le fil de molybdène de lanthane, le fil d'alliage molybdène-rhénium, etc.), qui peut être divisé en fil de molybdène noir (sans lavage alcalin, la couche d'oxyde de surface est noir-gris) et fil de molybdène nettoyé (Après lavage alcalin ou polissage, la surface est blanc argenté) selon l'état de surface. Le fil de molybdène est disponible dans une variété de spécifications, du fil de molybdène ultra-fin (diamètre $< 0,1$ mm) au fil de molybdène grossier (diamètre $> 1,0$ mm), pour répondre aux besoins de différentes applications.

Le processus de production du fil de molybdène est complexe, impliquant plusieurs processus allant de la purification du concentré de molybdène au tréfilage, et son cœur consiste à contrôler la structure du grain et la qualité de la surface pour assurer la stabilité des performances. Le fil de molybdène est utilisé dans un large éventail d'applications, notamment l'électroérosion à fil, les sources lumineuses électriques, les revêtements sous vide, les composants de fours à haute température, la fabrication de composants électroniques et les applications médicales et aérospatiales. Le point de fusion élevé du fil de molybdène (environ $2623\text{ }^{\circ}\text{C}$) et son faible coefficient de dilatation thermique le rendent excellent à des températures élevées et dans des environnements extrêmes, tandis que sa bonne conductivité et sa stabilité chimique en font une position importante dans les industries de l'usinage de précision et de l'électronique. De plus, le fil de molybdène est également respectueux de l'environnement et recyclable, et les déchets de fil de molybdène peuvent être reraffinés grâce au processus de recyclage, qui répond aux exigences de la fabrication verte moderne.

1.2 Histoire et développement du fil de molybdène

Le molybdène, en tant que métal rare, a une histoire de découverte et d'application qui remonte à la fin du 18^{ème} siècle. En 1778, le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele isola pour la première fois l'élément molybdène et le nomma « Molybdène », dérivé du mot grec « molybdos », qui signifie « semblable au plomb », car son minerai ressemble au minerai de plomb. En 1790, un autre chimiste suédois, Peter Jacob Hjelm, a préparé le molybdène métal en réduisant l'acide molybdène, jetant ainsi les bases d'applications ultérieures. Cependant, en raison du point de fusion élevé et de la difficulté de traitement du molybdène, son application était limitée au début et était principalement utilisée pour la recherche en laboratoire.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

À la fin du 19e et au début du 20e siècle, avec la croissance de la technologie métallurgique et la demande de matériaux à haute température, le molybdène a commencé à entrer dans le domaine industriel. Au début des années 1900, le molybdène a été découvert comme élément d'alliage pour améliorer considérablement la résistance et la résistance à la corrosion de l'acier, et l'acier au molybdène a commencé à être utilisé dans la fabrication d'armes et l'industrie mécanique. Le développement du fil de molybdène est étroitement lié à l'essor de l'industrie des sources lumineuses électriques. En 1910, William M. William D. Coolidge a développé des ampoules à filament de tungstène chez General Electric Company aux États-Unis, et le fil de molybdène a été utilisé comme fil de support et matériau de plomb pour les ampoules en raison de sa résistance similaire aux hautes températures et de son coût inférieur au tungstène. Depuis lors, l'application du fil de molybdène s'est progressivement étendue à d'autres domaines, tels que l'électronique sous vide et les poêles à haute température.

Au milieu du 20e siècle, l'émergence de la technologie EDM a favorisé le développement du fil de molybdène. Dans les années 1950, la Chine a commencé à explorer l'application du fil de molybdène dans l'électroérosion à fil, et avec sa haute résistance et sa résistance à l'érosion par arc, le fil de molybdène est devenu un matériau d'électrode idéal pour les machines-outils de découpe de fil. Au 21e siècle, avec les progrès de la nanotechnologie, de la fabrication de précision et de l'industrie aérospatiale, le processus de préparation du fil de molybdène a été continuellement optimisé, et le développement de fil de molybdène ultra-fin et de fil de molybdène allié (tel que le fil de molybdène de lanthane et le fil d'alliage de molybdène et de rhénium) a considérablement amélioré ses performances. Par exemple, Chinatungsten Online a rapporté que ces dernières années, la technologie de production de fil de molybdène de la Chine a atteint le niveau avancé international, et des percées ont été réalisées dans la technologie d'étrépage et le processus de dopage du fil de molybdène ultra-fin (diamètre <0,02 mm) pour répondre aux besoins de la microélectronique et des domaines médicaux.

1.3 L'importance du fil de molybdène dans l'industrie moderne

Le fil de molybdène occupe une position irremplaçable dans l'industrie moderne en raison de sa combinaison unique de propriétés. Tout d'abord, le point de fusion élevé du fil de molybdène et son excellente stabilité à haute température en font le matériau de choix pour les environnements à haute température. Par exemple, dans les fours à vide à haute température, le fil de molybdène est utilisé comme élément chauffant et élément de support, qui peut fonctionner de manière stable pendant une longue période à des températures supérieures à 2000°C. Deuxièmement, l'excellente conductivité et la résistance à l'érosion par arc du fil de molybdène le rendent largement utilisé dans l'électroérosion à fil, qui peut couper efficacement des matériaux à haute dureté tels que le carbure cémenté et l'alliage de titane, et est largement utilisé dans le traitement des moules de précision et des pièces aérospatiales. Chinatungsten Online a souligné que la Chine, en tant que plus grand producteur mondial de fil de molybdène, représente plus de 70 % de la part de marché mondiale du fil de molybdène pour la coupe du fil.

Dans le domaine des sources lumineuses électriques, le fil de molybdène est utilisé comme fil de support et plomb pour les ampoules en raison de sa bonne compatibilité thermique avec le verre et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de sa résistance aux hautes températures, en particulier dans les lampes halogènes et fluorescentes. De plus, le fil de molybdène joue également un rôle important dans le domaine du revêtement sous vide et de la pulvérisation thermique. Par exemple, le fil de molybdène peut être utilisé comme matériau source d'évaporation pour déposer des films optiques et semi-conducteurs ; Dans la projection thermique, le revêtement par pulvérisation de fil de molybdène peut améliorer considérablement la résistance à l'usure des segments de piston automobiles et des composants de moteurs aéronautiques. Le fil de molybdène est également utilisé dans les thermocouples, les tubes à rayons X et les fils microélectroniques dans la fabrication de composants électroniques, où sa grande pureté et sa faible teneur en impuretés garantissent une grande fiabilité de l'appareil.

Dans les domaines médical et aérospatial, l'application du fil de molybdène ne peut être ignorée. La haute résistance et la biocompatibilité du fil de molybdène lui permettent d'être utilisé dans la fabrication de cibles à rayons X et d'outils chirurgicaux mini-invasifs ; Le fil d'alliage molybdène-rhénium est largement utilisé dans les pièces structurales à haute température des engins spatiaux en raison de son excellente résistance à la corrosion et de sa résistance à haute température. En outre, l'application du fil de molybdène dans le domaine des nouvelles énergies augmente également, comme les matériaux d'électrode et les supports de catalyseur pour les cellules solaires, contribuant au développement de l'énergie verte. En résumé, la polyvalence et les hautes performances du fil de molybdène en font un matériau pilier pour l'industrie moderne, qui est largement utilisé dans des industries stratégiques telles que la fabrication de machines, l'électronique, l'énergie, le médical et l'aérospatiale.

1.4 État actuel de la recherche et de l'application du fil de molybdène

À l'heure actuelle, la recherche et l'application du fil de molybdène sont à un stade de développement rapide, et un grand nombre de recherches ont été menées autour de la science des matériaux, de la technologie des procédés et des domaines d'application du fil de molybdène dans le monde entier. En science des matériaux, la recherche se concentre sur l'amélioration de la résistance, de la ténacité et des propriétés à haute température du fil de molybdène. Par exemple, un fil de molybdène dopé avec des éléments de terres rares (par exemple, le lanthane, l'yttrium) augmente considérablement la température de recristallisation et la résistance à la traction, ce qui le rend adapté aux environnements à haute température plus exigeants. Le développement du fil d'alliage de molybdène et de rhénium élargit encore l'application du fil de molybdène dans des environnements extrêmes, tels que les tuyères d'engins spatiaux et les capteurs à haute température. Selon la recherche, les institutions de recherche scientifique chinoises ont fait des percées dans la technologie de préparation du fil de molybdène à l'échelle nanométrique ces dernières années, et la résistance à la traction du fil de molybdène ultra-fin peut atteindre plus de 3000 MPa en contrôlant la taille des grains et les défauts de surface, ce qui est proche de la limite théorique.

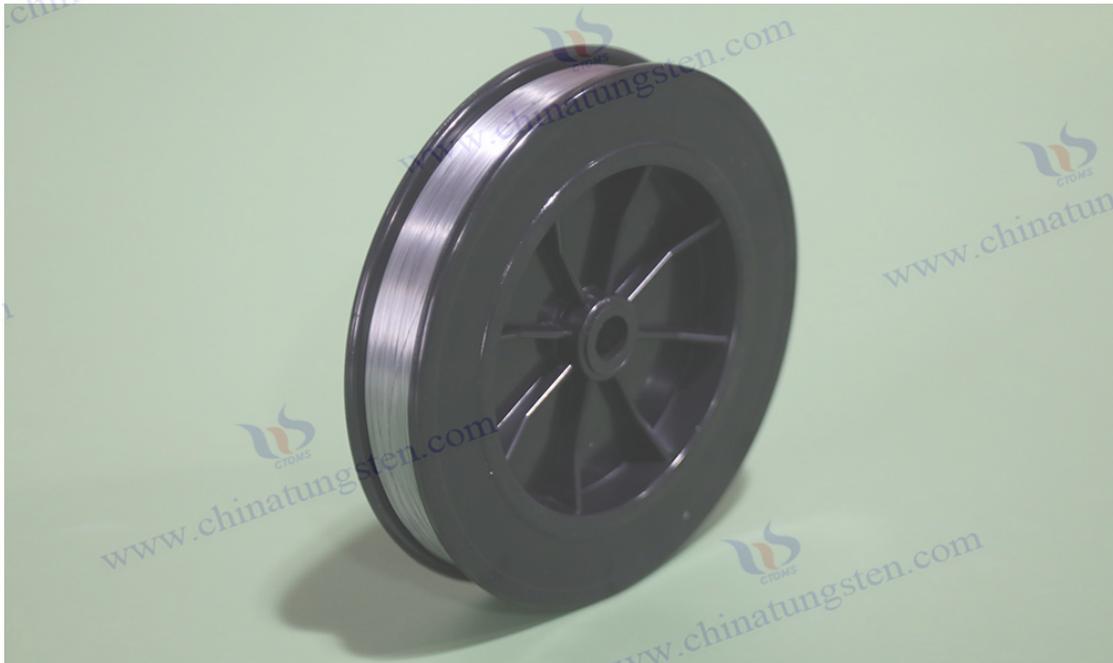
En termes de processus de production, la technologie de préparation du fil de molybdène s'est développée à partir de la métallurgie traditionnelle des poudres et du processus de tréfilage vers la direction de l'intelligence et de l'écologie. L'application d'une ligne de production automatique de tréfilage et d'un système de surveillance en ligne améliore l'efficacité de la production et la stabilité de la qualité du produit. Dans le même temps, l'introduction de procédés respectueux de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'environnement, tels que le frittage à faible consommation d'énergie et le recyclage des eaux usées, réduit l'impact environnemental de la production de fils de molybdène. En outre, la technologie de recyclage des déchets de fil de molybdène est également devenue un point chaud de la recherche, et la méthode de dissolution chimique et la méthode de récupération électrolytique peuvent extraire efficacement le molybdène métallique, avec un taux de récupération de plus de 90 %.

En termes de domaines d'application, la demande de fil de molybdène dans les industries à haute valeur ajoutée ne cesse de croître. La demande de fil de molybdène de haute précision dans le domaine de l'électroérosion à fil a conduit au développement de fil de molybdène ultra-fin pour répondre aux exigences du traitement au micron. Dans le domaine des nouvelles énergies, le fil de molybdène est utilisé comme matériau d'électrode pour les cellules solaires et les piles à combustible, avec un taux de croissance annuel moyen de plus de 10 %. La demande de fil d'alliage molybdène-rhénium dans le secteur aérospatial augmente également, en particulier dans les moteurs à rapport poussée/poids élevé et les équipements d'exploration de l'espace lointain. La recherche dans le domaine médical se concentre sur l'application du fil de molybdène dans les biocapteurs et les dispositifs médicaux implantables, en tirant parti de sa biocompatibilité et de sa haute résistance.

Cependant, l'industrie du fil de molybdène est également confrontée à des défis, notamment la fluctuation des prix des matières premières, des coûts de production élevés et une concurrence accrue sur le marché international. En tant que pays majeur dans les ressources mondiales de molybdène, la Chine dispose d'avantages uniques, mais elle doit encore améliorer ses capacités indépendantes de recherche et de développement de fils de molybdène haut de gamme pour faire face à la concurrence des entreprises européennes et américaines (telles que Plansee et H.C. Starck). À l'avenir, l'orientation de la recherche sur le fil de molybdène se concentrera sur le développement de nanomatériaux, la production intelligente et les matériaux composites multifonctionnels pour répondre aux besoins des industries émergentes.



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène nettoyé

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Chapitre 2 Classification du fil de molybdène

2.1 Classification par composition chimique

La composition chimique du fil de molybdène est à la base de sa différence de performance, et selon le type et le contenu des éléments ajoutés, le fil de molybdène peut être divisé en fil de molybdène pur et une variété de fils de molybdène en alliage. La différence de composition chimique affecte directement les propriétés mécaniques, les performances à haute température et les domaines d'application du fil de molybdène. Ce qui suit est une introduction détaillée à la composition, aux caractéristiques et aux scénarios d'application de différents types de fils de molybdène.

2.1.1 Fil de molybdène pur

Le fil de molybdène pur fait référence au fil de molybdène fabriqué à partir de molybdène de haute pureté (la pureté est généralement de $\geq 99,95\%$) comme matière première, qui ne contient pas ou seulement des traces d'autres éléments. Le fil de molybdène pur a un point de fusion élevé (environ $2623\text{ }^{\circ}\text{C}$), une bonne conductivité électrique et thermique et une excellente résistance à la corrosion, ce qui est particulièrement adapté à une utilisation dans des environnements à haute température et sous vide. Sa résistance à la traction est généralement de 800 à 1200 MPa, l'allongement est d'environ 2 à 5 %, la structure du grain est uniforme et il convient à l'emboutissage selon diverses spécifications. Le processus de production du fil de molybdène pur est relativement simple, principalement préparé par la métallurgie des poudres et le tréfilage à plusieurs passes, et la surface peut être un fil de molybdène noir (avec une couche d'oxyde) ou un fil de molybdène nettoyé (après lavage alcalin ou polissage).

Le fil de molybdène pur est largement utilisé dans les sources lumineuses électriques, la découpe de fils et la fabrication de composants électroniques. Par exemple, dans le domaine des sources lumineuses électriques, le fil de molybdène pur est utilisé comme fil de support et plomb pour l'ampoule, car il est bien adapté au coefficient de dilatation thermique du verre et assure une étanchéité fiable. Dans l'électroérosion à fil, le fil de molybdène pur est devenu le fil d'électrode préféré pour le traitement de pièces de petite et moyenne taille en raison de sa haute résistance et de sa résistance à l'érosion par arc. Le fil de molybdène pur représente environ 60 % du marché mondial du fil de molybdène en raison de son faible coût et de ses performances stables. Cependant, le fil de molybdène pur ne convient pas aux applications à très haute température en raison de sa faible température de recristallisation (environ $1000\text{-}1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) et de sa tendance à la croissance des grains dans des environnements à ultra-haute température, entraînant une diminution de la résistance.

2.1.2 Fil de molybdène lanthane

Le fil de molybdène et de lanthane (fil de molybdène de lanthane) est fabriqué en dotant une petite quantité d'oxyde de lanthane (La_2O_3) dans une matrice de molybdène, généralement de 0,3 à 1,0 % en poids. L'ajout d'oxyde de lanthane a considérablement augmenté la température de recristallisation du fil de molybdène (jusqu'à $1500\text{-}1800\text{ }^{\circ}\text{C}$), et a amélioré la résistance au fluage et la résistance à la traction à haute température (jusqu'à plus de 1500 MPa). Le fil de molybdène lanthane a une structure de grain, une ductilité et une ténacité plus fines que le fil de molybdène pur, et convient à une utilisation dans des environnements de charge dynamiques et à haute température.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Sa surface est généralement constituée de fil de molybdène nettoyé, qui est finement poli pour répondre à des exigences de haute précision.

Le fil de molybdène lanthane est principalement utilisé dans les poêles à haute température et les domaines aérospatiaux. Par exemple, dans les fours de croissance de silicium monocristallin, le fil de molybdène et de lanthane est utilisé comme élément chauffant et élément de support, qui peut fonctionner au-dessus de 1700°C pendant une longue période sans déformation. Dans le secteur aérospatial, le fil de molybdène lanthane est utilisé dans la fabrication de buses haute température et de manchons de protection de thermocouple. Ces dernières années, la Chine a optimisé le processus de dopage du fil de molybdène lanthane et a encore amélioré la résistance à l'oxydation et les propriétés mécaniques du fil de molybdène en contrôlant la distribution et la taille des particules d'oxyde de lanthane. Le coût de production du fil de molybdène lanthane est plus élevé que celui du fil de molybdène pur, mais ses excellentes performances à haute température lui confèrent un avantage concurrentiel dans les applications haut de gamme.

2.1.3 Fil de molybdène et de rhénium

Le fil de molybdène-rhénium est un fil d'alliage de molybdène dopé avec des éléments de rhénium (Re) dans une matrice de molybdène, et la teneur en rhénium est généralement comprise entre 3 et 41 % en poids. L'ajout de rhénium améliore considérablement la ductilité, la ténacité et la résistance à la corrosion du fil de molybdène, et réduit en même temps la température de transition fragile, de sorte que le fil de rhénium de molybdène a toujours une bonne usinabilité à basse température. Sa résistance à la traction peut atteindre plus de 2000 MPa, la température de recristallisation est aussi élevée que 1800-2000 °C et la résistance à l'oxydation à haute température est meilleure que celle du fil de molybdène pur et du fil de molybdène lanthane. Le processus de production du fil de molybdène rhénium est complexe, et il doit être fritté et étiré dans une atmosphère vide ou inerte pour empêcher la volatilisation du rhénium.

Le fil de molybdène rhénium est principalement utilisé dans les domaines de l'aérospatiale, du médical et des capteurs à haute température. Par exemple, dans les moteurs aérospatiaux, le fil de molybdène et de rhénium est utilisé pour fabriquer des tuyères résistantes aux hautes températures et des revêtements d'aubes de turbine ; Dans le domaine médical, le fil de molybdène rhénium est utilisé pour les cibles de rayons X et les outils chirurgicaux mini-invasifs en raison de sa biocompatibilité et de sa haute résistance. L'International Journal of Materials Science rapporte que le développement du fil de molybdène-rhénium a favorisé le progrès des matériaux superalliés, mais son coût élevé (le rhénium est un métal précieux rare) limite son application dans l'industrie à grande échelle. Les entreprises chinoises ont développé des fils à faible teneur en rhénium-molybdène (5-10 % en poids) avec des alliages plus rentables en optimisant le rapport d'alliage, qui sont largement utilisés sur les marchés médical et aérospatial.

2.1.4 Autres fils d'alliage de molybdène

En plus du fil de molybdène lanthane et du fil de molybdène rhénium, d'autres fils de molybdène alliés comprennent le fil de molybdène d'yttrium (fil de molybdène d'yttrium), le fil d'alliage de silicium-aluminium et de potassium-molybdène (fil de molybdène Si-Al-K), etc. Le fil d'yttrium-

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

molybdène est dopé avec de l'oxyde d'yttrium (Y_2O_3 , 0,2-0,8 % en poids) pour améliorer la résistance à la traction et la résistance à l'oxydation du fil de molybdène, ce qui convient aux fours à haute température et aux appareils électroniques. Le fil d'alliage silicium-aluminium-potassium-molybdène est principalement utilisé dans l'industrie des sources lumineuses électriques, où des éléments de silicium, d'aluminium et de potassium (contenu total <1 % en poids) sont ajoutés pour améliorer la résistance à l'affaissement et la résistance aux hautes températures, et se trouvent couramment dans les filaments de support des lampes halogènes et des lampes fluorescentes. De plus, le fil d'alliage molybdène-tungstène (Mo-W) et le fil d'alliage molybdène-titane (Mo-Ti) sont également utilisés dans des domaines spécifiques, tels que les équipements chimiques résistants à la corrosion et les pièces structurelles à haute température.

Ces fils en alliage de molybdène ont été développés pour des besoins d'application spécifiques afin d'optimiser les performances grâce à un contrôle précis des rapports et des distributions des éléments de dopage. Par exemple, le fil d'yttrium-molybdène est supérieur au fil de molybdène lanthane en termes de raffinement des grains et convient à la production de fil de molybdène ultra-fin (diamètre <0,05 mm). La production de fil de molybdène dans d'autres alliages adopte généralement la métallurgie des poudres combinée à la technologie de dopage, qui nécessite un contrôle strict de la température de frittage et du processus d'étirage pour éviter la ségrégation élémentaire.

2.2 Classification par utilisation

Le fil de molybdène est utilisé dans un large éventail d'applications, notamment les sources lumineuses électriques, l'usinage de précision, les applications à haute température, les revêtements, l'électronique, les applications médicales et aérospatiales. Selon l'application, la composition, les spécifications et les exigences de traitement de surface du fil de molybdène varient. Ce qui suit est une introduction détaillée aux caractéristiques et aux scénarios d'application du fil de molybdène à diverses fins.

2.2.1 Fil de molybdène pour source lumineuse électrique

Le fil de molybdène pour source lumineuse électrique est principalement utilisé dans la fabrication d'ampoules, telles que les lampes halogènes, les lampes fluorescentes et les lampes à incandescence, et le fil de molybdène pur ou le fil d'alliage silicium-aluminium-potassium-molybdène est couramment utilisé. Sa principale caractéristique est de correspondre au coefficient de dilatation thermique du verre (environ $5 \times 10^{-6}/^{\circ}C$) pour assurer la fiabilité de l'étanchéité à haute température ; Dans le même temps, le point de fusion élevé et la résistance à l'oxydation du fil de molybdène assurent sa stabilité à la température de fonctionnement de l'ampoule (500-1000°C). La spécification typique est de 0,1 à 0,5 mm de diamètre, et la surface est principalement constituée de fil de molybdène nettoyé pour réduire la pollution par les impuretés.

Dans les lampes halogènes, le fil de molybdène est utilisé comme support et plomb pour le fil de tungstène ; Dans les lampes fluorescentes, le fil de molybdène agit comme une sortie d'électrode qui relie le revêtement de phosphore au circuit externe. Le fil de molybdène pour source de lumière électrique doit passer par un processus strict de polissage et de nettoyage de surface pour éviter les traces d'impuretés affectant la durée de vie de l'ampoule. Ces dernières années, avec la popularité

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

des lampes LED, l'application de fil de molybdène dans la base LED et la connexion des électrodes a progressivement augmenté en raison de sa conductivité élevée et de sa résistance à la corrosion.

2.2.2 Fil de molybdène pour la coupe du fil

Le fil de molybdène pour l'électroérosion à fil est le matériau d'électrode de base des machines-outils d'électroérosion à fil, utilisant principalement du fil de molybdène pur ou du fil de molybdène lanthane, généralement d'un diamètre de 0,1 à 0,3 mm. La haute résistance à la traction (800-1500 MPa) et à l'érosion par arc du fil de molybdène lui permet de résister aux décharges à haute fréquence et convient à la coupe de matériaux à haute dureté tels que le carbure cémenté, les alliages de titane et l'acier inoxydable. Le fil de molybdène pour l'électroérosion à fil doit avoir des tolérances de diamètre uniformes et une surface lisse pour assurer la précision de l'usinage.

Selon les rapports, la Chine est le plus grand producteur mondial de fil de molybdène coupé, représentant plus de 70 % de la part de marché, qui est largement utilisé dans la fabrication de moules, les pièces aérospatiales et l'usinage de précision. Par exemple, le fil de molybdène peut atteindre une précision de 0,01 mm dans le micro-perçage des aubes de turbine pour les moteurs d'avion. Le fil de molybdène lanthane remplace progressivement le fil de molybdène pur pour la coupe de fil à grande vitesse en raison de sa résistance et de sa résistance à l'usure plus élevées.

2.2.3 Fil de molybdène pour la pulvérisation

Le fil de molybdène pour la pulvérisation est utilisé dans le processus de pulvérisation thermique, où le fil de molybdène fondu est pulvérisé sur la surface du substrat par projection au plasma ou à la flamme pour former un revêtement résistant à l'usure et à la corrosion. Le fil de molybdène pur ou le fil de molybdène lanthane est couramment utilisé, le diamètre est généralement de 1,0 à 3,2 mm et la surface est principalement constituée de fil de molybdène noir pour une fusion facile. Les revêtements en molybdène sont disponibles dans une dureté allant jusqu'à HV 800-1000, améliorant considérablement la résistance à l'usure et la durée de vie des substrats, et sont largement utilisés dans les segments de piston automobiles, les composants de moteurs d'avion et les moules industriels.

Le fil de molybdène pour la pulvérisation doit avoir une grande pureté et une composition chimique uniforme pour garantir la qualité du revêtement. La pulvérisation de la couche d'oxyde de surface du fil de molybdène peut améliorer l'efficacité de la pulvérisation, mais le degré d'oxydation doit être contrôlé pour éviter les défauts de revêtement. Ces dernières années, la demande de fil de molybdène lanthane a augmenté dans les applications de pulvérisation à haute température en raison de son point de fusion plus élevé et de sa résistance à l'oxydation.

2.2.4 Fil de molybdène pour revêtement sous vide

Le fil de molybdène pour le revêtement sous vide est utilisé comme matériau source d'évaporation pour les processus de dépôt physique en phase vapeur (PVD) afin de déposer des films optiques, décoratifs et fonctionnels. Le fil de molybdène pur ou le fil de molybdène lanthane est couramment utilisé, avec un diamètre de 0,1 à 0,5 mm, et une pureté élevée ($\geq 99,99\%$) et une faible teneur en impuretés sont requises pour garantir la qualité du film. Le fil de molybdène est chauffé à 1500-

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

2000°C dans un environnement sous vide, et après évaporation, un film uniforme se forme sur le substrat.

Les applications comprennent les revêtements de lentilles optiques, les électrodes de cellules solaires et les dispositifs à semi-conducteurs. [Chinatungsten Online](#) a souligné que le fil de molybdène pour le revêtement sous vide doit être recuit et poli plusieurs fois pour réduire les défauts de surface et la porosité. Le fil de molybdène lanthane présente un avantage dans les équipements de revêtement haute puissance en raison de sa température de recristallisation plus élevée.

2.2.5 Fil de molybdène pour éléments chauffants

Le fil de molybdène pour élément chauffant est principalement utilisé dans les fours électriques à haute température et les fours à vide, et le fil de molybdène lanthane ou le fil de molybdène rhénium est couramment utilisé, avec un diamètre de 0,5 à 2,0 mm. Son point de fusion élevé et sa faible pression de vapeur assurent un fonctionnement stable au-dessus de 2000°C, ce qui convient aux fours de croissance monocristalline, aux fours de traitement thermique et aux fours de frittage. La conductivité du fil de molybdène (environ 18 % IACS) et son faible coefficient de dilatation thermique le rendent excellent dans les environnements dynamiques à haute température.

À l'heure actuelle, la proportion de fil de molybdène lanthane dans les éléments chauffants augmente d'année en année, car sa résistance au fluage peut prolonger la durée de vie du poêle. Le fil de molybdène doit être utilisé dans une atmosphère inerte ou sous vide pour éviter l'oxydation à haute température.

2.2.6 Fil de molybdène pour composants de four à haute température

Le fil de molybdène pour les composants de four à haute température est utilisé pour fabriquer des supports de four, des fils et des composants de blindage, du fil de molybdène lanthane ou du fil de molybdène rhénium, d'un diamètre de 0,3 à 1,5 mm. Sa haute résistance et sa résistance aux hautes températures le rendent adapté aux fours de frittage de silicium monocristallin, de saphir et de céramique. Par exemple, le fil de molybdène, qui est utilisé comme ligne de serrage des graines pour les fours de croissance cristalline, nécessite un contrôle précis du diamètre et de la finition de surface.

Des revues internationales ont rapporté que l'application du fil de molybdène et de rhénium dans les composants de four à haute température a augmenté en raison de son excellente résistance à la corrosion et de sa ténacité. En production, la taille des grains du fil de molybdène doit être strictement contrôlée pour éviter les fractures à haute température.

2.2.7 Fil de molybdène pour composants électroniques

Le fil de molybdène pour les composants électroniques est utilisé pour l'électronique sous vide, les thermocouples et les connexions microélectroniques, et le fil de molybdène pur ou le fil de molybdène lanthane est couramment utilisé, avec un diamètre de 0,05 à 0,5 mm. Sa conductivité élevée et sa faible teneur en impuretés garantissent la fiabilité de l'appareil. Par exemple, dans un tube à rayons X, le fil de molybdène agit comme un fil de cathode ; Dans les thermocouples, le fil

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de molybdène est utilisé pour les mesures à haute température.

Le fil de molybdène pour composants électroniques subit un processus de nettoyage ultra-propre pour éliminer les impuretés de surface. La demande de fil de molybdène ultra-fin (<0,05 mm de diamètre) augmente dans le domaine de la microélectronique pour l'emballage de puces et la fabrication de capteurs.

2.2.8 Fil de molybdène à usage médical et aérospatial

Le fil de molybdène à usage médical et aérospatial utilise principalement du fil de molybdène, du fil de rhénium ou du fil de molybdène lanthane en raison de sa haute résistance, de sa biocompatibilité et de sa résistance à la corrosion. La plage de diamètres est de 0,1 à 1,0 mm, ce qui nécessite une grande pureté et un usinage de précision. Dans le domaine médical, le fil de molybdène est utilisé dans les cibles à rayons X, les fils-guides et les outils chirurgicaux mini-invasifs ; Dans le domaine aérospatial, le fil de molybdène rhénium est utilisé dans les tuyères à haute température, les composants de propulseurs et les pièces structurelles de satellites. L'application du fil de molybdène rhénium dans le domaine aérospatial se développe rapidement en raison de sa stabilité dans des environnements extrêmes tels que 3000°C et de forts gaz corrosifs. Le fil de molybdène médical est soumis à des tests de biocompatibilité rigoureux.

2.3 Classification par état de surface

L'état de surface du fil de molybdène a un impact important sur ses performances et son application, et il est divisé en fil de molybdène noir et fil de molybdène nettoyé selon la méthode de traitement de surface.

2.3.1 Fil de molybdène noir

Le fil de molybdène noir est un fil de molybdène qui n'a pas été lavé ou poli à la caustique, et la surface est recouverte d'une couche de film d'oxyde de molybdène (MoO_3), de couleur noir-gris. L'épaisseur de la couche d'oxyde est généralement de 0,1 à 1 μm , ce qui améliore le pouvoir lubrifiant du fil de molybdène et convient à la projection thermique et à certaines applications d'électroérosion à fil. Le fil de molybdène noir a un coût de production inférieur, mais il y a plus d'impuretés de surface, ce qui peut affecter les performances des applications de précision.

Le fil de molybdène noir améliore l'efficacité de la pulvérisation grâce à la fusion facile de la couche d'oxyde lors de la projection thermique ; Dans la découpe de fil, la couche d'oxyde réduit les pertes d'électrodes. Le fil de molybdène noir doit être strictement contrôlé pour l'uniformité de la couche d'oxyde afin d'éviter les fluctuations de performance.

2.3.2 Fil de molybdène nettoyé

Le fil de molybdène nettoyé est un fil de molybdène qui élimine la couche d'oxyde de surface par lavage alcalin ou polissage électrolytique, qui est blanc argenté et a une finition de surface élevée. Le fil de molybdène nettoyé a une pureté plus élevée et convient aux applications avec des exigences de qualité de surface élevées, telles que les sources lumineuses électriques, les revêtements sous vide et les composants électroniques. Le processus de lavage caustique utilise généralement une

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

solution d'hydroxyde de sodium, qui est lavée et séchée après l'élimination de la couche d'oxyde pour éviter l'oxydation secondaire.

Le fil de molybdène nettoyé est coûteux à produire, mais son excellente qualité de surface et sa faible teneur en impuretés le rendent dominant dans les applications haut de gamme. Par exemple, dans les revêtements de semi-conducteurs, le fil de molybdène nettoyé réduit les défauts d'impuretés dans le film.

2.4 Classification par méthode de traitement

La méthode de traitement du fil de molybdène affecte sa microstructure et ses propriétés, et est divisée en fil de molybdène étiré à chaud, fil de molybdène étiré à froid et fil de molybdène de précision selon le processus d'étirage et le traitement ultérieur.

2.4.1 Fil de molybdène étiré à chaud

Le fil de molybdène étiré à chaud est fabriqué par tréfilage multi-passes à haute température (800-1200°C), avec une structure à gros grains et une résistance à la traction de 700-1000 MPa, ce qui convient à la production de fil de molybdène grossier (diamètre > 1,0 mm). Le processus d'étirage à chaud peut réduire la résistance à l'étirage et réduire l'usure du moule, mais la qualité de surface est médiocre et la plupart d'entre eux sont des fils de molybdène noir.

Le fil de molybdène étiré à chaud est couramment utilisé dans les composants de four à haute température et les applications de pulvérisation en raison de son faible coût et de son aptitude à l'usinage de grands diamètres. Chinatungsten Online a rapporté que la température de chauffage doit être contrôlée avec précision dans le processus d'étirage à chaud pour éviter les grains surdimensionnés.

2.4.2 Fil de molybdène étiré à froid

Le fil de molybdène étiré à froid est étiré à température ambiante ou à basse température (<300 °C), le grain est affiné et la résistance à la traction peut atteindre 1200-1800 MPa, ce qui convient aux fils de molybdène d'un diamètre de 0,05 à 1,0 mm. Le processus d'étirage à froid, qui nécessite l'utilisation de lubrifiants haute performance et d'un outillage de précision pour réduire les rayures de surface, est couramment utilisé dans l'électroérosion à fil et les composants électroniques.

La finition de surface et la précision dimensionnelle du fil de molybdène étiré à froid sont supérieures à celles du fil de molybdène étiré à chaud, qui convient à un traitement de haute précision. Des revues internationales ont souligné que le processus d'étirage à froid peut optimiser la ténacité du fil de molybdène grâce à plusieurs passes de recuit.

2.4.3 Fil de molybdène de précision

Le fil de molybdène de précision est fabriqué à l'aide de plusieurs procédés d'étirage à froid et de recuit, avec des tolérances de diamètre et une rugosité de surface bien contrôlées, ce qui le rend adapté à la microélectronique, au médical et aux revêtements sous vide. La résistance à la traction du fil de molybdène de précision peut atteindre plus de 2000 MPa, et des machines de tréfilage de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

haute précision et des équipements de test en ligne sont nécessaires.

Selon les informations publiques, les entreprises chinoises ont fait des percées dans la technologie d'emboutissage du fil de molybdène de précision, et le fil de molybdène de précision ultra-fin (diamètre <0,02 mm) a été utilisé dans la fabrication de puces et de biocapteurs.

2.5 Classification par spécification

Les spécifications du fil de molybdène se distinguent principalement par leur diamètre, et il existe des différences significatives dans les performances, le processus de production et le domaine d'application du fil de molybdène de différents diamètres. Selon le diamètre, le fil de molybdène peut être divisé en fil de molybdène ultra-fin (diamètre <0,05 mm), fil de molybdène fin standard (0,05 à 0,3 mm), fil de molybdène moyennement grossier (0,3 à 1,0 mm) et fil de molybdène grossier (diamètre > 1,0 mm). Ces spécifications reflètent les divers besoins du fil de molybdène dans l'usinage de précision, les applications à haute température et les environnements lourds.

2.5.1 Fil de molybdène ultra-fin (diamètre <0,05 mm)

Le fil de molybdène ultra-fin fait référence au fil de molybdène d'un diamètre inférieur à 0,05 mm, généralement dans la plage de 0,01 à 0,05 mm, et est le type avec la plus grande précision et le plus difficile à fabriquer parmi les spécifications du fil de molybdène. La résistance à la traction du fil de molybdène ultra-fin est extrêmement élevée, jusqu'à 2000-3500 MPa, ce qui est beaucoup plus élevé que celle des fils métalliques ordinaires, en raison de sa taille de grain nanométrique et de son raffinement de grain obtenu par un processus d'étirage à froid et de multiples recuits. Sa rugosité de surface extrêmement faible et ses tolérances de diamètre de $\pm 0,001$ mm garantissent la fiabilité des applications de haute précision. La conductivité électrique (environ 20 % IACS) et la conductivité thermique (environ 130 W/(m·K)) du fil de molybdène ultrafin sont légèrement inférieures à celles du fil de molybdène grossier, mais sa résistance élevée et son excellente ductilité (allongement jusqu'à 8 à 12 %) lui confèrent des avantages uniques dans le domaine de la miniaturisation et de la haute précision.

Processus de production

Le processus de production du fil de molybdène ultra-fin est extrêmement complexe, nécessitant une technologie d'étirage à froid de haute précision et un processus de recuit en plusieurs étapes. Tout d'abord, à partir de l'ébauche de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95$ %), l'ébauche fine est préparée par métallurgie des poudres, puis l'étirage en plusieurs passes est effectué à basse température (<300°C), à l'aide de matrices diamantées pour assurer la précision dimensionnelle. Des lubrifiants haute performance (par exemple, des émulsions de graphite) sont utilisés pendant le processus d'emboutissage pour réduire les rayures de surface, et un recuit intermédiaire (500-800 °C, atmosphère inerte) est effectué après chaque passage d'emboutissage pour soulager les contraintes et restaurer la ductilité. De plus, le polissage de surface et les processus de nettoyage ultra-propres, tels que le nettoyage par ultrasons, sont des étapes nécessaires dans la production de fil de molybdène ultra-fin pour éliminer les traces d'impuretés et les défauts de surface.

Scénarios d'application

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le fil de molybdène ultra-fin est principalement utilisé dans les domaines de la microélectronique, des dispositifs médicaux et de la découpe de fil de précision. Dans l'industrie de la microélectronique, le fil de molybdène ultra-fin est utilisé pour les fils de connexion des boîtiers de puces et les fils des capteurs miniatures, et sa haute résistance et son caractère non magnétique (perméabilité ≈ 1) assurent la stabilité du dispositif dans l'environnement électromagnétique. Par exemple, un fil de molybdène de 0,02 mm de diamètre peut être utilisé pour le collage de puces semi-conductrices avec une précision nanométrique. Dans le domaine médical, le fil de molybdène ultra-fin est utilisé dans la fabrication de fils-guides chirurgicaux mini-invasifs et de cibles à rayons X, et sa biocompatibilité et sa haute résistance le rendent adapté à l'implantation in vivo ou aux dispositifs d'imagerie de haute précision. Selon l'International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, le fil ultrafin de molybdène lanthane se comporte bien dans les capteurs miniatures à haute température en raison de sa température de recristallisation plus élevée (environ 1800°C). Dans l'électroérosion à fil, le fil de molybdène ultra-fin est utilisé pour traiter des moules de taille micrométrique et des géométries complexes avec une précision de coupe de $\pm 0,5 \mu\text{m}$.

2.5.2 Fil de molybdène fin standard (0,05 à 0,3 mm)

Le fil de molybdène fin standard a un diamètre de 0,05 à 0,3 mm et est la spécification la plus courante dans les applications de fil de molybdène et est largement utilisé dans la coupe de fils, les sources de lumière électrique et la fabrication de composants électroniques. Le fil de molybdène fin standard combine une résistance élevée avec une usinabilité modérée et convient à la production industrielle à grande échelle. Le fil de molybdène pur et le fil de molybdène lanthane sont les principaux types de cette spécification, et le fil de molybdène lanthane est avantageux dans les applications à haute température en raison de sa température de recristallisation plus élevée (1500-1800°C).

Processus de production

Le fil de molybdène fin standard est produit à l'aide d'un processus d'étirage à froid, en commençant par l'ébauche de molybdène et en réduisant progressivement le diamètre par plusieurs passes (généralement 10 à 15 passes). La machine à tréfiler est équipée d'une matrice en carbure ou en diamant et le lubrifiant est une solution à base d'huile ou d'eau pour réduire les frottements. Le recuit intermédiaire (600-900 °C, protection contre l'argon) est utilisé pour éliminer l'écrouissage, et le temps et la température du recuit doivent être contrôlés avec précision pour équilibrer la résistance et la ténacité. En termes de traitement de surface, le fil de molybdène nettoyé est soumis à un lavage alcalin (solution d'hydroxyde de sodium, 80-100 °C) pour éliminer la couche d'oxyde, et le fil de molybdène noir conserve une fine couche d'oxyde pour améliorer le pouvoir lubrifiant.

Scénarios d'application

Le fil de molybdène fin standard est le matériau de pointe pour l'électroérosion à fil et est largement utilisé dans la fabrication de moules, les pièces aérospatiales et l'usinage de précision. Par exemple, un fil de molybdène de 0,18 mm de diamètre atteint une précision d'usinage de $\pm 3 \mu\text{m}$ dans les machines d'électroérosion à fil à grande vitesse et convient à la découpe d'alliages de carbure et de titane. Dans le domaine des sources lumineuses électriques, des fils de molybdène fins standard (0,1 à 0,2 mm de diamètre) sont utilisés comme fils de support et fils pour les lampes halogènes et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

fluorescentes, et leur faible coefficient de dilatation thermique ($4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) assure une étanchéité fiable avec du verre. Dans les composants électroniques, le fil de molybdène fin standard est utilisé pour les connexions cathodiques entre les fils de thermocouple et l'électronique du vide, répondant aux exigences de conductivité élevée (environ 20 % IACS) et de faibles impuretés.

2.5.3 Fil de molybdène moyennement grossier (0,3 à 1,0 mm de diamètre)

Le fil de molybdène moyennement grossier est disponible dans des diamètres allant de 0,3 à 1,0 mm, combinant une résistance élevée avec une difficulté de traitement modérée, avec une résistance à la traction de 800 à 1500 MPa et un allongement de 3 à 8 %. Cette qualité de fil de molybdène convient aux applications qui nécessitent une rigidité et une durabilité élevées, telles que les composants de four à haute température, les éléments chauffants et les revêtements sous vide. La conductivité thermique (environ 135 W/(m·K)) et la stabilité à haute température (peut résister à 2000°C) du fil de molybdène moyen et grossier le rendent excellent dans les environnements à haute température, et le fil de molybdène lanthane et le fil de molybdène rhénium sont largement utilisés dans cette spécification.

Processus de production

La production de fil de molybdène moyennement grossier combine des procédés d'étirage à chaud et à froid. Le diamètre de l'ébauche initiale est réduit à 1,5 à 2,0 mm par étirage à chaud (800-1200 °C), puis traité à la taille cible par étirage à froid. Le processus d'étirage à chaud réduit l'usure du moule et convient à la production de masse ; Le processus d'étirage à froid améliore la précision dimensionnelle et la qualité de surface. Le procédé de recuit (700-1000°C, atmosphère inerte) est utilisé pour optimiser la structure des grains et améliorer la ténacité. Le traitement de surface comprend un lavage caustique ou un polissage électrolytique pour assurer la finition élevée du fil de molybdène nettoyé.

Scénarios d'application

Le fil de molybdène moyennement grossier est largement utilisé dans les composants de four à haute température et les éléments chauffants. Dans le four de croissance de silicium monocristallin, un fil de molybdène lanthane de 0,5 mm de diamètre est utilisé comme ligne de serrage de graines et élément de support, qui peut être utilisé à 1700°C pendant une longue période. Dans le revêtement sous vide, le fil de molybdène moyennement grossier (0,4 à 0,8 mm de diamètre) agit comme une source d'évaporation pour déposer des films optiques et semi-conducteurs, et sa haute pureté ($\geq 99,99\%$) garantit la qualité du film. Dans le domaine de l'électronique, le fil de molybdène moyen et grossier est utilisé pour les fils de cathode et les manchons de protection de thermocouple pour les tubes à rayons X, qui répondent aux exigences des environnements à haute température et sous vide.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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
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

2.5.4 Fil de molybdène grossier (diamètre > 1,0 mm)

Définition et caractéristiques Le diamètre du fil de molybdène grossier est supérieur à 1,0 mm, généralement dans la plage de 1,0 à 3,2 mm, et est le plus rigide et le moins difficile à traiter parmi les fils de molybdène. Le fil de molybdène grossier est principalement du fil de molybdène pur ou du fil de molybdène lanthane, qui convient aux applications lourdes et à haute température, telles que la pulvérisation thermique et les éléments de support de four à haute température. Sa grande stabilité à la température (jusqu'à 2000 °C) et sa conductivité thermique modérée (environ 130 W/(m·K)) le rendent largement utilisé dans les applications industrielles.

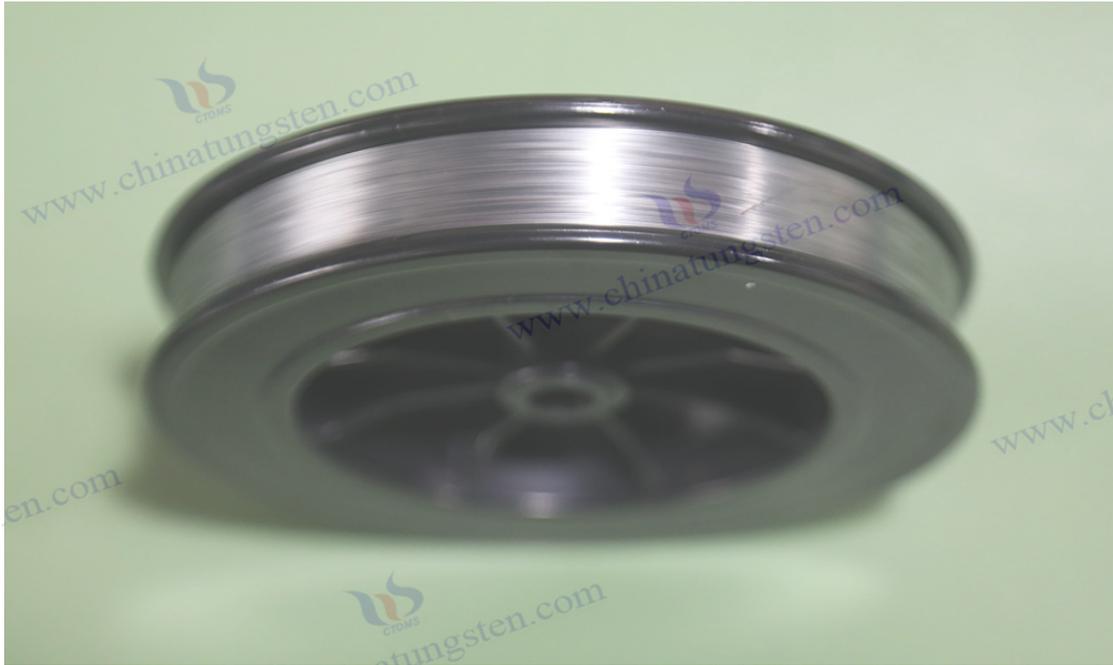
Processus de production

Le fil de molybdène grossier est principalement produit par un processus d'étirage à chaud, à partir de l'ébauche de molybdène (5 à 10 mm de diamètre) et à travers une matrice de grand diamètre à haute température (1000-1200 °C) avec une réduction de diamètre en un seul passage allant jusqu'à 20 à 30 %. Le processus d'étirage à chaud réduit la difficulté de traitement et réduit le coût des moules, mais la qualité de surface est médiocre et la plupart d'entre eux sont des fils de molybdène noirs. Certains fils de molybdène grossiers doivent être étirés à froid et polis pour fabriquer des fils de molybdène nettoyés afin de répondre aux besoins d'applications spécifiques. Le procédé de recuit (800–1100°C, protection contre l'argon) est utilisé pour éliminer les contraintes résiduelles et optimiser les propriétés mécaniques.

Scénarios d'application

Le fil de molybdène grossier est principalement utilisé pour la pulvérisation thermique et les composants de four à haute température. Dans la pulvérisation thermique, des fils de molybdène grossiers d'un diamètre de 1,6 à 3,2 mm sont pulvérisés au plasma pour former un revêtement résistant à l'usure pour le renforcement de la surface des segments de piston automobiles, des aubes de moteurs d'avion et des moules industriels. Dans les fours à haute température, du fil de molybdène grossier (diamètre 1,0 à 2,0 mm) est utilisé comme éléments de support et fils, tels que les fixations pour les fours de croissance de saphir, qui peuvent fonctionner de manière stable à 1800°C.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène nettoyé

Chapitre 3 Caractéristiques du fil de molybdène

3.1 Propriétés physiques du fil de molybdène

Les propriétés physiques du fil de molybdène sont à la base de sa large gamme d'applications dans l'usinage de précision à haute température et l'électronique, couvrant des paramètres clés tels que le point de fusion, la densité, le coefficient de dilatation thermique, la conductivité électrique, la conductivité thermique et la dureté. Ces propriétés sont déterminées par la structure cristalline cubique centrée sur le corps (BCC) du molybdène et la régulation des éléments de dopage, qui confèrent au fil de molybdène d'excellentes performances dans des environnements extrêmes. Ce qui suit est une analyse détaillée des propriétés physiques du fil de molybdène, y compris son mécanisme microscopique, sa méthode de mesure et l'impact de l'application.

3.1.1 Point de fusion et point d'ébullition du fil de molybdène

Avec un point de fusion de 2623 °C (2896 K), le fil de molybdène se classe parmi les plus élevés de tous les métaux, derrière le tungstène (3422 °C), le rhénium (3186 °C) et l'osmium (3033 °C). Ce point de fusion élevé est dû aux fortes liaisons métalliques entre les atomes de molybdène et à la stabilité de la structure cubique centrée sur le corps, ce qui permet au fil de molybdène de conserver son intégrité structurelle sans fondre dans des environnements à très haute température tels que 1700-2000°C dans un four de croissance de silicium monocristallin. Son point d'ébullition élevé de 4639 °C (4912 K) correspond à une très faible pression de vapeur (environ 10^{-7} Pa à 2000°C), assurant une perte minimale de matériau du fil de molybdène dans les applications de revêtement sous vide et de four à haute température. Le fil de molybdène pur peut toujours maintenir sa résistance mécanique à 2000 °C, tandis que le fil de molybdène lanthane dopé et le fil de molybdène rhénium améliorent encore les performances à haute température en augmentant la température de recristallisation (jusqu'à 1800 °C et 2000 °C, respectivement).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le point de fusion est généralement mesuré à l'aide d'une calorimétrie différentielle à balayage (DSC) à haute température ou de pyromètres optiques avec une précision de $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Les mesures du point d'ébullition nécessitent l'utilisation d'un analyseur thermogravimétrique (TGA) dans un environnement sous vide pour surveiller la perte de masse. Dans les applications pratiques, le point de fusion élevé du fil de molybdène en fait un matériau idéal pour chauffer les éléments dans les fours à haute température, comme dans les fours de croissance de cristal de saphir, où le fil de molybdène peut résister à une chaleur circulante à 1800°C sans déformation. Cependant, les filaments de molybdène ont tendance à réagir avec l'oxygène pour former des oxydes volatils (MoO_3) à haute température, ils doivent donc être utilisés dans le vide ($<10^{-3}$ Pa) ou dans une atmosphère inerte (par exemple l'argon, l'hélium) pour protéger leurs performances. En raison de l'ajout de rhénium, le fil de molybdène et de rhénium peut légèrement augmenter le point de fusion à 2650°C , et en même temps réduire le taux d'évaporation à haute température, ce qui convient aux composants aérospatiaux à haute température.

3.1.2 Masse volumique du fil de molybdène

Avec une densité de $10,28\text{ g/cm}^3$ (20°C), le fil de molybdène se situe entre le fer ($7,87\text{ g/cm}^3$) et le tungstène ($19,25\text{ g/cm}^3$), qui est à la fois léger et très résistant. La densité diminue légèrement avec la température, à $10,15\text{ g/cm}^3$ à 1000°C , avec un changement d'environ 1,3 % seulement, reflétant l'excellente stabilité thermique du fil de molybdène. La faible densité donne au fil de molybdène un avantage de poids dans l'aérospatiale et l'électronique, comme dans les pièces structurelles de satellites, où il réduit la masse globale tout en offrant une rigidité suffisante.

Les mesures de masse volumique sont effectuées par la méthode de drainage d'Archimède ou par densitomètre à rayons X avec une précision de $\pm 0,01\text{ g/cm}^3$. La densité du fil de molybdène a une influence importante sur son processus d'étirage : la densité plus faible réduit l'usure de la matrice pendant le processus d'étirage et facilite la production de fil de molybdène ultra-fin (diamètre $<0,05$ mm). Dans le domaine des sources lumineuses électriques, la densité du fil de molybdène assure une rigidité suffisante lorsqu'il est utilisé comme fil de support d'ampoule, tout en évitant la complication de la conception structurelle causée par un poids excessif. La densité du fil de molybdène lanthane et du fil de molybdène rhénium varie légèrement ($10,3$ à $10,5\text{ g/cm}^3$) en raison de l'influence des éléments dopants, mais conserve tout de même des caractéristiques de légèreté et convient aux environnements à haute température et à charge dynamique.

3.1.3 Coefficient de dilatation thermique du fil de molybdène

Le coefficient de dilatation thermique du fil de molybdène est de $4,8$ à $5,2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20 à 1000°C), ce qui correspond fortement au verre (4 à $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) et à la céramique (3 à $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Cela en fait un matériau d'étanchéité idéal pour les sources lumineuses électriques et les appareils à vide. Par exemple, dans les lampes halogènes et les tubes à rayons X, le fil de molybdène agit comme un fil conducteur pour former une connexion fiable au joint en verre et éviter la fissuration pendant les cycles thermiques. Le coefficient de dilatation thermique est mesuré à l'aide d'un dilatomètre ou d'une interférométrie laser avec une précision de $\pm 0,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Le faible coefficient de dilatation thermique assure une grande stabilité dimensionnelle du fil de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

molybdène dans les cycles à haute température et réduit la déformation causée par le stress thermique. Dans les applications de fours à haute température, le faible coefficient de dilatation thermique du fil de molybdène lui permet de résister à des augmentations rapides de température (jusqu'à 50°C/min) sans déformation significative. Le fil de molybdène lanthane peut optimiser le coefficient de dilatation thermique à $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ grâce à l'effet de goupillage des particules d'oxyde de lanthane, ce qui convient aux composants de haute précision à haute température. Le fil de molybdène rhénium a un coefficient de dilatation thermique légèrement plus élevé ($5,0-5,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), mais son excellente ténacité compense cette différence, ce qui le rend adapté à une utilisation dans des environnements aérospatiaux dynamiques.

3.1.4 Conductivité du fil de molybdène

La conductivité du fil de molybdène est de 18 à 20 % IACS (norme internationale pour le cuivre recuit, 100 % IACS est la conductivité du cuivre pur), ce qui correspond à une résistivité de 5,2 à 5,7 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ (20 °C). Bien que la conductivité soit inférieure à celle du cuivre (100 % IACS) et de l'argent (105 % IACS), la conductivité du fil de molybdène est excellente à haute température, et la résistivité n'augmente qu'à environ 20 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ à 1000°C, ce qui est inférieur à celle du cuivre (environ 50 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$). La conductivité a été mesurée à l'aide de la méthode à quatre sondes avec une précision de $\pm 0,1 \mu\Omega \cdot \text{cm}$. La stabilité de la conductivité à haute température du fil de molybdène le rend excellent dans l'électroérosion à fil coupé (WEDM) et les fours électriques à haute température, et peut résister à des courants d'impulsion à haute fréquence (10-100 kHz) sans dommages thermiques importants.

Le fil de molybdène lanthane peut augmenter la conductivité jusqu'à 22 % grâce à l'IACS de raffinement des grains pour les composants électroniques de haute précision tels que les fils de thermocouple et les fils microélectroniques. Le fil de molybdène nettoyé présente un avantage dans les sources lumineuses électriques et les appareils à vide, car la couche d'oxyde de surface est éliminée et la résistance de contact est inférieure à celle du fil de molybdène noir (réduction d'environ 10 %). Lors de la coupe en ligne, la conductivité du fil de molybdène assure un arc électrique efficace à des vitesses de coupe allant jusqu'à 10 à 15 mm^2/min . La conductivité du fil de molybdène rhénium est légèrement inférieure à celle du fil de molybdène pur (environ 16 à 18 % IACS), mais sa stabilité à haute température le rend largement utilisé dans les connecteurs électriques aérospatiaux.

3.1.5 Conductivité thermique du fil de molybdène

La conductivité thermique du fil de molybdène est de 138 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (20°C), ce qui est le niveau le plus élevé parmi les métaux, juste derrière le cuivre (401 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) et l'argent (429 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$). À 1000°C, la conductivité thermique est réduite à environ 100 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, ce qui peut encore conduire efficacement la chaleur, ce qui convient aux fours à haute température et aux équipements de revêtement sous vide. La conductivité thermique est mesurée à l'aide de la méthode du flash laser avec une précision de $\pm 5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. La conductivité thermique élevée du filament de molybdène permet une dissipation rapide de la chaleur dans les applications à haute puissance et réduit la dégradation des performances causée par une surchauffe localisée, comme dans les sources de lumière électrique, où le filament de molybdène conduit la chaleur du filament vers l'extérieur et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

prolonge la durée de vie de la lampe (jusqu'à plus de 2000 heures).

Dans la découpe de fils, la conductivité thermique élevée du fil de molybdène réduit les dommages causés au fil à une température d'arc élevée (>6000°C) et prolonge la durée de vie (jusqu'à plus de 100 heures). La conductivité thermique du fil de molybdène lanthane est proche de celle du fil de molybdène pur, tandis que le fil de molybdène rhénium se comporte bien dans les composants aérospatiaux à haute température tels que les buses en optimisant la teneur en rhénium jusqu'à 150 W/(m·K). L'état de surface a peu d'effet sur la conductivité thermique, mais l'efficacité de la conductivité thermique du fil de molybdène nettoyé est légèrement supérieure à celle du fil de molybdène noir (augmentation d'environ 5 %) en raison de sa finition de surface élevée.

3.1.6 Dureté Mohs du fil de molybdène

Le fil de molybdène a une dureté de 5,5 à 6,0 sur l'échelle de Mohs, proche de celle de l'acier (5 à 6,5), une dureté Vickers (HV) de 200 à 250 et du fil de molybdène étiré à froid jusqu'à 300 à 350 HV. La dureté a été mesurée à l'aide d'un duromètre Vickers avec une charge appliquée de 5 à 10 kg et une précision de ± 5 HV. La dureté du fil de molybdène garantit qu'il résiste à l'usure lors du tréfilage et du traitement, tout en conservant une ténacité suffisante pour éviter la fragilité. Le fil de molybdène lanthane est dopé avec de l'oxyde de lanthane pour augmenter la dureté jusqu'à 350-400 HV et le fil de molybdène-rhénium jusqu'à 400 HV, ce qui le rend adapté aux applications à haute résistance à l'usure.

Dans l'électroérosion à fil, la dureté du fil de molybdène réduit l'usure causée par l'érosion par arc, avec un taux d'usure inférieur à 0,01 mm/h. Dans la projection thermique, la dureté appropriée garantit que le fil de molybdène reste structurellement intact avant la fusion, ce qui permet d'obtenir une dureté de revêtement allant jusqu'à HV 800-1000. La dureté est étroitement liée à la taille des grains, et le fil de molybdène ultra-fin (<0,05 mm de diamètre) atteint une dureté plus élevée avec des grains à l'échelle nanométrique (10-50 nm) pour répondre aux besoins des domaines de la microélectronique et de la médecine.

3.2 Propriétés chimiques du fil de molybdène

Les propriétés chimiques du fil de molybdène déterminent sa stabilité dans des environnements corrosifs et des conditions de température élevée, notamment la stabilité chimique, la résistance à la corrosion, les propriétés d'oxydation et le comportement de réaction chimique. Ces propriétés découlent de la structure électronique et des propriétés de surface du molybdène, qui lui confèrent des avantages uniques dans les environnements chimiques, médicaux et à haute température.

3.2.1 Stabilité chimique du fil de molybdène

Le fil de molybdène présente une excellente stabilité chimique à température ambiante et est inerte aux acides non oxydants (par exemple, l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique, l'acide phosphorique), aux bases (par exemple, la solution d'hydroxyde de sodium) et aux solvants organiques (par exemple, l'éthanol, l'acétone). Dans une solution d'acide chlorhydrique à 10 % ou d'hydroxyde de sodium à 5 % à 20 °C, le taux de corrosion du fil de molybdène est inférieur à 0,001 mm/an avec une perte de masse presque nulle. Cette stabilité le rend adapté à une utilisation dans

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

les réacteurs chimiques, les capteurs électrochimiques et les dispositifs médicaux. Par exemple, dans les capteurs électrochimiques, le fil de molybdène agit comme une électrode pour un fonctionnement à long terme dans une solution de pH 2-12 sans dégradation.

La stabilité chimique a été vérifiée par des essais d'immersion et des essais de corrosion électrochimique, et le potentiel de corrosion (E_{corr}) mesuré par un potentiostat était d'environ -0,2 V (par rapport à une électrode d'hydrogène standard). À des températures élevées ($>400^{\circ}\text{C}$), la stabilité chimique du fil de molybdène diminue, et il est facile de réagir avec l'oxygène, l'azote ou l'halogène, et doit être utilisé dans une atmosphère vide ou inerte (comme l'argon, l'azote) pour maintenir ses performances. Le fil de molybdène lanthane forme une couche protectrice par passivation de surface, et sa stabilité chimique est légèrement meilleure que celle du fil de molybdène pur.

3.2.2 Résistance à la corrosion du fil de molybdène

Le fil de molybdène a une excellente résistance à la corrosion aux acides non oxydants (par exemple, 10 % d'acide chlorhydrique, 20 % d'acide phosphorique) et aux solutions salines neutres (par exemple, 3,5 % de chlorure de sodium), avec un taux de corrosion inférieur à 0,01 mm/an, ce qui est meilleur que celui de l'acier inoxydable 316L (environ 0,05 mm/an). Dans l'environnement de l'eau de mer, la résistance aux piqûres du fil de molybdène est meilleure que celle de l'acier ordinaire, qui convient à l'ingénierie maritime et aux équipements chimiques. Le fil de rhénium en molybdène est encore amélioré par l'ajout de rhénium (5 à 41 % en poids), et le taux de corrosion est inférieur à 0,005 mm/an dans les environnements contenant de l'acide sulfurique ou de l'acide nitrique dilué, ce qui le rend adapté aux réacteurs chimiques à haute température.

Le fil de molybdène est sensible aux acides oxydants forts (tels que l'acide nitrique concentré, l'acide sulfurique chaud), et le taux de corrosion peut atteindre 0,1 mm/h dans l'acide nitrique concentré à 60°C . La résistance à la corrosion a été testée par un test au brouillard salin et une spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS), et la valeur d'impédance du fil de molybdène lanthane était supérieure à celle du fil de molybdène pur (environ $10^5 \Omega \cdot \text{cm}^2$), indiquant que la couche de passivation de surface est plus dense. Les revêtements de surface, tels que le siliciure de molybdène ou la zircone, peuvent réduire davantage le taux de corrosion et prolonger la durée de vie.

3.2.3 Caractéristiques d'oxydation du fil de molybdène

Le filament de molybdène est sujet à l'oxydation dans une atmosphère oxydante à haute température pour générer du trioxyde de molybdène volatil (MoO_3), la température d'oxydation initiale est d'environ 400°C et le taux d'oxydation augmente considérablement au-dessus de 600°C . Dans un air à 800°C , une couche d'oxyde jaune s'est rapidement formée à la surface du fil de molybdène, et le taux de perte de masse a pu atteindre $0,1 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$. Le comportement à l'oxydation a été mesuré à l'aide d'un analyseur thermogravimétrique (TGA) à différentes températures et atmosphères avec une précision de $\pm 0,01 \text{ mg}$. Le fil de molybdène évite l'oxydation dans le vide ($<10^{-3} \text{ Pa}$) ou dans des atmosphères inertes (par exemple argon, hélium, teneur en oxygène $<10 \text{ ppm}$) et fonctionne pendant des milliers d'heures à 2000°C sans perte de masse significative.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le fil de molybdène lanthane augmente la température d'oxydation initiale à 600-700 °C grâce à l'effet d'épinglage des particules d'oxyde de lanthane, et le fil de molybdène rhénium peut atteindre 800 °C. Les technologies de revêtement de surface, telles que les revêtements en siliciure de molybdène d'une épaisseur de 5 à 10 µm, peuvent réduire le taux d'oxydation à 0,01 mg/cm²·h (dans l'air à 1000°C) et prolonger considérablement la durée de vie à haute température. Dans les applications de fours à haute température, un fil de molybdène est nécessaire avec une pompe à vide ou un système de protection contre les gaz inertes pour éviter l'oxydation.

3.2.4 Valence et réaction chimique du fil de molybdène

Le molybdène est un métal polyvalent avec des valences de +2, +3, +4 et +6 qui présente une diversité dans les réactions chimiques. À température ambiante, le fil de molybdène ne réagit pas avec l'oxygène, l'azote, l'eau ou les solvants organiques courants, et une fine couche de passivation (d'environ 1 à 2 nm d'épaisseur) se forme à la surface pour inhiber d'autres réactions. À haute température (>700°C), le fil de molybdène réagit avec l'oxygène pour former du MoO₃, avec l'azote pour former du nitrure de molybdène (Mo₂N) et avec le chlore pour former du chlorure de molybdène (MoCl₅). La nature volatile de ces produits de réaction peut entraîner des pertes de matière et doit être évitée par le contrôle atmosphérique (par exemple, la protection contre l'argon).

Dans une solution hautement alcaline à haute température (par exemple, hydroxyde de sodium fondu, > 500 °C), le fil de molybdène se dissout pour former du molybdate (par exemple, Na₂MoO₄) à un taux de dissolution d'environ 0,05 mm/h. Le comportement de la réaction chimique a été analysé par spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS) et spectroscopie infrarouge (FTIR) pour confirmer la composition des composés de surface. En raison de l'inertie chimique du rhénium, le fil de molybdène rhénium est plus résistant aux halogènes et aux acides à haute température, et le taux de corrosion est inférieur à 0,01 mm/h dans un environnement chloré de 1000 °C, ce qui convient aux environnements chimiques extrêmes.

3.3 Propriétés mécaniques du fil de molybdène

Les propriétés mécaniques du fil de molybdène, y compris la résistance à la traction, la ductilité, la ténacité et les propriétés de fatigue, affectent directement ses performances dans le traitement et l'application. Ces propriétés sont optimisées grâce au dopage, aux procédés de tréfilage et au traitement thermique pour répondre aux besoins de différentes applications.

3.3.1 Résistance à la traction du fil de molybdène

La résistance à la traction du fil de molybdène varie en fonction de la composition et du processus de traitement. La résistance à la traction du fil de molybdène pur est de 800 à 1200 MPa, qui peut être augmentée à 1500-1800 MPa dans le processus d'étirage à froid. La résistance à la traction du fil de molybdène lanthane est augmentée à 1500-2000 MPa par le dopage à l'oxyde de lanthane (0,3-1,0 % en poids %), le fil de molybdène et rhénium (teneur en rhénium 5-41 % en poids) peut atteindre 2000-3000 MPa, et le fil de molybdène ultra-fin (diamètre <0,05 mm) peut être raffiné à 3500 MPa par des grains nanocristallins. La résistance à la traction est mesurée à l'aide d'une machine d'essai de traction universelle avec une vitesse de charge de 0,5 mm/min et une précision de ± 1 MPa.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La résistance à la traction diminue avec l'augmentation de la température, et à 1000°C, la résistance du fil de molybdène pur diminue à environ 500 MPa, et le fil de molybdène lanthane et le fil de molybdène rhénium restent à 1000 MPa et 1500 MPa, respectivement. Dans l'électroérosion à fil, la résistance élevée à la traction (tension 10-20 N) garantit que le fil de molybdène ne se rompt pas et que la précision de coupe atteint $\pm 3 \mu\text{m}$. La haute résistance du fil de molybdène ultra-fin le rend excellent dans les fils de connexion microélectroniques et les fils-guides médicaux, et peut résister à des contraintes complexes sans déformation.

3.3.2 Ductilité du fil de molybdène

La ductilité du fil de molybdène est exprimée en termes d'allongement, et l'allongement du fil de molybdène pur est de 2 à 5 %, qui peut être augmenté à 8 à 10 % après l'étirage à froid. Les fils de molybdène lanthane et de molybdène rhénium sont renforcés par raffinement des grains et dopage avec un allongement de 10 à 15 %, ce qui les rend adaptés au traitement de formes complexes. La ductilité a été mesurée à l'aide d'un essai de traction qui a enregistré le pourcentage d'allongement avant la rupture avec une précision de $\pm 0,1 \%$. À des températures élevées ($>500^\circ\text{C}$), la ductilité du fil de molybdène est considérablement améliorée, avec un allongement de 15 à 20 %, ce qui est pratique pour le traitement thermique.

Le fil de molybdène à haute ductilité peut résister à de multiples flexions et étirements, par exemple, dans les sources de lumière électrique, le fil de molybdène doit être plié en géométries complexes comme fil de support ; Dans les fours à haute température, le fil de molybdène en tant que plomb doit s'adapter à la déformation causée par la dilatation thermique. Le fil de molybdène rhénium a une excellente ductilité à basse température et peut encore être traité à -50°C sans fragilité, ce qui convient aux environnements aérospatiaux à basse température.

3.3.3 Ténacité du fil de molybdène

La ténacité du fil de molybdène reflète sa capacité à absorber l'énergie d'impact, et la résistance à la rupture (K_{IC}) du fil de molybdène pur est de 10 à 15 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, car la structure cubique centrée sur le corps est sujette à une transformation fragile à basse température. Le fil de molybdène lanthane et le fil de molybdène rhénium augmentent la résistance à la rupture à 20-30 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ grâce au dopage et au raffinement des grains, réduisant ainsi considérablement le risque de fragilité. La ténacité a été mesurée à l'aide d'un essai de flexion en trois points ou d'un essai de choc Charlais avec une précision de $\pm 1 \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

Le fil de molybdène hautement résistant convient aux environnements de charge dynamiques, tels que les vibrations à haute fréquence (10-100 Hz) dans la coupe du fil, ou les cycles thermiques dans les fours à haute température ($50^\circ\text{C}/\text{min}$). Le fil de molybdène ultra-fin optimise la ténacité grâce à un recuit en plusieurs étapes pour répondre aux exigences de flexibilité des fils-guides chirurgicaux mini-invasifs. La ténacité du fil de molybdène rhénium est meilleure que celle du fil de molybdène pur à basse température (-50°C) et à haute température (2000°C), ce qui convient aux composants dynamiques aérospatiaux.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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
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

3.3.4 Propriétés de fatigue du fil de molybdène

Les propriétés de fatigue du fil de molybdène font référence à sa durabilité sous contrainte cyclique, et la limite de fatigue du fil de molybdène pur est de 400 à 600 MPa (cycles de 10). Les fils de molybdène lanthane et de molybdène rhénium sont renforcés par raffinement des grains et dopage jusqu'à des limites de fatigue de 800 à 1000 MPa. La performance en fatigue a été mesurée par un essai de fatigue en flexion rotationnelle avec une fréquence de 50 Hz et une précision de ± 10 MPa. Lors de la découpe du fil, le fil de molybdène est soumis à des cycles de tension à haute fréquence (10-20 N), et le fil de molybdène nettoyé a une durée de vie en fatigue d'environ 20 % plus longue que le fil de molybdène noir en raison de sa finition de surface élevée ($Ra < 0,2 \mu\text{m}$).

Les propriétés de fatigue sont essentielles pour les composants à haute température et l'électroérosion à fil. La durée de vie du cycle thermique du fil de molybdène lanthane dans un four à haute température peut atteindre plus de 5000 fois, et la durée de vie en fatigue du fil de molybdène et de rhénium dans les buses aérospatiales peut atteindre 10^8 cycles. L'optimisation de la matrice d'étirage (rugosité de surface $Ra < 0,05 \mu\text{m}$) et du processus de recuit (700–900 °C, protection contre l'argon) améliore encore les propriétés de fatigue et réduit les microfissures de surface.

3.4 Propriétés spéciales du fil de molybdène

Les propriétés spéciales du fil de molybdène comprennent des performances à haute température, une résistance à l'usure et un non-magnétisme, ce qui le rend particulièrement avantageux dans des domaines spécifiques pour répondre aux besoins des environnements à haute température, tribologiques et sensibles aux rayonnements électromagnétiques.

3.4.1 Performance à haute température du fil de molybdène

Les performances à haute température du fil de molybdène sont sa caractéristique la plus importante, le fil de molybdène pur maintient l'intégrité structurelle à 2000 °C et la résistance à la traction est d'environ 500 MPa. La température de recristallisation du fil de molybdène lanthane peut atteindre 1800 °C, et la température de recristallisation du fil de molybdène et de rhénium peut atteindre 2000 °C, ce qui inhibe la croissance des grains par dopage et améliore la résistance au fluage de plus de 50 %. L'essai de performance à haute température adopte un essai de traction à haute température et un essai de fluage, et la précision du contrôle de la température est $\pm 5^\circ\text{C}$. Dans les fours de croissance de silicium monocristallin, le fil de molybdène et de lanthane peut fonctionner à 1700°C pendant des milliers d'heures comme élément chauffant avec un taux de déformation inférieur à 0,1 %.

Le fil de molybdène rhénium présente une excellente résistance aux chocs thermiques dans la tuyère du moteur spatial à 2500°C, et résiste à 1000 cycles thermiques (vitesse de chauffage 100°C/s) sans fissures. Les performances à haute température sont affectées par l'atmosphère et doivent être utilisées sous vide ($< 10^{-3}$ Pa) ou dans un gaz inerte (teneur en oxygène < 10 ppm) pour éviter l'oxydation. Les revêtements de surface, tels que la zircone d'une épaisseur de 5 à 10 μm , prolongent la durée de vie à haute température à plus de 5000 heures.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

3.4.2 Résistance à l'abrasion du fil de molybdène

La résistance à l'usure du fil de molybdène est liée à sa dureté et à sa qualité de surface, et le fil de molybdène d'une dureté Vickers de 200 à 400 HV résiste à l'érosion par arc dans l'électroérosion à fil avec un taux d'usure inférieur à 0,01 mm/h. Le fil de molybdène lanthane et le fil de molybdène rhénium augmentent la dureté à 350-400 HV grâce au raffinement du grain et augmentent la résistance à l'usure de 30 %. La résistance à l'abrasion est testée à l'aide d'une machine d'essai de frottement et d'usure avec une paire de carbure et une charge de 10 N. Dans la projection thermique, les fils de molybdène forment des revêtements d'une dureté de 800 à 1000 et d'un coefficient de frottement inférieur à 0,3, ce qui améliore considérablement la résistance à l'usure des substrats tels que les segments de piston automobiles.

En raison de sa finition de surface élevée ($Ra < 0,1 \mu\text{m}$) et de sa résistance à l'usure du fil de molybdène nettoyé, le fil de molybdène nettoyé convient aux environnements de vibration à haute fréquence. Les filaments de molybdène ultrafins sont encore améliorés avec des grains nanocristallins (10-50 nm) pour répondre aux besoins de la microélectronique et des fils-guides médicaux. L'optimisation du processus d'étirage (par exemple avec des matrices diamantées) et le polissage de surface réduisent les taux d'usure à 0,005 mm/h.

3.4.3 Propriétés non magnétiques du fil de molybdène

Le fil de molybdène est un matériau non magnétique avec une perméabilité relative proche de 1 (identique au vide), ne magnétise pas dans un champ magnétique et convient aux environnements électromagnétiquement sensibles tels que les équipements de résonance magnétique nucléaire (IRM) et les systèmes de navigation aérospatiale. Le non magnétique est mesuré à l'aide d'un magnétomètre à échantillon vibrant (VSM) avec une aimantation de $< 10^{-6}$ emu/g. La nature non magnétique du fil de molybdène provient de sa structure cubique centrée sur le corps et de sa faible teneur en impuretés, et les éléments dopés (tels que le lanthane et le rhénium) ne changent pas cette caractéristique.

Dans les appareils d'IRM, le fil de molybdène est utilisé comme matériau de fil pour éviter les interférences de champ magnétique et assurer la précision de l'imagerie (résolution $< 1 \text{ mm}$). Dans l'aérospatiale, le fil de molybdène est utilisé dans les fils de connexion des capteurs satellites et résiste à des champs magnétiques puissants ($> 1 \text{ T}$) sans changement de performance. La nature non magnétique donne également au fil de molybdène un avantage dans les instruments de précision tels que les spectromètres de masse, où les champs magnétiques interfèrent avec les trajectoires des ions.

3.5 CTIA GROUP LTD Fil de molybdène MSDS

La fiche de données de sécurité (FDS) fournit des conseils détaillés pour l'utilisation, le stockage et l'élimination en toute sécurité du fil de tungstène-molybdène, couvrant la composition chimique, l'identification des dangers, les mesures de protection, les propriétés physiques et chimiques, etc., afin d'assurer la sécurité opérationnelle et la conformité environnementale.

1. Nom du produit

Nom : Fil de molybdène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Numéro CAS : 7439-98-7 (molybdène), 7440-15-5 (rhénium), 1317-33-5 (oxyde de lanthane)

2. Composition et informations sur la composition

Fil de molybdène pur : molybdène $\geq 99,95$ %, impuretés (C $< 0,01$ %, O $< 0,005$ %, N $< 0,003$ %, Fe $< 0,005$ %)

Fil de molybdène lanthane : Molybdène $\geq 99,0$ %, oxyde de lanthane (LO₃) 0,3 à 1,0 %

Fil molybdène rhénium : molybdène 59 à 95 %, rhénium 5 à 41 %

Forme physique : filament métallisé blanc argenté ou gris noir, 0,03–3,2 mm de diamètre

Odeur : Inodore

3. Identification des dangers

À température ambiante : le fil de molybdène est un métal stable, non toxique, non radioactif, sans danger significatif pour la santé et non irritant au contact de la peau.

Température élevée (>400 °C) : Des poussières volatiles d'oxyde de molybdène (MoO₃) peuvent être libérées, ce qui peut provoquer une irritation respiratoire (p. ex., toux, irritation de la gorge) en cas d'inhalation.

Usinage : La coupe, le meulage ou le tréfilage peuvent produire de la poussière métallique, qui peut provoquer une irritation des poumons en cas d'inhalation, et une légère fibrose pulmonaire peut être causée par une exposition à long terme.

Risque d'incendie : Le fil de molybdène lui-même n'est pas inflammable, mais des oxydes inflammables (MoO₃) se forment dans une atmosphère oxydante à haute température, ce qui peut présenter un risque d'incendie.

Risques environnementaux : le fil de molybdène lui-même n'a pas de dommages significatifs pour l'environnement, et les déchets de fil de molybdène doivent être correctement recyclés pour éviter les jets aléatoires.

4. Mesures de premiers secours

Inhalation : Déplacez la personne dans un endroit bien ventilé pour lui fournir de l'air frais, demandez des soins médicaux immédiats et fournissez-lui un soutien en oxygène si la respiration est difficile.

Contact avec la peau : Rincer le contact avec du savon et abondamment à l'eau pendant au moins 15 minutes, consulter un dermatologue en cas de rougeur, de gonflement ou d'irritation.

Contact visuel : Rincez-vous les yeux abondamment à l'eau ou au sérum physiologique pendant au moins 15 minutes, ouvrez les paupières supérieures et inférieures pour vous assurer qu'elles sont bien lavées et consultez immédiatement un médecin si l'inconfort persiste.

Ingestion : La possibilité d'ingérer du fil de molybdène par erreur est très faible, si cela se produit, consultez immédiatement un médecin, ne faites pas vomir, gardez le patient éveillé et fournissez des informations sur la fiche signalétique.

5. Mesures de protection contre l'incendie

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Agent extincteur : utilisez des extincteurs à poudre sèche, à sable sec ou à dioxyde de carbone, et il est interdit d'utiliser des agents extincteurs à eau ou à mousse.

Risques particuliers : Les fumées d'oxyde de molybdène sont générées à des températures élevées, et les pompiers doivent porter un appareil respiratoire à pression positive et des vêtements de protection complets.

Précautions contre l'incendie : contrôler la source de l'incendie, prévenir la propagation de la fumée, maintenir la ventilation et éviter d'inhaler des gaz toxiques.

6. Traitement d'urgence des fuites

Ramassez les fils de molybdène éparpillés et utilisez des outils antistatiques pour éviter que la poussière ne vole.

Utilisez un aspirateur (équipé d'un filtre HEPA) ou humide pour nettoyer la poussière métallique afin d'éviter l'inhalation.

Les déchets de fil de molybdène collectés sont stockés dans un conteneur hermétique et remis à une agence de recyclage professionnelle pour être éliminés conformément aux réglementations locales. La zone de fuite doit être isolée et un équipement de protection doit être porté pour éviter tout contact avec du personnel non formé.

7. Manipulation et stockage

Précautions de manipulation : Porter des gants de protection (nitrile ou cuir), des lunettes de protection et des masques anti-poussière (N95 ou supérieur), et utiliser un équipement d'évacuation locale (volume d'air > 500 m³/h) pendant l'usinage.

Conditions de stockage : Stocker dans un entrepôt sec (humidité < 60 %), ventilé (température 20-25 °C), éviter les températures élevées (>400 °C) et les environnements humides pour éviter l'oxydation de surface.

Substances incompatibles : Évitez tout contact avec des agents oxydants puissants (par exemple, acide nitrique concentré, peroxyde d'hydrogène), de l'oxygène à haute température et des alcalis fondus.

Exigences d'emballage : Utilisez des sacs en plastique étanches à l'humidité ou des canettes métalliques pour sceller l'emballage afin d'éviter les dommages physiques et l'oxydation.

8. Contrôle de l'exposition et protection individuelle

Contrôle technique : Équipé d'un système d'évacuation locale (vitesse du vent > 0,5 m/s) et d'un dispositif de dépoussiérage pour maintenir la concentration de poussière de molybdène dans l'air du lieu de travail en dessous de 5 mg/m³.

Équipement de protection individuelle : lunettes de protection (selon EN 166), masque anti-poussière (selon NIOSH N95), gants de protection et combinaisons à manches longues.

Limites d'exposition : la poussière de molybdène OSHA PEL est de 5 mg/m³ (particules respirables), la TLV de l'ACGIH est de 10 mg/m³ (poussières totales) et la norme chinoise GBZ 2.1 est de 6 mg/m³.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Méthode de surveillance : Détecter régulièrement la concentration de poussières sur le lieu de travail avec une précision de $\pm 0,1 \text{ mg/m}^3$.

9. Propriétés physicochimiques

Aspect : filament métallique blanc argenté (fil de molybdène nettoyé) ou noir-gris (fil de molybdène noir)

Point de fusion : 2623°C (fil de molybdène pur), 2650°C (fil de molybdène rhénium)

Point d'ébullition : 4639°C

Densité : $10,28 \text{ g/cm}^3$ (20°C)

Solubilité : insoluble dans l'eau, acide dilué et alcalin, soluble dans l'acide nitrique concentré à haute température ou l'hydroxyde de sodium fondu

Pression de vapeur : 10^{-7} Pa (2000°C).

Point d'éclair : Aucun (inflammable)

Stabilité : Stable à température ambiante, le MoO_3 est facile à former dans une atmosphère oxydante à haute température ($>400^\circ\text{C}$)

Coefficient de dilatation thermique : $4,8-5,2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ($20-1000^\circ\text{C}$).

Conductivité thermique : $138 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ (20°C)

Résistivité : $5,2-5,7 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ (20°C)

10. Stabilité et réactivité

Stabilité : Chimiquement stable à température ambiante, ne réagit pas avec l'eau, l'air ou les solvants courants.

Réactivité : Les températures élevées ($>400^\circ\text{C}$) réagissent avec l'oxygène, l'azote et les halogènes pour former du MoO_3 , du Mo_2N ou du MoCl_5 .

Éviter les conditions : atmosphère oxydante à haute température, agent oxydant fort, alcali fondu.

Produits de décomposition dangereux : poussières d'oxyde de molybdène (MoO_3), très volatiles à haute température.

11. Renseignements toxicologiques

Toxicité aiguë : faible toxicité, DL_{50} (rat, voie orale) $> 2000 \text{ mg/kg}$, CL_{50} (rat, inhalation) $> 5 \text{ mg/L}$ (4 heures).

Irritation cutanée : Pas d'irritation significative, une exposition prolongée peut provoquer une légère rougeur et un gonflement.

Irritation oculaire : La poussière peut provoquer une irritation mécanique et n'est pas chimiquement corrosive.

Toxicité chronique : l'inhalation à long terme de fortes concentrations de poussière de molybdène ($>10 \text{ mg/m}^3$) peut provoquer une irritation des poumons ou une légère fibrose, et aucune toxicité systémique n'a été observée.

Cancérogénicité : Non classé comme cancérogène par l'IARC, le NTP ou l'OSHA.

Toxicité pour la reproduction : pas de données sur la toxicité pour la reproduction ou le

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

développement.

12. Informations écologiques

Impact environnemental : Le fil de molybdène lui-même n'a pas de dommages significatifs à l'eau, au sol et à l'atmosphère, et les déchets de fil de molybdène doivent être recyclés pour éviter l'accumulation environnementale.

Bioaccumulation : Il n'y a pas de bioaccumulation significative, le molybdène est un oligo-élément, et les plantes et les animaux peuvent métaboliser des quantités infimes de molybdène.

Écotoxicité : Aucune toxicité aiguë pour les organismes aquatiques (comme les poissons), CL50 (96 heures) > 100 mg/L.

Persistence et dégradabilité : Le fil de molybdène est un métal non dégradable qui doit être recyclé.

13. Élimination et recyclage

Méthode d'élimination : Les déchets de fil de molybdène sont récupérés par dissolution chimique (acide nitrique ou solution alcaline) ou par électrolyse, et le taux de récupération peut atteindre 90 à 95 %.

Processus de recyclage : Les déchets de soie sont collectés → nettoyés chimiquement → dissous et purifiés → et les ébauches de molybdène sont réparées, qui doivent être exploitées dans une installation professionnelle.

Exigences environnementales : Ne le jetez pas à volonté dans des décharges ou des plans d'eau, et remettez-le à des institutions autorisées pour élimination conformément à la réglementation locale sur les déchets dangereux.

Avantages du recyclage : Environ 950 kg de molybdène peuvent être récupérés par tonne de fil de molybdène, ce qui réduit les déchets de ressources et la pollution de l'environnement.

14. Informations sur l'expédition

Classification des marchandises dangereuses : marchandises non dangereuses, transportées en tant que marchandises ordinaires.

Exigences de transport : Utilisez des emballages résistants à l'humidité et aux chocs (tels que des sacs en plastique scellés ou des canettes métalliques) pour éviter les dommages ou l'humidité pendant le transport.

Identification du transport : marqué « fil de molybdène » et spécifications, marqué « étanche à l'humidité » et « manipulé avec soin ».

Normes internationales : Conforme aux normes de transport IATA, IMDG et ADR.

15. Informations réglementaires

Réglementation chinoise : conforme aux normes GB/T 4182-2003 « Fil de molybdène » et GBZ 2.1 « Limites d'exposition professionnelle aux facteurs nocifs sur le lieu de travail ».

Réglementations internationales : Conforme à la norme ASTM B387 pour les tiges, bandes et fils

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

en molybdène et en alliage de molybdène, ainsi qu'aux exigences REACH et OSHA Chemical Management.

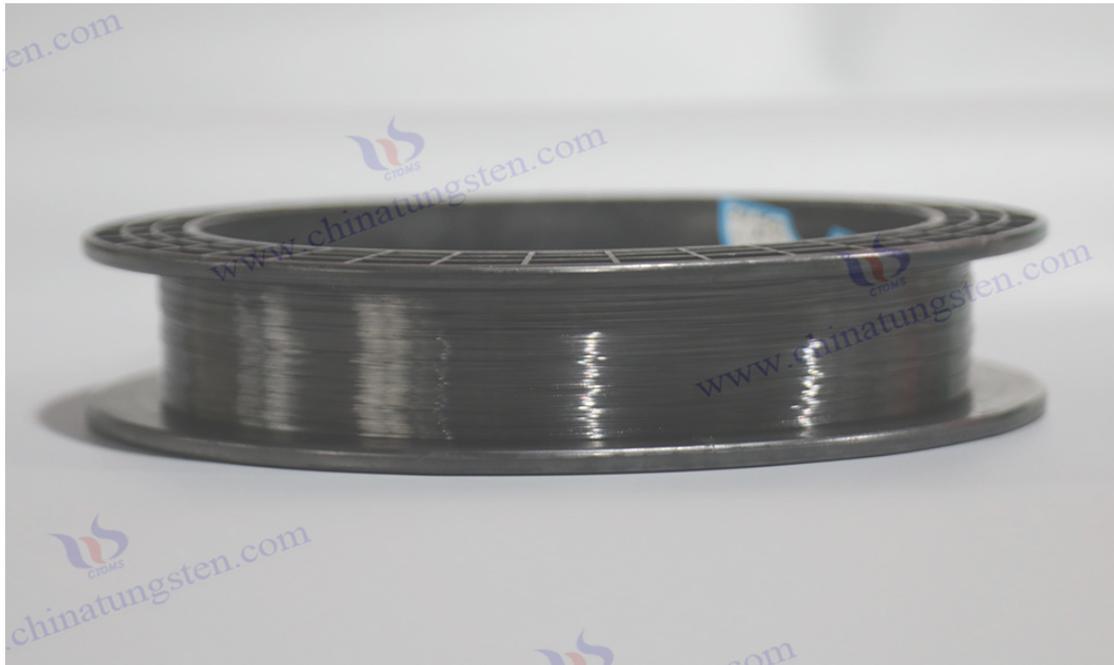
Réglementations environnementales : L'élimination des déchets de fils de molybdène doit être conforme à la loi sur la prévention et le contrôle de la pollution de l'environnement par les déchets solides et à la directive RoHS de l'UE.

Certification de sécurité : certification du système de management de la qualité ISO 9001 et certification du système de management environnemental ISO 14001.

16. Informations sur le fournisseur

Fournisseur : CTIA GROUP LTD

Tél. : 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène noir

Chapitre 4 Technologie de préparation et de production du fil de molybdène

La préparation du fil de molybdène est un processus complexe en plusieurs étapes, impliquant plusieurs étapes, de la purification de la matière première au moulage final, y compris la préparation des matières premières, la métallurgie des poudres, le traitement du tréfilage, le traitement de surface, le traitement thermique et la préparation du fil de molybdène en alliage spécial. Les paramètres techniques et la sélection de l'équipement de chaque liaison affectent directement les performances, les spécifications et le domaine d'application du fil de molybdène. Ces dernières années, l'introduction de l'automatisation, de la protection de l'environnement et des technologies d'économie d'énergie a considérablement amélioré l'efficacité de la production et la qualité des produits. Ce qui suit est une analyse détaillée des liens de processus et des détails techniques de la préparation du fil de molybdène.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

4.1 Préparation des matières premières

La préparation des matières premières est à la base de la production de fil de molybdène, qui implique l'enrichissement et la purification du concentré de molybdène, la production de poudre de molybdène et l'ajout d'éléments d'alliage. Ces étapes garantissent que le fil de molybdène a une pureté élevée et une composition chimique uniforme qui répond aux exigences strictes de l'usinage de précision et des applications à haute température.

4.1.1 Enrichissement et purification du concentré de molybdène

Le concentré de molybdène est principalement extrait de la molybdénite (MoS_2), le minéral de molybdène le plus courant dans la nature, contenant généralement 50 à 60 % de molybdène. Le processus d'enrichissement sépare la molybdénite des minéraux associés (par exemple, le cuivre, les sulfures de fer) par flottation. Après le broyage (taille des particules < 10 mm) et le broyage (taille des particules < 0,074 mm, soit 80 %), le concentré de molybdène a été séparé dans la flottation avec l'ajout de collecteurs (tels que le xanthate) et d'agents moussants (tels que l'huile de terpinéol), et la teneur en molybdène a été augmentée à 55-58 %, et les impuretés (telles que Si, Fe, Cu) ont été réduits à <1 %.

L'épuration est réalisée par des procédés de grillage et de lixiviation chimique. La torréfaction a lieu dans un four rotatif (température 600-700°C, atmosphère d'oxygène), oxyde le MoS_2 en MoO_3 , et le soufre est libéré sous forme de SO_2 , avec une unité de traitement des gaz d'échappement (efficacité de désulfuration >95 %). Par la suite, la solution de molybdate d'ammonium est générée par lixiviation de l'ammoniac (concentration en NH_4OH 10-15 %, température 60-80 °C), filtration pour éliminer les impuretés (Fe, Si, etc.), puis cristallisation et décomposition thermique (500-600 °C) pour produire un MoO_3 de haute pureté (pureté > 99,9 %). Ce processus garantit que la teneur en impuretés de la matière première de molybdène est inférieure à 0,01 %, ce qui répond aux besoins de production de fil de molybdène de haute pureté.

4.1.2 Production de poudre de molybdène

La poudre de molybdène est préparée par réduction d'hydrogène par MoO_3 de haute pureté. Le processus de réduction se déroule en deux étapes : la première étape réduit le MoO_3 en MoO_2 à 450-600 °C, et la deuxième étape réduit le MoO_2 en poudre de molybdène métallique à 900-1100 °C. Le four de réduction utilise un four tubulaire avec de l'hydrogène de haute pureté (pureté >99,999 %, point de rosée <-40 °C) et un débit de gaz contrôlé (0,5 à 1,0 m³/h) pour assurer une réaction homogène. La poudre de molybdène obtenue a une taille de particule de 1 à 5 µm, une pureté ≥ 99,95 %, une teneur en oxygène de <0,005 % et une teneur en carbone de <0,01 %.

La distribution granulométrique et la morphologie de la poudre de molybdène sont détectées par un analyseur de taille de particules laser et une microscopie électronique à balayage (MEB), et les particules sphériques uniformes peuvent améliorer la densité et les performances de frittage de la compression ultérieure. La température de réduction et la pureté de l'hydrogène doivent être strictement contrôlées en production pour éviter l'oxydation de la poudre ou l'agglomération des particules. La poudre de molybdène ultrafine (taille des particules < 1 µm) est utilisée pour produire un fil de molybdène ultrafin (diamètre <0,05 mm), qui doit être optimisé par la technologie de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

sphéroïdisation par plasma.

4.1.3 Ajout d'éléments d'alliage

Le fil de molybdène en alliage (tel que le fil de molybdène lanthane, le fil de molybdène et de rhénium) doit ajouter des éléments d'alliage à la poudre de molybdène pour améliorer les performances. Le fil de molybdène lanthane a été augmenté en ajoutant de l'oxyde de lanthane (La_2O_3 , 0,3 à 1,0 % en poids) pour augmenter la température et la résistance de la recristallisation, et le procédé de dopage humide a été adopté : la solution de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ a été mélangée avec de la poudre de molybdène, et une poudre dopée uniforme s'est formée après le séchage par atomisation, et la température de séchage était de 120 à 150 °C. Le fil de rhénium en molybdène améliore la ténacité et la résistance à la corrosion en ajoutant de la poudre de rhénium (Re, 5 à 41 % en poids) et adopte une méthode de mélange mécanique ou de fusion au plasma avec un temps de mélange de 2 à 4 heures pour assurer une distribution uniforme des particules de rhénium.

Le processus de dopage doit contrôler l'uniformité de la distribution des éléments et éviter la ségrégation. La diffraction des rayons X (DRX) et la spectroscopie d'énergie (EDS) ont été utilisées pour détecter le contenu et la distribution des éléments dopés avec une précision de $\pm 0,01$ % en poids. Les éléments d'alliage sont ajoutés dans une atmosphère inerte (argon ou azote) pour éviter l'oxydation de la poudre. Des niveaux de dosage excessifs peuvent entraîner un frittage difficile, et les taux de dopage doivent être optimisés pour équilibrer les performances et les coûts.

4.2 Procédé de métallurgie des poudres

La métallurgie des poudres est le processus de base de la préparation des ébauches de fil de molybdène, y compris le pressage et le moulage de la poudre de molybdène, le frittage et la préparation des billettes, garantissant que l'ébauche a une densité élevée et une microstructure uniforme, fournissant une base pour le tréfilage ultérieur.

4.2.1 Pressage et moulage de la poudre de molybdène

La poudre de molybdène est transformée en une ébauche de tige par pression isostatique à froid ou par compression. Le pressage isostatique à froid (NEP) est effectué à des pressions de 200 à 300 MPa, à l'aide de moules en caoutchouc, avec des temps de pressage de 5 à 10 minutes et des densités de billettes de 6,0 à 6,5 g/cm^3 (60 à 65 % de la densité théorique). Moulé dans de l'acier avec une pression de 100 à 150 MPa, il convient à la production de petits lots. Une petite quantité de liant (par exemple de l'alcool polyvinylique, 0,5 à 1,0 % en poids) est ajoutée pendant le processus de pressage pour augmenter la résistance de la billette, qui doit être entièrement volatilisée lors du frittage ultérieur.

Les dimensions de l'ébauche pressée doivent être réglées à un diamètre de 10 à 20 mm, une longueur de 100 à 500 mm et une surface plane sans fissures. L'équipement de pressage est équipé d'un agitateur pour réduire les vides de poudre, l'uniformité de la densité est vérifiée par ultrasons et la taille du défaut $< 0,1$ mm. Le processus de pressage est effectué dans une salle blanche (classe ISO 7) pour éviter la contamination de la poudre.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

4.2.2 Procédé de frittage

La billette pressée est densifiée par frittage à haute température, et un four à induction à fréquence intermédiaire protégé par l'hydrogène est utilisé, avec une température de frittage de 1800 à 2000 °C, un temps de maintien de 2 à 4 heures et un débit d'hydrogène gazeux de 0,5 à 1,0 m³/h. Le frittage est divisé en pré-frittage (800-1000 °C, pour éliminer les liants et l'humidité) et en frittage à haute température (1800-2000 °C, favorisant la liaison des grains). Après frittage, la masse volumique est de 9,8 à 10,0 g/cm³ (95 à 98 % de la densité théorique) et la taille des grains est de 20 à 50 µm.

Pendant le processus de frittage, la vitesse de chauffage (5-10°C/min) doit être contrôlée pour éviter la fissuration sous contrainte thermique, et la vitesse de refroidissement doit être contrôlée à 10-20°C/min pour éviter les grains surdimensionnés. Lors du frittage des ébauches de fils de molybdène lanthane, la distribution des particules d'oxyde de lanthane doit être contrôlée en outre pour éviter l'agglomération. La qualité du frittage a été détectée par densimètre et microscope métallographique, et la porosité était de <2 %. Le four de frittage doit être équipé d'un système de traitement des gaz d'échappement pour récupérer l'hydrogène et traiter les impuretés volatiles.

4.2.3 Préparation des ébauches

L'ébauche frittée est transformée en ébauche pour le tréfilage par forgeage à chaud ou laminage à chaud. Le forgeage à chaud est effectué à 1200-1400°C à l'aide d'une machine à forger hydraulique avec une déformation de 30-50 % et une réduction du diamètre de la billette à 5-10 mm. Le laminage à chaud est effectué dans un laminoir multi-cylindres à une température de 1100 à 1300 °C avec une déformation de 10 à 15 % par passage, ce qui permet d'obtenir une barre d'un diamètre de 2 à 5 mm. La surface de l'ébauche est tournée ou meulée pour éliminer la couche d'oxyde, et la rugosité de surface est de Ra<1,0 µm.

La microstructure de l'ébauche est analysée par microscopie électronique à balayage et diffraction des rayons X pour s'assurer que les grains sont uniformes et exempts de défauts internes. Les ébauches de fils de molybdène et de rhénium doivent en outre contrôler la distribution des éléments de rhénium pour éviter la volatilisation à haute température. La préparation des flans est effectuée dans une atmosphère inerte pour éviter l'oxydation, et les flans finis sont stockés dans un sac scellé sous vide pour maintenir la qualité.

4.3 Tréfilage

Le tréfilage est une étape clé dans le traitement des ébauches en fil de molybdène, impliquant l'étirage à chaud, l'étirage à froid, le tréfilage en plusieurs passes, la lubrification et la technologie de refroidissement, qui détermine directement la précision dimensionnelle et les propriétés mécaniques du fil de molybdène.

4.3.1 Technologie de tréfilage à chaud

L'étirage à chaud est utilisé pour la production de fils de molybdène grossiers (diamètre > 1,0 mm) à 800-1200 °C à l'aide d'un équipement de chauffage par induction à haute fréquence. L'ébauche est étirée à travers une matrice en carbure avec une réduction de diamètre de 15 à 20 % par passage et une vitesse d'étirage de 2 à 5 m/s. La température de chauffage doit être contrôlée avec précision

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

($\pm 10^{\circ}\text{C}$) pour éviter les grains surdimensionnés ou l'oxydation de surface. L'étirage à chaud réduit l'usure de la matrice et prolonge la durée de vie de l'outil (jusqu'à 1000 m), mais la qualité de surface est médiocre et un fil de molybdène noir est souvent formé (épaisseur de la couche d'oxyde de 0,1 à 1,0 μm).

La thermo-étirage est équipée d'un thermomètre infrarouge et d'un système de contrôle de la tension (tension 20-50 N) pour assurer la stabilité dimensionnelle. La résistance à la traction du fil de molybdène grossier est de 700 à 1200 MPa, ce qui convient à la projection thermique et aux composants de four à haute température. Le tréfilage au fil chaud doit être effectué sous la protection de l'hydrogène ou de l'argon pour éviter l'oxydation à haute température.

4.3.2 Technologie d'étirage à froid

L'étirage à froid est utilisé pour produire des fils de molybdène fins standard (0,05 à 0,3 mm) et des fils de molybdène ultrafins ($< 0,05$ mm) à température ambiante (20 à 50 $^{\circ}\text{C}$) ou à basse température (< 300 $^{\circ}\text{C}$) à l'aide de matrices diamantées (tolérance d'ouverture $\pm 0,001$ mm). Le diamètre de chaque passe est réduit de 5 à 10 % et la vitesse d'étirage est de 0,5 à 2 m/s. L'étirage à froid améliore la résistance à la traction (1500-3500 MPa) et la finition de surface ($R_a < 0,2$ μm) pour l'électroérosion à fil et les composants électroniques.

Des lubrifiants haute performance (par exemple des émulsions de graphite, une viscosité de 10 à 20 mPa) sont nécessaires pour l'étirage à froid afin de réduire le frottement et une durée de vie de l'outil d'environ 500 m. La tension (5-15 N) et la température ($< 100^{\circ}\text{C}$) sont surveillées pendant le processus d'étirage pour éviter la rupture du fil. La machine d'étirage à froid est équipée d'un pied à coulisse laser permettant de détecter en temps réel les tolérances de diamètre ($\pm 0,001$ mm).

4.3.3 Dessin en plusieurs passes

Le tréfilage en plusieurs passes est le processus de base du traitement progressif de l'ébauche jusqu'au diamètre cible, qui nécessite 5 à 10 passes pour le fil de molybdène grossier, 10 à 20 passes pour le fil de molybdène fin standard et 20 à 30 passes pour le fil de molybdène ultra-fin. Recuit intermédiaire (600-900 $^{\circ}\text{C}$, protection contre l'argon, incubation pendant 10-30 minutes) après chaque passage pour éliminer l'écrouissage et restaurer la ductilité. La machine de tréfilage adopte un équipement de tréfilage continu multimode, équipé d'un contrôle automatique de la tension (précision $\pm 0,1$ N) et d'une détection de défauts en ligne (détection de défauts par courants de Foucault, précision de détection 0,01 mm).

La conception du moule doit être optimisée pour le tréfilage à plusieurs passes, et le taux de déclin de l'ouverture doit être contrôlé à 5-15 % pour éviter la concentration des contraintes. L'étirage d'un fil de molybdène ultra-fin nécessite l'utilisation de matrices en diamant à l'échelle nanométrique (ouverture $< 0,05$ mm), ce qui est coûteux mais précis $\pm 0,0005$ mm. La surface du fil de molybdène après tréfilage est inspectée au microscope et à l'aide d'un rugomètre pour s'assurer qu'il n'y a pas de microfissures ou de rayures.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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
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

4.3.4 Technique de lubrification et de refroidissement

La lubrification et le refroidissement sont essentiels au processus d'étirage, affectant la durée de vie de la matrice et la qualité de surface du fil de molybdène. Le lubrifiant est une émulsion à base d'eau (contenant du graphite ou du MoS₂, viscosité de 10 à 20 mPa·s) ou un lubrifiant à base d'huile (viscosité de 20 à 50 mPa·s) avec une épaisseur de revêtement de 0,01 à 0,05 mm et un coefficient de frottement réduit à 0,05-0,1. Le refroidissement est effectué par un système de circulation d'eau (température 15-25°C, débit 1-2 L/min) ou un refroidissement par pulvérisation pour maintenir la température du moule et du fil de molybdène en dessous de 100°C.

Le lubrifiant doit être filtré régulièrement (précision de 1 µm) pour éliminer les impuretés et éviter les rayures de surface. Le tréfilage au molybdène ultra-fin nécessite l'utilisation de lubrifiants peu volatils pour réduire les résidus. Le système de refroidissement est équipé d'un capteur de température et d'un débitmètre pour assurer un refroidissement uniforme. Selon les données de Chinatungsten Online, la technologie de lubrification et de refroidissement optimisée peut augmenter la durée de vie du moule de 30 % et réduire le taux de rupture du fil à 0,05 %.

4.4 Traitement de surface

Les traitements de surface améliorent la qualité de surface et les performances du fil de molybdène, y compris le lavage caustique, le polissage et les traitements de revêtement, pour répondre aux besoins de différentes applications, telles que les sources lumineuses électriques, la coupe de fils et le revêtement sous vide.

4.4.1 Procédé de lavage caustique (fil de molybdène nettoyé)

Le processus de lavage caustique est utilisé pour produire du fil de molybdène nettoyé, éliminer la couche d'oxyde de surface (MoO₃, épaisseur 0,1–1,0 µm) et améliorer l'état de surface (Ra<0,2 µm). Le procédé utilise une solution d'hydroxyde de sodium (concentration 10-20 %, température 80-100 °C) trempée pendant 1 à 5 minutes, suivie d'un rinçage à l'eau désionisée (conductivité < 1 µS/cm) pendant 5 à 10 minutes et d'un séchage à l'air chaud (60-80 °C). L'installation de lavage caustique est une ligne de nettoyage continu équipée d'une unité de nettoyage par ultrasons (fréquence 28-40 kHz) pour éliminer les particules fines.

Le lavage alcalin doit contrôler le pH (12-14) et la température (±2°C) de la solution pour éviter une corrosion excessive. La faible résistance de contact (réduction de 10 à 15 %) et la faible teneur en impuretés (<0,005 %) du fil de molybdène nettoyé le rendent adapté aux sources lumineuses électriques et aux applications microélectroniques. Les déchets liquides doivent être neutralisés et précipités (pH ajusté à 6-8) pour répondre aux exigences environnementales.

4.4.2 Processus de polissage

Le polissage améliore encore la finition de surface du fil de molybdène nettoyé, à l'aide d'un polissage électrochimique ou d'un polissage mécanique. Le polissage électrochimique utilise un mélange d'électrolyte d'acide phosphorique et d'acide sulfurique (rapport 3:1, densité de courant 0,5-1,0 A/cm²) avec un temps de polissage de 30 à 60 secondes et est effectué dans une hotte. Le polissage mécanique utilise une meule diamantée (granulométrie 1-5 µm) à 1000-2000 tr/min et un

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

temps de polissage de 1-2 minutes.

Après le polissage, la surface du fil de molybdène est inspectée par microscopie à force atomique (AFM). Le processus de polissage améliore la précision de coupe du fil ($\pm 2 \mu\text{m}$) et la qualité du film enduit sous vide (densité des défauts $< 10/\text{cm}^2$). Les déchets liquides de polissage doivent être recyclés pour éviter la pollution par les métaux lourds.

4.4.3 Traitement du revêtement

Les traitements de revêtement améliorent la résistance à l'oxydation et à l'abrasion du fil de molybdène, et les revêtements courants comprennent le siliciure de molybdène (MoSi_2) et la zircone (ZrO_2). Le revêtement de siliciure de molybdène a été préparé par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) à une température de dépôt de 1000 à 1200 °C, une épaisseur de revêtement de 5 à 10 μm et un taux d'oxydation de 0,01 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{h}$ dans l'air à 1000 °C. Le revêtement en zircone est préparé par pulvérisation plasma avec une puissance de pulvérisation de 20 à 30 kW, une épaisseur de revêtement de 10 à 20 μm et une augmentation de 50 % de la résistance à l'usure.

La qualité du revêtement a été détectée par microscopie électronique à balayage et spectroscopie photoélectronique à rayons X, et l'adhérence du revêtement était $> 50 \text{ MPa}$. Le fil de molybdène revêtu est utilisé dans les fours à haute température et les composants aérospatiaux pour prolonger la durée de vie à plus de 5000 heures. Le processus de revêtement nécessite des taux de dépôt contrôlés (0,1 à 0,5 $\mu\text{m}/\text{min}$) et des atmosphères (vide $< 10^{-2} \text{ Pa}$) pour assurer l'uniformité.

4.5 Traitement thermique et recuit

Le traitement thermique et le recuit optimisent la microstructure et les propriétés mécaniques du fil de molybdène, éliminent les contraintes d'étirage et améliorent la ductilité et la ténacité.

4.5.1 Paramètres du procédé de recuit

Le recuit est effectué sous la protection de l'hydrogène ou de l'argon à une température de 600 à 1000 °C, un temps de maintien de 10 à 60 minutes, une vitesse de chauffage de 5 à 10 °C/min et une vitesse de refroidissement de 10 à 20 °C/min. La température de recuit est de 600 à 800 °C pour les fils de molybdène ultrafins ($< 0,05 \text{ mm}$ de diamètre) et de 800 à 1000 °C pour les fils de molybdène grossiers ($> 1,0 \text{ mm}$ de diamètre). Après le recuit, la résistance à la traction diminue de 10 à 20 % et l'allongement augmente à 8 à 15 %. Le fil de molybdène lanthane et le fil de molybdène rhénium nécessitent une température de recuit plus élevée (800-1200 °C) pour optimiser la distribution de l'élément de dopage.

Le processus de recuit a été vérifié par microscopie métallurgique et essai de traction, et la taille des grains a été contrôlée à 10-50 μm , et la ténacité à la rupture a été augmentée à 20-30 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. Les paramètres de recuit doivent être optimisés en fonction des spécifications et des applications du fil de molybdène, par exemple le fil de molybdène pour la coupe du fil doit être à haute résistance et le temps de recuit est court (10 à 20 minutes).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

4.5.2 Équipement de traitement thermique

Le traitement thermique est effectué à l'aide de fours de recuit tubulaires ou de lignes de recuit continu avec des systèmes de protection à l'hydrogène (pureté >99,999 %) ou à l'argon (teneur en oxygène < 10 ppm) de haute pureté. Avec une précision de contrôle de la température de ± 5 °C et une longueur de four de 1 à 2 m, le four tubulaire est adapté à la production de petits lots. La ligne de recuit continu est équipée d'un chauffage multizone (zones 3 à 5 avec un gradient de température de 10 °C/cm) et d'une vitesse d'étirage de 0,5 à 2 m/min, ce qui la rend adaptée à la production à grande échelle.

L'équipement doit être équipé d'un thermomètre infrarouge et d'un analyseur d'atmosphère (précision de détection de la teneur en oxygène ± 1 ppm) pour assurer un environnement de recuit stable. Les gaz d'échappement sont traités par un dispositif de combustion catalytique, et le taux de conversion est > 99 %. L'équipement de traitement thermique est régulièrement entretenu pour éviter que la contamination du four n'affecte la qualité du fil de molybdène.

4.6 Préparation du fil de molybdène en alliage spécial

Le fil de molybdène en alliage spécial (tel que le fil de molybdène lanthane, le fil de molybdène et de rhénium) est préparé par dopage et par des procédés spéciaux pour répondre aux besoins des températures élevées et des environnements extrêmes.

4.6.1 Procédé de dopage du fil de molybdène lanthane

Le fil de molybdène lanthane est préparé en ajoutant de l'oxyde de lanthane (La_2O_3 , 0,3 à 1,0 % en poids) à de la poudre de molybdène, qui est dopée par voie humide ou sèche. Le dopage humide mélange une solution de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ avec de la poudre de molybdène et le fait sécher par pulvérisation (température de 120 à 150 °C) pour former une poudre homogène d'une taille de particule de 1 à 3 μm . Le dopage à sec est effectué en mélangeant de la poudre de molybdène et de la poudre d'oxyde de lanthane dans un broyeur à boulets à grande vitesse (300-500 tr/min, 2-4 heures). La poudre dopée a été transformée en un blanc par pressage isostatique à froid et frittage (1900-2000°C), et la taille des particules d'oxyde de lanthane a été contrôlée à 0,1-0,5 μm et l'uniformité de distribution était de >95 %.

Le processus d'étirage et de recuit du fil de molybdène lanthane doit être optimisé, avec une température de recuit de 800 à 1000 °C, 20 à 30 passes de tréfilage, une résistance à la traction de 1500 à 2000 MPa et une température de recristallisation de 1800 °C. Le processus de dopage a été vérifié par diffraction des rayons X et microscopie électronique à transmission (MET), et l'effet d'épinglage des particules d'oxyde de lanthane a considérablement amélioré les performances à haute température.

4.6.2 Production de fils d'alliage molybdène-rhénium

Le fil de molybdène et de rhénium est préparé par l'ajout de poudre de rhénium (5 à 41 % en poids) par fusion plasma ou par des procédés de mélange mécanique. La fusion plasma est réalisée dans un plasma argon (puissance 10-20 kW) à une température de fusion de 2500-3000 °C avec une uniformité de distribution du rhénium de >98 %. Le mélange mécanique utilise un broyeur

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

planétaire (200 à 400 tr/min, 4 à 6 heures) pour assurer une dispersion uniforme des particules de rhénium (1 à 5 μm). La poudre mélangée est transformée en une ébauche par pressage isostatique à froid (250 MPa) et frittage à haute température (2000–2200 °C) avec une densité de $> 10,3 \text{ g/cm}^3$.

Le processus d'étirage du fil de molybdène rhénium est effectué par un processus d'étirage à froid, la tolérance de diamètre de trou de la matrice est de $\pm 0,001 \text{ mm}$ et la température de recuit est de 900 à 1200 °C. Avec une résistance à la traction de 2000 à 3000 MPa et une augmentation de 50 % de la ténacité, il convient aux applications aérospatiales et médicales. La production doit être réalisée sous vide ou à l'argon pour éviter la volatilisation du rhénium, et l'équipement est équipé d'un système de récupération de la condensation des gaz d'échappement.

4.7 Optimisation des procédés et innovation technologique

L'optimisation des processus et l'innovation technologique pour améliorer l'efficacité de la production, la qualité et les performances environnementales du fil de molybdène impliquent une production automatisée et des processus d'économie d'énergie.

4.7.1 Technologie de production automatisée

La technologie d'automatisation est utilisée dans le tréfilage, le recuit et l'inspection. La ligne de tréfilage est équipée d'une machine de tréfilage CNC multi-axes, qui ajuste automatiquement la tension (précision $\pm 0,1 \text{ N}$) et la vitesse (0,1 à 5 m/s), et le taux de rupture du fil est réduit à 0,05 %. L'inspection en ligne utilise un pied à coulisse laser (précision $\pm 0,0005 \text{ mm}$) et la détection des défauts par courants de Foucault (détection des défauts $< 0,01 \text{ mm}$) pour surveiller la qualité du fil de molybdène en temps réel. La ligne de recuit utilise un API pour contrôler la température ($\pm 2^\circ\text{C}$) et l'atmosphère (teneur en oxygène $< 5 \text{ ppm}$) pour une production continue.

Le système d'automatisation intègre le MES (Manufacturing Execution System) pour enregistrer les données de production (par exemple, la vitesse d'étirage, le temps de recuit) en temps réel afin d'améliorer la cohérence des lots. La production automatisée augmentera l'efficacité de 30 % et réduira le coût de la main-d'œuvre de 20 %, ce qui convient à la production à grande échelle de fil de molybdène ultra-fin et de fil de molybdène allié.

4.7.2 Protection de l'environnement et procédés d'économie d'énergie

Les procédés respectueux de l'environnement comprennent le traitement des gaz résiduels, la récupération des déchets liquides et les équipements économes en énergie. Le four de frittage et de recuit est équipé d'un système de récupération d'hydrogène (taux de récupération $> 90 \%$) et d'une unité de combustion catalytique des gaz d'échappement (taux de conversion $> 99 \%$) pour réduire les émissions de SO_2 et de MoO_3 . Le molybdate a été récupéré par neutralisation (pH 6-8) et précipitation des déchets de lavage caustiques avec un taux de récupération de $> 95 \%$. Le lubrifiant d'étirage est à base d'eau, respectueux de l'environnement et réduit les émissions de composés organiques volatils (COV) de 80 %.

Parmi les technologies économes en énergie, citons un four à induction à fréquence intermédiaire (consommation d'énergie réduite de 15 %) et un système de refroidissement efficace (taux de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

recyclage de l'eau >90 %). La fabrication verte est conforme aux normes ISO 14001 et favorise le développement durable de l'industrie du fil de molybdène.



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène noir

Chapitre 5 Utilisations du fil de molybdène

Avec son excellente stabilité à haute température, sa résistance mécanique, sa résistance à la corrosion et sa conductivité électrique, le fil de molybdène a montré une large gamme de valeurs d'application dans les domaines de la source lumineuse électrique, de la coupe de fil et de la pulvérisation. Différentes applications mettent en avant des exigences spécifiques pour la spécification, la pureté et le traitement de surface du fil de molybdène, couvrant une variété de scénarios allant de l'usinage de précision au niveau du micron aux environnements à haute température et à usage intensif. Ce qui suit est une description textuelle détaillée pour analyser les applications spécifiques du fil de molybdène dans la fabrication de sources lumineuses électriques, l'électroérosion à fil et la pulvérisation thermique, et expliquer ses avantages en termes de performances, son déroulement et ses défis techniques.

5.1 Fil de molybdène pour source de lumière électrique

Le fil de molybdène est un matériau indispensable dans l'industrie des sources lumineuses électriques et est largement utilisé dans la fabrication d'ampoules, les structures de support, les fils et les pièces de connexion pour les lampes halogènes, fluorescentes et LED. Son faible coefficient de dilatation thermique est parfaitement adapté au verre et à la céramique, et son excellente conductivité et sa stabilité à haute température lui permettent de résister à des températures élevées et à des cycles thermiques fréquents dans les dispositifs à source lumineuse électrique tout en assurant la fiabilité en fonctionnement à long terme.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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
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

5.1.1 Fils et fils de support dans la fabrication des ampoules

Dans la fabrication d'ampoules traditionnelles telles que les lampes à incandescence, les filaments de molybdène sont utilisés comme fils de support et fils, qui sont chargés de maintenir les filaments à haute température et d'introduire du courant dans l'ampoule. Le fil de molybdène peut former une connexion étroite avec le joint en verre, ce qui peut maintenir des performances d'étanchéité stables même à des températures élevées et éviter la fissuration causée par la dilatation thermique et la contraction à froid. En tant que filament de support, le fil de molybdène supporte le poids du filament, l'empêchant de s'affaisser en raison de la température élevée lorsqu'il est allumé, garantissant que le filament est positionné avec précision, maintenant ainsi l'uniformité de la lumière. En tant que fil, le fil de molybdène relie l'alimentation externe au filament, conduit efficacement le courant, réduit les pertes d'énergie et prolonge la durée de vie de l'ampoule.

Dans le processus de production, le fil de molybdène est généralement fabriqué à partir d'un matériau de haute pureté, et le processus d'étirage à froid fin est utilisé pour fabriquer un fil de diamètre fin, puis la couche d'oxyde de surface est éliminée par lavage alcalin pour fabriquer un fil de molybdène nettoyé avec une surface lisse. La qualité de surface du fil de molybdène nettoyé est essentielle, et les traces d'impuretés doivent être éliminées par nettoyage par ultrasons pour s'assurer qu'il n'y a pas de bulles ou de fissures lorsqu'il est scellé avec du verre. Dans la fabrication, le fil de molybdène est recuit sous la protection de l'hydrogène pour soulager les contraintes de traitement, améliorer la ténacité et faciliter le pliage et le formage ultérieurs. Le défi technique consiste à s'assurer que la surface du fil de molybdène est exempte de défauts tout en évitant l'oxydation pendant le processus d'étanchéité à haute température, ce qui nécessite un contrôle strict de la propreté et de la pureté de l'atmosphère de l'environnement de production.

5.1.2 Matériaux des électrodes pour lampes halogènes et fluorescentes

Le fil de molybdène est utilisé comme fil conducteur d'électrode dans les lampes halogènes et fluorescentes pour connecter le filament ou le revêtement de phosphore à un circuit externe, et est soumis à des températures élevées et à des environnements chimiquement corrosifs. Dans les lampes halogènes, le filament de molybdène est exposé à une atmosphère hautement corrosive de gaz halogènes, et son excellente résistance à la corrosion garantit qu'il n'est pas érodé pour un fonctionnement à long terme, tout en aidant le filament à briller de manière stable à des températures élevées. Dans les lampes fluorescentes, le fil de molybdène est utilisé comme fil de cathode, qui participe au processus de décharge à haute fréquence, et les performances conductrices assurent la stabilité de l'arc, améliorant ainsi l'efficacité lumineuse et la durée de vie de la lampe.

Le processus de fabrication nécessite une finition de surface élevée et une cohérence dimensionnelle du fil de molybdène, généralement à l'aide d'un processus d'étirage à froid, à travers plusieurs passes de tréfilage et de recuit intermédiaire, pour garantir que le fil est flexible et exempt de contraintes internes. La surface est traitée par lavage alcalin et nettoyage ultra-propre pour éliminer la couche d'oxyde et les particules, et réduire l'interférence des impuretés lors de la décharge de l'électrode. Le fil de molybdène est souvent dopé avec des oligo-éléments (par exemple, silicium, aluminium, potassium) pour améliorer la capacité à résister à l'affaissement et à s'adapter au cycle thermique des commutations fréquentes des lampes. L'enjeu est de contrôler l'homogénéité des éléments dopés

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et d'éviter l'oxydation lors du brasage à haute température, en assurant une connexion fiable des électrodes.

5.1.3 Base de la lampe LED et matériau de connexion

Dans la fabrication de lampes LED, le fil de molybdène est utilisé pour le support de base et la connexion de l'électrode, fixant la puce LED et conduisant le courant. Son faible coefficient de dilatation thermique est fortement adapté au substrat céramique pour éviter la fissuration sous contrainte causée par le cycle thermique. La conductivité et les propriétés non magnétiques du fil de molybdène garantissent la stabilité du courant et la compatibilité électromagnétique des LED haute puissance, qui sont particulièrement adaptées à l'éclairage à haute luminosité et aux équipements électroniques de précision. La finition de surface du fil de molybdène a un impact significatif sur la résistance de contact, et il est nécessaire d'assurer une faible résistance pour réduire la génération de chaleur et améliorer l'efficacité énergétique et la durée de vie des lampes LED.

En production, le fil de molybdène adopte un processus d'étirage à froid ultra-fin, avec polissage et nettoyage ultra-propre, pour s'assurer qu'il n'y a pas de rayures ou d'impuretés sur la surface. Le soudage au laser est utilisé pour fixer le fil de molybdène à la base, ce qui nécessite que les joints de soudure soient solides et exempts d'impuretés. Le processus de recuit optimise la ténacité du fil de molybdène et lui permet d'être plié en formes complexes pour s'adapter à la conception de la base. Les défis techniques comprennent l'obtention d'une précision dimensionnelle au micron près et le maintien d'un vide pendant le processus de soudage pour éviter que l'oxydation n'affecte la conductivité.

5.2 Fil de molybdène pour la coupe du fil

Le fil de molybdène est le matériau d'électrode de base des machines-outils à décharge électrique coupée (WEDM), et est largement utilisé pour la découpe des métaux et la fabrication de moules de précision en raison de sa haute résistance, de sa résistance aux arcs et de son excellente conductivité électrique. Sa ténacité élevée et sa qualité de surface permettent un usinage de haute précision pour répondre aux exigences de formes complexes et de tolérances au micron.

5.2.1 Fil pour machines-outils d'électroérosion à fil

Dans les machines d'électroérosion à fil, le fil de molybdène est utilisé comme fil d'électrode pour produire une abondance microscopique sur la pièce grâce à une décharge d'impulsion à haute fréquence, permettant une coupe de haute précision. Le fil de molybdène est capable de résister à des tensions élevées et à des températures d'arc, en maintenant des performances de décharge stables, assurant un processus de coupe continu et efficace. Sa conductivité prend en charge la conduction rapide du courant et réduit les pertes d'énergie, tandis que sa haute résistance empêche le fil de se rompre lors d'un fonctionnement à grande vitesse. En raison de sa surface lisse et de sa faible résistance de contact, le fil de molybdène nettoyé est particulièrement adapté à la coupe de haute précision, réduisant les pertes d'arc et prolongeant la durée de vie.

Le processus de production adopte la technologie d'étirage à froid, à travers plusieurs passes de tréfilage et de recuit intermédiaire, pour garantir que le diamètre du fil de molybdène est uniforme

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et que la surface est lisse. Les lubrifiants réduisent la friction et empêchent les rayures de surface pendant le tréfilage, tandis que l'équipement d'inspection en ligne surveille la taille et les défauts des fils pour garantir une qualité constante. Les filaments de molybdène doivent être utilisés dans un milieu aqueux désionisé avec un système de contrôle de tension de haute précision pour maintenir une décharge stable. Le défi consistait à réduire le risque de rupture du fil, à optimiser les systèmes de lubrification et de refroidissement, et à s'assurer que la matrice d'étirage était précise pour répondre aux tolérances du micron.

5.2.2 Découpe des métaux non ferreux, de l'acier et du carbure cémenté

Le fil de molybdène est utilisé pour couper les métaux non ferreux (tels que le cuivre, l'aluminium), l'acier et le carbure cémenté (tel que l'alliage tungstène-cobalt), et est largement utilisé dans l'usinage et la fabrication de moules. Sa haute résistance et sa résistance à l'abrasion lui permettent de couper à travers des matériaux de haute dureté tout en maintenant une qualité de coupe stable. Le fil de molybdène résiste à l'érosion de l'arc à haute température pendant la décharge, à une excellente conductivité thermique et à une dissipation rapide de la chaleur, réduisant la perte de fil et prolongeant la durée de vie. Le fil de molybdène dopé, tel que le fil de molybdène lanthane, améliore encore l'efficacité de la coupe du carbure cémenté en améliorant la résistance à l'usure et la stabilité à haute température.

En production, le fil de molybdène est préparé par un processus d'étirage à froid et de polissage pour assurer une surface lisse afin de réduire l'instabilité de l'arc. Le processus de coupe est refroidi avec de l'eau désionisée de haute pureté pour éviter la surchauffe de la pièce et du fil. Les déchets de soie sont recyclés par dissolution chimique pour réduire le gaspillage des ressources. Le défi technique réside dans l'optimisation des paramètres de décharge et du contrôle de la tension pour équilibrer la vitesse et la précision de coupe tout en réduisant l'usure du fil dans la coupe au carbure.

5.2.3 Moules de précision et traitement de formes complexes

Le fil de molybdène atteint une précision au micron dans les moules de précision et le traitement de formes complexes, et convient au traitement de l'acier moulé, des alliages de titane et d'autres matériaux, répondant aux besoins des industries aérospatiale et automobile pour les géométries complexes. Le fil de molybdène ultra-fin est capable de couper des éléments fins tels que des moules d'engrenages miniatures ou des surfaces courbes complexes, et sa ténacité élevée permet un fonctionnement à grande vitesse sans se casser. La finition de surface est essentielle à la précision de la coupe, et le fil de molybdène nettoyé réduit les défauts de surface grâce à un processus de polissage pour assurer une coupe lisse et sans bavures.

Le processus de fabrication comprend plusieurs passes d'étirage à froid et un contrôle strict du recuit pour garantir que le fil est flexible et exempt de contraintes internes. Les machines CNC multi-axes sont utilisées pour usiner des formes complexes, et les fils de molybdène doivent être utilisés sous un contrôle de tension précis pour éviter les vibrations. Le système de circulation du liquide de refroidissement maintient la stabilité du processus et empêche la distorsion thermique. Le défi consiste à obtenir une cohérence dimensionnelle et une stabilité lors de l'usinage de formes complexes avec des fils de molybdène ultra-fins, à l'aide d'un outillage de haute précision et d'une

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

technologie de surveillance en ligne.

5.3 Fil de molybdène pour la pulvérisation

Le fil de molybdène est utilisé dans la projection thermique pour former des revêtements résistants à l'usure et à la corrosion et est largement utilisé dans les industries automobile, mécanique et aérospatiale pour le renforcement et la réparation de surface. Son point de fusion élevé et sa résistance mécanique garantissent d'excellentes performances dans des environnements extrêmes.

5.3.1 Revêtements résistants à l'usure pour les pièces automobiles

Le fil de molybdène est pulvérisé à la surface des pièces automobiles (telles que les segments de piston, les vilebrequins) pour former un revêtement résistant à l'usure, ce qui améliore considérablement la durabilité et la capacité anti-usure des composants. Le fil de molybdène est fondu par pulvérisation au plasma ou à la flamme et déposé sur la surface du substrat pour former un revêtement dense qui peut résister à un frottement élevé et à des environnements à haute température, prolongeant ainsi la durée de vie des composants. Le fil de molybdène noir est souvent utilisé pour la pulvérisation à la flamme car sa couche d'oxyde de surface est facile à fondre lors de la pulvérisation, avec une efficacité élevée et un faible coût.

Dans la production, le fil de molybdène est transformé en fil de diamètre plus grossier à l'aide d'un processus d'étirage à chaud, et la surface n'a pas besoin d'être polie pour retenir la couche d'oxyde. L'équipement de pulvérisation est équipé d'un pistolet à plasma de haute puissance, et la température et la distance de pulvérisation doivent être contrôlées pour assurer un revêtement uniforme. La qualité du revêtement est inspectée au microscope pour s'assurer qu'il n'y a pas de porosité ou de fissures. Le défi consiste à optimiser les paramètres de pulvérisation pour améliorer l'adhérence du revêtement tout en contrôlant les émissions de poussières pour se conformer aux exigences environnementales.

5.3.2 Réparation de surface et renforcement des composants mécaniques

Le fil de molybdène est utilisé pour réparer les pièces mécaniques usées (par exemple, les roulements, les arbres) ou améliorer leurs propriétés de surface, et est pulvérisé pour former un revêtement épais, résistant à l'usure et à la corrosion. Le fil de molybdène fond lors de la pulvérisation au plasma et se dépose sur les surfaces usées, restaurant la taille des composants et améliorant la résistance à la corrosion, ce qui le rend particulièrement adapté aux composants des équipements chimiques et de l'ingénierie offshore. Le fil de molybdène dopé, tel que le fil de molybdène lanthane, prolonge la durée de vie des pièces réparées dans des environnements à haute température en améliorant la résistance à l'oxydation du revêtement.

Le processus de production comprend l'étirage à chaud et le nettoyage de surface pour s'assurer que le fil est exempt d'impuretés. Le processus de pulvérisation est effectué sous la protection d'un gaz inerte (par exemple l'argon) pour éviter l'oxydation. Le revêtement est vérifié par des tests d'usure pour garantir un faible coefficient de frottement et une grande durabilité. Les défis techniques consistent à assurer la force de liaison entre le revêtement et le substrat, ainsi qu'à contrôler les contraintes thermiques pendant le processus de pulvérisation pour éviter la déformation du substrat.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

5.3.3 Projection thermique des composants des moteurs d'avion

Le fil de molybdène est pulvérisé avec des revêtements résistants aux hautes températures et à l'usure sur les composants des moteurs d'avion (tels que les pales et les tuyères) pour répondre aux exigences des environnements à haute température, à haute pression et corrosifs. Le fil de molybdène et de rhénium est souvent utilisé dans la pulvérisation au plasma en raison de son excellente résistance aux chocs thermiques et à la corrosion, formant un revêtement qui peut fonctionner pendant une longue période dans des flux de gaz à haute température. Le revêtement améliore la résistance à l'usure et à l'oxydation des pales et prolonge les intervalles d'entretien du moteur.

Dans la production, le fil de molybdène rhénium est préparé par étirage à froid et recuit à haute température pour assurer la ténacité et la résistance du fil. La pulvérisation a lieu sous vide ou sous atmosphère inerte et nécessite un contrôle précis des paramètres de pulvérisation pour créer un revêtement homogène. La qualité du revêtement est vérifiée par des tests de cyclage thermique et une analyse microscopique pour s'assurer qu'il n'y a pas de fissures et de pelage. Le défi consistait à obtenir un revêtement à haute adhérence tout en réduisant la perte de matériau et l'impact environnemental du fil de molybdène pendant le processus de pulvérisation.

5.4 Fil de molybdène pour revêtement sous vide

Le fil de molybdène est utilisé comme matériau source d'évaporation clé dans l'industrie du revêtement sous vide pour le dépôt de films minces haute performance dans une large gamme de revêtements optiques, décoratifs et fonctionnels. Son point de fusion élevé, son excellente conductivité thermique et sa stabilité chimique assurent une évaporation stable dans un environnement sous vide à haute température, formant un film uniforme et dense, répondant aux exigences strictes de qualité et de fiabilité des appareils de précision.

5.4.1 Matériaux sources d'évaporation dans le dépôt de couches minces

Le fil de molybdène est utilisé comme matériau source d'évaporation dans le processus de dépôt physique en phase vapeur (PVD), où un métal ou un composé est fondu et évaporé par la chaleur pour former un film mince sur le substrat. Le fil de molybdène est capable de résister à des températures extrêmement élevées sans fusion ni déformation, ce qui le rend adapté à un fonctionnement à long terme dans un environnement sous vide pour assurer la stabilité du dépôt de couches minces. Il a une excellente conductivité thermique et est capable de transférer la chaleur uniformément pour éviter une évaporation inégale causée par une surchauffe locale. La stabilité chimique du fil de molybdène garantit qu'aucune impureté n'est introduite pendant le processus d'évaporation, ce qui permet de maintenir la pureté et les performances élevées du film.

En production, le fil de molybdène est généralement fabriqué à partir de matériaux de haute pureté, et le fil de diamètre fin est fabriqué par un processus d'étirage à froid, et la surface est polie et nettoyée ultra-proprement pour obtenir une finition très élevée et réduire l'impact de la porosité ou des défauts sur la qualité du film. Le fil de molybdène de la source d'évaporation doit être chauffé par un faisceau d'électrons ou une résistance dans un environnement sous vide, et le processus de chauffage doit être contrôlé avec précision pour assurer un taux d'évaporation stable. Le processus de fabrication comprend plusieurs passes de tréfilage et de recuit pour soulager les contraintes et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

améliorer la ténacité, facilitant une source d'évaporation qui est enroulée dans une forme spécifique. Le défi technique consiste à s'assurer que la surface du fil de molybdène est exempte de traces de contamination et en même temps à éviter la perte prématurée du fil pendant le processus d'évaporation à haute température, qui nécessite un équipement à ultra-vide et un processus de nettoyage de haute qualité.

5.4.2 Revêtements optiques et décoratifs

Le fil de molybdène est utilisé dans les revêtements optiques (par exemple, les lentilles, les filtres) et les revêtements décoratifs (par exemple, les montres, les boîtiers de bijoux) pour déposer des films d'oxyde ou métalliques pour une réflectivité élevée ou des besoins esthétiques. Sa stabilité à haute température favorise le dépôt de matériaux à points de fusion élevés, tels que la silice ou le dioxyde de titane, garantissant d'excellentes propriétés optiques et la durabilité du film. La faible pression de vapeur du fil de molybdène garantit qu'aucun gaz nocif n'est libéré lors de l'évaporation dans un environnement sous vide, ce qui permet de garder l'équipement de revêtement propre et le film pur. En raison de sa surface lisse et de sa faible teneur en impuretés, le fil de molybdène nettoyé est particulièrement adapté aux revêtements optiques de haute précision, réduisant la diffusion de la lumière et les défauts.

Le processus de production exige que le fil de molybdène ait une qualité de surface extrêmement élevée, avec des oxydes et des particules de surface éliminés par étirage à froid, polissage et nettoyage par ultrasons. Au cours du processus de revêtement, le fil de molybdène est enroulé en une structure en spirale ou scaphoïde, qui est chauffée par un faisceau d'électrons et évaporée dans une chambre à vide. Le processus nécessite un contrôle précis de la puissance de chauffage et du niveau de vide pour garantir que l'épaisseur du film est uniforme et sans trou d'épingle. Les défis techniques comprennent l'homogénéité du film et le contrôle du taux d'évaporation des fils de molybdène, ce qui nécessite un système de surveillance de l'épaisseur de haute précision et un équipement de chauffage stable.

5.4.3 Revêtements de semi-conducteurs et de cellules solaires

Le fil de molybdène est utilisé dans les revêtements de semi-conducteurs et de cellules solaires pour déposer des films conducteurs ou fonctionnels tels que le cuivre, l'argent ou des oxydes conducteurs transparents afin de répondre aux exigences de haute performance des puces et des dispositifs photovoltaïques. Sa conductivité et sa stabilité à haute température favorisent un dépôt efficace, assurant une faible résistance et une bonne adhérence du film. En raison de sa haute résistance et de sa taille précise, le fil de molybdène ultra-fin convient au dépôt de couches minces d'une épaisseur de micron, répondant ainsi aux besoins de l'industrie des semi-conducteurs en matière de miniaturisation et de haute précision. La nature non magnétique du fil de molybdène évite les interférences avec les dispositifs sensibles aux électromagnétiques pendant le processus de dépôt, et est particulièrement adaptée aux circuits intégrés et aux électrodes photovoltaïques.

Dans la fabrication, le fil de molybdène ultra-fin est préparé par plusieurs passes d'étirage à froid et un processus de recuit strict pour assurer la cohérence du diamètre et la finition de surface. La surface doit être nettoyée pour éliminer les traces d'impuretés afin d'éviter la contamination du film.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

L'équipement de revêtement utilise un système d'ultra-vide et le fil de molybdène est chauffé par un laser ou un faisceau d'électrons pour déposer le matériau. Les taux de vide et de dépôt sont étroitement contrôlés pour garantir les propriétés électriques et optiques du film. Le défi technique consiste à obtenir l'homogénéité du film ultra-mince et à empêcher la micro-évaporation du fil de molybdène à haute température, et la méthode de chauffage et l'environnement de vide doivent être optimisés.

5.5 Fil de molybdène pour éléments chauffants

Le fil de molybdène est utilisé comme élément chauffant dans les fours électriques à haute température, les fours à vide et les équipements de traitement thermique, et avec son point de fusion élevé et sa faible pression de vapeur, il peut fonctionner de manière stable à des températures extrêmes pour répondre aux besoins du chauffage industriel et de la manutention des matériaux. Son excellente conductivité thermique et sa résistance mécanique assurent un transfert de chaleur efficace et une fiabilité à long terme.

5.5.1 Fil chauffant pour fournaise électrique à haute température

Le fil de molybdène est utilisé comme fil chauffant dans un four électrique à haute température pour générer de la chaleur directement par l'électricité, qui est utilisé dans la fusion des métaux, le frittage de la céramique et d'autres processus. Sa stabilité à haute température lui permet de fonctionner à des températures proches du point de fusion sans déformation ni fusion, ce qui le rend idéal pour les applications qui nécessitent une montée en puissance rapide et un contrôle précis de la température. La conductivité du fil de molybdène favorise le passage de courants importants, générant un champ thermique uniforme pour garantir que les matériaux dans le four sont chauffés de manière constante. Le fil de molybdène lanthane est dopé à l'oxyde de lanthane, qui a une résistance au fluage plus forte et convient à un fonctionnement à long terme à haute température.

En production, le fil de molybdène est transformé en fil de diamètre moyen par étirage à chaud, et la surface est lavée ou polie par caustique pour réduire la résistance inégale. Le fil chauffant est enroulé dans une forme spécifique (par exemple en spirale ou en treillis) et brasé au corps du four. Le processus de fabrication comprend un recuit pour soulager les contraintes et garantir que le fil est flexible et facile à former. Le défi technique était d'éviter l'oxydation à haute température, de fonctionner sous vide ou protection contre les gaz inertes, et d'optimiser la conception de l'enroulement pour éviter la surchauffe locale.

5.5.2 Éléments chauffants dans les fours à vide et les fours à atmosphère

Dans les fours à vide et les fours à atmosphère (par exemple, la protection contre l'argon ou l'azote), le fil de molybdène agit comme un élément chauffant pour fournir un environnement stable à haute température pour des processus tels que la croissance de cristaux, le frittage d'alliages, etc. Sa faible pression de vapeur garantit qu'aucun gaz n'est libéré pendant le fonctionnement dans un environnement sous vide, ce qui permet de garder le four propre. En raison de son excellente ténacité et de sa résistance aux chocs thermiques, le fil de molybdène rhénium convient aux fours avec des cycles thermiques fréquents et peut résister à une montée et à une descente rapides de la température sans se fissurer. La conductivité thermique du fil de molybdène favorise un transfert de chaleur

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

efficace et une perte d'énergie réduite.

Le processus de production utilise l'étirage à froid et le recuit à haute température pour assurer la résistance et la ténacité du fil. La couche d'oxyde doit être éliminée par un lavage alcalin sur la surface afin de réduire l'influence des impuretés sur les performances de chauffage. Les éléments chauffants sont brasés sous vide ou fixés mécaniquement pour assurer une connexion sûre. Les défis techniques comprennent le maintien de la teneur en oxygène ultra-faible du four à vide, la prévention de l'oxydation du fil de molybdène et l'optimisation de la géométrie des éléments chauffants pour obtenir un champ thermique uniforme.

5.5.3 Applications dans les équipements de traitement thermique

Le fil de molybdène est utilisé comme élément chauffant dans les équipements de traitement thermique (tels que les fours de recuit, les fours de trempe) pour les processus de traitement thermique des métaux ou des alliages. Sa stabilité à haute température et sa résistance au fluage garantissent le maintien de sa forme et de ses performances pendant de longues périodes de fonctionnement, ce qui le rend adapté aux processus de traitement thermique contrôlés avec précision. Le fil de molybdène réagit rapidement aux changements de température, soutient les processus de traitement thermique dynamiques et améliore l'uniformité des propriétés des matériaux. En raison de sa faible résistance et de sa surface lisse, le fil de molybdène nettoyé réduit les pertes de chaleur et prolonge la durée de vie de l'équipement.

Dans la fabrication, le fil de molybdène est préparé par un processus d'étirage et de recuit en plusieurs passes pour assurer flexibilité et résistance. La surface est polie ou lavée par caustique pour améliorer l'efficacité conductrice. Les éléments chauffants sont brasés ou fixés au corps du four, et les points de connexion doivent être résistants aux températures élevées et aux contraintes mécaniques. Le défi technique consiste à assurer la stabilité du fil de molybdène pendant le cycle thermique, en optimisant le processus de recuit et le contrôle de l'atmosphère du four pour éviter l'oxydation ou la déformation.

5.6 Fil de molybdène pour composants de four à haute température

Le fil de molybdène est largement utilisé dans les fours à vide et les fours de croissance cristalline comme composants de support, de fixation, de guidage et de blindage dans les fours à haute température. Sa haute résistance, son faible coefficient de dilatation thermique et sa résistance aux températures élevées lui permettent de résister aux contraintes mécaniques et thermiques dans des environnements extrêmes et de répondre aux exigences des structures de fours complexes.

5.6.1 Montage et fixation des composants des fours à haute température

Le fil de molybdène est utilisé comme élément de support et de fixation dans un four à haute température (tel qu'un four de croissance de silicium monocristallin) pour maintenir des cristaux de graine, des creusets ou des éléments chauffants pour résister au poids et aux contraintes thermiques à haute température. Sa résistance élevée et son faible coefficient de dilatation thermique garantissent que les composants ne se détendent pas ou ne se déforment pas à des températures élevées, maintenant ainsi la stabilité de la structure du four. En raison de son excellente résistance

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

au fluage, le fil de molybdène lanthane est particulièrement adapté aux fours qui fonctionnent longtemps et peuvent résister à des cycles thermiques répétés sans défaillance.

Lors de la production, le fil de molybdène est transformé en un fil de diamètre moyen par un processus d'étirage à froid, et la surface est polie pour réduire la concentration des contraintes. Les composants sont fixés par soudage au laser, et les joints de soudure sont soumis à des températures élevées et à des charges mécaniques. Le processus de fabrication comprend un recuit pour améliorer la ténacité et faciliter le traitement en formes complexes. Le défi technique est d'assurer la qualité des soudures et la précision dimensionnelle des composants, à l'aide d'équipements de soudage de haute précision et d'un contrôle strict des tolérances.

5.6.2 Fils et pièces de blindage des fours à vide

Le fil de molybdène est utilisé comme plomb et bouclier dans un four à vide pour conduire le courant et protéger le rayonnement thermique afin de protéger les autres composants du four. Sa conductivité et sa stabilité à haute température favorisent le passage de courants élevés, ce qui le rend adapté aux systèmes de chauffage à haute puissance. La faible pression de vapeur du fil de molybdène garantit qu'aucun gaz n'est libéré dans un environnement sous vide, ce qui permet de garder le four propre. En raison de sa surface lisse et de sa faible teneur en impuretés, le fil de molybdène nettoyé réduit la résistance de contact et améliore l'effet de blindage.

Le processus de production adopte un étirage à froid et un nettoyage ultra-propre pour s'assurer que la surface du fil est exempte d'impuretés. Les fils sont fixés par brasage sous vide ou soudage au plasma, et les pièces de blindage doivent être transformées en une structure de treillis ou de plaque pour augmenter la surface de blindage. Le processus de recuit optimise la ténacité du fil et empêche la fissuration lors du soudage. Les défis techniques comprennent le maintien de la pureté de l'environnement de vide et la garantie de la fiabilité à long terme des connexions de plomb, ce qui nécessite des systèmes d'ultra-vide et une technologie de soudage de haute qualité.

5.6.3 Matériaux de structure pour les fours de croissance cristalline

Le fil de molybdène est utilisé dans les fours de croissance cristalline (par exemple, les fours à saphir ou en silicium monocristallin) comme lignes de serrage des graines et matériaux structurels pour maintenir les cristaux de graines en place et soutenir les composants internes du four. Sa haute résistance et sa résistance aux températures élevées assurent la stabilité à des températures proches du point de fusion, ce qui la rend adaptée aux processus de croissance cristalline de longue durée. En raison de sa température de recristallisation élevée, le fil de molybdène lanthane peut résister au choc thermique d'une rampe et d'une température rapides, réduisant ainsi le risque de déformation ou de fracture.

En production, le fil de molybdène est préparé par un processus d'étirage à froid et de polissage pour assurer une finition de surface et une cohérence dimensionnelle. Les composants sont découpés au laser et soudés, avec des tolérances précises pour s'adapter aux formes complexes des fours. Le processus de recuit améliore la flexibilité du fil et facilite l'enroulement ou la fixation. Les défis techniques consistent à assurer la résistance à l'oxydation et la stabilité structurelle du fil de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

molybdène à haute température, à fonctionner dans un environnement sous vide ou à gaz inerte, et à optimiser la conception des composants pour réduire les contraintes thermiques.

5.7 Fil de molybdène pour composants électroniques

Le fil de molybdène joue un rôle clé dans la fabrication de composants électroniques et est largement utilisé dans l'électronique sous vide, les thermocouples, les capteurs et les pièces de connexion pour la microélectronique et les circuits intégrés. Sa conductivité électrique élevée, son non-magnétisme, sa stabilité à haute température et ses caractéristiques de dilatation thermique correspondant à la céramique et au verre le rendent irremplaçable dans les applications électroniques de haute précision et de haute fiabilité. Le fil de molybdène est capable de résister à des environnements électromagnétiques complexes et à des conditions de température élevées tout en conservant des propriétés mécaniques et électriques stables, répondant aux exigences strictes de précision et de durabilité de l'industrie électronique.

5.7.1 Électronique du vide (tubes, tubes à rayons X)

Le fil de molybdène est utilisé comme fil de cathode, structure de support et matériau d'électrode dans l'électronique sous vide, tels que les tubes à électrons et les tubes à rayons X, pour conduire le courant et sécuriser les composants critiques. Dans le tube électronique, le fil de molybdène est utilisé comme fil pour connecter la cathode et le circuit externe, qui doit résister à des températures élevées et à des impulsions de courant fréquentes dans un environnement sous vide pour assurer une émission d'électrons stable et une transmission du signal. Sa nature non magnétique évite les interférences avec les champs électromagnétiques, ce qui le rend particulièrement adapté aux applications de tubes à haute fréquence. Dans les tubes à rayons X, le fil de molybdène est utilisé comme support de cathode ou plomb, qui doit être maintenu structurellement intact dans des conditions de température élevée et de vide poussé pour éviter les défaillances dues à la dilatation thermique ou aux dommages causés par l'arc. Sa conductivité et sa résistance à la corrosion garantissent des performances stables des électrodes pendant le fonctionnement à long terme et prolongent la durée de vie de l'appareil.

Le processus de production nécessite que le fil de molybdène ait une pureté et une finition de surface extrêmement élevées, généralement à l'aide d'un processus d'étirage à froid ultra-fin, par tréfilage et recuit en plusieurs passes pour préparer un fil de diamètre fin, la surface par lavage alcalin et nettoyage par ultrasons pour éliminer la couche d'oxyde et les particules, pour garantir qu'aucune impureté n'interfère avec les performances électriques. Le fil de molybdène doit être fixé dans l'appareil par brasage sous vide ou soudage au laser, et les joints de soudure doivent être résistants aux températures élevées et aux contraintes mécaniques. Le fil de molybdène nettoyé est particulièrement adapté aux appareils de haute précision en raison de sa faible résistance de contact et de sa surface lisse. Le défi technique consiste à assurer la résistance à l'oxydation et la stabilité dimensionnelle du fil de molybdène dans un environnement de vide à haute température, nécessitant un équipement à ultra-vide et des processus de traitement de surface rigoureux, ainsi qu'à optimiser la technologie de soudage pour éviter l'introduction de microfissures ou d'impuretés.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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
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

5.7.2 Fabrication de thermocouples et de capteurs

Le fil de molybdène est utilisé comme plomb ou élément de détection dans la fabrication de thermocouples et de capteurs à haute température, et est largement utilisé dans la mesure de la température dans les fours industriels, l'aérospatiale et la recherche scientifique. Sa stabilité à haute température lui permet de fonctionner à des températures extrêmes pendant de longues périodes sans dégradation, ce qui le rend adapté à la mesure de données précises dans des environnements à haute température. La conductivité du fil de molybdène assure une transmission fiable du signal du capteur, tandis que son faible coefficient de dilatation thermique est adapté à un substrat en céramique ou en métal pour éviter la fissuration ou le desserrage causé par le cycle thermique. Le fil de molybdène lanthane est dopé à l'oxyde de lanthane, qui a une résistance au fluage plus élevée, ce qui peut maintenir la stabilité dans des environnements dynamiques à haute température et prolonger la durée de vie du capteur.

Au cours du processus de fabrication, le fil de molybdène est transformé en un diamètre fin grâce à un processus d'étirage à froid, qui est recuit pour éliminer les contraintes de traitement et améliorer la flexibilité de l'enroulement ou de la fixation. La surface doit être polie et nettoyée pour s'assurer qu'aucun défaut de surface n'affecte la qualité du signal. Les fils de molybdène sont généralement maintenus en place dans la structure du capteur par soudage au laser ou serrage mécanique, et les points de connexion doivent être maintenus à faible résistance et à haute résistance. En production, il est nécessaire de fonctionner dans un environnement de gaz inerte ou de vide pour éviter l'oxydation à haute température. Les défis techniques comprennent la garantie de la stabilité chimique du fil de molybdène à des températures extrêmes et l'optimisation du processus d'assemblage pour réduire la résistance de contact, ce qui nécessite un équipement de soudage de haute précision et un contrôle strict du processus.

5.7.3 Matériaux de liaison pour la microélectronique et les circuits intégrés

Le fil de molybdène est utilisé comme fil de connexion ou fil de liaison dans la microélectronique et les circuits intégrés pour connecter des puces avec des circuits externes afin de répondre aux besoins de miniaturisation et de haute fiabilité. Sa haute résistance et ses caractéristiques non magnétiques garantissent que la transmission du signal n'est pas perturbée dans des environnements électromagnétiques complexes, ce qui le rend adapté aux circuits intégrés à haute densité et aux systèmes microélectromécaniques (MEMS). La conductivité du fil de molybdène permet un transfert de courant efficace, tandis que sa finition de surface affecte directement la qualité de la liaison, réduisant la résistance de contact et l'atténuation du signal. Le fil de molybdène ultra-fin peut s'adapter aux exigences du traitement au micron pour répondre aux besoins de l'industrie des semi-conducteurs en matière de connexions de précision.

Le processus de production adopte une technologie d'étirage à froid ultra-fine, et le fil de diamètre ultra-fin est préparé par tréfilage multi-passes et recuit intermédiaire pour assurer une cohérence dimensionnelle et une ténacité élevée. La surface est polie et nettoyée électrochimiquement pour obtenir une finition de qualité miroir et éviter la contamination par des particules ou des oxydes. Le fil de molybdène est fixé à la matrice par liaison par ultrasons ou par soudure au laser pour s'assurer que le point de liaison est solide et n'endommage pas la structure de la puce. Le défi technique

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

consiste à obtenir la précision dimensionnelle et la qualité de surface du fil de molybdène ultra-fin, en utilisant des matrices d'étirage de haute précision et un environnement de salle blanche, tout en optimisant le processus de collage pour améliorer la résistance et la fiabilité de la connexion.

5.8 Fil de molybdène à usage médical et aérospatial

Le fil de molybdène est utilisé dans les domaines médical et aérospatial pour des composants à haute température, résistants à la corrosion et biocompatibles qui répondent aux besoins d'environnements extrêmes et d'applications de haute précision. Sa haute résistance, sa résistance à la corrosion et sa stabilité à haute température lui confèrent un avantage unique dans les dispositifs médicaux et les engins spatiaux, en particulier dans les scénarios qui nécessitent une fiabilité à long terme et un usinage complexe.

5.8.1 Composants à haute température dans les dispositifs médicaux (p. ex. cibles à rayons X)

Le fil de molybdène est utilisé dans les dispositifs médicaux pour les cibles à rayons X, les éléments chauffants et les structures de support, en particulier dans les équipements d'imagerie à rayons X. Sa stabilité à haute température lui permet de résister à des températures élevées et au bombardement d'électrons à l'intérieur du tube à rayons X, en gardant la structure intacte et les performances stables. La conductivité et le faible coefficient de dilatation thermique du fil de molybdène garantissent que la cible ne se fissure pas lors de cycles thermiques rapides, ce qui la rend adaptée aux équipements d'imagerie haute puissance. En raison de son excellente ténacité et de sa résistance à la corrosion, le fil de molybdène et de rhénium est particulièrement adapté aux cibles à forte charge et peut fonctionner dans des environnements corrosifs pendant une longue période. La biocompatibilité du fil de molybdène a été rigoureusement testée pour garantir une utilisation sûre dans les dispositifs médicaux.

En production, le fil de molybdène est préparé par des processus d'étirage à froid et de polissage pour assurer une surface lisse et sans défaut. Les pièces cibles sont soudées par faisceau d'électrons et fonctionnent dans le vide pour éviter l'oxydation. Le processus de fabrication comprend un recuit pour améliorer la ténacité et faciliter le traitement en formes complexes. Le défi technique consiste à assurer la stabilité et la biocompatibilité du fil de molybdène dans des conditions de température et de vide poussés, en utilisant des matériaux d'ultra-haute pureté et une technologie de soudage de précision, tout en veillant à ce qu'il n'y ait pas de microfissures ou d'impuretés grâce à des tests de qualité rigoureux.

5.8.2 Pièces structurelles d'engins spatiaux résistantes aux températures élevées et à la corrosion

Le fil de molybdène est utilisé dans les engins spatiaux pour les pièces structurelles résistantes aux hautes températures et à la corrosion, telles que les tuyères de moteur, les boucliers thermiques et les pièces de connexion, afin de répondre aux exigences extrêmes de température et de corrosion chimique de l'environnement spatial. Son point de fusion élevé et sa résistance aux chocs thermiques lui permettent de rester stable dans les flux de gaz à haute température, ce qui le rend adapté aux composants des moteurs de fusée et des engins spatiaux de rentrée. En raison de l'ajout de rhénium, le fil de molybdène et de rhénium améliore considérablement la ténacité et la résistance à la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

corrosion, et peut fonctionner pendant une longue période dans des environnements contenant du soufre ou acides, prolongeant ainsi l'intervalle de maintenance des engins spatiaux. Son faible coefficient de dilatation thermique garantit que les pièces structurales ne se déforment pas pendant le cycle thermique, ce qui maintient l'intégrité structurale de l'engin spatial.

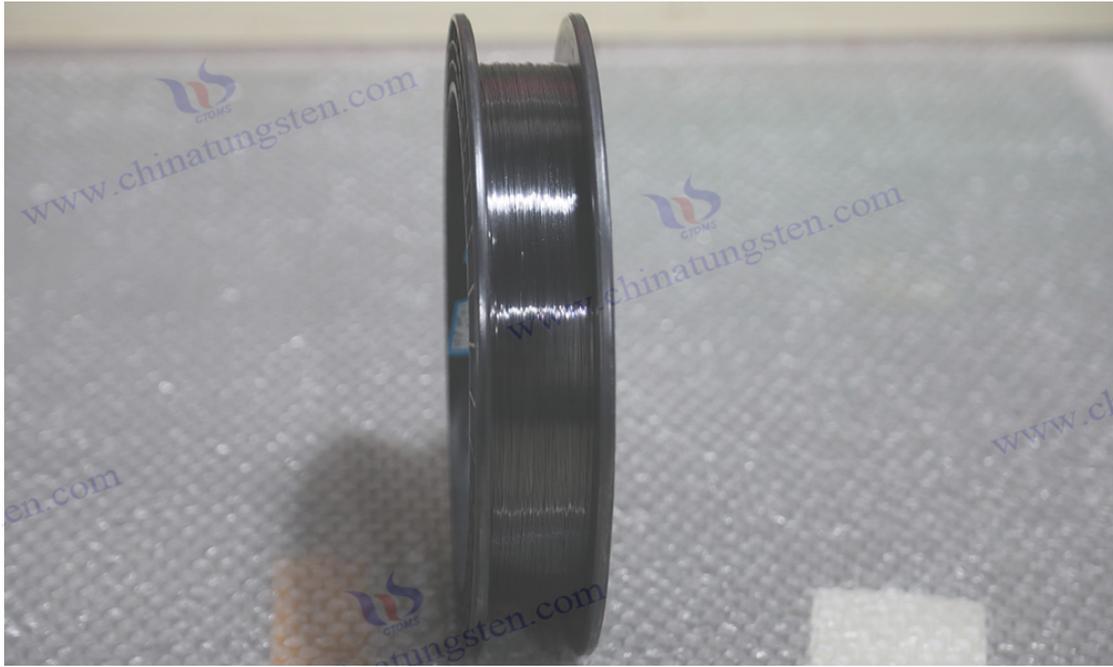
Le processus de production utilise l'étirage à froid et le recuit à haute température pour préparer des fils à haute résistance, et la surface est polie ou enduite pour améliorer la résistance à l'oxydation. Les pièces structurales sont formées par brasage sous vide ou par soudage au plasma, et les points de connexion doivent être résistants aux températures élevées et aux vibrations. Il est nécessaire de fonctionner dans un environnement de gaz inerte ou de vide pendant la fabrication pour éviter l'oxydation du matériau. Les défis techniques comprennent l'optimisation du revêtement anti-oxydation et du processus de soudage du fil de molybdène pour faire face aux conditions extrêmes de l'environnement aérospatial, tout en garantissant la légèreté et la haute fiabilité des composants.

5.8.3 Outils chirurgicaux mini-invasifs et matériaux d'implants

Le fil de molybdène est utilisé comme matériau clé dans les outils chirurgicaux mini-invasifs (par exemple, les fils-guides) et les implants (par exemple, les stents) pour répondre aux besoins de précision du domaine médical en raison de sa résistance, de sa flexibilité et de sa biocompatibilité élevées. Le fil de molybdène ultra-fin peut être traité en diamètres très fins et convient pour guider les cathéters à travers des structures vasculaires complexes, et sa flexibilité permet un fonctionnement sans rupture à un petit rayon de courbure. La résistance à la corrosion du fil de molybdène garantit une stabilité à long terme dans l'environnement interne sans provoquer d'effets indésirables. En raison de son excellente ténacité et de sa biocompatibilité, le fil de molybdène rhénium est particulièrement adapté à la fabrication d'implants de haute précision capables de résister à des contraintes mécaniques complexes.

En production, le fil de molybdène ultra-fin est préparé par étirage à froid multi-passes et processus de recuit strict pour assurer la précision dimensionnelle et la finition de surface. La surface est polie électrochimiquement et ultra-propre pour répondre aux normes de propreté de qualité médicale et prévenir la contamination par les particules. Les fils-guides sont découpés au laser et micro-usinés pour assurer des bords lisses afin d'éviter d'endommager les tissus. Le défi technique consistait à obtenir une cohérence dimensionnelle et une biocompatibilité des fils de molybdène ultra-fins, ce qui nécessitait un équipement de tréfilage de haute précision et un environnement de salle blanche rigoureux, tout en garantissant la sécurité grâce à des tests de biocompatibilité.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène noir

Chapitre 6 Équipement de production de fil de molybdène

La production de fil de molybdène s'appuie sur une gamme d'équipements de haute précision, de la manutention des matières premières à la métallurgie des poudres en passant par le tréfilage, dont chaque étape nécessite une grande fiabilité, un contrôle précis et une adaptabilité environnementale. Ces dispositifs garantissent la haute pureté, l'uniformité et les propriétés mécaniques du fil de molybdène pour répondre aux besoins de diverses applications telles que la source lumineuse électrique, la découpe de fil, la pulvérisation, etc. Ce qui suit est une description textuelle détaillée pour analyser les fonctions, les exigences de processus et les défis opérationnels de l'équipement de manutention des matières premières, de l'équipement de métallurgie des poudres et de l'équipement de tréfilage impliqués dans la production de fil de molybdène.

6.1 Équipement de manutention des matières premières

L'équipement de traitement des matières premières est utilisé pour extraire des matières premières de molybdène de haute pureté de la molybdénite et préparer de la poudre de molybdène, qui est le maillon de base de la production de fil de molybdène. L'équipement doit être équipé d'une séparation efficace, d'un contrôle précis et d'une performance environnementale pour garantir la pureté des matières premières et l'efficacité de la production, tout en réduisant le gaspillage des ressources et la pollution de l'environnement.

6.1.1 Équipement de traitement des minéraux

L'équipement d'enrichissement est utilisé pour séparer le concentré de molybdène de la molybdénite, éliminer les minéraux associés (tels que le cuivre, les sulfures de fer) et fournir des matières premières de haute qualité pour la purification ultérieure. L'équipement de base comprend des concasseurs, des broyeurs à boulets et des cellules de flottation. Le concasseur broie le minerai brut

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

en petites particules pour assurer l'efficacité du broyage ultérieur, et doit avoir une résistance élevée à l'usure et une grande capacité de traitement, qui peut traiter du minerai de haute dureté. Le broyeur à boulets broie en outre le minerai concassé en fines particules, qui conviennent au processus de flottation, et l'équipement doit être équipé d'un fluide de broyage efficace et d'un contrôle précis de la vitesse pour éviter les particules inégales causées par un broyage excessif. La machine de flottation sépare la molybdénite et les impuretés dans le milieu liquide en ajoutant un collecteur et un agent moussant, et doit disposer d'un système stable de génération de bulles et d'agitation pour assurer une récupération élevée du concentré de molybdène.

Pendant le fonctionnement, l'équipement d'enrichissement doit être associé à un système précis de contrôle des paramètres du processus pour surveiller la concentration de la boue et la distribution des bulles en temps réel afin d'optimiser l'efficacité de la séparation. Le matériau de l'équipement doit être résistant à la corrosion et s'adapter à l'environnement corrosif des réactifs chimiques. Le système de traitement des résidus est utilisé pour recycler les déchets et traiter les eaux usées, réduisant ainsi la pollution de l'environnement. Le défi technique consistait à améliorer l'efficacité et la pureté de l'enrichissement tout en réduisant la consommation d'énergie et l'utilisation de réactifs chimiques, et à intégrer des contrôles automatisés et des unités de traitement des gaz d'échappement pour répondre aux exigences environnementales.

6.1.2 Équipement de production de poudre de molybdène

L'équipement de production de poudre de molybdène convertit le concentré de molybdène purifié en poudre de molybdène de haute pureté, comprenant principalement un four de torréfaction et un four de réduction d'hydrogène. Le torréfacteur oxyde la molybdénite en oxyde de molybdène, qui doit avoir une capacité de chauffage à haute température et une distribution uniforme du champ thermique pour garantir que la réaction d'oxydation est complète et exempte de sulfure résiduel. L'équipement est équipé d'un système de traitement des gaz d'échappement pour récupérer les oxydes de soufre et réduire la pollution de l'environnement. Le four de réduction de l'hydrogène convertit l'oxyde de molybdène en poudre de molybdène métallique grâce à un processus de réduction en plusieurs étapes, qui doit être utilisé dans un environnement d'hydrogène de haute pureté, avec un contrôle précis de la température et une régulation du débit d'air pour assurer une taille de particule uniforme et une faible teneur en oxygène de la poudre.

En production, le torréfacteur doit être équipé de matériaux résistants aux hautes températures et à la corrosion pour éviter que le corps du four ne soit endommagé lors d'un fonctionnement à long terme. Le four est protégé par une atmosphère inerte pour éviter l'oxydation de la poudre de molybdène, et est équipé d'un débitmètre de haute précision et d'un système de purification des gaz pour maintenir la pureté de l'hydrogène. Le système de surveillance automatique détecte la taille des particules et la composition chimique de la poudre en temps réel pour garantir la constance de la qualité. Le défi technique consistait à contrôler la stabilité de l'atmosphère et la morphologie de la poudre pendant le processus de réduction, à optimiser la distribution du flux de gaz et le gradient de température dans le four, et à équiper le four d'un dispositif de dépoussiérage pour améliorer la sécurité et le respect de l'environnement.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

6.2 Équipement de métallurgie des poudres

L'équipement de métallurgie des poudres est utilisé pour presser et fritter la poudre de molybdène en ébauches à haute densité, fournissant une base solide pour le tréfilage ultérieur. L'équipement doit être équipé d'une pression élevée, d'un contrôle précis et d'une grande fiabilité pour assurer l'uniformité de la densité et la stabilité microstructurale des flans.

6.2.1 Presses

Les presses sont utilisées pour presser la poudre de molybdène en tiges ou en ébauches de plaques, et les types courants incluent les presses isostatiques à froid et les presses de moulage. La presse isostatique à froid exerce une pression uniforme à travers le milieu liquide pour presser la poudre de molybdène en flans à haute densité, ce qui convient à la production de formes complexes de flans, et l'équipement doit être équipé de moules en caoutchouc à haute résistance et d'un système de contrôle de pression stable pour garantir que les flans n'ont pas de fissures ou de vides. La machine de moulage utilise un moule en acier pour presser la poudre de molybdène dans une forme régulière, ce qui convient à la production de faible volume, et nécessite un cadre très rigide et un alignement précis du moule pour éviter les écarts dans le processus de pressage.

Pendant le fonctionnement, la presse doit être combinée avec une table vibrante ou un dispositif d'extraction sous vide pour réduire le vide d'air dans la poudre et augmenter la densité de l'ébauche. L'équipement doit être utilisé dans un environnement propre pour éviter la contamination de la poudre et affecter la qualité du frittage ultérieur. Un système de contrôle automatisé est utilisé pour surveiller la pression et le temps de pressage afin d'assurer l'uniformité du lot. Le défi technique est d'obtenir une densité uniforme de l'ébauche et d'éviter l'usure, ce qui nécessite un entretien régulier du moule et une optimisation du processus de pressage pour réduire les défauts.

6.2.2 Fours de frittage

Le four de frittage est utilisé pour chauffer l'ébauche pressée à haute température, de sorte que les particules de molybdène se combinent pour former une billette à haute densité, et il est couramment utilisé dans le four à induction à moyenne fréquence ou le four de chauffage par résistance. Le four de frittage doit avoir une capacité de chauffage à haute température et un contrôle précis de la température pour garantir que l'ébauche est uniformément densifiée à haute température sans fissuration. L'équipement est protégé par de l'hydrogène ou un gaz inerte pour empêcher l'oxydation des ébauches de molybdène, et doit être équipé d'un système efficace de circulation et de purification des gaz pour maintenir la pureté de l'atmosphère dans le four. Les fours de frittage sont généralement divisés en deux zones, le pré-frittage et le frittage à haute température, pour éliminer les liants et favoriser la liaison des grains, respectivement, et nécessitent un chauffage multizone pour optimiser la distribution de la température.

En production, le four de frittage doit être équipé d'un matériau de four résistant aux hautes températures pour résister à un fonctionnement à haute température à long terme. Le système de contrôle automatique surveille les vitesses de chauffage et de refroidissement pour éviter que les contraintes thermiques ne déforment l'ébauche. Le dispositif de traitement des gaz d'échappement récupère les impuretés volatiles et répond aux normes de protection de l'environnement. Le défi

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

technique est d'assurer l'homogénéité microstructurale et la haute densité de la billette frittée, d'optimiser le profil de chauffage et le contrôle de l'atmosphère, tout en réduisant la consommation d'énergie et les émissions de gaz d'échappement.

6.3 Équipement de tréfilage

L'équipement de tréfilage est utilisé pour transformer l'ébauche frittée en fil de molybdène de diamètre fin, qui est un maillon clé dans la production de fil de molybdène. L'équipement doit avoir une haute précision, une stabilité et des fonctions de lubrification et de refroidissement efficaces pour garantir la précision dimensionnelle et la qualité de surface du fil de molybdène et répondre aux besoins des applications de précision.

6.3.1 Machines à tréfiler

La machine à tréfiler est utilisée pour étirer progressivement l'ébauche de molybdène en un fil fin à travers le moule, qui est divisé en tréfileuse à chaud et machine à tréfiler à froid. La machine à tréfiler le fil chaud est utilisée pour produire du fil de molybdène de diamètre plus grossier, équipé d'un dispositif de chauffage par induction à haute fréquence, qui ramollit l'ébauche à haute température et réduit la résistance à la traction, et convient à la production de fil de molybdène pour la pulvérisation ou le chauffage d'éléments. Les machines d'étirage à froid sont utilisées pour produire des fils de molybdène de diamètre fin et ultra-fins, qui nécessitent un contrôle de tension de haute précision et un réglage de la vitesse pour garantir que le diamètre du fil est constant et ininterrompu. Les tréfileuses modernes sont conçues avec un tréfilage continu multimode, capable d'un étirement simultané en plusieurs passes et d'une augmentation de l'efficacité de la production.

Pendant le fonctionnement, la tréfileuse doit être équipée d'un système de surveillance en ligne pour détecter le diamètre et les défauts de surface du fil en temps réel afin d'assurer une qualité stable. Le système de contrôle automatique de la tension maintient une force de traction constante pour empêcher le fil de se déformer ou de se casser. L'équipement doit être calibré régulièrement pour maintenir la précision du diamètre du trou du moule et de la vitesse de traction. Le défi technique consistait à réaliser un étirement continu et un contrôle de haute précision des fils de molybdène ultra-fins, avec des servomoteurs et des pieds à coulisse laser haute performance, tout en optimisant la vitesse d'étirage pour équilibrer efficacité et qualité.

6.3.2 Moules et systèmes de lubrification

La matrice d'étirage et le système de lubrification sont les composants essentiels de la machine à tréfiler, qui affectent directement la qualité de surface et la précision dimensionnelle du fil de molybdène. Le moule est généralement en carbure cémenté ou en diamant, le moule en carbure cémenté convient au tréfilage grossier en molybdène, et le moule en diamant convient à l'usinage de précision du fil de molybdène ultra-fin en raison de sa dureté ultra-élevée et de sa résistance à l'usure. Le moule doit avoir une conception d'ouverture de haute précision et une paroi intérieure lisse pour réduire la friction et les rayures de surface. Le système de lubrification fournit un lubrifiant à base d'eau ou d'huile qui réduit la friction entre la matrice et le fil de molybdène, prolongeant ainsi la durée de vie de la matrice et améliorant la finition de surface du fil. Le système de refroidissement contrôle la température de la matrice et du fil par circulation d'eau ou

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

refroidissement par pulvérisation pour éviter la déformation causée par la surchauffe.

Pendant la production, le moule doit être poli et remplacé régulièrement pour maintenir la cohérence de la taille du trou. Le système de lubrification est équipé d'un dispositif de filtration pour éliminer les impuretés du lubrifiant et éviter de rayer la surface du fil de molybdène. Le système de refroidissement doit maintenir une température et un débit d'eau stables pour assurer un refroidissement uniforme. Le défi technique consistait à optimiser le matériau du moule et la formulation du lubrifiant afin de réduire le risque de rupture du fil lors de l'étirement du fil de molybdène ultrafin, tout en l'équipant d'un système de récupération efficace pour réduire les déchets de lubrifiant et l'impact environnemental.

6.4 Équipement de traitement thermique

L'équipement de traitement thermique est utilisé pour le recuit et le traitement à haute température du fil de molybdène, soulageant les contraintes de traitement, optimisant la microstructure et améliorant la ténacité et la ductilité pour garantir que le fil de molybdène répond aux besoins des applications de précision. Ces appareils doivent disposer d'un contrôle de température de haute précision, d'une protection stable de l'atmosphère et d'une distribution efficace du champ thermique pour garantir que le fil de molybdène ne s'oxyde pas et fonctionne uniformément à des températures élevées.

6.4.1 Fours de recuit

Le four de recuit est utilisé pour le traitement thermique du fil de molybdène, ce qui élimine la contrainte générée pendant le processus d'étirage et restaure la ductilité du fil grâce au chauffage et à la conservation de la chaleur, et convient aux applications de haute précision telles que la coupe de fil et la source lumineuse électrique. Les fours de recuit sont généralement disponibles en modèles tubulaires ou continus et sont capables de fonctionner sous la protection de l'hydrogène ou de gaz inertes tels que l'argon pour empêcher l'oxydation de la surface du fil de molybdène. L'équipement est équipé d'un système de chauffage multizone pour assurer un champ thermique uniforme et éviter les grains irréguliers causés par une surchauffe locale. Les fours de recuit tubulaires sont adaptés à la production de petits lots, permettant un ajustement flexible des paramètres de recuit, tandis que les fours de recuit continu permettent un traitement à grande vitesse grâce à des bandes transporteuses ou à des systèmes de traction, ce qui les rend adaptés à la production à grande échelle.

Pendant le fonctionnement, le four de recuit doit contrôler avec précision les vitesses de chauffage et de refroidissement pour éviter que les contraintes thermiques ne provoquent la déformation ou la fissuration du fil de molybdène. L'atmosphère à l'intérieur du four doit être d'une grande pureté, et il est équipé d'un système de purification et de circulation des gaz pour éliminer les traces d'oxygène et d'eau. Le système de contrôle automatique surveille les conditions de température et d'atmosphère pour garantir des performances constantes d'un lot à l'autre. Le défi technique consistait à optimiser le processus de recuit pour équilibrer la ténacité et la résistance tout en réduisant la consommation d'énergie et de gaz, ce qui nécessitait l'intégration de systèmes efficaces de récupération de chaleur et de dispositifs de surveillance en temps réel.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

6.4.2 Fours à vide

Les fours à vide sont utilisés pour le traitement thermique à haute température du fil de molybdène, en particulier dans les scénarios où une pureté extrêmement élevée et un environnement sans oxydation sont nécessaires, tels que le recuit du fil de molybdène lanthane ou du fil de molybdène rhénium. Le four à vide empêche l'oxydation du fil de molybdène à haute température grâce à un environnement de vide poussé, tout en prenant en charge des processus de traitement thermique complexes tels que le raffinement des grains et l'optimisation de la distribution des éléments dopés. L'équipement est équipé d'une pompe à vide haute performance et d'un système d'étanchéité pour maintenir un environnement à très basse pression d'air et garantir que la surface du fil de molybdène est exempte d'impuretés. Le système de chauffage utilise un chauffage par résistance ou par induction, qui peut rapidement chauffer et maintenir un champ thermique stable, et convient au traitement de fils de molybdène ultra-fins ou de fils d'alliage haute performance.

Dans la production, les fours à vide doivent être équipés de matériaux de four résistants aux hautes températures pour résister à la charge thermique d'un fonctionnement à long terme. Le système de contrôle automatique surveille le degré de vide et la température en temps réel pour s'assurer que les paramètres du processus sont stables. Le dispositif de traitement des gaz d'échappement récupère les impuretés volatiles et répond aux exigences de protection de l'environnement. Le défi technique consiste à maintenir un vide ultra-poussé et à prévenir les micro-fuites, nécessitant l'utilisation de jauges de haute précision et d'une technologie d'étanchéité, tout en optimisant l'efficacité du chauffage pour réduire la consommation d'énergie.

6.5 Équipement de traitement de surface

L'équipement de traitement de surface est utilisé pour le nettoyage, le polissage et le revêtement du fil de molybdène, améliorant la finition de surface, la résistance à la corrosion et la fonctionnalité, et répondant aux exigences de qualité élevées de la source de lumière électrique, du revêtement sous vide et d'autres applications. L'équipement doit être équipé de capacités de nettoyage efficaces et de fonctions précises de modification de surface, tout en assurant la protection de l'environnement et la sécurité.

6.5.1 Équipement de lavage caustique

L'équipement de lavage alcalin est utilisé pour éliminer la couche d'oxyde et les impuretés à la surface du fil de molybdène et préparer le fil de molybdène nettoyé, qui convient aux scénarios avec des exigences de qualité de surface élevées telles que la source de lumière électrique et la coupe de fil. L'équipement est généralement une ligne de nettoyage continu avec un bain de lessive, une unité de nettoyage par ultrasons et un système de rinçage à l'eau déminéralisée. Le bain de lessive utilise une solution d'hydroxyde de sodium pour nettoyer le fil de molybdène afin d'éliminer la couche d'oxyde de molybdène, et doit être équipé d'un système de chauffage et d'agitation pour assurer l'efficacité du nettoyage. L'appareil de nettoyage à ultrasons utilise des vibrations à haute fréquence pour éliminer les particules fines et les résidus et améliorer la propreté des surfaces. Le système de rinçage à l'eau désionisée élimine complètement les résidus de lessive et empêche la pollution secondaire.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Pendant le fonctionnement, l'équipement de lavage caustique doit contrôler avec précision la concentration et la température de la solution pour assurer un nettoyage uniforme sans endommager la surface du fil de molybdène. Le système de traitement des déchets liquides réduit la pollution de l'environnement en neutralisant et en précipitant la récupération du molybdate. Le système de contrôle automatique surveille le temps de nettoyage et le niveau de liquide pour améliorer l'efficacité de la production. Le défi technique consistait à optimiser le processus de nettoyage pour éviter une corrosion excessive et en même temps augmenter la récupération de l'effluent, ce qui nécessitait des dispositifs de filtration et de neutralisation à haute efficacité.

6.5.2 Équipement de polissage et de revêtement

Les équipements de polissage et de revêtement sont utilisés pour améliorer la finition de surface du fil de molybdène ou pour appliquer des revêtements fonctionnels, tels que des revêtements en siliciure de molybdène ou en zircone, afin d'améliorer la résistance à l'usure et à l'oxydation. L'équipement de polissage comprend une machine de polissage électrochimique et une machine de polissage mécanique, la machine de polissage électrochimique utilise un électrolyte acide pour lisser la surface du fil de molybdène par une réaction électrochimique, et doit être équipée d'une alimentation stable et d'une cellule électrolytique pour assurer un polissage uniforme. Les polisseuses mécaniques utilisent des meules diamantées ou des bandes de polissage et conviennent au polissage de haute précision en petits lots, nécessitant des vitesses de rotation élevées et un contrôle précis de l'avance. L'équipement de revêtement comprend un équipement de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) et de pulvérisation au plasma, capable de déposer une couche protectrice uniforme à la surface du fil de molybdène, équipé d'une chambre à vide et d'un système de contrôle des gaz pour assurer la qualité du revêtement.

En production, l'équipement de polissage doit être utilisé dans un environnement propre pour éviter la contamination par les particules, et la qualité de la surface est inspectée au microscope pour s'assurer qu'il n'y a pas de rayures. L'équipement de revêtement doit contrôler avec précision le taux de dépôt et l'atmosphère pour éviter l'irrégularité ou l'écaillage du revêtement. Le défi technique était d'obtenir une finition de haute précision et un revêtement à forte adhérence, d'optimiser la formulation de l'électrolyte et les paramètres de dépôt, et d'équiper l'unité de traitement des gaz d'échappement pour qu'elle soit conforme aux normes environnementales.

6.6 Équipement d'essai et de contrôle de la qualité

Les équipements d'inspection et de contrôle de la qualité sont utilisés pour évaluer la précision dimensionnelle, la qualité de surface et les propriétés mécaniques du fil de molybdène afin de s'assurer que les produits répondent aux normes pour des applications telles que l'électroérosion à fil, les composants électroniques, etc. Ces appareils doivent être très précis, réactifs et non destructifs pour soutenir une production efficace et une gestion de la qualité.

6.6.1 Équipement de détection des défauts par courants de Foucault

L'équipement de détection des défauts par courants de Foucault est utilisé pour détecter les microfissures, les inclusions et les défauts internes à la surface du fil de molybdène, et convient à l'inspection en ligne dans la production continue. Grâce au principe de l'induction électromagnétique,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

L'équipement génère des courants de Foucault à la surface du fil de molybdène pour détecter les changements dans le signal électrique causés par les défauts, et a une sensibilité élevée et une capacité de balayage rapide. Les appareils de recherche de défauts par courants de Foucault sont généralement équipés de capteurs multicanaux et de systèmes de balayage automatisés capables d'analyser toute la longueur du fil de molybdène en temps réel pour identifier les défauts mineurs. L'équipement doit être intégré à la ligne d'étirage pour prendre en charge l'inspection à grande vitesse sans interrompre la production.

Pendant le fonctionnement, l'équipement d'essai par courants de Foucault doit être calibré pour s'adapter à différents diamètres de fil de molybdène afin d'assurer la précision de la détection. Le système de traitement des données enregistre l'emplacement et le type de défauts en temps réel et génère des rapports de qualité. Le défi technique est d'améliorer la sensibilité de détection pour identifier les défauts à l'échelle du micron tout en évitant les fausses alarmes, et d'optimiser la conception des capteurs et les algorithmes de traitement du signal.

6.6.2 Machines d'essai de traction

Les machines d'essai de traction sont utilisées pour tester les propriétés mécaniques du fil de molybdène, telles que la résistance et la ductilité, afin de s'assurer que le fil répond aux besoins de l'application. L'équipement mesure le comportement à la déformation et à la rupture du fil de molybdène pendant le processus d'étirement en appliquant une force de traction contrôlée, qui convient à l'évaluation des performances du fil de molybdène grossier et du fil de molybdène ultra-fin. Les machines d'essai de traction sont équipées de mâchoires de haute précision et de capteurs de force qui peuvent saisir avec précision des fils de molybdène de petit diamètre sans causer de dommages. Le système de contrôle automatique enregistre la courbe de traction et analyse les propriétés mécaniques du matériau.

En production, les machines d'essai de traction doivent fonctionner dans un environnement à température constante pour éviter que les changements de température n'affectent les résultats des essais. L'équipement est étalonné régulièrement pour garantir la précision du capteur de force et des mesures de déplacement. Le défi technique consiste à éviter les dommages de serrage lors de l'essai de fils de molybdène ultra-fins, de la conception de montages spéciaux et de l'optimisation des paramètres d'essai pour améliorer la répétabilité.

6.6.3 Microscopes et spectromètres

Les microscopes et les spectromètres sont utilisés pour analyser la microstructure, la topographie de surface et la composition chimique des fils de molybdène afin d'assurer une qualité et des performances constantes du produit. La microscopie optique et la microscopie électronique à balayage (MEB) sont utilisées pour observer les rayures, les fissures et les structures de grain à la surface des fils de molybdène, et conviennent à l'évaluation des résultats d'emboutissage et de polissage. Les spectromètres (tels que les spectromètres à photoélectrons à rayons X ou les analyseurs à dispersion d'énergie) détectent la composition élémentaire et la teneur en impuretés des fils de molybdène pour assurer une grande pureté et une distribution uniforme des éléments dopés. L'équipement doit avoir une résolution élevée et des capacités d'analyse rapides, et être adapté à

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'inspection par lots.

Pendant le fonctionnement, le microscope doit être équipé d'une lentille d'objectif à fort grossissement et d'un système de traitement d'image pour produire des images microscopiques claires. Le spectromètre doit être utilisé dans un environnement propre pour éviter la contamination de l'échantillon, et le logiciel d'analyse des données est utilisé pour évaluer quantitativement la composition chimique. Le défi technique consiste à réaliser une analyse rapide et de haute précision, en optimisant le système d'éclairage du microscope et le processus d'étalonnage du spectromètre, tout en garantissant l'adéquation de l'appareil pour les fils de molybdène ultrafins.

6.7 Automatisation et équipement intelligent

L'automatisation et les équipements intelligents améliorent l'efficacité, la cohérence et la traçabilité de la production de fils de molybdène, couvrant le tréfilage, l'inspection et le contrôle des processus. Ces appareils permettent une production efficace et une optimisation de la qualité en intégrant des capteurs, des systèmes de contrôle et des technologies d'analyse de données.

6.7.1 Ligne de production automatique de tréfilage

La ligne de production automatique de tréfilage intègre une machine de tréfilage multimode, un système de contrôle de tension et un dispositif de détection en ligne pour réaliser un traitement continu de l'ébauche au fil de molybdène fini. Grâce à des servomoteurs et à des systèmes de contrôle PLC, l'équipement ajuste avec précision la vitesse et la tension d'étirage pour s'assurer que le diamètre du fil est constant et qu'il n'y a pas de rupture. La ligne de production est équipée d'un système de changement automatique de moule et de lubrification pour réduire les interventions manuelles et améliorer l'efficacité de la production. Le dispositif de recuit continu est intégré à la machine de tréfilage pour soulager les contraintes de traitement en temps réel et optimiser la ténacité du fil de molybdène.

Pendant le fonctionnement, la ligne de production doit être équipée de capteurs de haute précision pour surveiller le diamètre du fil et la qualité de surface, et les données sont renvoyées au système de contrôle en temps réel pour ajuster les paramètres du processus. La ligne de production automatisée prend en charge la production de fils de molybdène de différentes spécifications avec une grande flexibilité. Le défi technique consistait à obtenir la stabilité de plusieurs passes d'étirage et le traitement continu de fils de molybdène ultra-fins, en optimisant les algorithmes de contrôle et l'intégration des équipements, tout en réduisant les temps d'arrêt.

6.7.2 Système de surveillance en ligne

Le système de surveillance en ligne est utilisé pour détecter en temps réel les paramètres clés dans le processus de production du fil de molybdène, tels que le diamètre, les défauts de surface et les propriétés mécaniques, afin de garantir une qualité constante du produit. Le système comprend un pied à coulisse laser, un appareil de recherche de défauts à courants de Foucault et un capteur de température pour collecter des données en temps réel pendant le tréfilage, le recuit et le traitement de surface. Le pied à coulisse laser détecte les petites variations de diamètre du fil de molybdène grâce à une mesure sans contact, ce qui le rend adapté aux environnements de production à grande

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

vitesse. Le système de traitement des données intègre un MES (Manufacturing Execution System) pour enregistrer les paramètres de production et générer des rapports de qualité pour soutenir la traçabilité et l'optimisation des processus.

En production, le système de surveillance en ligne doit être intégré de manière transparente à la ligne de production et transmettre les données au centre de contrôle en temps réel. Le système doit être calibré régulièrement pour garantir la précision des capteurs et la fiabilité des données. Le défi technique est d'améliorer la réactivité et la sensibilité du système de surveillance, d'optimiser la disposition des capteurs et les algorithmes de traitement des données, et d'assurer la stabilité du système dans des environnements à haute température et sous vide poussé.



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène noir

Chapitre 7 Normes relatives aux fils de molybdène

En tant que matériau haute performance, la production et l'application du fil de molybdène sont soumises à des normes strictes pour garantir la qualité, les performances et la cohérence. Les normes nationales, les normes internationales et les normes industrielles normalisent la composition chimique, les propriétés mécaniques, la précision dimensionnelle et la qualité de surface du fil de molybdène à différents niveaux pour répondre aux besoins d'applications diversifiées telles que la source lumineuse électrique, la coupe de fil, le revêtement sous vide, etc. Ces normes fournissent une base unifiée pour la production, les essais et le commerce grâce à des exigences techniques et des méthodes d'essai claires, tout en favorisant le progrès technologique et le développement international de l'industrie. Ce qui suit est une description textuelle détaillée pour analyser les normes nationales, internationales et industrielles du fil de molybdène, ainsi que la comparaison et l'applicabilité des normes.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

7.1 Norme nationale pour le fil de molybdène

En tant que plus grand producteur mondial de fil de molybdène, la Chine a formulé une série de normes nationales (GB/T) pour réglementer la production, les tests et l'application du fil de molybdène et de ses produits connexes. Ces normes sont publiées par l'Administration de normalisation de la République populaire de Chine, couvrant les propriétés des matériaux, les exigences de traitement et le contrôle de la qualité du fil de molybdène, des barres de molybdène et des dalles de molybdène, et sont largement utilisées dans les fabricants nationaux de fils de molybdène et les industries d'application en aval.

7.1.1 GB/T 4182-2003 《Fil de molybdène》

GB / T 4182-2003 est la principale norme nationale pour le fil de molybdène en Chine, qui convient au fil de molybdène dans des applications telles que la source lumineuse électrique, la coupe de fil et le four à haute température. Cette norme spécifie la classification, la composition chimique, les propriétés mécaniques, la précision dimensionnelle et les exigences de qualité de surface du fil de molybdène, couvrant le fil de molybdène pur et le fil de molybdène dopé (tel que le fil de molybdène lanthane). La norme exige que le fil de molybdène ait une grande pureté et une microstructure uniforme pour assurer la stabilité à haute température et dans des environnements corrosifs. Les méthodes d'inspection comprennent l'analyse chimique, les essais de traction et l'inspection de surface pour s'assurer que le fil de molybdène répond aux exigences de performance de différentes applications, telles que la résistance à la traction de la coupe du fil et la conductivité des sources lumineuses électriques.

La norme réglemente également le processus de production du fil de molybdène, tel que le tréfilage, le recuit et le traitement de surface, et exige des fabricants qu'ils opèrent dans un environnement propre pour éviter la contamination. Les exigences en matière d'emballage et de stockage garantissent que le fil de molybdène n'est pas soumis à l'humidité ou à l'oxydation pendant le transport et maintient la qualité de surface. Le défi technique consiste à trouver un équilibre entre les exigences de performance élevées et les coûts de production, et à optimiser le processus d'inspection pour garantir une application efficace et cohérente des normes. Cette norme fournit une base technique unifiée pour l'industrie nationale du fil de molybdène et favorise l'amélioration de la qualité des produits et la compétitivité du marché.

7.1.2 GB/T 3462-2007

GB/T 3462-2007 réglemente les barres et les plaques de molybdène utilisées dans la production de fils de molybdène, qui conviennent aux matières premières pour la métallurgie des poudres et les processus de tréfilage. La norme spécifie en détail la composition chimique, la densité, la qualité de surface et les tolérances dimensionnelles des barres et des dalles de molybdène, et exige des matériaux à haute pureté et à faible teneur en impuretés, adaptés à la transformation ultérieure en fils de molybdène haute performance. La norme couvre les exigences de performance de différents types de barres de molybdène (par exemple, frittées, forgées) afin de garantir que l'ébauche a une microstructure et une résistance mécanique uniformes avant l'emboutissage.

Les exigences du processus de production comprennent le pressage de poudre, le frittage et le

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

traitement thermique, qui doivent être effectués dans un environnement d'hydrogène ou de vide pour éviter l'oxydation. Les méthodes d'essai comprennent la mesure de la densité, l'analyse métallographique et l'analyse de la composition chimique pour s'assurer que la qualité de l'ébauche répond aux exigences du dessin. La norme spécifie également les exigences d'emballage et de transport pour protéger la pièce brute de l'humidité ou des dommages mécaniques. Le défi technique consistait à assurer l'uniformité des flans et la cohérence des lots, ce qui nécessitait des équipements de pressage et de frittage de haute précision, ainsi que l'optimisation du processus d'inspection pour améliorer l'efficacité. Cette norme fournit des spécifications pour les liaisons en amont de la production de fils de molybdène et favorise la stabilité de la qualité des matières premières.

7.1.3 Autres normes nationales pertinentes

En plus des normes ci-dessus, la Chine a également formulé un certain nombre de normes nationales relatives au fil de molybdène, telles que GB/T 4197 « Méthodes d'analyse chimique pour le molybdène et les alliages de molybdène » et GB/T 3461 « Poudre de molybdène », qui sont utilisées pour normaliser l'analyse de la composition chimique et la préparation de la poudre des matériaux en molybdène. Ces normes détaillent les méthodes de détection des éléments impurifiés (par exemple, le fer, le carbone, l'oxygène) dans les matériaux en molybdène et exigent l'utilisation d'analyses spectroscopiques de haute précision et de techniques de titrage chimique pour garantir la pureté des matériaux pour les applications haute performance. D'autres normes traitent également de l'emballage, du stockage et du transport du fil de molybdène, mettant l'accent sur les mesures contre l'humidité, l'oxydation et les dommages mécaniques, et s'appliquent à la fois aux marchés d'exportation et aux marchés intérieurs.

Ensemble, ces normes constituent un système standard complet pour la production de fils de molybdène, couvrant l'ensemble du processus, des matières premières aux produits finis. Le défi technique consiste à harmoniser les exigences d'essai des différentes normes et à établir un système unifié de gestion de la qualité afin d'améliorer l'efficacité de la mise en œuvre. Dans le même temps, avec l'expansion des applications du fil de molybdène, les normes doivent être constamment mises à jour pour s'adapter aux nouvelles technologies et aux nouveaux besoins du marché.

7.2 Normes internationales pour le fil de molybdène

Les normes internationales fournissent une base technique unifiée pour le commerce et l'application mondiaux des fils de molybdène, qui sont principalement formulés par l'American Society for Testing and Materials (ASTM), l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et des organismes nationaux de normalisation tels que le Japon (JIS) et l'Allemagne (DIN). Ces normes réglementent les exigences de performance, de traitement et d'essai du fil de molybdène et de ses alliages, et favorisent l'application normalisée du fil de molybdène sur le marché mondial.

7.2.1 Norme ASTM B387 pour les tiges, barres et fils en molybdène et en alliage de molybdène

La norme ASTM B387 est la norme internationale la plus largement utilisée pour les fils de molybdène, couvrant les tiges, les barres et les fils de molybdène et d'alliages de molybdène (tels que le molybdène, le lanthane, le molybdène, le rhénium), et convient aux sources lumineuses électriques, au revêtement sous vide, aux fours à haute température et à d'autres industries. Cette

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

norme spécifie la composition chimique, les propriétés mécaniques, la qualité de surface et les tolérances dimensionnelles des matériaux, et exige que le fil de molybdène ait une grande pureté et une excellente résistance aux températures élevées, adapté aux applications dans des environnements extrêmes. La norme décrit également en détail les méthodes d'essai telles que les essais de traction, les essais de dureté et l'analyse métallographique pour s'assurer que le fil de molybdène répond aux propriétés mécaniques et électriques pour différentes applications.

Les exigences du processus de production comprennent la métallurgie des poudres, le tréfilage et le traitement thermique, qui doivent être utilisés dans une atmosphère de haute pureté ou sous vide pour éviter l'oxydation. La norme met l'accent sur l'importance du traitement de surface et exige que la surface du fil de molybdène soit exempte de fissures, de rayures ou de couches d'oxyde, et qu'elle soit adaptée aux applications de précision. Les exigences en matière d'emballage et de stockage garantissent le maintien de la qualité du fil pendant le transport et le stockage. Le défi technique est de répondre aux exigences des normes en matière de haute précision et de cohérence, avec des équipements de production et d'essai avancés, tout en optimisant les processus pour réduire les coûts. Cette norme fournit une référence technique unifiée pour le marché mondial du fil de molybdène et promeut le commerce et l'application internationaux.

7.2.2 Normes ISO

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a élaboré des normes relatives au molybdène et aux alliages de molybdène, telles que la norme ISO 24361, qui traite des propriétés et des méthodes d'essai des matériaux en molybdène et convient à la production et à l'application de fil de molybdène. Cette norme régleme la composition chimique, la microstructure et les propriétés mécaniques du fil de molybdène, et exige que le matériau ait une pureté et une uniformité élevées, adaptées aux environnements à haute température et corrosifs. Les méthodes d'essai comprennent l'analyse chimique, l'observation microscopique et les essais mécaniques pour s'assurer que le fil de molybdène répond aux exigences de qualité du marché mondial. La norme couvre également les exigences environnementales du processus de production, en mettant l'accent sur la réduction des émissions de gaz d'échappement et de déchets liquides.

La norme ISO met l'accent sur la polyvalence internationale du fil de molybdène et convient aux applications multinationales dans les domaines des sources lumineuses électriques, de la coupe de fils et des équipements médicaux. Des équipements de haute précision, tels que des spectromètres et des machines d'essai de traction, sont utilisés en production pour garantir des résultats fiables. Le défi technique consiste à concilier les différences entre les normes ISO et les normes nationales, à établir un système mondial de contrôle de la qualité et à optimiser le processus d'inspection pour en améliorer l'efficacité. Cette norme favorise le développement international de l'industrie du fil de molybdène et renforce la compétitivité mondiale des produits.

7.2.3 Autres normes internationales (par exemple JIS, DIN)

La norme industrielle japonaise (JIS) et la norme industrielle allemande (DIN) ont également développé des spécifications relatives aux fils de molybdène, telles que JIS H 4461 « Molybdène et alliages de molybdène » et DIN EN 10204 « Documentation d'inspection des produits métalliques

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

». La norme JIS spécifie la composition chimique, les propriétés mécaniques et les exigences de traitement du fil de molybdène, et convient aux applications de sources lumineuses électriques et de composants électroniques sur le marché japonais, en mettant l'accent sur une précision élevée et une qualité de surface. La norme DIN se concentre sur la certification de la qualité et les documents de test du fil de molybdène, et exige des fabricants qu'ils fournissent des rapports détaillés sur les performances des matériaux pour garantir la traçabilité des produits.

Ces normes exigent la production de fils de molybdène à l'aide de matières premières de haute pureté et de procédés d'usinage de précision, y compris l'analyse spectroscopique et l'inspection de surface, et le fonctionnement dans un environnement propre. Le défi technique consiste à répondre aux exigences spécifiques des différentes normes nationales et à adapter de manière flexible les processus de production et d'essai tout en garantissant la rentabilité. Les normes JIS et DIN fournissent un soutien technique pour l'application du fil de molybdène sur des marchés spécifiques et favorisent la normalisation des marchés régionaux.

7.3 Norme de l'industrie du fil de molybdène

Les normes industrielles sont formulées par des associations professionnelles ou des entreprises, complétant les normes nationales et internationales, et fournissant des spécifications plus détaillées pour des liens spécifiques ou des scénarios d'application de la production de fils de molybdène. Ces normes sont généralement plus proches des besoins réels de production, ce qui stimule l'innovation technologique et l'amélioration de la qualité.

7.3.1 Comité technique national de normalisation des métaux non ferreux (TC243)

Le Comité technique national de normalisation des métaux non ferreux (TC243) est le principal organisme de normalisation de l'industrie chinoise des métaux non ferreux et a formulé un certain nombre de normes industrielles liées au fil de molybdène, telles que YS / T 369 « Méthodes d'analyse chimique pour le fil de molybdène ». Ces normes détaillent les exigences de détection des impuretés, de tests de performance et de processus de production du fil de molybdène, et conviennent à des applications telles que la découpe de fils, le revêtement sous vide et les fours à haute température. La norme exige que le fil de molybdène ait une grande pureté et des propriétés mécaniques stables, et les méthodes de détection comprennent une analyse spectrale de haute précision et des essais de traction pour s'assurer que la qualité du produit répond aux besoins de l'industrie.

La norme industrielle couvre également les spécifications de fonctionnement des équipements de production, telles que les paramètres de fonctionnement des tréfileuses et des fours de frittage, en mettant l'accent sur la stabilité et le respect de l'environnement du processus. Le défi technique consiste à appliquer des normes à divers scénarios de production, à coordonner les niveaux d'équipement et de processus des différentes entreprises et à promouvoir la mise à jour des normes pour s'adapter aux nouvelles technologies et applications. La norme TC243 fournit des conseils techniques pour l'industrie chinoise du fil de molybdène et promeut une gestion standardisée au sein de l'industrie.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

7.3.2 Normes internes

L'un des principaux fabricants de fils de molybdène, avec des normes internes en place pour répondre aux besoins spécifiques des clients et aux applications haut de gamme. Ces normes sont généralement plus strictes que les normes nationales ou internationales, avec des spécifications détaillées pour les exigences de performance du fil de molybdène ultra-fin, du fil de molybdène lanthane ou du fil de molybdène rhénium.

Les normes internes de l'entreprise régissent également les détails du processus de production, tels que la précision de la matrice d'emboutissage et la pureté de l'atmosphère de recuit, afin de s'assurer que le produit répond aux besoins des marchés haut de gamme tels que l'aérospatiale et le médical. Le défi technique consiste à trouver un équilibre entre des normes élevées et des coûts de production, à optimiser les processus et les équipements d'essai, et à s'assurer que les normes correspondent aux besoins des clients. Ces normes favorisent l'innovation technologique et la compétitivité des entreprises sur le marché.

7.4 Comparaison et analyse des étalons de fils de molybdène

L'analyse comparative des normes nationales, étrangères et industrielles est utile pour comprendre les différences, l'applicabilité et les limites des spécifications du fil de molybdène, fournir des conseils pour la production et l'application, et promouvoir l'optimisation et l'internationalisation du système standard.

7.4.1 Différences entre les normes nationales et étrangères

Il existe des différences entre les normes nationales (telles que GB/T 4182-2003) et les normes internationales (telles que ASTM B387) en ce qui concerne la composition chimique, les propriétés mécaniques et les méthodes d'essai. Les normes nationales accordent plus d'attention à la polyvalence du fil de molybdène, couvrant une variété de scénarios d'application, tels que la coupe de fil et les sources de lumière électrique, mettant l'accent sur les coûts de production et l'efficacité, et conviennent à la production à grande échelle sur le marché chinois. Les normes internationales se concentrent davantage sur les exigences de performance des applications haut de gamme, telles que l'aérospatiale et les semi-conducteurs, en mettant l'accent sur les tests de haute pureté et de précision, et sont applicables au marché mondial. Les normes ISO se concentrent sur la communauté internationale et harmonisent les exigences nationales, tandis que les normes JIS et DIN se concentrent davantage sur les besoins spécifiques des marchés régionaux, tels que les composants électroniques au Japon et les certifications de qualité en Allemagne.

En ce qui concerne les méthodes de détection, les normes nationales utilisent principalement l'analyse chimique et des essais mécaniques simples, et les exigences en matière d'équipement d'essai sont relativement simples, tandis que les normes internationales exigent des spectromètres et des microscopes de haute précision, et le processus de détection est plus complexe. En termes d'exigences en matière d'emballage et de stockage, les normes internationales sont plus strictes, mettant l'accent sur les mesures d'étanchéité à l'humidité et d'anti-oxydation, qui conviennent au transport sur de longues distances. Le défi technique consiste à concilier ces différences, à établir un système unifié de certification de la qualité et à promouvoir la reconnaissance mutuelle des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

normes nationales et étrangères.

7.4.2 Applicabilité et limites des normes

L'adéquation des normes de fil de molybdène dépend du scénario d'application et de la demande du marché. Les normes nationales conviennent à la production à grande échelle et aux applications bas de gamme, telles que la coupe de fil et les sources lumineuses électriques ordinaires, avec de faibles coûts de mise en œuvre et une promotion facile. Les normes internationales sont applicables aux marchés haut de gamme, tels que l'aérospatiale et les dispositifs médicaux, pour répondre à des exigences de performance élevées mais sont coûteuses à mettre en œuvre. Les normes industrielles et les normes internes sont plus spécifiques à l'application et plus flexibles, mais elles ont un champ d'application limité et peuvent ne pas convenir à un déploiement intersectoriel.

La limite de la norme est qu'elle est lente à mettre à jour et qu'il est difficile de s'adapter rapidement aux besoins des nouvelles technologies et applications, telles que le fil de molybdène ultra-fin et le nouveau fil d'alliage. Certaines normes ne contiennent pas d'exigences suffisantes en matière de protection de l'environnement et d'économie d'énergie, et les spécifications de fabrication écologique doivent être complétées. Le défi technique consiste à formuler des normes qui tiennent compte à la fois de l'universalité et du professionnalisme, et il est nécessaire de renforcer la coopération internationale et les échanges industriels pour promouvoir la mise à jour dynamique et l'application mondiale des normes.



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Chapitre 8 Méthodes de détection du fil de molybdène

Les performances du fil de molybdène affectent directement son effet d'application dans les sources de lumière électrique, la découpe de fils, le revêtement sous vide et d'autres domaines, il est donc nécessaire d'évaluer sa composition chimique, ses propriétés physiques et sa qualité de surface grâce à des méthodes de détection précises. Ces méthodes de détection couvrent une variété de techniques telles que l'analyse spectrale, les essais mécaniques, l'observation microscopique, etc., pour s'assurer que le fil de molybdène répond aux normes nationales (par exemple, GB/T 4182-2003), aux normes internationales (par exemple, ASTM B387) et aux besoins spécifiques de l'industrie. L'équipement d'inspection doit être très précis, réactif et non destructif pour favoriser une production et un contrôle qualité efficaces. Ce qui suit est une description textuelle détaillée des méthodes, des exigences de processus et des défis des tests de composition chimique, des tests de propriétés physiques et des tests de qualité de surface du fil de molybdène.

8.1 Essai de composition chimique du fil de molybdène

Les tests de composition chimique sont utilisés pour analyser la pureté et la teneur en impuretés des fils de molybdène afin de s'assurer que le matériau répond aux exigences des applications haute performance, telles que la conductivité des sources lumineuses électriques et la résistance à la corrosion des fours à haute température. La méthode de détection doit avoir une sensibilité et une précision élevées, être capable de détecter les éléments traces et s'adapter aux différentes spécifications du fil de molybdène (telles que le fil de molybdène pur, le fil de molybdène lanthane).

8.1.1 Analyse spectroscopique (ICP-MS, XRF)

La spectroscopie est la principale méthode de détection de la composition chimique des filaments de molybdène, et la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) et la spectroscopie de fluorescence X (XRF) sont couramment utilisées. L'ICP-MS analyse le spectre de masse des éléments en dissolvant l'échantillon de fil de molybdène dans une solution et en l'ionisant, ce qui permet de détecter avec précision les impuretés à l'état de traces (telles que le fer, le carbone, l'oxygène), et convient à l'analyse de la composition du fil de molybdène de haute pureté. L'équipement est équipé d'un spectromètre de masse à haute résolution et d'un système de purification pour garantir que les résultats des tests ne sont pas perturbés par l'environnement, en particulier pour les exigences strictes du fil de molybdène pour les semi-conducteurs et les dispositifs médicaux. La XRF est une méthode non destructive qui excite la surface du fil de molybdène par les rayons X et analyse le signal de fluorescence pour déterminer la composition élémentaire, ce qui la rend adaptée à la détection rapide des lots et largement utilisée dans le contrôle de la qualité sur les lignes de production.

En fonctionnement, l'ICP-MS est réalisé dans un environnement ultra-propre, la préparation des échantillons comprend la dissolution et la dilution de l'acide, et la pureté de la solution doit être étroitement contrôlée pour éviter la contamination. L'équipement XRF doit être étalonné régulièrement pour assurer la stabilité et la précision de la source de rayons X. Les deux méthodes doivent être comparées aux normes pour garantir des résultats fiables. Le défi technique consiste à augmenter la sensibilité de détection pour identifier les niveaux ultra-faibles d'impuretés, tout en

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

optimisant le processus de préparation des échantillons pour réduire le temps de détection, ce qui nécessite des systèmes de traitement des données efficaces et des installations de salle blanche.

8.1.2 Titrage chimique

Le titrage chimique est une méthode traditionnelle de détection de la composition chimique, qui analyse quantitativement les principaux éléments et certaines impuretés dans le fil de molybdène par des réactions chimiques, et convient aux tests en laboratoire et en petits lots. Les méthodes comprennent la dissolution d'un échantillon de fil de molybdène dans une solution acide, l'ajout d'un réactif spécifique pour initier une réaction chimique et la détermination de la teneur élémentaire par le point final de titrage. Cette méthode est simple à utiliser, peu coûteuse, adaptée à la détection de la teneur en molybdène et des impuretés courantes (telles que le soufre, le phosphore), et est largement utilisée pour la vérification de la qualité dans les premiers stades de la production de fil de molybdène.

En fonctionnement, le titrage chimique nécessite l'utilisation de réactifs de haute pureté et d'équipements de titrage de précision pour garantir des conditions de réaction stables et des résultats reproductibles. La préparation de l'échantillon doit être effectuée dans une hotte pour éviter les fuites de gaz nocifs. Les déchets liquides doivent être neutralisés et précipités pour répondre aux exigences de protection de l'environnement. Le défi technique est d'améliorer la précision du titrage pour la détection des impuretés à l'état de traces, d'optimiser la formulation des réactifs et le processus de titrage, tout en réduisant les erreurs de manipulation manuelle, et de pouvoir être utilisé en combinaison avec la spectroscopie pour améliorer la fiabilité.

8.2 Essai des propriétés physiques du fil de molybdène

Les tests de propriétés physiques évaluent les propriétés mécaniques du fil de molybdène, y compris la résistance à la traction, l'allongement et la dureté, pour s'assurer qu'il répond aux exigences mécaniques d'applications telles que la coupe de fil, les éléments chauffants, etc. Ces méthodes nécessitent l'utilisation d'un équipement de haute précision capable de mesurer avec précision les performances du fil de molybdène dans différents états tout en s'adaptant à la petite taille du fil de molybdène ultra-fin.

8.2.1 Essai de résistance à la traction

L'essai de résistance à la traction est utilisé pour mesurer la résistance à la rupture du fil de molybdène sous charge de traction, reflétant sa résistance mécanique et sa durabilité, et convient au fil de molybdène pour la coupe du fil et le four à haute température. L'essai est effectué par une machine d'essai de traction, où le fil de molybdène est serré dans un dispositif spécial, une force de traction progressivement croissante est appliquée jusqu'à ce qu'il se rompe et le comportement maximal de charge et de déformation sont enregistrés. L'équipement doit être équipé d'un capteur de force de haute précision et d'un système de contrôle de déplacement pour assurer un serrage stable sans endommager la surface du fil de molybdène, et convient aux tests de fil de molybdène grossier et de fil de molybdène ultra-fin.

Pendant le fonctionnement, le test doit être effectué dans un environnement à température et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

humidité constantes pour éviter que les facteurs environnementaux n'affectent les résultats. La conception du luminaire doit s'adapter à différents diamètres de fils de molybdène pour éviter le glissement ou les concentrations de contraintes locales. Le système de contrôle automatique enregistre la courbe de traction et analyse la résistance et la ténacité du matériau. Le défi technique consistait à tester la stabilité de serrage des fils de molybdène ultra-fins, à concevoir des micro-montages spéciaux et à optimiser la vitesse d'essai pour éviter que les vitesses de déformation n'affectent les résultats et s'assurer que les données reflétaient avec précision les performances des fils de molybdène.

8.2.2 Essai d'allongement

L'essai d'allongement évalue la capacité de déformation plastique du fil de molybdène avant la rupture par traction, reflétant sa ductilité et sa ténacité, et convient aux sources lumineuses électriques et au fil de molybdène pour la microélectronique. L'essai est généralement effectué en conjonction avec un essai de résistance à la traction, où une machine d'essai de traction est utilisée pour enregistrer l'allongement du fil de molybdène pendant le processus de traction et calculer son allongement. L'équipement doit être équipé d'un capteur de déplacement de haute précision, capable de détecter une déformation au niveau du micron, ce qui convient au test de fils de molybdène ultra-fins. Les résultats des tests sont utilisés pour évaluer l'aptitude du fil de molybdène dans le processus de pliage ou d'enroulement.

Pendant le fonctionnement, le test doit s'assurer que la surface du fil de molybdène est exempte de défauts afin d'éviter qu'une rupture prématurée n'affecte les résultats. Les fixations doivent être alignées avec précision pour réduire les effets des forces d'excentricité. Le système automatisé enregistre la courbe de déformation et analyse le comportement plastique du fil de molybdène. Le défi technique consiste à réaliser des mesures de déformation de haute précision, en optimisant la sensibilité du capteur et la conception du montage, tout en garantissant un environnement d'essai stable pour la répétabilité.

8.2.3 Essai de dureté

L'essai de dureté évalue la résistance à la déformation du fil de molybdène, reflétant sa résistance à l'usure et sa facilité de traitement, et convient au fil de molybdène pour la pulvérisation et la coupe du fil. L'essai de dureté Vickers ou l'essai de microdureté est couramment utilisé pour déterminer la dureté du matériau en appliquant une charge spécifique à la surface du fil de molybdène et en mesurant la taille de l'indentation. L'équipement doit être équipé d'un pénétrateur de haute précision et d'un microscope, qui peut effectuer des tests dans une petite zone et convient à la détection de fils de molybdène ultrafins. Les résultats des tests sont utilisés pour évaluer la durabilité du fil de molybdène dans un environnement à forte charge.

Pendant le fonctionnement, le test doit être effectué dans un environnement propre pour éviter que la contamination de la surface n'affecte la mesure de l'indentation. Le fil de molybdène doit être fixé dans un dispositif spécial pour s'assurer que le point d'essai est plat. Le système automatisé enregistre l'image d'indentation et calcule la valeur de dureté. Le défi technique consistait à tester la précision de positionnement des fils de molybdène ultra-fins, à l'aide de microscopes à haute

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

résolution et de pénétrateurs miniatures, tout en optimisant la sélection de la charge pour éviter d'endommager la surface du fil.

8.3 Inspection de la qualité de la surface du fil de molybdène

L'inspection de la qualité de surface est utilisée pour évaluer la finition de surface, les défauts et la rugosité des fils de molybdène afin de s'assurer qu'ils répondent aux exigences élevées d'applications telles que les sources lumineuses électriques, les revêtements sous vide, etc. La méthode d'inspection doit être haute résolution et non destructive, capable d'identifier rapidement les défauts de surface et de permettre une inspection en ligne.

8.3.1 Observation microscopique

L'observation microscopique est utilisée pour inspecter les rayures, les fissures et les couches d'oxyde à la surface du fil de molybdène, et convient au contrôle de la qualité de la source de lumière électrique et du fil de molybdène pour la coupe du fil. Les microscopes optiques sont idéaux pour l'inspection rapide de la topographie de surface et sont équipés d'objectifs à fort grossissement pour observer les défauts de l'ordre du micron. La microscopie électronique à balayage (MEB) offre une résolution plus élevée et convient à l'analyse de la microstructure et des défauts de surface des fils de molybdène ultrafins, révélant les joints de grains et les traces de traitement. L'équipement doit être équipé d'un système de traitement d'image qui produit des images de surface claires pour faciliter la classification et l'analyse des défauts.

Pendant le fonctionnement, le fil de molybdène doit être nettoyé par ultrasons pour éliminer les impuretés de surface afin d'éviter toute interférence avec l'observation. Les microscopes doivent être calibrés régulièrement pour garantir la qualité et la résolution de l'image. Les résultats des tests sont utilisés pour évaluer l'efficacité des processus d'emboutissage et de traitement de surface. Le défi technique consistait à améliorer la précision de l'imagerie du microscope des fils de molybdène ultrafins, à optimiser le système d'éclairage et la fixation des échantillons, et à réduire les effets des vibrations environnementales.

8.3.2 Détection des défauts par courants de Foucault

L'analyse des défauts par courants de Foucault est utilisée pour détecter les microfissures, les inclusions et les défauts internes à la surface du fil de molybdène, et convient à la coupe de fil et à l'inspection en ligne du fil de molybdène pour les composants électroniques. Grâce au principe de l'induction électromagnétique, l'équipement génère des courants de Foucault à la surface du fil de molybdène pour détecter les changements du signal électrique causés par les défauts, ce qui présente les caractéristiques de non destructif et de haute sensibilité. Les appareils de recherche de défauts par courants de Foucault sont équipés de capteurs multicanaux et d'un système de balayage automatique capable de détecter rapidement les longs fils de molybdène et d'identifier les petits défauts, ce qui les rend adaptés aux environnements de production continue.

Pendant le fonctionnement, l'équipement doit être calibré pour s'adapter à différents diamètres de fils de molybdène afin d'assurer la sensibilité de détection. Le système de traitement des données enregistre l'emplacement et le type de défauts en temps réel et génère des rapports de qualité. Les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

tests par courants de Foucault doivent être intégrés à une ligne de tréfilage pour prendre en charge l'inspection à grande vitesse. Le défi technique consiste à améliorer la précision de détection pour identifier les défauts à l'échelle du micron, en optimisant la conception des capteurs et les algorithmes de traitement du signal, tout en réduisant les fausses alarmes pour améliorer la fiabilité.

8.3.3 Essai de rugosité de surface

Le test de rugosité de surface évalue la douceur de la surface d'un fil de molybdène, affectant ses performances dans les revêtements sous vide et les sources lumineuses électriques. Le test utilise un testeur de rugosité avec ou sans contact, et le dispositif de contact balaie la surface du fil de molybdène à travers une sonde pour mesurer le changement de profil de surface, ce qui convient à l'inspection du fil de molybdène grossier. Les appareils sans contact utilisent des lasers ou des systèmes optiques et conviennent à l'inspection des fils de molybdène ultrafins afin d'éviter d'endommager les sondes. L'équipement doit être équipé de capteurs de haute précision et de systèmes d'analyse de données pour générer des paramètres de rugosité de surface qui reflètent la finition du fil.

Pendant le fonctionnement, le fil de molybdène doit être nettoyé pour éliminer l'huile de la surface, et le test doit être effectué dans un environnement sans vibrations pour garantir la précision. Le système automatisé enregistre les données du profil et analyse la qualité de surface. Le défi technique consiste à tester la précision de positionnement des fils de molybdène ultra-fins, en optimisant la sensibilité de la sonde ou du système laser, et en assurant l'adaptabilité de l'appareil à différents diamètres de fils de molybdène.

8.4 Essai de taille et de tolérance des fils de molybdène

Les tests dimensionnels et de tolérance sont utilisés pour évaluer la cohérence du diamètre et la précision géométrique des fils de molybdène afin de s'assurer qu'ils répondent aux exigences de haute précision d'applications telles que l'électroérosion à fil, les sources lumineuses électriques et les revêtements sous vide. La méthode de détection doit avoir les caractéristiques d'une haute résolution, d'une réponse rapide et d'une non-destructivité, s'adapter à une variété de spécifications allant du fil de molybdène grossier au fil de molybdène ultra-fin, et répondre aux exigences strictes des normes nationales (telles que GB / T 4182-2003) et des normes internationales (telles que ASTM B387).

8.4.1 Pied à coulisse laser

L'étrier laser est utilisé pour détecter le diamètre et la circularité du fil de molybdène en ligne ou hors ligne, et est largement utilisé dans le contrôle qualité en temps réel des lignes de production de tréfilage. L'appareil balaie la surface du fil de molybdène en émettant un faisceau laser, analyse le signal lumineux réfléchi ou transmis et calcule le diamètre et la déviation géométrique du fil, ce qui convient aux environnements de production à grande vitesse. L'étrier laser présente l'avantage d'une mesure sans contact, ce qui évite d'endommager la surface du fil de molybdène, et est particulièrement adapté à la détection de fils de molybdène ultrafins. Sa haute résolution et sa capacité de réponse rapide permettent de capturer de petits changements dimensionnels en temps réel, garantissant que le fil répond aux besoins d'applications de précision telles que les tolérances

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

au micron dans l'électroérosion à fil.

Pendant le fonctionnement, l'étrier laser doit être utilisé dans un environnement sans vibrations pour éviter que les interférences externes n'affectent la précision de la mesure. L'appareil est équipé d'un système de balayage laser multi-axes, capable d'inspecter toute la circonférence du fil de molybdène et de générer un rapport dimensionnel détaillé. Le système d'étalonnage utilise des échantillons standard pour garantir des résultats de mesure fiables. Le défi technique consistait à améliorer la sensibilité du système d'inspection aux fils de molybdène ultra-fins, à optimiser la source laser et les algorithmes de traitement du signal, et à intégrer un système de surveillance en ligne pour un retour d'information en temps réel et un ajustement du processus.

8.4.2 Micromètres et micromesures

Les micromètres et les micromesures sont utilisés pour l'inspection hors ligne du diamètre et de la géométrie de surface des fils de molybdène, adaptés à la vérification de la qualité en laboratoire et à faible volume. Le micromètre mesure le diamètre du fil de molybdène au moyen d'une structure mécanique de précision et est équipé d'une sonde de haute précision pour détecter l'écart dimensionnel du fil de molybdène grossier et du fil de diamètre moyen, et convient à la pulvérisation ou au chauffage du fil de molybdène. La mesure microscopique combinée à un microscope optique ou à un système de microscope numérique agrandit la surface du fil de molybdène, mesure avec précision le diamètre et la circularité, convient à la détection de fils de molybdène ultrafins et répond aux exigences de haute précision de la microélectronique et des équipements médicaux.

Pendant le fonctionnement, le micromètre doit être étalonné régulièrement pour s'assurer que la sonde est plate et sans usure, et le fil de molybdène doit être doucement serré pour éviter toute déformation. Les mesures microscopiques nécessitent une surface propre du fil de molybdène, un nettoyage par ultrasons pour éliminer l'huile ou les particules et des tests à température constante pour éliminer les effets de la dilatation thermique. Le système de traitement des données enregistre les résultats de mesure et génère un rapport d'analyse des tolérances. Le défi technique consiste à s'assurer que la précision de mesure est adaptée aux fils de molybdène ultra-fins, en optimisant le grossissement du microscope et la conception de la sonde du micromètre, tout en réduisant les erreurs de fonctionnement pour améliorer la répétabilité.

8.5 Autres essais sur fil de molybdène

D'autres méthodes d'essai évaluent la résistance aux hautes températures, la résistance à la corrosion et les propriétés électriques du fil de molybdène, garantissant ainsi sa fiabilité dans les fours à haute température, les environnements chimiques et les composants électroniques. Ces méthodes combinent des tests en laboratoire et des simulations environnementales pour vérifier les performances du fil de molybdène dans des conditions extrêmes afin de répondre aux besoins d'applications haut de gamme telles que l'aérospatiale et le médical.

8.5.1 Essai de résistance aux hautes températures

Le test de performance à haute température évalue la stabilité, la résistance au fluage et la résistance à l'oxydation du fil de molybdène dans un environnement à haute température, et convient aux fours

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

à haute température et au fil de molybdène aérospatial. Le test simule l'environnement d'utilisation réel à travers un four à haute température et place le fil de molybdène dans une atmosphère à haute température (comme l'hydrogène ou le vide) pour observer sa déformation, la formation de la couche d'oxyde et les changements de propriétés mécaniques. L'équipement est équipé d'un système de contrôle de température de haute précision et d'un dispositif de conditionnement de l'atmosphère, qui peut simuler une variété de conditions de température élevée pour s'assurer que les résultats des tests reflètent les performances du fil de molybdène dans des applications réelles. Le test comprend également une expérience de cyclage thermique pour évaluer la résistance aux chocs thermiques du fil de molybdène sous des rampes de température rapides.

Pendant le fonctionnement, le test doit être effectué dans une atmosphère de haute pureté ou dans un environnement sous vide pour éviter l'oxydation des filaments de molybdène, et l'équipement doit être équipé d'un thermomètre infrarouge pour surveiller la température en temps réel. Le dispositif d'éprouvette garantit que le fil de molybdène est chauffé uniformément, et les changements de surface et de microstructure sont observés au microscope après le test. Le défi technique consistait à simuler des conditions de température extrêmement élevées tout en maintenant la précision des tests, à optimiser la distribution du champ thermique et le contrôle de l'atmosphère dans le four, et à équiper un système efficace de traitement des gaz d'échappement pour répondre aux exigences environnementales.

8.5.2 Essai de résistance à la corrosion

Les tests de résistance à la corrosion évaluent la stabilité du fil de molybdène dans des environnements chimiques tels que les acides, les alcalis ou les gaz halogènes et conviennent aux lampes halogènes, aux revêtements par pulvérisation et aux fils de molybdène pour les dispositifs médicaux. L'essai observe la corrosion de surface, la perte de masse et les changements de performance en immergeant le fil de molybdène dans un milieu corrosif tel qu'une solution saline ou un acide, ou en l'exposant à un gaz corrosif. L'équipement comprend une chambre de corrosion et un système de circulation de gaz capable de simuler un large éventail d'environnements chimiques, ainsi que des balances de haute précision et des microscopes pour analyser le degré de corrosion. L'essai combine également des méthodes électrochimiques pour mesurer le potentiel de corrosion et le courant du fil de molybdène afin d'évaluer son mécanisme de résistance à la corrosion.

En fonctionnement, la concentration du fluide et les conditions environnementales sont étroitement contrôlées pour garantir des résultats reproductibles. L'échantillon est nettoyé par ultrasons pour éliminer les impuretés de surface, et les produits de corrosion sont détectés par analyse spectroscopique après le test. Les déchets liquides et les gaz d'échappement doivent être neutralisés et filtrés pour répondre aux normes environnementales. Le défi technique consiste à simuler la diversité d'environnements chimiques complexes, en optimisant la conception des chambres et les formulations de milieux corrosifs, tout en augmentant l'efficacité des tests pour soutenir les inspections de lots.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

8.5.3 Essai de performance électrique

Le test de performance électrique évalue les caractéristiques de conductivité et de résistance du fil de molybdène et convient aux sources lumineuses électriques, aux composants électroniques et au fil de molybdène pour la coupe du fil. Le test mesure la résistivité et la résistance de contact du fil de molybdène au moyen d'une méthode à quatre sondes ou d'un testeur de résistance pour refléter son efficacité de conduction de courant. L'équipement est équipé d'une source de courant et d'un voltmètre de haute précision, qui peuvent détecter de petits changements de résistance, et convient au test de fils de molybdène ultra-fins. Le test comprend également une expérience de décharge à haute fréquence pour simuler les performances de l'arc dans la coupe de fil et évaluer la stabilité du fil de molybdène sous des courants à haute fréquence.

Pendant le fonctionnement, le test doit être effectué dans un environnement à température et humidité constantes pour éviter que les facteurs environnementaux n'affectent la mesure de la résistance. Le fil de molybdène doit être nettoyé pour éliminer la couche d'oxyde de la surface, et le dispositif de test doit s'assurer que le contact est stable et n'endommage pas le fil. Le système de traitement des données enregistre la courbe de résistance et analyse l'uniformité des propriétés électriques. Le défi technique consistait à augmenter la sensibilité du test aux fils de molybdène ultra-fins, en optimisant la conception du luminaire et le contrôle du courant, tout en veillant à ce que l'équipement puisse être adapté aux besoins d'inspection de différents diamètres de fil.

8.6 Méthode d'identification des déchets de fil de molybdène

La méthode d'identification des déchets de fil de molybdène est utilisée pour distinguer les déchets de fil de molybdène des fils neufs ou d'autres fils métalliques (tels que le fil de tungstène, le fil d'acier), favoriser le recyclage et la réutilisation, et réduire les déchets de ressources. Ces méthodes sont simples et efficaces, adaptées à la fois à la production et au recyclage, et combinent des propriétés physiques, chimiques et mécaniques.

8.6.1 Essai de brûlure

L'essai de combustion observe les caractéristiques de réaction des déchets de fil de molybdène en le chauffant et identifie son matériau. Le fil de molybdène ne fond pas facilement à haute température et de la poudre d'oxyde de molybdène jaune se forme à la surface, tandis que d'autres métaux (tels que le fil d'acier) peuvent fondre ou produire des oxydes de différentes couleurs. Le test utilise un petit four à combustion ou un chalumeau pour chauffer le fil de molybdène dans l'air et observer son changement de couleur et ses produits d'oxydation. L'équipement doit être équipé d'un dispositif de chauffage à haute température et d'un système de ventilation pour assurer un fonctionnement en toute sécurité.

Pendant le fonctionnement, le test est effectué dans une hotte pour éviter que la poudre d'oxyde ne se répande. L'échantillon est nettoyé pour éviter les impuretés, et la morphologie du produit d'oxydation est observée par microscopie après le test. Le défi technique consiste à distinguer rapidement le fil de molybdène d'autres métaux à point de fusion élevé (par exemple, le fil de tungstène) et à combiner d'autres méthodes d'essai pour améliorer la précision de l'identification.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

8.6.2 Essai magnétique

Les tests magnétiques utilisent les propriétés non magnétiques du fil de molybdène pour le distinguer des matériaux ferromagnétiques tels que le fil d'acier. Le test utilise un aimant puissant ou un détecteur magnétique pour observer si le fil de molybdène est magnétisé, si le fil de molybdène n'est pas attiré en raison de sa nature non magnétique et si le fil d'acier présente généralement un magnétisme important. L'équipement est simple et portable, adapté à la détection rapide sur site et est largement utilisé pour le tri des déchets.

Pendant le fonctionnement, le test doit s'assurer que la force de l'aimant est suffisante et que l'environnement de détection est exempt de fortes interférences de champ magnétique. La surface de l'échantillon doit être nettoyée pour éviter que l'accumulation n'affecte les résultats. Le défi technique consiste à distinguer le fil de molybdène d'autres métaux non magnétiques (par exemple, le fil de tungstène) et à combiner d'autres méthodes pour améliorer la fiabilité de l'identification.

8.6.3 Essai à l'acide nitrique concentré

Le test d'acide nitrique concentré identifie les déchets de filament de molybdène par réaction chimique et utilise la faible réactivité du filament de molybdène dans l'acide nitrique concentré. Le fil de molybdène réagit lentement dans l'acide nitrique concentré et la surface reste lisse, tandis que d'autres métaux, tels que le cuivre ou l'acier, peuvent se dissoudre rapidement ou produire une corrosion importante. Le test a immergé le filament de molybdène usagé dans une solution concentrée d'acide nitrique pour observer la vitesse de réaction et les changements de surface, et l'équipement comprend un récipient résistant aux acides et un système de ventilation pour assurer un fonctionnement sûr.

Pendant le fonctionnement, le test est effectué dans une hotte pour éviter les fuites de gaz acides. L'échantillon doit être nettoyé pour éliminer l'huile de la surface, et les traces de corrosion doivent être observées au microscope après le test. Les déchets liquides doivent être neutralisés et traités pour répondre aux exigences de la protection de l'environnement. Le défi technique consiste à contrôler la concentration d'acide nitrique et le temps de réaction, et les conditions d'essai doivent être optimisées pour distinguer le fil de molybdène des autres métaux résistants à la corrosion.

8.6.4 Contrôles du poids et de l'élasticité

Le contrôle du poids et de l'élasticité est identifié en mesurant la densité et les propriétés mécaniques de la ferraille de fil de molybdène. Le fil de molybdène a une densité et une élasticité élevées, ce qui est différent d'autres métaux tels que l'aluminium ou l'acier. Le test utilise une balance de précision pour mesurer le poids du fil de molybdène, combiné à la longueur pour calculer la densité. Le contrôle de l'élasticité teste la flexibilité et la résilience du fil de molybdène par pliage manuel ou avec un dispositif spécial, et le fil de molybdène présente généralement une ténacité et une récupération élastique élevées.

En fonctionnement, des balances de haute précision sont utilisées pour assurer des mesures de poids précises. Le test d'élasticité doit être effectué en douceur pour éviter que le fil de molybdène ne se brise, ce qui convient à l'identification du fil de molybdène grossier. Le défi technique consiste à

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

distinguer rapidement le fil de molybdène des autres métaux à haute densité, en combinaison avec des tests de combustion ou chimiques pour améliorer la précision, tout en optimisant le processus de test pour soutenir l'identification des lots.



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène noir

Chapitre 9 Marché et tendance de développement du fil de molybdène

En tant que matériau haute performance, le fil de molybdène a un large éventail d'applications dans les domaines de la coupe de fil, de la source de lumière électrique, de l'aérospatiale, des nouvelles énergies et du médical, et son développement du marché est affecté par le progrès technologique industriel mondial, la distribution des ressources et la demande en aval. Le marché mondial du fil de molybdène a maintenu une croissance régulière et la région Asie-Pacifique, en particulier la Chine, occupe une position dominante en raison de ses avantages en matière de ressources et de ses capacités de fabrication. Le marché intérieur est très concurrentiel, les grandes entreprises consolidant leur position sur le marché grâce à l'innovation technologique et à la production à grande échelle, tandis que les petites et moyennes entreprises se concentrent sur les segments de marché. À l'avenir, l'industrie du fil de molybdène se développera dans le sens de la haute performance, de l'intelligence et de la durabilité, et l'application de nouveaux matériaux, de nouveaux processus et de nouvelles énergies, la 5G et les domaines médicaux élargiront encore l'espace de marché. Ce qui suit est une analyse approfondie de la situation actuelle du marché mondial et national du fil de molybdène, ainsi que des progrès technologiques et des perspectives d'application.

9.1 Vue d'ensemble du marché mondial du fil de molybdène

Le marché mondial du fil de molybdène est stimulé par une combinaison de distribution de ressources, de capacité de production et de demande d'applications en aval. Les propriétés uniques du fil de molybdène dans l'usinage de précision, les appareils électroniques et les environnements à haute température en font un matériau irremplaçable, et la demande du marché est étroitement liée

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

à la mise à niveau de la technologie industrielle. Le développement du marché est confronté à des défis tels que la fluctuation des prix des matières premières, la concurrence des matériaux alternatifs et les exigences en matière de protection de l'environnement, et il est nécessaire d'assurer la qualité des produits et la compétitivité du marché grâce à une technologie d'essai efficace et à l'optimisation des processus.

9.1.1 Principaux pays producteurs

La Chine, les États-Unis, le Chili, le Pérou et le Canada sont les principaux producteurs de fil de molybdène dans le monde, chacun d'entre eux occupant une position importante sur le marché en raison de ses avantages en matière de ressources et de sa technologie de fabrication. La Chine possède les plus grandes réserves de minerai de molybdène au monde, concentrées à Luanchuan, Henan, Jinduicheng, Shaanxi et ailleurs, formant une chaîne industrielle complète allant de l'extraction du molybdène au traitement du fil de molybdène. Grâce à une production à grande échelle et à une technologie de tréfilage avancée, les entreprises nationales fournissent du fil de molybdène pour la coupe de fil, une source de lumière électrique et un four à haute température, et les produits sont exportés vers l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Asie du Sud-Est. Les États-Unis se concentrent sur les fils de molybdène à haute valeur ajoutée, tels que les fils de molybdène ultra-fins pour l'aérospatiale et la médecine, en s'appuyant sur des équipements de production de haute précision et des technologies de test rigoureuses (telles que la mesure du diamètre laser, ICP-MS) pour répondre à la demande du marché haut de gamme. Le Chili et le Pérou utilisent les ressources minérales associées au cuivre-molybdène pour produire du concentré de molybdène et le transformer en fil de molybdène destiné à l'exportation vers les marchés mondiaux, en particulier en Amérique du Sud et en Europe. Le Canada fournit des fils de molybdène de haute pureté grâce à une technologie d'enrichissement et de métallurgie à haut rendement, desservant principalement le marché nord-américain.

La Chine se concentre sur le contrôle des coûts et l'échelle de production, les États-Unis et le Canada mettent l'accent sur la haute performance et l'usinage de précision, et le Chili et le Pérou se concentrent sur l'approvisionnement en matières premières. Au cours de la production, des méthodes d'essai (par exemple, des tests par courants de Foucault, l'analyse de la composition chimique) garantissent que le fil de molybdène répond aux normes internationales (par exemple, ASTM B387). Le défi technique consiste à concilier l'exploitation des ressources et les exigences environnementales, à optimiser les processus d'enrichissement et de fusion, et à améliorer la qualité des produits grâce à des tests de haute précision. Par exemple, les entreprises chinoises ont considérablement amélioré la cohérence dimensionnelle et la finition de surface du fil de molybdène en automatisant le tréfilage et les systèmes de surveillance en ligne.

9.1.2 L'offre et la demande du marché

La demande du marché pour le fil de molybdène provient principalement de la découpe de fil, des sources de lumière électrique, de l'aérospatiale et des nouvelles industries de l'énergie. Dans le domaine de la découpe de fil, il existe une forte demande de fil de molybdène à haute résistance et de diamètre fin, en particulier dans les moules automobiles, les pièces aérospatiales et l'usinage de précision, le fil de molybdène doit avoir une résistance à la traction et une résistance à l'usure élevées,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et les performances sont assurées par des essais de traction et des essais de rugosité de surface. L'industrie des sources lumineuses électriques s'appuie sur la stabilité à haute température et la conductivité des fils de molybdène, qui sont utilisés dans les lampes halogènes, les filaments LED et les fils de tubes à rayons X, et doivent être testés pour leurs propriétés électriques afin de vérifier leurs caractéristiques de faible résistance. L'industrie aéronautique nécessite un fil de molybdène doté d'une excellente résistance au fluage et à la corrosion, et est utilisée dans les tuyères de moteur et les supports à haute température, où des tests de performance à haute température et une observation microscopique sont nécessaires pour garantir la fiabilité. L'industrie des nouvelles énergies, telles que les cellules solaires à couche mince et les équipements éoliens, impose des exigences plus élevées en matière de conductivité et de résistance à la corrosion des fils de molybdène, et vérifie la stabilité du matériau par titrage chimique et tests de corrosion.

Du côté de l'offre, la production mondiale de fil de molybdène est affectée par l'efficacité de l'extraction du molybdène et les fluctuations de prix. Les fabricants stabilisent l'approvisionnement en matières premières en optimisant la chaîne d'approvisionnement et en intégrant les ressources. Par exemple, les entreprises chinoises utilisent les ressources nationales de minerai de molybdène pour garantir la qualité de la poudre de molybdène grâce à des équipements de traitement des minéraux à haut rendement (tels que des machines de flottation) et à la technologie de métallurgie des poudres. Les défis techniques comprennent la gestion des fluctuations des prix des matières premières et l'amélioration de l'efficacité de la production, ainsi que la réduction des coûts grâce à des technologies de fabrication intelligente et de traçabilité de la qualité telles que les systèmes de surveillance en ligne, comme décrit au chapitre 8. Le marché est également confronté à la concurrence de matériaux alternatifs tels que les filaments de tungstène et les nanotubes de carbone, qui nécessitent des technologies d'innovation et de détection (telles que l'analyse spectroscopique) pour améliorer les avantages de performance des fils de molybdène.

9.2 Marché intérieur du fil de molybdène

La Chine est le plus grand producteur et consommateur mondial de fil de molybdène, s'appuyant sur d'abondantes ressources en molybdène et un système de fabrication parfait pour répondre aux besoins des marchés nationaux et étrangers. Le marché est très concurrentiel, les grandes entreprises dominant grâce à l'innovation technologique et aux avantages de la marque, et les petites et moyennes entreprises grâce à des produits personnalisés et à la concurrence du marché régional.

9.2.1 Principaux fabricants (par exemple CTIA GROUP LTD)

CTIA GROUP LTD est une filiale en propriété exclusive de Chinatungsten Online avec un statut juridique indépendant. Elle s'engage à promouvoir la conception et la fabrication intelligentes, intégrées et flexibles de matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel. L'entreprise possède une chaîne industrielle complète, allant du raffinage du concentré de molybdène au traitement du fil de molybdène de haute pureté. Son équipement de production comprend des machines de tréfilage multi-matrices avancées et des fours de recuit automatisés, tandis que ses technologies d'inspection couvrent les jauges de diamètre laser et les appareils de recherche de défauts à courants de Foucault. Les produits sont largement utilisés dans la découpe de fils, les sources lumineuses électriques et les fours à haute température, répondant à des exigences

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de haute précision et de performance à haute température.

9.2.2 Part de marché et paysage concurrentiel

Le marché national du fil de molybdène présente un modèle de forte concentration et de concurrence régionale. Les moteurs de la concurrence comprennent l'innovation technologique, la précision des inspections et l'efficacité de la production. Les grandes entreprises améliorent l'efficacité de la production et la qualité de leurs produits en intégrant les chaînes d'approvisionnement et en introduisant des technologies de fabrication intelligentes, telles que les lignes de tréfilage automatisées. Les petites et moyennes entreprises (PME) sont confrontées aux mises à jour technologiques et aux pressions sur les coûts, et doivent améliorer leur compétitivité grâce à des partenariats avec de grandes entreprises ou à l'introduction de technologies. Le marché est également stimulé par la demande d'exportation, le fil de molybdène chinois étant exporté vers l'Asie du Sud-Est et l'Europe, où il doit répondre aux normes internationales (par exemple, ASTM B387). Le défi technique consiste à trouver un équilibre entre haute performance et faible coût, et à faire face à la concurrence nationale et internationale grâce à des tests efficaces et à l'optimisation des processus.

9.3 Tendances au développement du fil de molybdène

Le développement futur du fil de molybdène est stimulé par de nouveaux matériaux, de nouveaux processus, une fabrication intelligente et des domaines d'application émergents. Les progrès de la technologie d'inspection (tels que la détection des défauts par courants de Foucault et la mesure de la trajectoire laser comme décrit au chapitre 8) soutiennent l'amélioration de la qualité des produits et le développement de nouveaux produits, et la tendance du marché évolue vers la haute performance, la fabrication écologique et l'intelligence.

9.3.1 Développement de nouveaux matériaux et procédés

Le développement de nouveaux matériaux et procédés vise à améliorer les propriétés mécaniques, la conductivité et l'adaptabilité environnementale du fil de molybdène. La technologie de dopage améliore considérablement la résistance au fluage à haute température et la ductilité du fil de molybdène en ajoutant des éléments de terres rares (tels que le lanthane et le cérium) ou des éléments métalliques (tels que le rhénium). Par exemple, le fil de molybdène et de lanthane peut résister à des cycles thermiques plus longs dans des fours à haute température, ce qui prolonge sa durée de vie. Le nouveau processus d'étirage utilise des moules de haute précision et des lubrifiants respectueux de l'environnement pour produire des fils de molybdène plus fins et plus uniformes qui répondent aux exigences au niveau du micron des dispositifs 5G et de la microélectronique. Les technologies de traitement de surface, telles que le revêtement en siliciure de molybdène et le revêtement en zircone, améliorent la résistance à l'oxydation et à la corrosion du fil de molybdène, adapté aux lampes aérospatiales et halogènes.

La technologie de détection est essentielle au développement. Par exemple, l'observation microscopique est utilisée pour analyser l'uniformité de la distribution des éléments dopés, et le titrage chimique vérifie la stabilité de la composition du revêtement. Le défi technique consiste à trouver un équilibre entre les gains de performance et les coûts de production, à réduire la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

consommation d'énergie grâce à des essais efficaces (par exemple, les essais de rugosité de surface) et à des équipements automatisés, tout en veillant à ce que les nouveaux matériaux soient conformes aux normes internationales (par exemple, ISO 24361).

9.3.2 Fabrication intelligente et technologie de traçabilité de la qualité

La fabrication intelligente améliore l'efficacité et la cohérence de la production de fils de molybdène grâce à l'automatisation, à l'Internet des objets et aux technologies de big data. La ligne de production automatique de tréfilage intègre des servomoteurs, des capteurs et des systèmes de contrôle PLC pour ajuster dynamiquement la vitesse et la tension de tréfilage afin de réduire la rupture du fil et le taux de défauts. Le système de traçabilité de la qualité utilise la technologie de la blockchain et des codes-barres pour enregistrer la composition chimique, les paramètres de traitement et les résultats des tests du fil de molybdène, des matières premières aux produits finis, garantissant ainsi que les produits sont conformes aux normes GB/T 4182 et ASTM B387.

La fabrication intelligente prend également en charge le retour d'information sur la qualité en temps réel, la détection des défauts par courants de Foucault et les données de test de performance électrique directement transmises au centre de contrôle afin d'optimiser les paramètres du processus. Parmi les exemples, citons la ligne de production intelligente de Luoyang Dingding, qui a réduit le taux de rebut de 10 % grâce à un système de surveillance en ligne. Les défis techniques sont l'intégration des systèmes et la sécurité des données, nécessitant le développement de plateformes logicielles et de mesures de protection des réseaux hautement fiables, ainsi que la formation de techniciens pour s'adapter aux appareils intelligents.

9.3.3 Mise au point de nouveaux fils en alliage de molybdène

Le nouveau fil en alliage de molybdène améliore les performances grâce à la technologie de dopage pour répondre aux besoins des applications haut de gamme. Le fil d'alliage de molybdène et de lanthane convient aux composants de support du four de croissance de silicium monocristallin en ajoutant de l'oxyde de lanthane pour améliorer la résistance au fluage et la ténacité à haute température, et peut résister au choc thermique de l'élévation et de la descente rapides de la température. Le fil en alliage molybdène-rhénium répond aux besoins des antennes de station de base 5G et des électrodes implantables médicales en ajoutant des éléments de rhénium pour améliorer la conductivité électrique et la résistance à la corrosion. Des techniques d'essai (par exemple, ICP-MS, essai de dureté) sont développées pour vérifier la composition de l'alliage et les propriétés mécaniques afin d'assurer des performances stables.

9.3.4 Développement de matériaux dégradables ou alternatifs

Il est difficile d'obtenir des propriétés dégradables en tant que matériau métallique, mais la durabilité peut être atteinte grâce au recyclage des déchets de fil de molybdène et au développement de matériaux alternatifs. La technologie de recyclage des déchets de fil de molybdène utilise la dissolution chimique et la purification par électrolyse pour convertir les déchets de fil en poudre de molybdène de haute pureté pour la reproduction. Les matériaux alternatifs tels que les filaments de tungstène, les nanotubes de carbone et les fils de graphène sont compétitifs dans certaines applications. Par exemple, le filament de tungstène remplace progressivement le filament de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

molybdène dans les filaments à haute température en raison de son point de fusion plus élevé, mais le coût est plus élevé ; Les nanotubes de carbone ont un potentiel dans le domaine de la microélectronique en raison de leur légèreté et de leur conductivité élevée, mais la technologie de production n'est pas encore mature.

9.3.5 Nouvelles perspectives d'application du fil de molybdène dans les nouvelles énergies, la 5G et la médecine

L'application du fil de molybdène dans les domaines des nouvelles énergies, de la 5G et du médical a de larges perspectives, stimulées par les progrès technologiques et la demande du marché. Dans le domaine des nouvelles énergies, le fil de molybdène est utilisé dans la couche conductrice des cellules solaires à couche mince, ce qui améliore l'efficacité de la cellule avec une conductivité élevée et une résistance à la corrosion. Par exemple, une entreprise d'énergie solaire utilise du fil de molybdène comme électrode arrière d'une batterie CIGS (sélénure de cuivre, d'indium et de gallium) et vérifie sa stabilité à long terme par des tests de résistance à la corrosion. Les équipements éoliens utilisent du fil de molybdène pour fabriquer des connecteurs résistants à l'usure, qui doivent passer des tests de dureté et des tests de traction pour garantir les propriétés mécaniques. Le domaine 5G s'appuie sur le diamètre ultra-fin et les caractéristiques de faible résistance du fil de molybdène, qui est appliqué aux composants RF des antennes des stations de base. Dans le domaine médical, le fil de molybdène est utilisé pour fabriquer des fils-guides chirurgicaux mini-invasifs et des électrodes implantables, qui doivent être sécurisés par une observation microscopique et des tests de biocompatibilité.

À l'avenir, le fil de molybdène se développera dans le sens d'un diamètre plus fin et de performances plus élevées pour répondre aux besoins de miniaturisation et de haute fiabilité. Par exemple, le fil de molybdène ultra-fin peut être utilisé dans la fabrication d'antennes pour les appareils 6G, dont la taille et la conductivité doivent être vérifiées par mesure du diamètre du laser et test de performance électrique. Le défi technique consiste à développer un fil de molybdène pour des environnements extrêmes, en combinant des technologies d'inspection avancées (par exemple, les tests par courants de Foucault, les tests à haute température) et l'innovation des matériaux, tout en optimisant les coûts de production pour prendre en charge les applications à grande échelle.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène noir

Chapitre 10 : Fil de molybdène : Environnement et sécurité

La production de fil de molybdène implique des processus complexes d'enrichissement, de métallurgie, de tréfilage et de traitement de surface, qui mettent en avant des exigences strictes en matière de gestion de l'environnement et de la sécurité. Les gaz d'échappement, les eaux usées et les déchets solides du processus de production doivent être correctement éliminés pour se conformer aux réglementations environnementales, et les opérateurs doivent suivre des pratiques de sécurité chimique et à haute température pour réduire les risques. Le recyclage et la réutilisation des déchets de fil de molybdène réduisent le gaspillage de ressources et favorisent le développement durable grâce à des processus efficaces. La gestion de l'environnement et de la sécurité n'est pas seulement une question de conformité, mais a également un impact direct sur la productivité et la compétitivité des entreprises sur le marché. Ce qui suit est une analyse approfondie de l'impact environnemental, des spécifications de sécurité et du processus de recyclage de la production de fil de molybdène, ainsi que du processus de mise en œuvre et des défis à l'aide d'une description textuelle détaillée.

10.1 Impact environnemental de la production de fil de molybdène

La production de fil de molybdène implique plusieurs étapes, de l'extraction du molybdène au traitement des produits finis, ce qui peut générer des gaz d'échappement, des eaux usées et des déchets solides, ce qui a des impacts environnementaux potentiels. Une technologie efficace de traitement des déchets et des mesures strictes de protection de l'environnement garantissent que le processus de production est conforme aux normes nationales et internationales de protection de l'environnement (telles que GB/T 17196, ISO 14001), réduit les dommages causés à l'écosystème et améliore en même temps l'image de responsabilité sociale de l'entreprise.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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
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

10.1.1 Traitement des gaz résiduels et des eaux usées

Les gaz résiduels dans la production de fil de molybdène proviennent principalement du processus de grillage de la molybdénite et de réduction de l'hydrogène, tandis que les eaux usées proviennent des processus d'enrichissement, de lavage alcalin et de traitement de surface. Le torréfacteur produit des gaz résiduels contenant du soufre lors de la conversion de la molybdénite en oxyde de molybdène, qui doit être capturé par un dispositif de désulfuration et converti en acide sulfurique ou en sous-produits de gypse pour être utilisé dans les industries des matériaux de construction ou des industries chimiques.

Les eaux usées proviennent principalement des cellules de flottation et des équipements de lavage caustique, et contiennent des ions de métaux lourds (par exemple, le molybdène, le cuivre) et des réactifs chimiques (par exemple, l'hydroxyde de sodium). Le processus de traitement comprend la neutralisation, la précipitation et la filtration, à l'aide de flocculants pour précipiter les ions de métaux lourds en composés solides, qui sont ensuite séparés par un filtre-pressé.

10.1.2 Gestion des déchets solides

Les déchets solides comprennent les résidus d'enrichissement, les résidus de frittage et les déchets issus du processus de tréfilage. Les résidus sont principalement composés de silice et de molybdénite à faible teneur, et les ressources résiduelles en molybdène doivent être récupérées par des techniques de gestion des stocks et de reséparation. Le résidu de frittage contient de l'oxyde de molybdène et des impuretés, qui doivent être purifiés chimiquement en poudre de molybdène réutilisable et testés pour leur composition en combinaison avec la méthode de titrage chimique du chapitre 8. Les déchets de tréfilage comprennent les fils cassés et les fils non conformes, qui sont triés et fondus pour être recyclés. La gestion des déchets solides nécessite des installations de stockage dédiées pour éviter la propagation de la poussière et les fuites d'eau de pluie.

10.2 Spécifications de sécurité pour la production de fil de molybdène

La production de fil de molybdène implique un fonctionnement à haute température et l'utilisation de produits chimiques, ce qui comporte un risque de brûlures, d'empoisonnement et d'accidents d'équipement, et nécessite des pratiques de sécurité strictes pour protéger les opérateurs et les équipements. La gestion de la sécurité combine des normes nationales (par exemple, GB/T 27948) et des normes internationales (par exemple, OSHA) pour réduire les risques grâce à l'entretien de l'équipement, à la formation du personnel et aux mesures d'urgence.

10.2.1 Sécurité du fonctionnement à haute température

Les opérations à haute température impliquent principalement des torréfacteurs, des fours de frittage et des fours de recuit, qui nécessitent la sécurité des équipements et la protection du personnel. Les fours de grillage et de frittage fonctionnent dans des environnements à haute température, et le corps du four doit être fait de matériaux réfractaires et de systèmes de refroidissement pour éviter d'endommager l'équipement causé par la surchauffe. Le four de recuit est protégé par de l'hydrogène ou un gaz inerte et est équipé d'un détecteur de fuite de gaz et d'une vanne d'arrêt automatique pour garantir l'arrêt rapide de l'alimentation en gaz en cas de fuite. Les opérateurs doivent porter des vêtements de protection contre les températures élevées et des gants isolants thermiques, et recevoir

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

une formation professionnelle pour maîtriser le fonctionnement de l'équipement et la manipulation d'urgence.

Les codes de sécurité exigent des inspections régulières de l'étanchéité du four et des éléments chauffants afin d'éviter les fuites de gaz chauds. Le plan d'urgence comprend des exercices de prévention des incendies et d'évacuation, équipés d'extincteurs et de systèmes de désenfumage. Le défi technique consistait à trouver un équilibre entre efficacité et sécurité dans les opérations à haute température, en optimisant la distribution du champ thermique et le système de circulation des gaz dans le four, tout en réduisant les interventions manuelles grâce à un contrôle automatisé.

10.2.2 Utilisation sûre des produits chimiques

L'utilisation de produits chimiques implique des agents de flottation dans l'enrichissement, de l'hydroxyde de sodium dans les lavages caustiques et des électrolytes acides dans les traitements de surface, qui présentent un risque de corrosion et d'empoisonnement. Les agents de flottation (par exemple, le xanthate) doivent être stockés dans un récipient hermétique et dosés avec précision par un système de dosage automatique pour réduire la volatilisation et les fuites. L'équipement de lavage alcalin utilise une solution d'hydroxyde de sodium et doit être équipé de tuyaux résistants à la corrosion et de réservoirs de collecte des déchets liquides pour éviter que la solution ne déborde.

Les réglementations de sécurité exigent que les opérateurs portent des combinaisons de protection chimique, des lunettes de protection et des respirateurs, et qu'ils soient formés à la sécurité chimique. Des panneaux d'avertissement et des dispositifs de rinçage d'urgence doivent être installés dans la zone d'entreposage des produits chimiques pour éviter tout contact accidentel. Les déchets liquides doivent être neutralisés et précipités, et la composition des déchets liquides est testée conjointement avec la méthode de titrage chimique du chapitre 8 pour s'assurer que les normes de décharge sont respectées. Le défi technique est d'améliorer la sécurité de l'utilisation des produits chimiques, d'optimiser l'étanchéité des équipements et l'efficacité du traitement des gaz d'échappement et des liquides, tout en réduisant les contacts manuels grâce à des systèmes automatisés.

10.3 Recyclage et réutilisation des déchets de fil de molybdène

Le recyclage et la réutilisation des déchets de fil de molybdène réduisent les déchets de ressources grâce à des processus efficaces et favorisent une économie circulaire. Le processus de recyclage doit être combiné avec les méthodes d'identification du chapitre 8 (telles que l'essai de combustion, l'essai d'acide nitrique concentré) pour garantir la qualité des déchets, et en même temps adopter des technologies de protection de l'environnement pour réduire la pollution secondaire et répondre aux exigences du développement durable.

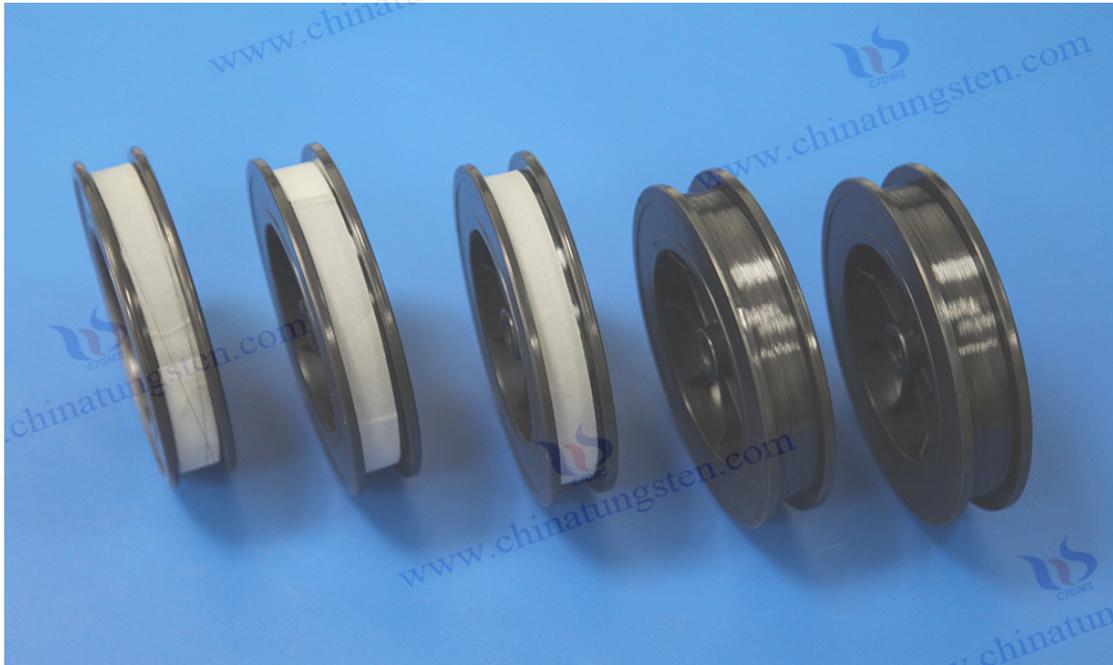
10.3.1 Processus de recyclage

Le processus de recyclage des déchets de fil de molybdène comprend la collecte, le tri, la purification et le retraitement, et convient à la coupe de fil, à la source de lumière électrique et aux déchets de fil de four à haute température. Au cours de l'étape de collecte, les déchets de fil de molybdène sont séparés des autres déchets métalliques (tels que le fil d'acier et le fil de tungstène) par un dispositif de tri, et le fil de molybdène non magnétique est distingué par l'essai magnétique

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

du chapitre 8, les caractéristiques d'oxydation sont vérifiées par l'essai de combustion et la résistance à la corrosion est confirmée par l'essai d'acide nitrique concentré. Les déchets de fil de molybdène triés sont nettoyés par ultrasons pour éliminer la couche d'huile et d'oxyde de surface afin d'assurer l'efficacité de la purification. Au cours de l'étape de purification, les déchets de fil de molybdène sont dissous dans une solution de molybdate par dissolution chimique ou par électrolyse, puis convertis en poudre de molybdène de haute pureté par électrolyse ou réduction.

Dans l'étape de retraitement, la poudre de molybdène est pressée en une ébauche par un processus de métallurgie des poudres, puis un nouveau fil de molybdène est fabriqué par tréfilage et recuit. Des techniques de détection (p. ex., ICP-MS, observation microscopique) sont utilisées pour vérifier la composition chimique et la microstructure de la poudre de molybdène récupérée afin de s'assurer qu'elle répond à la norme GB/T 3462. L'équipement de recyclage doit être équipé de systèmes de filtration et de traitement des déchets liquides à haute efficacité pour éviter la pollution secondaire. Le défi technique consiste à améliorer l'efficacité du recyclage et la qualité des produits, à optimiser les paramètres d'électrolyse et les processus d'essai, et à développer des équipements de recyclage automatisés pour soutenir la production à grande échelle.



CTIA GROUP LTD Fil de molybdène noir

1

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Appendice

A. Glossaire

Fil de molybdène : Un matériau de fil fin fabriqué à partir de molybdène ou d'alliages de molybdène.

Fil de molybdène pur : Fil de molybdène fabriqué à partir de molybdène de haute pureté, généralement d'une pureté de $\geq 99,95\%$.

Fil de lanthane et de molybdène : Fil de molybdène dopé au lanthane de terres rares, caractérisé par une température de recristallisation élevée.

Fil d'yttrium et de molybdène : Fil de molybdène dopé à l'yttrium, connu pour son excellente résistance à la traction et sa ténacité.

Fil d'alliage de molybdène Si-Al-K : Fil d'alliage de molybdène contenant du silicium, de l'aluminium, du potassium, etc., principalement utilisé dans l'industrie de l'éclairage.

Fil de molybdène-rhénium : Un fil d'alliage de molybdène et de rhénium, utilisé dans des environnements à haute température et corrosifs.

Fil de molybdène noir : Fil de molybdène qui n'a pas subi de nettoyage alcalin, avec une surface gris foncé.

Fil de molybdène blanc : Fil de molybdène qui a été nettoyé alcalinement, présentant une surface blanc argenté.

Découpe au fil : Technique d'usinage qui utilise du fil de molybdène comme fil d'électrode pour la découpe du métal par usinage par électroérosion (EDM).

Pulvérisation thermique : Un processus dans lequel un fil de molybdène fondu est pulvérisé sur la surface d'un substrat pour améliorer la résistance à l'usure.

Métallurgie des poudres : Un processus qui produit des billettes de molybdène en compactant et en frittant de la poudre de molybdène.

Tréfilage : Une méthode de traitement dans laquelle les billettes de molybdène sont étirées en fil fin.

Recuit : Procédé de traitement thermique impliquant le chauffage et le refroidissement pour améliorer les propriétés mécaniques du fil de molybdène.

Essais par courants de Foucault : Une méthode d'essai non destructive utilisée pour détecter les défauts de surface sur les fils de molybdène.

Résistance à la traction : Le fil de molybdène à contrainte maximale peut résister tout en étant étiré.

Température de recristallisation : La température à laquelle la structure cristalline du fil de molybdène est restaurée lors d'une exposition à haute température.

Conductivité électrique : La capacité du fil de molybdène à conduire le courant électrique.

Conductivité thermique : La capacité du fil de molybdène à conduire la chaleur.

Résistance à la corrosion : La stabilité du fil de molybdène dans les environnements corrosifs.

Stabilité à haute température : La capacité du fil de molybdène à maintenir les performances dans des conditions de température élevée.

A. Références

[1] Chinatungsten Online, production et application de fil de molybdène, www.chinatungsten.com

[2] Compte officiel WeChat en ligne Chinatungstène, progrès techniques et tendances du marché du

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

fil de molybdène, 2024

[3] Association chinoise de l'industrie du tungstène (CTIA), Normes industrielles et rapport technique sur le fil de molybdène, www.ctia.com.cn

[4] Journal of Materials Science, Fils d'alliage de molybdène : propriétés et applications, 2022

[5] Science et génie des matériaux : A, Avancées dans les alliages molybdène-rhénium, 2021

[6] International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Fil de molybdène ultra-fin pour la microélectronique, 2020

[7] Administration de normalisation de la Chine, GB/T 4182-2003 Fil de molybdène

[8] Administration de normalisation de la Chine, GB/T 3462-2007 Tiges et dalles de molybdène

[9] ASTM International, ASTM B387 Standard Specification for Molybdenum and Molybdenum Alloy Bar, Rod, and Wire, 2023

[10] Organisation internationale de normalisation, ISO 24361 Molybdène et alliages de molybdène, 2020

[11] Comité technique national de normalisation des métaux non ferreux (TC243), YS/T 369 Méthodes d'analyse chimique du fil de molybdène