

Qu'est-ce qu'une feuille 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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

PRÉSENTATION DU GROUPE CTIA

CTIA GROUP LTD, filiale à 100 % dotée d'une personnalité juridique indépendante et créée 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. Fondée en 1997 avec www.chinatungsten.com comme point de départ – le premier site web chinois de produits en tungstène de premier plan – CHINATUNGSTEN ONLINE est une entreprise pionnière du e-commerce en Chine, spécialisée dans les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares. Fort de 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 de sa société mère, de ses services de qualité supérieure et de sa réputation commerciale mondiale, devenant ainsi un fournisseur de solutions d'application complètes dans les domaines des produits chimiques à base de tungstène, des métaux tungstène, des carbures cémentés, des alliages haute densité, du molybdène et de ses alliages.

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, alimentant près de 100 000 abonnés et fournissant quotidiennement des informations gratuites à des centaines de milliers de professionnels du secteur dans le monde entier. Avec des milliards de visites cumulées sur son site web et son compte officiel, CHINATUNGSTEN ONLINE est devenu une plateforme d'information mondiale reconnue et faisant autorité pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares, fournissant 24 h/24 et 7 j/7 des informations multilingues, des informations sur les performances des produits, les prix et les tendances du marché.

S'appuyant sur la technologie et l'expérience de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP s'attache à répondre aux besoins personnalisés de ses clients. Grâce à l'IA, CTIA GROUP conçoit et fabrique en collaboration avec ses clients des produits en tungstène et en molybdène présentant des compositions chimiques et des propriétés physiques spécifiques (telles que la granulométrie, la densité, la dureté, la résistance, les dimensions et les tolérances). L'entreprise propose des services intégrés complets, allant de l'ouverture du moule à la production d'essai, en passant par la finition, l'emballage et 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, posant ainsi les bases d'une fabrication personnalisée, flexible et intelligente. Fort de ce socle, CTIA GROUP approfondit la fabrication intelligente et l'innovation intégrée des matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel.

Forts de plus de 30 ans d'expérience dans le secteur, le Dr Hanns et son équipe de CTIA GROUP ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix et de tendances du marché du tungstène, du molybdène et des terres rares, qu'ils partagent librement avec l'industrie du tungstène. Fort de 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 haute densité, le Dr Han est un expert reconnu des produits en tungstène et en molybdène, tant au niveau national qu'international. Fidèle à sa volonté de fournir des informations professionnelles et de qualité à l'industrie, l'équipe de CTIA GROUP rédige régulièrement des articles de recherche technique, des articles et des rapports sectoriels basés sur les pratiques de production et les besoins des clients, ce qui lui vaut une large reconnaissance au sein du secteur. Ces réalisations apportent un soutien solide à l'innovation technologique, à la promotion des produits et aux échanges industriels de CTIA GROUP, le propulsant pour devenir un leader mondial dans la fabrication de produits en tungstène et en molybdène et dans les services d'information.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Contenu

Chapitre 1 Vue d'ensemble des feuilles de molybdène

- 1.1 Définition de la feuille de molybdène
- 1.2 Spécifications des feuilles de molybdène
- 1.3 Caractéristiques des feuilles de molybdène
 - 1.3.1 Caractéristiques d'aspect des feuilles de molybdène
 - 1.3.1.1 Apparence et cause de la feuille de molybdène brun-noir
 - 1.3.1.2 Lustre gris argenté et principe de traitement des feuilles de molybdène après lavage alcalin
 - 1.3.1.3 Planéité de la feuille de molybdène

Chapitre 2 Performances des feuilles de molybdène

- 2.1 Propriétés physiques des feuilles de molybdène
 - 2.1.1 Masse volumique des feuilles de molybdène
 - 2.1.2 Point de fusion de la feuille de molybdène
 - 2.1.3 Point d'ébullition de la feuille de molybdène
 - 2.1.4 Conductivité des feuilles de molybdène
 - 2.1.5 Conductivité thermique des feuilles de molybdène
 - 2.1.6 Coefficient de dilatation thermique d'une feuille de molybdène
- 2.2 Propriétés mécaniques des feuilles de molybdène
 - 2.2.1 Haute résistance de la feuille de molybdène
 - 2.2.2 Ductilité des feuilles de molybdène
 - 2.2.3 Résistance au fluage des feuilles de molybdène à haute température
 - 2.2.4 Dureté des feuilles de molybdène
 - 2.2.5 Ténacité des feuilles de molybdène
 - 2.2.6 Résistance à la fatigue des feuilles de molybdène
- 2.3 Propriétés chimiques des feuilles de molybdène
 - 2.3.1 Résistance à la corrosion des feuilles de molybdène
 - 2.3.2 Résistance à l'oxydation des feuilles de molybdène
- 2.4 CTIA GROUP LTD Feuille de molybdène Fiche signalétique

Chapitre 3 Classification des feuilles de molybdène

- 3.1 Classification des feuilles de molybdène par pureté
 - 3.1.1 Feuilles de molybdène de haute pureté (\geq pureté de 99,95 %)
 - 3.1.2 Feuilles de molybdène de pureté ordinaire (pureté de 99 % à 99,9 %)
- 3.2 Classification des feuilles de molybdène selon le procédé de fabrication
 - 3.2.1 Feuilles de molybdène fabriquées par métallurgie des poudres
 - 3.2.2 Feuilles de molybdène laminées à chaud fabriquées par laminage
 - 3.2.3 Feuilles de molybdène laminées à froid fabriquées par laminage
- 3.3 Classification des feuilles de molybdène selon les domaines d'application
 - 3.3.1 Feuilles de molybdène utilisées dans le domaine électronique
 - 3.3.2 Feuilles de molybdène utilisées dans l'industrie métallurgique
 - 3.3.3 Feuilles de molybdène utilisées dans l'industrie chimique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3.4 Feuilles de molybdène utilisées dans le domaine aérospatial

3.3.5 Feuilles de molybdène utilisées dans d'autres domaines

Chapitre 4 Processus de production et de préparation des feuilles de molybdène

4.1 Préparation des matières premières avant la production de feuilles de molybdène

4.1.1 Types et caractéristiques du minerai de molybdène

4.1.1.1 Caractéristiques et distribution de la molybdénite

4.1.2 Méthodes d'extraction et d'enrichissement du minerai de molybdène

4.1.2.1 Procédé d'extraction à ciel ouvert du minerai de molybdène et points clés

4.1.2.2 Méthodes d'extraction souterraine du minerai de molybdène

4.1.2.3 Principes et procédés de la méthode de flottation du minerai de molybdène

4.1.2.4 Principes et procédés de la méthode de séparation par gravité du minerai de molybdène

4.1.2.5 Principes et procédés de séparation magnétique du minerai de molybdène

4.1.3 Raffinage et conversion du concentré de molybdène

4.1.3.1 Procédé de raffinage par grillage oxydatif-lixiviation à l'ammoniac du concentré de molybdène

4.1.3.2 Procédé de raffinage par lixiviation à l'acide de grillage oxydatif du concentré de molybdène

4.1.3.3 Préparation de la poudre de molybdène à partir d'extraits concentrés de molybdène

4.2 Processus de moulage de la feuille de molybdène

4.2.1 Préparation des feuilles de molybdène par métallurgie des poudres

4.2.2 Préparation de la feuille de molybdène par laminage

4.2.2.1 Préparation des feuilles de molybdène par laminage à chaud

4.2.2.2 Préparation des feuilles de molybdène par laminage à froid

Chapitre 5 Équipements de production et d'essai de performance pour les feuilles de molybdène

5.1 Équipement d'extraction du minerai de molybdène

5.1.1 Matériel d'exploitation minière à ciel ouvert pour le minerai de molybdène

5.1.2 Matériel d'exploitation minière souterraine pour le minerai de molybdène

5.2 Équipement de traitement des minéraux pour le minerai de molybdène

5.2.1 Équipement de concassage du minerai de molybdène

5.2.2 Équipement de broyage du minerai de molybdène

5.2.3 Équipement de classement du minerai de molybdène

5.2.4 Équipement de flottation du minerai de molybdène

5.3 Équipement de moulage pour feuilles de molybdène

5.3.1 Équipement de métallurgie des poudres pour les feuilles de molybdène

5.3.1.1 Matériel de pressage de poudre pour feuilles de molybdène

5.3.1.2 Équipement de frittage des feuilles de molybdène

5.3.2 Équipement de laminage des feuilles de molybdène

5.3.2.1 Laminoirs à chaud pour tôles de molybdène

5.3.2.2 Laminoir à froid pour tôles de molybdène

5.4 Équipement d'essai de performance des feuilles de molybdène

5.4.1 Équipement de mesure de la masse volumique pour les feuilles de molybdène

5.4.2 Équipement d'essai du point de fusion pour les feuilles de molybdène

5.4.3 Équipement d'essai de conductivité pour les feuilles de molybdène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 5.4.4 Équipement d'essai de conductivité thermique pour les feuilles de molybdène
- 5.5 Équipement d'essai des propriétés mécaniques des feuilles de molybdène
 - 5.5.1 Machine universelle d'essai des matériaux pour tester les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène
 - 5.5.2 L'appareil d'essai de dureté teste les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène
 - 5.5.3 Machine d'essai de choc pour tester les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène

Chapitre 6 Méthodes d'essai pour les performances des feuilles de molybdène

- 6.1 Méthode d'essai pour la masse volumique d'une feuille de molybdène
- 6.2 Méthode d'essai pour le point de fusion d'une feuille de molybdène
- 6.3 Méthodes d'essai pour la stabilité thermique des feuilles de molybdène
- 6.4 Méthode d'essai de conductivité de la feuille de molybdène
- 6.5 Méthode d'essai de conductivité thermique de la feuille de molybdène
- 6.6 Méthode d'essai pour le coefficient de dilatation thermique de la feuille de molybdène
- 6.7 Méthode d'essai de résistance de la feuille de molybdène
- 6.8 Méthode d'essai pour la dureté de la feuille de molybdène
- 6.9 Méthodes d'essai pour la ténacité des feuilles de molybdène
- 6.10 Méthode d'essai pour la ductilité des feuilles de molybdène
- 6.11 Méthodes d'essai pour les propriétés de fatigue des feuilles de molybdène
- 6.12 Méthode d'essai pour la résistance à la corrosion des feuilles de molybdène
- 6.13 Méthodes d'essai de résistance à l'oxydation des feuilles de molybdène

Chapitre 7 Domaines d'application des feuilles de molybdène

- 7.1 Application de la feuille de molybdène dans le domaine de l'information électronique
 - 7.1.1 Application de feuilles de molybdène dans les semi-conducteurs
 - 7.1.2 Application de la feuille de molybdène dans les matériaux d'électrode
 - 7.1.3 Application d'une feuille de molybdène dans le cadre de connexion
- 7.2 Application de feuilles de molybdène dans le four de croissance de cristal de saphir
 - 7.2.1 Écran réfléchissant dans le four de croissance de cristal de saphir pour la production de feuilles de molybdène
 - 7.2.2 Feuilles de molybdène pour la production de couvercles de fours de croissance de cristal de saphir
- 7.3 Application de feuilles de molybdène dans les fours à vide
 - 7.3.1 Écrans réfléchissants dans les fours à vide pour la production de feuilles de molybdène
 - 7.3.2 Chaleur dans le four à vide pour la production de feuilles de molybdène
 - 7.3.3 Connecteurs dans les fours à vide pour la production de feuilles de molybdène
- 7.4 Application d'une feuille de molybdène dans un revêtement plasma
 - 7.4.1 Feuille de molybdène comme cible de pulvérisation pour le revêtement plasma
- 7.5 Application de la feuille de molybdène dans l'industrie métallurgique
 - 7.5.1 Application des feuilles de molybdène en tant qu'additifs dans la sidérurgie
- 7.6 Application de la feuille de molybdène dans la structure d'un four à haute température
 - 7.6.1 Application d'une feuille de molybdène dans l'écran thermique
 - 7.6.2 Application d'une feuille de molybdène dans un élément chauffant
- 7.7 Application de la feuille de molybdène dans l'anticorrosion des équipements chimiques

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 7.7.1 Application d'une feuille de molybdène dans le revêtement d'un réacteur
- 7.7.2 Application d'une feuille de molybdène dans les composants de tuyaux
- 7.8 Application d'une feuille de molybdène dans les composants des satellites
- 7.8.1 Application d'une feuille de molybdène dans les composants d'antenne
- 7.8.2 Application d'une feuille de molybdène dans le radiateur d'un système de contrôle thermique

Chapitre 8 Problèmes de sécurité et de protection de l'environnement dans la production de feuilles de molybdène

- 8.1 Problèmes de sécurité dans la production de feuilles de molybdène
- 8.2 Problèmes environnementaux dans la production de feuilles de molybdène

Chapitre 9 Normes nationales et étrangères pour les feuilles de molybdène

- 9.1 Norme nationale chinoise pour les feuilles de molybdène
- 9.2 Normes internationales pour les feuilles de molybdène
- 9.3 Normes de feuilles de molybdène en Europe, en Amérique, au Japon, en Corée du Sud et dans d'autres pays du monde

Chapitre 10 Fiche de molybdène Faits et chiffres

- 10.1 Quels sont les principaux faits des comprimés de molybdène
- 10.2 Toutes les données des feuilles de molybdène (performances, production et spécifications d'application)

Annexe : Glossaire multilingue des puces de molybdène (chinois, anglais, japonais, coréen)

Références

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

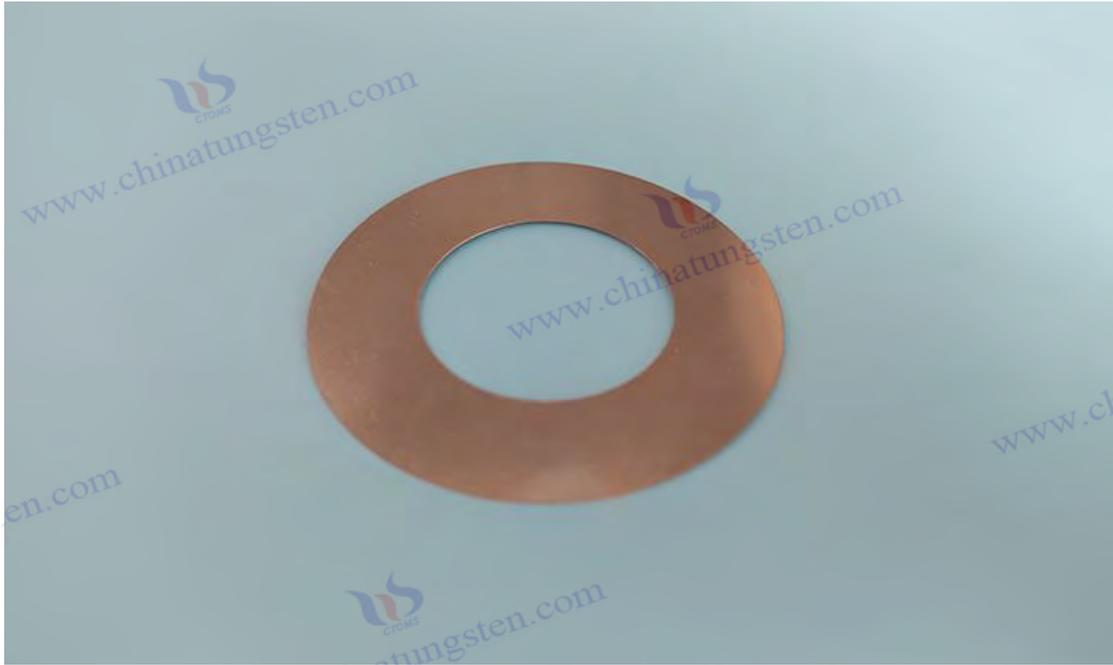
Molybdenum Ingot (Raw Material) \rightarrow Inspection \rightarrow Hot Rolling \rightarrow Leveling & Annealing \rightarrow Alkali Cleaning \rightarrow Inspection \rightarrow Warm Rolling \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Cold Rolling \rightarrow Leveling \rightarrow Shearing \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Packaging

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD feuille de molybdène

Chapitre 1 : Présentation des comprimés de molybdène

1.1 Définition de la feuille de molybdène

La feuille de molybdène est un matériau en feuille mince fabriqué à partir de molybdène métallique de haute pureté (la pureté atteint généralement plus de 99,95 %) par des processus tels que la métallurgie des poudres, le laminage ou le forgeage, et son apparence présente un éclat métallique gris argenté. Le molybdène (symbole chimique Mo, numéro atomique 42) est un métal de transition rare qui occupe une position importante dans l'industrie, la science et la technologie en raison de ses propriétés physiques et chimiques uniques. En tant que forme de traitement du molybdène métallique, la feuille de molybdène est généralement présentée dans des épaisseurs extrêmement fines (allant de 0,01 mm à 3 mm) et est largement utilisée dans l'aérospatiale, l'industrie électronique, l'énergie nucléaire, les équipements médicaux et les poêles à haute température. Son point de fusion élevé (environ 2620°C) et sa haute résistance le rendent excellent dans les environnements extrêmes, en particulier dans les scénarios qui nécessitent une résistance à haute température et une résistance à la corrosion. Le processus de fabrication des feuilles de molybdène consiste généralement à extraire le molybdène de la molybdénite (MoS_2), puis à passer par plusieurs processus tels que le frittage, le laminage à chaud, le laminage à froid et le recuit pour fabriquer de minces flocons aux propriétés spécifiques. Ce matériau joue non seulement un rôle important dans les industries traditionnelles, mais montre également une valeur irremplaçable dans les domaines technologiques émergents tels que la fabrication de semi-conducteurs et les nouveaux équipements énergétiques.

1.2 Spécifications des feuilles de molybdène

Voici un tableau détaillant les spécifications courantes des feuilles de molybdène, l'épaisseur de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

revêtement, la largeur, la longueur, le type de traitement de surface et les indicateurs de performance associés pour répondre aux besoins de différents scénarios industriels :

paramètre	Gamme de spécifications	de remarque
épaisseur	0,01 mm à 3 mm	Les feuilles ultra-minces (0,01-0,1 mm) sont utilisées pour les composants électroniques de haute précision, tandis que les feuilles plus épaisses (>1 mm) sont utilisées pour les pièces structurelles
Largeur	50 mm à 600 mm	Il peut être personnalisé selon les besoins du client, et certaines feuilles larges de molybdène nécessitent un équipement de roulement spécial
longueur	Longueurs personnalisées ou formes de rouleaux	La forme de bobine est utilisée pour la production continue et la longueur de coupe dépend de l'application
Traitement de surface	Poli, décapé, sablé	Le côté poli convient aux semi-conducteurs, le côté décapé est utilisé dans un environnement sous vide et le côté sablé améliore l'adhérence
Tolérances d'épaisseur	± 0,005 mm à ±02 mm	Conforme à la norme ASTM B386, selon l'épaisseur
Pureté du matériau	≥99,95 %	Les feuilles de molybdène de haute pureté peuvent être dopées avec du lanthane, du titane et d'autres éléments (tels que les alliages TZM) pour améliorer les performances
État recuit	Recuit de détente, recuit complet	La température de recuit est de 1100-1300°C, ce qui améliore la ductilité et réduit la fragilité
Rugosité	Ra 0,8 μm–Ra 3,2 μm	La rugosité de la surface polie est la plus faible et la rugosité de la surface sablée est plus élevée

Sur le marché, les produits de marque tels que la feuille de molybdène CTIA GROUP LTD suivent strictement la norme ASTM B386, la tolérance d'épaisseur peut être contrôlée à ±0,005 mm et la valeur Ra de rugosité de surface est aussi basse que 0,4 micron, ce qui répond aux exigences strictes des applications haut de gamme. Les spécifications de la feuille de molybdène peuvent également être optimisées en fonction de la composition de l'alliage (par exemple, l'alliage de molybdène TZM) ou des éléments dopés (par exemple, le lanthane ou le titane) pour répondre aux besoins particuliers de secteurs tels que l'aérospatiale, l'industrie nucléaire ou la fabrication de semi-conducteurs. Par exemple, la feuille d'alliage de molybdène TZM est supérieure à la feuille de molybdène pur en termes de résistance aux hautes températures et de résistance au fluage, et convient aux environnements à haute température (au-dessus de 1500°C).

1.3 Caractéristiques des feuilles de molybdène

La feuille de molybdène se distingue parmi de nombreux matériaux haute performance en raison de ses

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

propriétés matérielles uniques. Tout d'abord, la feuille de molybdène a un point de fusion extrêmement élevé (2620 °C), juste derrière le tungstène, le rhénium et d'autres métaux, de sorte qu'elle peut toujours maintenir une excellente résistance mécanique dans des environnements à haute température, comme une résistance à la traction de plus de 700MPa à 1200 °C. Deuxièmement, les feuilles de molybdène ont un faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), ce qui correspond au coefficient de dilatation thermique de nombreux matériaux céramiques et substrats semi-conducteurs, ce qui en fait des applications importantes dans les revêtements de barrière thermique et les emballages électroniques. De plus, les feuilles de molybdène ont une excellente conductivité thermique (conductivité thermique d'environ 138 W/m·K) et peuvent dissiper efficacement la chaleur, ce qui les rend adaptées au blindage thermique des poêles à haute température ou aux substrats de dissipation thermique pour les appareils électroniques. Cependant, les feuilles de molybdène sont cassantes à température ambiante et leur structure cristalline cubique centrée sur le corps les rend limitées en ductilité à basse température, mais lorsqu'elles sont chauffées à la température de recristallisation (1000-1200°C), la ductilité est considérablement améliorée, ce qui est pratique pour le traitement ultérieur. Les feuilles de molybdène présentent également une excellente résistance à la corrosion, en particulier dans les environnements acides et les atmosphères non oxydantes, mais sont sujettes à la formation d'oxydes volatils (par exemple, MoO₃) dans les atmosphères oxydantes, de sorte qu'elles sont souvent utilisées sous vide ou sous protection contre les gaz inertes. De plus, les feuilles de molybdène ont une conductivité électrique élevée (résistivité d'environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$), de sorte qu'elles peuvent être utilisées comme matériau d'électrode ou cible dans l'industrie électronique. Dans l'ensemble, les feuilles de molybdène ont une résistance élevée, une résistance aux températures élevées, une faible dilatation thermique et une excellente conductivité thermique et électrique, ce qui en fait des matériaux indispensables pour l'aérospatiale, l'industrie nucléaire et la fabrication de semi-conducteurs.

1.3.1 Caractéristiques d'aspect des feuilles de molybdène

1.3.1.1 Apparence et cause de la feuille de molybdène brun-noir

Les feuilles de molybdène non traitées ont souvent un aspect brun noirâtre pendant la production, une caractéristique qui est principalement due à la couche d'oxyde qui se forme à leur surface. Lors du traitement des feuilles de molybdène, comme le laminage ou le recuit, lorsque le molybdène métal est exposé à l'air, sa surface réagit avec l'oxygène pour former de l'oxyde de molybdène (MoO₃ ou MoO₂). Ces oxydes sont généralement de couleur brun-noir ou gris foncé et recouvrent la surface de la feuille de molybdène, formant un film d'oxyde mince et dense. L'apparition de réactions d'oxydation est étroitement liée à la température et à la concentration en oxygène dans l'environnement de traitement. Par exemple, lors du processus de recuit à haute température (800-1000°C), les surfaces en molybdène sont très sensibles à l'oxydation si elles ne sont pas protégées par le vide ou des gaz inertes tels que l'argon ou l'azote. De plus, l'aspect noir-brun des feuilles de molybdène peut également être affecté par des résidus de lubrifiant utilisés dans le processus de laminage ou des impuretés de surface à l'état de traces. Ces lubrifiants peuvent se carboniser à des températures élevées, formant des traces de composés à base de carbone qui assombrissent davantage la couleur de la surface. Bien que la couche d'oxyde noir-brun protège la feuille de molybdène de la corrosion dans une certaine mesure, dans les applications de haute précision telles que les cibles semi-conductrices ou les composants électroniques, cette couche d'oxyde

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

doit souvent être éliminée par post-traitement pour assurer la propreté de la surface et des performances constantes.

1.3.1.2 Lustre gris argenté et principe de traitement des feuilles de molybdène après lavage alcalin

Grâce au lavage caustique, la surface de la feuille de molybdène peut prendre l'éclat métallique gris argenté caractéristique, qui n'est pas seulement une caractéristique intrinsèque du molybdène métallique, mais aussi le reflet de sa grande pureté et de sa propreté de surface. Le processus de lavage caustique utilise généralement une solution alcaline forte telle que l'hydroxyde de sodium (NaOH) ou l'hydroxyde de potassium (KOH) pour tremper les feuilles de molybdène à une température spécifique (50-80°C) afin d'éliminer les oxydes, les graisses et les résidus organiques de la surface. Le principe chimique du lavage caustique est basé sur la réaction de l'oxyde de molybdène avec une solution alcaline, par exemple, le MoO_3 réagit avec le NaOH pour produire du molybdate de sodium soluble (Na_2MoO_4), décollant ainsi la couche d'oxyde de surface et révélant la vraie couleur du molybdène métallique. De plus, les lavages caustiques sont souvent suivis d'un processus de rinçage et de séchage à l'eau déminéralisée pour éviter l'oxydation secondaire et s'assurer que la surface est exempte de produits chimiques résiduels. La rugosité de surface de la feuille de molybdène lavée par caustique peut être aussi faible que Ra 0,4 microns, montrant un éclat gris argenté semblable à un miroir, ce qui améliore non seulement l'esthétique, mais améliore également considérablement les performances de la feuille de molybdène dans un environnement sous vide, par exemple en réduisant le taux de libération de gaz, et convient à une utilisation dans des fours à vide ou des cibles de pulvérisation. Un contrôle précis du processus de lavage caustique est particulièrement important pour les produits en feuilles de molybdène haut de gamme, tels que les feuilles de molybdène de CTIA GROUP LTD, en optimisant le processus de lavage caustique pour assurer la finition et la cohérence de la surface, et répondre aux exigences de la norme ASTM B386 pour les feuilles de molybdène de haute précision.

1.3.1.3 Planéité de la feuille de molybdène

La planéité des feuilles de molybdène est un indicateur important de leurs caractéristiques d'apparence et de leurs performances d'application, en particulier dans les applications de haute précision telles que le dépôt de couches minces, l'emballage électronique et les composants mécaniques de précision. La planéité est généralement quantifiée par l'ondulation de surface ou l'écart de planéité, et l'écart de planéité d'une feuille de molybdène de haute qualité peut être contrôlé à $\pm 0,01$ mm/m. La planéité d'une feuille de molybdène est affectée par divers facteurs, notamment le processus de laminage, le traitement de recuit et l'épaisseur du matériau. Les feuilles de molybdène ultra-minces (épaisseur $< 0,1$ mm) sont sujettes à des contraintes internes pendant le processus de laminage à froid, ce qui entraîne de légères ondulations ou ondulations de surface, de sorte qu'un recuit précis (1100-1300°C) est nécessaire pour améliorer la structure du grain et soulager les contraintes. Les feuilles de molybdène plus épaisses (> 1 mm) sont relativement faciles à contrôler en raison de la grande rigidité du matériau, mais il faut éviter une déformation excessive ou un refroidissement inégal pendant le processus de laminage. Des équipements de laminage de pointe et des processus de recuit en plusieurs passes peuvent améliorer considérablement la planéité de la feuille de molybdène, par exemple en contrôlant le gradient de température et la vitesse de refroidissement grâce à un four de recuit sous vide, ce qui minimise

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'ondulation de la surface de la feuille de molybdène. De plus, la planéité est également liée au traitement de surface, et les feuilles de molybdène après polissage ou décapage ont généralement une planéité plus élevée en raison d'une répartition plus uniforme des contraintes de surface. En pratique, les feuilles de molybdène à haute planéité peuvent assurer un bon ajustement entre la cible et le substrat lors du dépôt de couches minces ou réduire les concentrations de contraintes thermiques dans les emballages électroniques, prolongeant ainsi la durée de vie des composants.



CTIA GROUP LTD feuille de molybdène

Chapitre 2 Performances des feuilles de molybdène

2.1 Propriétés physiques des feuilles de molybdène

Les feuilles de molybdène de CTIA GROUP LTD sont utilisées dans l'aérospatiale, l'électronique et les applications à haute température, couvrant des propriétés clés telles que la densité, le point de fusion, le point d'ébullition, la conductivité électrique, la conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique. Ces propriétés sont dues à la structure cristalline cubique centrée sur le corps du molybdène et à l'énergie de liaison du plateau, ce qui lui confère une excellente stabilité et fonctionnalité dans des environnements extrêmes. Ce qui suit traite en détail du coefficient de dilatation thermique de la feuille de molybdène, ainsi que de sa haute résistance, de sa ductilité et de sa résistance au fluage à haute température dans ses propriétés mécaniques, et effectue une analyse approfondie basée sur des données professionnelles et le contexte du processus pour révéler sa valeur d'application dans des scénarios de haute précision et à haute température.

2.1.1 Masse volumique des feuilles de molybdène

La densité de la feuille de molybdène est un indicateur important de ses propriétés physiques, généralement autour de $10,22 \text{ g/cm}^3$ (à 20°C), légèrement inférieure à celle du tungstène ($19,25 \text{ g/cm}^3$) mais supérieure à celle de nombreux métaux courants tels que le fer ($7,87 \text{ g/cm}^3$) ou l'aluminium ($2,70 \text{ g/cm}^3$). Cette valeur de densité reflète l'arrangement atomique compact du molybdène métallique, ce qui le rend relativement léger tout en conservant une résistance élevée, ce qui le rend adapté aux applications qui nécessitent à la fois résistance et poids, telles que le blindage thermique pour les composants aérospatiaux ou les fours à haute température. La densité d'une feuille de molybdène est affectée par sa pureté et les traces d'éléments dopés. Par exemple, la masse volumique d'une feuille de molybdène de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$) est proche de la valeur théorique, tandis qu'une feuille d'alliage de molybdène TZM dopée au lanthane ou au titane peut présenter un léger changement de densité (généralement entre $10,16$ et $10,20\text{ g/cm}^3$) en raison de l'ajout d'une petite quantité d'autres éléments. Au cours du processus de production, la densité de la feuille de molybdène est contrôlée avec précision par la métallurgie des poudres et le processus de laminage ultérieur. La taille des particules et les conditions de frittage de la poudre de molybdène initiale (par exemple, température $1800-2000^\circ\text{C}$, protection contre le vide ou l'hydrogène) affectent la densité de l'ébauche, tandis que plusieurs passes de laminage à froid et de recuit éliminent davantage la porosité interne et assurent une densité uniforme de la feuille de molybdène. La cohérence de la densité est particulièrement critique pour le dépôt de couches minces ou les applications cibles, car tout petit écart de densité peut entraîner des taux de pulvérisation inégaux ou des propriétés instables des matériaux. Dans la mesure réelle, la densité de la feuille de molybdène est généralement vérifiée par la méthode de drainage d'Archimède ou le densimètre à rayons X, et l'erreur est contrôlée à $\pm 0,01\text{ g/cm}^3$ pour répondre aux besoins des applications de haute précision.

2.1.2 Point de fusion de la feuille de molybdène

Le point de fusion de la feuille de molybdène est l'une de ses propriétés physiques les plus importantes, environ 2620°C (2893 K), juste derrière le tungstène (3422°C) et le rhénium (3180°C) parmi les métaux courants. Ce point de fusion extrêmement élevé permet aux feuilles de molybdène de bien fonctionner dans des environnements à haute température et sont largement utilisées dans les composants résistants à la chaleur des fours à vide, des réacteurs nucléaires et des moteurs aérospatiaux. Le point de fusion élevé du molybdène est dû à ses fortes liaisons métalliques et à sa structure cristalline cubique centrée sur le corps, ce qui lui confère une résistance mécanique élevée à haute température. Par exemple, à 1200°C , la résistance à la traction des feuilles de molybdène peut encore être maintenue au-dessus de 700 MPa , ce qui est bien supérieur à celui de nombreux autres matériaux métalliques. La stabilité du point de fusion est également étroitement liée à la pureté de la feuille de molybdène, qui est plus proche de la valeur théorique de la feuille de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) en raison de sa très faible teneur en impuretés, tandis que les impuretés à l'état de traces (telles que le carbone, l'oxygène ou l'azote) peuvent légèrement réduire le point de fusion ou provoquer des modifications locales des propriétés. Au cours du processus de production, les caractéristiques du point de fusion des feuilles de molybdène sont préservées grâce à un contrôle strict de la purification des matières premières et de l'environnement de traitement. Par exemple, la molybdénite (MoS_2) doit être frittée à haute température sous vide ou sous atmosphère réductrice après purification pour éviter que les inclusions d'oxyde n'affectent les propriétés du matériau. De plus, les feuilles de molybdène doivent faire attention à leur tendance à l'oxydation dans les applications à haute température, et dans des atmosphères oxydantes supérieures à 600°C , le molybdène formera rapidement des oxydes volatils (par exemple, MoO_3), il est donc souvent utilisé sous vide ou sous la protection de gaz inertes tels que l'argon ou l'azote pour tirer parti de son point de fusion élevé. Cette propriété des feuilles de molybdène les rend idéales pour le blindage thermique, les cibles de pulvérisation et les substrats en superalliage dans les fours à haute température.

2.1.3 Point d'ébullition de la feuille de molybdène

Le point d'ébullition de la feuille de molybdène est une autre caractéristique clé de ses propriétés

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

physiques, qui est d'environ 4639 °C (4912 K), ce qui est l'un des plus élevés dans le domaine des matériaux métalliques, juste derrière quelques métaux à point de fusion élevé tels que le tungstène (5555 °C) et le rhénium (5596 °C). Ce point d'ébullition extrêmement élevé permet à la feuille de molybdène de rester structurellement stable dans des conditions de température extrêmement élevées, ce qui la rend particulièrement adaptée à une utilisation dans des applications nécessitant un fonctionnement à ultra-haute température, telles que la pulvérisation de plasma, l'évaporation sous vide ou les équipements de fusion à haute température. Le point d'ébullition élevé du molybdène est étroitement lié à ses fortes liaisons métalliques et à sa faible pression de vapeur (pression de vapeur d'environ 10^{-7} Pa à 3000°C), ce qui signifie que même à des températures proches du point de fusion, les feuilles de molybdène ont des pertes par volatilisation extrêmement faibles et sont capables de conserver leur forme physique pendant longtemps. La stabilité du point d'ébullition est affectée par la pureté de la feuille de molybdène, qui est plus proche de la valeur théorique en raison de la faible teneur en impuretés des feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$), tandis que les impuretés à l'état de traces (telles que l'oxygène ou le carbone) peuvent provoquer une volatilisation locale ou des défauts de surface. Au cours du processus de production, les caractéristiques du point d'ébullition des feuilles de molybdène sont optimisées par la sélection de matières premières de haute pureté et le processus de traitement dans un environnement sous vide. Par exemple, lors du frittage sous vide ou du recuit (la température est généralement contrôlée à 1800-2000°C), la formation d'oxydes ou de nitrures peut être efficacement réduite et la stabilité du matériau à haute température peut être assurée. Le point d'ébullition élevé des feuilles de molybdène leur confère des avantages uniques dans l'industrie aérospatiale (par exemple, les revêtements de tuyères de fusée) ou dans l'industrie des semi-conducteurs (par exemple, les bateaux d'évaporation à haute température), mais l'exposition à des températures élevées doit être évitée dans les atmosphères oxydantes pour éviter les pertes de matière dues à la volatilisation de l'oxyde.

2.1.4 Conductivité des feuilles de molybdène

La conductivité de la feuille de molybdène est une base importante pour sa large application dans l'industrie électronique, et sa résistivité est d'environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (à 20°C), la conductivité correspondante est de $1,92 \times 10^7 S/m$, montrant une bonne conductivité. Par rapport au cuivre (résistivité $1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) ou à l'argent ($1,59 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), la feuille de molybdène est légèrement moins conductrice, mais sa stabilité de conductivité à haute température est beaucoup plus élevée que celle de nombreux matériaux conducteurs courants. Par exemple, à 1000°C, la résistivité des feuilles de molybdène n'augmente que d'environ 2,5 fois, tandis que la résistivité du cuivre peut augmenter de plus de 5 fois. Cette stabilité conductrice à haute température rend les feuilles de molybdène idéales pour les matériaux d'électrode, les cibles de pulvérisation et les composants de circuits à haute température. La conductivité de la feuille de molybdène est étroitement liée à sa structure cristalline et à sa pureté, et la structure cubique centrée sur le corps du molybdène métallique a une mobilité électronique élevée, tandis qu'une pureté élevée ($\geq 99,95\%$) peut réduire la diffusion des limites de grains et la résistance aux impuretés. Au cours du processus de production, les propriétés conductrices de la feuille de molybdène sont encore optimisées en contrôlant le processus de laminage et les conditions de recuit. Par exemple, le recuit de détente (1100-1300°C) améliore la structure des grains et réduit la résistance aux joints de grains, ce qui se traduit par une conductivité plus élevée. De plus, les traitements de surface, tels que le polissage ou le décapage, réduisent l'effet de la couche d'oxyde sur la conductivité de la surface, assurant ainsi des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

propriétés électriques stables de la feuille de molybdène dans un environnement vide ou inerte. La conductivité électrique des feuilles de molybdène est particulièrement importante dans la fabrication de semi-conducteurs, par exemple comme cible de pulvérisation pour le dépôt de films minces conducteurs, ou comme matériau d'anode dans les tubes à rayons X.

2.1.5 Conductivité thermique des feuilles de molybdène

La conductivité thermique des feuilles de molybdène est un avantage clé dans les applications de dissipation thermique et de gestion thermique à haute température, avec une conductivité thermique d'environ $138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ à 20°C , ce qui est proche de l'aluminium ($237 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) mais beaucoup plus élevé que l'acier inoxydable (environ $16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Cette excellente conductivité thermique permet aux feuilles de molybdène de transférer rapidement la chaleur, ce qui est largement utilisé dans le blindage thermique des fours à haute température, les substrats de dissipation de chaleur pour les dispositifs électroniques et la gestion thermique des composants aérospatiaux. La conductivité thermique de la feuille de molybdène est étroitement liée à sa structure électronique et à la régularité cristalline, et la structure cubique centrée sur le corps du molybdène métallique a une densité d'électrons libres élevée, ce qui est propice à la conduction rapide de la chaleur. La conductivité thermique diminue légèrement avec l'augmentation de la température, par exemple jusqu'à environ $100 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ à 1000°C , mais reste suffisante pour la plupart des applications à haute température. La conductivité thermique des feuilles de molybdène est également affectée par sa pureté et sa microstructure, les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) ayant une meilleure conductivité thermique en raison d'une diffusion moindre des joints de grains et des impuretés, tandis que les alliages dopés (par exemple, TZM) peuvent réduire légèrement la conductivité thermique (environ $120\text{-}130 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) en raison de l'ajout d'éléments. Au cours de la production, la conductivité thermique des feuilles de molybdène est améliorée en optimisant le processus de frittage et de laminage, par exemple en réduisant la porosité interne grâce au frittage sous vide, ou en contrôlant la taille des grains grâce au laminage à froid et au recuit pour minimiser la résistance thermique. Dans les applications pratiques, la conductivité thermique des feuilles de molybdène en fait un matériau de dissipation thermique dans les emballages de semi-conducteurs ou comme couche de blindage thermique dans les fours à haute température, ce qui peut réduire efficacement les gradients de température et prolonger la durée de vie de l'équipement.

2.1.6 Coefficient de dilatation thermique d'une feuille de molybdène

Le coefficient de dilatation thermique des feuilles de molybdène est une propriété physique critique dans les applications à haute température, avec une moyenne d'environ $4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (dans la plage de 20 à 1000°C), bien en dessous du cuivre ($16,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) et de l'aluminium ($23,1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$). Cependant, il est similaire au coefficient de dilatation thermique de nombreux matériaux céramiques (par exemple, l'alumine, environ $7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) et de substrats semi-conducteurs (par exemple, le silicium, environ $2,6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$). Ce faible coefficient de dilatation thermique permet aux feuilles de molybdène de réduire efficacement les contraintes thermiques dans des environnements à haute température, ce qui les rend idéales pour les applications qui nécessitent une correspondance thermique, telles que l'emballage électronique, le dépôt de couches minces et les revêtements de barrière thermique. Le faible coefficient de dilatation thermique est dû à la structure cristalline cubique centrée sur le corps du molybdène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

métallique, qui a une forte force de liaison interatomique, ce qui limite l'expansion du réseau cristallin à haute température.

Les performances de dilatation thermique des feuilles de molybdène sont également affectées par leur pureté et leur technologie de traitement, les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) ayant un coefficient de dilatation thermique plus stable, tandis que les alliages dopés (tels que le TZM, contenant du titane et du zirconium) peuvent légèrement augmenter le coefficient de dilatation thermique (environ $5,0-5,3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Au cours du processus de production, l'uniformité du coefficient de dilatation thermique est contrôlée par des processus de laminage et de recuit précis, par exemple par recuit sous vide ($1100-1300^{\circ}\text{C}$) pour optimiser la structure du grain, réduire les concentrations de contraintes microscopiques et assurer un comportement de dilatation thermique constant. Le faible coefficient de dilatation thermique des feuilles de molybdène est particulièrement critique dans la fabrication de semi-conducteurs, par exemple en tant que matériau de substrat pour l'emballage des puces, ce qui peut réduire efficacement les contraintes thermiques causées par les changements de température, améliorant ainsi la fiabilité du dispositif. De plus, dans les fours à haute température ou les composants aérospatiaux, les propriétés de faible dilatation thermique des feuilles de molybdène aident à maintenir la stabilité structurelle et à prolonger la durée de vie.

2.2 Propriétés mécaniques des feuilles de molybdène

Les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène, y compris la haute résistance, la ductilité et la résistance au fluage à haute température, sont les principaux avantages des feuilles de molybdène dans les applications difficiles. La structure cristalline cubique centrée sur le corps du molybdène métallique lui confère une excellente résistance mécanique, mais apporte également un certain degré de fragilité à basse température. Grâce à des techniques de traitement avancées, telles que le laminage à froid, le laminage à chaud et le recuit, les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène peuvent être optimisées, ce qui leur permet de bien fonctionner à la fois à température ambiante et à haute température. Ce qui suit analysera en détail la haute résistance, la ductilité et la résistance au fluage de la feuille de molybdène, et révélera son applicabilité dans l'aérospatiale, l'industrie nucléaire et les fours à haute température avec des données professionnelles.

2.2.1 Haute résistance de la feuille de molybdène

La haute résistance de la feuille de molybdène est une caractéristique importante de celle-ci dans des environnements à forte charge et à haute température, et sa résistance à la traction peut atteindre 800-1000 MPa à température ambiante, ce qui est beaucoup plus élevé que celui de nombreux métaux courants tels que l'aluminium (environ 200 MPa) ou l'acier inoxydable (environ 500 MPa). À des températures élevées, telles que 1200°C , la résistance à la traction des feuilles de molybdène peut encore être maintenue au-dessus de 700 MPa, montrant une excellente stabilité de résistance. Cette haute résistance provient des fortes liaisons métalliques du molybdène et de son module d'élasticité élevé (environ 320 GPa), ce qui lui permet de résister à des contraintes mécaniques importantes. La résistance des feuilles de molybdène est affectée par sa pureté et sa technologie de traitement, les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) ont une résistance plus élevée en raison de moins d'impuretés

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dans les joints de grains, tandis que les alliages dopés (tels que TZM) améliorent encore la résistance à haute température (jusqu'à plus de 1200 MPa) en ajoutant du titane, du zirconium et d'autres éléments. Au cours du processus de production, la résistance de la feuille de molybdène est optimisée par le laminage en plusieurs passes et le recuit de détente. Le processus de laminage à froid améliore considérablement la résistance en introduisant des dislocations et un raffinement des grains, tandis que le recuit (1100-1300°C) équilibre la résistance et la ténacité et évite la fragilisation excessive. La haute résistance des feuilles de molybdène en fait des applications importantes dans le secteur aérospatial (par exemple, la structure de support des aubes de turbine) ou dans l'industrie nucléaire (par exemple, les revêtements de cuve de réacteur), où elles peuvent résister à des charges mécaniques extrêmes et à des contraintes à haute température.

2.2.2 Ductilité des feuilles de molybdène

La ductilité de la feuille de molybdène est un aspect important de ses propriétés mécaniques, bien que sa structure cristalline cubique centrée sur le corps montre un certain degré de fragilité à température ambiante, elle peut atteindre une bonne ductilité dans des conditions appropriées. À température ambiante, les feuilles de molybdène ont généralement un allongement à la rupture compris entre 5 et 10 %, ce qui est inférieur à celui des métaux très ductiles tels que le cuivre (environ 50 %), mais peut être considérablement amélioré par un traitement à haute température ou un recuit. Par exemple, à une température de recristallisation de 1000-1200°C, l'allongement à la rupture de la feuille de molybdène peut être augmenté à plus de 20 %, ce qui convient au moulage de formes complexes. L'amélioration de la ductilité est étroitement liée à l'optimisation de la structure des grains, et la feuille de molybdène laminée à froid est fragile en raison de la densité élevée des défauts, mais la recristallisation des grains peut être favorisée par le recuit sous vide (1100-1300°C), et la contrainte interne et la densité de dislocation peuvent être réduites, améliorant ainsi la ductilité. La feuille de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95$ %) a une meilleure ductilité en raison de moins d'impuretés, tandis que les alliages dopés (tels que le TZM) ont une ductilité légèrement réduite à haute température, mais sont toujours meilleurs que le molybdène pur à basse température. Au cours du processus de production, la ductilité des feuilles de molybdène est optimisée par des passes de laminage et des processus de recuit contrôlés avec précision, tels que le laminage à plusieurs passes avec de petites déformations combiné à un recuit à basse température, ce qui améliore la ductilité tout en maintenant la résistance. La ductilité des feuilles de molybdène les rend largement utilisées dans le dépôt de couches minces, l'estampage et l'usinage de précision, comme substrats souples ou cibles dans l'industrie des semi-conducteurs.

2.2.3 Résistance au fluage des feuilles de molybdène à haute température

La résistance au fluage des feuilles de molybdène à haute température est un avantage clé sous des charges à long terme à haute température, en particulier dans des applications telles que l'aérospatiale et les poêles à haute température. Le fluage fait référence à la déformation lente des matériaux à des températures élevées et à des contraintes constantes, et les feuilles de molybdène ont des taux de fluage extrêmement faibles à des températures élevées (1000-1500°C), tels que 10^{-6} à 1200°C et 100 MPa contraintes/s, ce qui est bien mieux que l'acier inoxydable (environ 10^{-4} /s). Cette excellente résistance au fluage est due au point de fusion élevé et aux fortes liaisons métalliques du molybdène métallique, ainsi

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

qu'à la stabilité de sa structure cristalline cubique centrée sur le corps à haute température. Les alliages dopés (par exemple, TZM) améliorent encore la résistance au fluage en ajoutant du titane, du zirconium et du carbone pour former une phase précipitée, et leur résistance au fluage peut être augmentée de 30 à 50 % par rapport au molybdène pur. Au cours de la production, la résistance au fluage est améliorée en optimisant la taille des grains et les processus de dopage, par exemple en contrôlant la température de frittage (1800-2000°C) et la vitesse de refroidissement, ce qui permet d'obtenir une structure de grain fine et uniforme qui réduit le glissement des joints de grain et la déformation par fluage. De plus, la résistance au fluage des feuilles de molybdène est également liée à leur état de surface et à l'environnement dans lequel elles sont utilisées, et dans une atmosphère sous vide ou inerte, les feuilles de molybdène peuvent éviter la formation d'oxyde et ainsi maintenir une stabilité à long terme à haute température. La résistance au fluage des feuilles de molybdène à haute température les rend irremplaçables dans les internes de four à haute température, les structures de support de réacteur nucléaire et les composants aérospatiaux à haute température, ce qui leur permet de conserver leur forme et leur résistance dans des conditions extrêmes.

2.2.4 Dureté des feuilles de molybdène

La dureté de la feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD est une incarnation importante de ses propriétés mécaniques, ce qui lui confère des avantages significatifs dans les applications résistantes à l'usure et à forte charge. La dureté des feuilles de molybdène est généralement exprimée en Vickers (HV) ou Brinell (HB), et la gamme de dureté Vickers des feuilles de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$) à température ambiante est de 220-250 HV, ce qui équivaut à une dureté Brinell d'environ 230-260 HB, beaucoup plus élevée que l'aluminium (environ 30 HV) et proche de certains aciers faiblement alliés. Cette dureté élevée est due à la structure cristalline cubique du molybdène métallique centrée sur le corps et à sa forte force de liaison aux atomes, qui peut résister efficacement aux rayures et à la déformation de surface. La dureté de la feuille de molybdène laminée à froid peut être augmentée à plus de 280 HV en raison de l'augmentation de la densité de dislocation, tandis que la dureté du recuit (1100-1300°C) sera légèrement réduite à 200-220 HV pour équilibrer la ténacité. Les alliages dopés tels que le TZM (contenant du titane, du zirconium et du carbone) peuvent atteindre une dureté de 300 à 350 HV grâce à un mécanisme de renforcement par précipitation, ce qui est particulièrement adapté aux environnements à haute température et à forte charge. Dans le processus de production, la dureté est ajustée avec précision en contrôlant la quantité de déformation de laminage et le processus de recuit, par exemple le laminage à froid multi-passes combiné à un recuit à basse température pour optimiser la taille des grains, maintenir une dureté élevée et éviter la fragilité. La dureté élevée des feuilles de molybdène les rend excellentes pour les cibles de pulvérisation, les substrats revêtus d'outils de coupe et les moules à haute température, résistant à l'usure mécanique et aux contraintes de surface.

2.2.5 Ténacité des feuilles de molybdène

La ténacité de la feuille de molybdène fait référence à sa capacité à absorber l'énergie et à résister à la rupture lorsqu'elle est soumise à une force, bien que sa structure cristalline cubique centrée sur le corps présente un certain degré de fragilité à température ambiante, avec une optimisation appropriée du processus, la feuille de molybdène peut présenter une ténacité modérée. À température ambiante, la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

résistance à la rupture (K_{IC}) de la feuille de molybdène est généralement comprise entre 10 et 15 $MPa \cdot m^{1/2}$, ce qui est inférieur à celui des métaux à haute ténacité tels que le cuivre (environ 50 $MPa \cdot m^{1/2}$), mais à haute température (1000-1200°C), la ténacité est considérablement améliorée et la ténacité à la rupture peut atteindre plus de 20 $MPa \cdot m^{1/2}$. Cela est dû à l'amélioration du glissement des joints de grains et du mouvement de dislocation à des températures élevées, ce qui réduit la tendance à la rupture fragile. La ténacité des feuilles de molybdène est affectée par la pureté et la microstructure, les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) ont des joints de grain plus propres et une meilleure ténacité en raison de moins d'impuretés, tandis que les alliages dopés tels que TZM peuvent maintenir l'équilibre entre ténacité et résistance à haute température grâce au renforcement de la phase de précipitation. En production, la ténacité est efficacement améliorée et la propagation des fissures est réduite en contrôlant la taille des grains et en optimisant le processus de recuit, comme le recuit sous vide (1100-1300°C) pour former des grains uniformes et fins. La ténacité des feuilles de molybdène leur confère un avantage dans les composants aérospatiaux tels que les buses à haute température et les substrats électroniques, où elles peuvent résister aux chocs thermiques et aux vibrations mécaniques sans être sujettes à la casse.

2.2.6 Résistance à la fatigue des feuilles de molybdène

La résistance à la fatigue de la feuille de molybdène reflète sa capacité à résister à l'initiation et à la propagation des fissures de fatigue sous contrainte cyclique, ce qui est une caractéristique clé dans les applications de charge dynamique. À température ambiante, la limite de fatigue de la feuille de molybdène (c'est-à-dire la contrainte qui ne se brise pas à 10^7 cycles) est d'environ 400-500 MPa, soit environ 50 % de sa résistance à la traction. À des températures élevées (1000°C), la limite de fatigue descend légèrement à 300-400 MPa, mais reste meilleure que celle de nombreux matériaux métalliques. La résistance à la fatigue de la feuille de molybdène est étroitement liée à sa structure cristalline et à sa qualité de surface, et la structure cubique centrée sur le corps du molybdène métallique a une résistance plus élevée à la propagation des fissures de fatigue, tandis que la feuille de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) a de meilleures performances en fatigue en raison de moins d'impuretés aux joints de grains. Les alliages dopés tels que le TZM peuvent encore augmenter la résistance à la fatigue en renforçant les précipitations. Dans le processus de production, la résistance à la fatigue est améliorée en optimisant les processus de laminage et de traitement de surface, tels que le polissage des surfaces ($Ra \leq 0,4$ microns) pour réduire le point d'initiation des microfissures de surface, et le recuit de détente (1100-1300°C) pour réduire les contraintes résiduelles et prolonger la durée de vie en fatigue. La résistance à la fatigue des feuilles de molybdène les rend excellentes dans les environnements aérospatiaux (par exemple, le support des pales de turbine) et à haute température (par exemple, les composants de réacteurs nucléaires), et est capable de résister à des charges cycliques à long terme sans défaillance.

2.3 Propriétés chimiques des feuilles de molybdène

Les propriétés chimiques des feuilles de molybdène, y compris la résistance à la corrosion et à l'oxydation, déterminent leur aptitude à des environnements chimiques difficiles. En raison de ses propriétés chimiques stables et de sa faible réactivité, le molybdène métallique présente une excellente résistance à la corrosion dans les acides non oxydants, les alcalis et une variété de milieux chimiques, mais une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

attention particulière doit être accordée à sa protection de surface dans les atmosphères oxydantes. La résistance à la corrosion et à l'oxydation des feuilles de molybdène sera discutée en détail ci-dessous, combinée à des données d'experts pour révéler comment elles se comportent dans des environnements chimiques.

2.3.1 Résistance à la corrosion des feuilles de molybdène

La résistance à la corrosion des feuilles de molybdène est un avantage important dans l'industrie chimique et dans les environnements extrêmes, en particulier dans les acides non oxydants et les environnements alcalins. Les feuilles de molybdène ont une excellente résistance à la corrosion aux acides non oxydants tels que l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique et l'acide fluorhydrique, par exemple à une concentration de 10 % d'acide chlorhydrique (20°C), le taux de corrosion est inférieur à 0,01 mm/an, ce qui est bien meilleur que l'acier inoxydable (environ 0,1 mm/an). Dans les environnements alcalins tels que les solutions d'hydroxyde de sodium, les feuilles de molybdène se comportent également bien, avec des taux de corrosion inférieurs à 0,005 mm/an. Cela est dû à la nature chimiquement inerte et au potentiel d'électrode élevé du molybdène métallique, ce qui le rend moins sujet aux réactions électrochimiques avec des milieux non oxydants. Cependant, parmi les acides oxydants (par exemple, l'acide nitrique concentré), les feuilles de molybdène ont une faible résistance à la corrosion en raison de la formation de molybdates solubles. La résistance à la corrosion des feuilles de molybdène est étroitement liée à leur état de surface et à leur pureté, les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) ont une faible tendance à se corroder aux joints de grains en raison de la diminution des impuretés, tandis que le polissage ou le décapage de la surface ($R_a \leq 0,4$ microns) peut réduire davantage le point de corrosion. En production, la résistance à la corrosion est renforcée par des processus de purification et des traitements de surface optimisés, tels que l'élimination des impuretés d'oxygène et d'azote par frittage sous vide ou l'élimination des oxydes de surface par lavage caustique. La résistance à la corrosion des feuilles de molybdène les rend largement utilisées dans les revêtements de réacteurs chimiques, les matériaux d'électrodes et l'ingénierie maritime.

2.3.2 Résistance à l'oxydation des feuilles de molybdène

La résistance à l'oxydation de la feuille de molybdène est le facteur limitant de ses propriétés chimiques dans un environnement à haute température, car le molybdène métallique est susceptible de former des oxydes volatils dans une atmosphère oxydante. À des températures inférieures à 600 °C, une couche d'oxyde mince et dense (par exemple, MoO_2) peut se former à la surface de la feuille de molybdène pour fournir une certaine protection, mais au-dessus de 600 °C, le molybdène s'oxyde rapidement pour former du trioxyde de molybdène volatil (MoO_3). Le taux d'évaporation peut atteindre 0,1 $\text{g/cm}^2 \cdot \text{h}$ à 800°C, ce qui entraîne une perte rapide de matière. Cette propriété limite l'utilisation de feuilles de molybdène dans des atmosphères oxydantes pour des applications à haute température, souvent sous la protection du vide ou de gaz inertes tels que l'argon ou l'azote pour éviter les pertes par oxydation. Dans un environnement sous vide, la résistance à l'oxydation des feuilles de molybdène est considérablement améliorée et la surface reste stable même à 1500°C. La résistance à l'oxydation est affectée par la pureté et le traitement de surface de la feuille de molybdène, et la feuille de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) a un taux d'oxydation plus faible en raison de moins d'impuretés, tandis que l'alliage dopé (tel que TZM) peut

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

légèrement améliorer la résistance à l'oxydation en ajoutant du titane et du zirconium. En production, la résistance à l'oxydation est optimisée par des revêtements de surface (par exemple des revêtements en siliciure ou en alumine) ou par des procédés de recuit sous vide, par exemple à 1200°C pour réduire l'adsorption d'oxygène de surface. La résistance à l'oxydation des feuilles de molybdène limite leur utilisation directe dans les environnements atmosphériques à haute température, mais leur stabilité à haute température les rend idéales dans les fours à vide, la fabrication de semi-conducteurs et l'industrie nucléaire.

2.4 CTIA GROUP LTD Feuille de molybdène Fiche signalétique

Les feuilles de molybdène de CTIA GROUP LTD en tant que matériau métallique de haute pureté, sa fiche de données de sécurité (FDS) ou sa fiche de données de sécurité (FDS) est un document important pour garantir la sécurité de son utilisation, de son stockage et de son transport, et répond aux exigences du Système international harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques dangereux (SGH). Bien que les feuilles de molybdène elles-mêmes soient considérées comme non dangereuses dans des conditions normales, leur fiche signalétique fournit des informations détaillées sur les propriétés physicochimiques, les risques pour la santé et l'environnement, les directives d'utilisation en toute sécurité et les mesures d'urgence pour assurer la sécurité et la conformité au travail. Ce qui suit détaille le contenu de la fiche signalétique de la feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD du point de vue des propriétés physiques et chimiques, de l'impact sur la santé et l'environnement, de l'exploitation et du stockage, des mesures de protection et du traitement d'urgence.

Les propriétés physiques et chimiques des feuilles de molybdène de CTIA GROUP LTD sont au cœur de la fiche signalétique, fournissant aux utilisateurs des informations physiques et chimiques de base sur les matériaux. Sa composition chimique est le molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$), le symbole chimique Mo, le numéro atomique 42, la densité d'environ 10,22 g/cm³ (20 °C), le point de fusion d'environ 2620 °C, le point d'ébullition d'environ 4639 °C. Les feuilles de molybdène ont un éclat métallique gris argenté et se trouvent généralement sous forme de flocons ou de feuilles, avec des épaisseurs allant de 0,01 mm à 3 mm. Les traitements de surface, tels que le polissage ou le décapage, affectent leur aspect et leur rugosité (Ra 0,4-1,6 microns). Les feuilles de molybdène sont chimiquement stables à température ambiante, insolubles dans l'eau et ont une faible réactivité avec les acides non oxydants (tels que l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique) et les solutions alcalines, mais sont sujettes au trioxyde de molybdène volatil (MoO₃) dans une atmosphère oxydante à haute température (>600 °C). La fiche signalétique indique clairement que le point d'éclair et le point d'auto-inflammation des feuilles de molybdène ne sont pas applicables car ce sont des métaux solides et ne présentent pas de risque d'explosion ou d'inflammabilité dans des conditions normales. Ces caractéristiques constituent la base d'un fonctionnement sûr, garantissant que les utilisateurs sont conscients de leur comportement physique et des réactions chimiques potentielles.

Les impacts sur la santé et l'environnement sont des éléments importants de la FDS, qui vise à évaluer les risques potentiels des feuilles de molybdène pour l'homme et l'environnement. Les comprimés de molybdène ne présentent aucun risque significatif pour la santé humaine dans des conditions normales d'utilisation, leur toxicité est extrêmement faible et les données sur la toxicité orale aiguë (DL50) ne sont

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

généralement pas disponibles, car le molybdène pur n'est pas considéré comme une substance toxique. Cependant, de la poussière ou des fumées de molybdène peuvent être produites pendant le traitement, comme la coupe, le meulage ou le soudage, l'inhalation de fortes concentrations de poussière peut provoquer une légère irritation respiratoire et une exposition à long terme peut provoquer une gêne pulmonaire. La fiche signalétique recommande d'éviter l'inhalation de poussière et de s'assurer que le lieu de travail est bien ventilé. Le contact de la peau et des yeux avec les feuilles de molybdène est généralement inoffensif, mais les arêtes vives peuvent provoquer des rayures mécaniques et doivent être manipulées en toute sécurité. D'un point de vue environnemental, les feuilles de molybdène elles-mêmes ne présentent pas de risque direct de pollution de l'eau, du sol et de l'air, mais la poussière ou les déchets de molybdène produits par le traitement peuvent avoir un impact sur l'environnement local s'ils ne sont pas correctement traités. La fiche signalétique souligne que les déchets de feuilles de molybdène doivent être triés et recyclés conformément aux réglementations locales et éviter les rejets directs dans l'environnement pour répondre aux exigences de protection de l'environnement.

La manipulation et le stockage en toute sécurité sont un élément clé de la fiche signalétique pour garantir l'utilisation en toute sécurité des feuilles de molybdène sur le lieu de travail. Les feuilles de molybdène de CTIA GROUP LTD doivent être stockées dans un environnement sec et bien ventilé, en évitant les températures élevées ($>600^{\circ}\text{C}$) et les atmosphères oxydantes pour éviter l'oxydation de surface. La zone de stockage doit être tenue à l'écart des oxydants forts (par exemple, de l'acide nitrique concentré) ou des sources d'inflammation à haute température, car le molybdène peut réagir avec l'oxygène à haute température pour former des MoO_3 . La fiche signalétique recommande l'utilisation d'un équipement de protection individuelle (EPI) approprié tel que des gants de protection, des lunettes de sécurité et des masques anti-poussière, en particulier lors de la coupe, du meulage ou du soudage, afin d'éviter l'inhalation de poussière ou les blessures mécaniques. Lors de l'utilisation de l'équipement, un système de ventilation par aspiration locale doit être équipé pour s'assurer que les concentrations de poussières sont inférieures aux limites d'exposition professionnelle (par exemple, OSHA PEL ou ACGIH TLV, la limite d'exposition recommandée pour la poussière de molybdène est d'environ 10 mg/m^3). En termes de transport, les feuilles de molybdène n'entrent pas dans la catégorie des marchandises dangereuses selon l'International Maritime Dangerous Goods (IMDG) ou l'Association du transport aérien international (IATA), mais elles doivent être correctement emballées pour éviter les dommages physiques ou la contamination. La FS recommande également que les installations d'entreposage soient inspectées régulièrement pour s'assurer qu'aucune humidité ou températures élevées ne peuvent affecter les propriétés des matériaux.

Les mesures d'urgence sont un autre élément central de la fiche signalétique, car elles fournissent des conseils pour une réponse rapide à des situations inattendues. En cas d'inhalation de poussière provenant du traitement des feuilles de molybdène, la fiche signalétique recommande de déplacer les personnes touchées à l'air frais et de consulter un médecin si les symptômes persistent. Lorsque la peau entre en contact avec la feuille de molybdène et provoque des égratignures, la plaie doit être immédiatement rincée à l'eau et un traitement approprié de la plaie doit être effectué ; Si de la poussière de molybdène pénètre dans vos yeux, rincez-les abondamment à l'eau pendant au moins 15 minutes et consultez un médecin. En cas d'incendie, la feuille de molybdène elle-même n'est pas inflammable, mais en cas d'oxydation à haute température, un agent extincteur en poudre sèche ou au dioxyde de carbone doit être

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utilisé, et l'agent extincteur à base d'eau doit être évité pour éviter que la réaction ne s'intensifie. En cas de déversement ou d'élimination des déchets, la FS exige l'utilisation d'un équipement d'aspiration ou de méthodes de nettoyage humide pour recueillir la poussière de molybdène afin d'éviter les poussières fugitives, et d'envoyer les déchets à une installation de recyclage autorisée pour élimination, et interdit la mise au rebut. Les coordonnées d'urgence comprennent généralement le numéro de téléphone et l'adresse d'urgence du fabricant en cas d'accident.

La fiche signalétique des puces en molybdène de CTIA GROUP LTD doit également être conforme aux exigences réglementaires internationales et régionales, telles que la norme de communication des dangers OSHA (29 CFR 1910.1200), le règlement REACH de l'UE (CE n° 1907/2006) et la norme chinoise GB/T 16483-2008. Le document est formaté en 16 sections de la norme SGH, y compris l'identification des substances, la classification des dangers, les informations sur les ingrédients, les mesures de premiers secours, les mesures de protection contre les incendies, l'intervention d'urgence en cas de déversement, l'exploitation et le stockage, le contrôle de l'exposition, les propriétés physicochimiques, la stabilité et la réactivité, les informations toxicologiques, les informations écologiques, les informations sur l'élimination, les informations sur le transport, les informations réglementaires et d'autres informations. La fiche signalétique doit être mise à jour tous les trois ans ou révisée à mesure que de nouvelles informations sur les dangers deviennent disponibles pour assurer l'exactitude et la conformité. Les utilisateurs peuvent obtenir les derniers documents de signalisation sur le site officiel de CTIA GROUP LTD ou contacter son service clientèle pour s'assurer que l'opération est conforme aux réglementations en matière de sécurité au travail et de protection de l'environnement.

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) \rightarrow Inspection \rightarrow Hot Rolling \rightarrow Leveling & Annealing \rightarrow Alkali Cleaning \rightarrow Inspection \rightarrow Warm Rolling \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Cold Rolling \rightarrow Leveling \rightarrow Shearing \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Packaging

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD feuille de molybdène

Chapitre 3 Classification des feuilles de molybdène

Les feuilles de molybdène sont classées de différentes manières, généralement en fonction de leur pureté, de la composition de leur alliage, de leur technologie de traitement ou de scénarios d'application pour répondre aux besoins de différents secteurs industriels. La pureté est l'une des bases importantes de la classification des feuilles de molybdène, car la pureté affecte directement ses propriétés physiques, chimiques et mécaniques, puis détermine son applicabilité dans les domaines de la haute température, de l'électronique, de l'aérospatiale et d'autres domaines. Avec sa haute qualité et ses normes de classification diversifiées, la feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD a été largement utilisée sur le marché. Ce qui suit se concentrera sur la classification des feuilles de molybdène par pureté, et analysera en détail les caractéristiques, les processus de préparation et les scénarios d'application des feuilles de molybdène de haute pureté (pureté de $\geq 99,95\%$) et des feuilles de molybdène de pureté ordinaire (pureté de 99% à $99,9\%$).

3.1 Classification des feuilles de molybdène par pureté

La classification par pureté est l'une des méthodes de classement les plus courantes pour les feuilles de molybdène, qui sont généralement divisées en feuilles de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$) et en feuilles de molybdène de pureté ordinaire (pureté $99\% - 99,9\%$) en fonction du niveau de pureté du molybdène métallique. La différence de pureté est principalement due au contrôle des impuretés dans le processus de purification des matières premières et le processus de production, ce qui affecte les paramètres de performance des feuilles de molybdène, tels que la conductivité électrique, la conductivité thermique, la résistance à la corrosion et la stabilité à haute température. Les feuilles de molybdène de différentes puretés diffèrent considérablement en termes de processus de production, de coût et de domaines d'application, les feuilles de molybdène de haute pureté étant généralement utilisées dans des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

environnements de haute précision et exigeants, tandis que les feuilles de molybdène de pureté ordinaire sont plus adaptées aux scénarios d'usage général sensibles aux coûts.

3.1.1 Feuilles de molybdène de haute pureté (\geq pureté de 99,95 %)

Les feuilles de molybdène de haute pureté font référence à des matériaux en feuilles minces avec une teneur en molybdène métallique de 99,95 % ou plus, qui sont généralement extraits de la molybdénite (MoS_2) par un processus de purification en plusieurs étapes, et utilisent une technologie avancée de fusion sous vide ou de raffinage par faisceau d'électrons pour éliminer les impuretés telles que l'oxygène, le carbone et l'azote. La teneur en impuretés est très faible (impuretés totales < 500 ppm), et la teneur en éléments tels que le fer, le nickel et le silicium est généralement contrôlée entre 10 et 50 ppm. Cette haute pureté confère d'excellentes propriétés électriques, thermiques et mécaniques aux feuilles de molybdène, telles qu'une résistivité aussi faible que $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, la conductivité thermique est d'environ $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ et la résistance à la traction peut atteindre $800\text{-}1000 \text{ MPa}$ à température ambiante. La qualité de surface de la feuille de molybdène de haute pureté est également meilleure, et la rugosité de surface peut être aussi faible que $R_a 0,4$ micron après polissage ou décapage, ce qui la rend adaptée aux applications de haute précision. Au cours du processus de production, les feuilles de molybdène de haute pureté doivent être frittées ($1800\text{-}2000^\circ\text{C}$) et laminées sous vide ou dans un gaz inerte de haute pureté (par exemple l'argon) pour éviter l'oxydation et l'introduction d'impuretés. Le processus de recuit ($1100\text{-}1300^\circ\text{C}$) optimise encore la structure du grain et améliore la ductilité et la ténacité. Les applications typiques des feuilles de molybdène de haute pureté comprennent les cibles de pulvérisation pour l'industrie des semi-conducteurs pour le dépôt de films minces de haute précision ; composants à haute température dans le secteur aérospatial, tels que les revêtements de tuyères de fusée ; et les matériaux de protection contre les rayonnements dans l'industrie nucléaire, qui réduisent les sections efficaces de piégeage des neutrons en raison de leur faible teneur en impuretés. De plus, les feuilles de molybdène de haute pureté fonctionnent également bien dans les anodes de tubes à rayons X et le blindage thermique des fours à vide à haute température, avec un point de fusion élevé (2620°C) et un faible coefficient de dilatation thermique ($4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) assurant la stabilité dans des conditions extrêmes. Cependant, le coût de préparation élevé des feuilles de molybdène de haute pureté et les processus complexes de purification et de traitement les rendent principalement utilisées dans des applications haut de gamme.

3.1.2 Feuilles de molybdène de pureté ordinaire (pureté de 99 % à 99,9 %)

Les feuilles de molybdène de pureté ordinaire font référence à des matériaux en flocons avec une teneur en molybdène comprise entre 99 % et 99,9 %, et leur teneur en impuretés ($1000\text{-}10\ 000$ ppm) est supérieure à celle des feuilles de molybdène de haute pureté, et les impuretés courantes comprennent le fer, le nickel, le carbone, l'oxygène, etc., et le contenu peut être de l'ordre de 100 à 500 ppm. Les performances des feuilles de molybdène de pureté ordinaire sont légèrement inférieures à celles des feuilles de molybdène de haute pureté, par exemple, la résistivité est légèrement supérieure (environ $5,5\text{-}6,0 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$), la conductivité thermique est légèrement inférieure (environ $130\text{-}135 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) et la résistance à la traction est de $700\text{-}900 \text{ MPa}$ à température ambiante. Pourtant, ses performances sont suffisantes pour de nombreux besoins industriels et ses coûts de production sont faibles, ce qui le rend adapté à la production à grande échelle et aux applications sensibles aux coûts. Le processus de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

préparation des feuilles de molybdène de pureté ordinaire est relativement simplifiée, et la technologie conventionnelle de métallurgie des poudres est généralement utilisée pour obtenir de l'oxyde de molybdène (MoO_3) en torréfiant la molybdénite), qui est ensuite réduite par l'hydrogène pour produire de la poudre de molybdène, qui est ensuite frittée et roulée. Le processus de frittage peut être effectué sous protection hydrogène (1600-1800°C) pour réduire le risque d'oxydation, mais les exigences de contrôle des impuretés ne sont pas aussi strictes que celles des feuilles de molybdène de haute pureté. Le traitement de surface est principalement décapé ou sablé, et la rugosité de surface est généralement comprise entre Ra 0,8 et 1,6 microns, ce qui répond aux besoins des applications générales. Les feuilles de molybdène de pureté ordinaire sont largement utilisées dans le blindage thermique des fours à haute température, le revêtement résistant à la corrosion des équipements chimiques et les matériaux d'électrode de faible précision dans l'industrie électronique. Par exemple, dans un four de chauffage résistif, des feuilles de molybdène de pureté ordinaire sont utilisées comme éléments chauffants ou structures de support pour résister à des températures élevées de 1000-1500°C. Dans certains composants mécaniques, sa résistance et sa ductilité modérées en font également un choix économique. Bien que les feuilles de molybdène de pureté ordinaire soient légèrement inférieures aux feuilles de molybdène de haute pureté en termes de résistance à la corrosion et de stabilité à haute température, elles présentent des avantages significatifs en termes de rentabilité dans les environnements non oxydants ou les scénarios avec des exigences de précision moyennes.

3.2 Classification des feuilles de molybdène selon le procédé de fabrication

Le processus de fabrication de la feuille de molybdène a un impact important sur ses propriétés, sa microstructure et ses scénarios d'application, de sorte que la classification par processus de fabrication est un autre moyen important de classer la feuille de molybdène. Le processus de fabrication comprend principalement la métallurgie des poudres et le processus de laminage, dans lequel le processus de laminage est divisé en deux manières : le laminage à chaud et le laminage à froid. Les feuilles de molybdène produites par différents procédés présentent des différences significatives en termes de structure de grain, de qualité de surface, de propriétés mécaniques et de coût, etc., pour répondre aux divers besoins de l'industrie à haute température en matière d'électronique de précision. En optimisant le processus de fabrication, la feuille de molybdène CTIA GROUP LTD garantit que les performances du produit répondent aux exigences de scénarios d'application spécifiques. Ce qui suit traite en détail des caractéristiques du processus, des performances et des domaines d'application des feuilles de molybdène, des feuilles de molybdène laminées à chaud et des feuilles de molybdène laminées à froid fabriquées par métallurgie des poudres.

3.2.1 Feuilles de molybdène fabriquées par métallurgie des poudres

La métallurgie des poudres est le procédé de base pour la production de feuilles de molybdène, qui convient à la préparation de matériaux en feuilles de molybdène de haute pureté et de formes complexes. Le processus comprend l'extraction de l'oxyde de molybdène (MoO_3) à partir de la molybdénite (MoS_2), qui est réduit par l'hydrogène pour produire une poudre de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$), qui est ensuite pressée, frittée et ensuite traitée. La poudre de molybdène est généralement pressée dans une billette à haute pression (100-200 MPa) et frittée sous vide ou sous atmosphère protectrice

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'hydrogène (température 1800-2000°C) pour former une billette de molybdène dense. Au cours du processus de frittage, les particules de poudre de molybdène sont combinées par diffusion, et la taille des grains est généralement contrôlée à 10-50 microns, et la densité peut atteindre plus de 98 %. Les feuilles de molybdène fabriquées par métallurgie des poudres ont une microstructure uniforme et une grande pureté, et la teneur en impuretés (par exemple, l'oxygène, le carbone) peut être contrôlée à une vitesse inférieure de 50 ppm, ce qui les rend adaptées aux applications de haute précision. La densité de la feuille de molybdène résultante est proche de la valeur théorique (10,22 g/cm³), la résistance à la traction est d'environ 700-900 MPa à température ambiante et la rugosité de surface (Ra 0,8-1,6 microns) peut être optimisée par un polissage ultérieur. L'avantage du procédé de métallurgie des poudres est la possibilité de produire des feuilles de molybdène ultra-minces (0,01-0,1 mm d'épaisseur) ainsi que des ébauches de forme personnalisée, adaptées aux cibles de pulvérisation dans l'industrie des semi-conducteurs et au blindage thermique dans les fours à haute température. Cependant, le coût élevé de ce processus et la longue durée du cycle limitent son utilisation dans des applications à grande échelle et à faible coût. Les feuilles de molybdène fabriquées par métallurgie des poudres sont largement utilisées dans les industries électronique, nucléaire et aérospatiale, par exemple comme matériaux d'anode pour les tubes à rayons X ou comme composants de fours à vide à haute température.

3.2.2 Feuilles de molybdène laminées à chaud fabriquées par laminage

Le processus de laminage à chaud consiste à préparer des feuilles de molybdène d'une épaisseur de 0,5 à 3 mm en laminant des billettes de molybdène à des températures élevées (généralement 1000-1400°C). Le processus de laminage à chaud est généralement effectué sous vide ou sous la protection d'un gaz inerte tel que l'argon pour éviter l'oxydation du molybdène à haute température. Les billettes de molybdène sont d'abord préparées par métallurgie des poudres, puis laminées en plusieurs passes dans un laminoir à haute température avec une déformation contrôlée de 20 à 30 % à chaque fois pour amincir progressivement et améliorer la structure du grain. Les feuilles de molybdène laminées à chaud ont une granulométrie plus grande (50-100 microns) et sont recristallisées en raison d'un traitement à haute température, ce qui leur confère une bonne ductilité (allongement à la rupture d'environ 10-15 %) et une faible contrainte interne. La résistance à la traction de la tôle de molybdène laminée à chaud est d'environ 600-800 MPa à température ambiante, ce qui est légèrement inférieur à celui de la feuille de molybdène laminée à froid, mais sa résistance à haute température (environ 500 MPa à 1000°C) est excellente et convient aux environnements à haute température. En termes de qualité de surface, la rugosité de surface de la feuille de molybdène laminée à chaud est généralement de Ra 1,0 à 2,0 microns, ce qui peut être optimisé par décapage ou sablage. L'avantage du processus de laminage à chaud est qu'il a une efficacité de production élevée, qu'il convient à la fabrication de feuilles de molybdène plus épaisses et que le coût est inférieur à celui de la métallurgie des poudres, mais la précision du contrôle de l'épaisseur ($\pm 0,05$ mm) est légèrement inférieure à celle du processus de laminage à froid. Les feuilles de molybdène laminées à chaud sont largement utilisées dans les éléments chauffants des fours à haute température, les pièces structurelles aérospatiales (par exemple, les supports de pales de turbine) et les revêtements résistants à la corrosion pour les équipements chimiques, où elles répondent aux exigences de précision et de durabilité modérées en raison de leur combinaison de résistance et de stabilité à haute température.

3.2.3 Feuilles de molybdène laminées à froid fabriquées par laminage

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le processus de laminage à froid consiste à laminier davantage de billettes de molybdène ou de feuilles de molybdène laminées à chaud à température ambiante ou proche de celle-ci pour produire des feuilles de molybdène ultra-minces d'une épaisseur généralement de 0,01 à 1 mm. Le processus de laminage à froid est réalisé par un laminoir de haute précision, et la quantité de déformation est contrôlée à 10-20 % à chaque fois pour éviter les contraintes excessives et la fissuration. La granulométrie des grains de la feuille de molybdène laminée à froid est petite (5-20 microns), et en raison de l'effet d'écrouissage important, la densité de dislocation augmente, de sorte que sa résistance à la traction peut atteindre 900-1200 MPa à température ambiante, ce qui est beaucoup plus élevé que celle de la feuille de molybdène laminée à chaud. Cependant, les feuilles de molybdène laminées à froid ont une faible ductilité (allongement à la rupture d'environ 5-8 %), et il est souvent nécessaire d'améliorer la ténacité par recuit de détente (800-1100°C), et la résistance est légèrement réduite à 800-1000 MPa après recuit, mais l'allongement à la rupture peut être augmenté à 10-12 %. La qualité de surface de la feuille de molybdène laminée à froid est excellente, la rugosité de surface peut être aussi faible que Ra 0,4 micron après polissage et la tolérance d'épaisseur est contrôlée à $\pm 0,005$ mm, ce qui répond aux besoins des applications de haute précision. L'avantage du processus de laminage à froid est qu'il peut produire des feuilles de molybdène ultra-fines et à haute résistance, qui conviennent aux cibles de pulvérisation de haute précision, aux substrats d'emballage de semi-conducteurs et aux composants électroniques flexibles dans l'industrie électronique. Cependant, le processus de laminage à froid est très exigeant, et la lubrification et la température pendant le processus de traitement doivent être étroitement contrôlées pour éviter les défauts de surface ou les fissures. Les feuilles de molybdène laminées à froid sont largement utilisées dans le dépôt de couches minces, la microélectronique et les dispositifs médicaux (tels que les assemblages de tubes à rayons X) en raison de leur haute résistance, de leur excellente qualité de surface et de leur précision dimensionnelle, ce qui en fait le matériau de choix pour la fabrication haut de gamme.

3.3 Classification des feuilles de molybdène selon les domaines d'application

Les propriétés diversifiées des feuilles de molybdène les rendent largement utilisées dans de nombreux domaines industriels et peuvent être divisées en domaines électroniques, industries métallurgiques, domaines chimiques, domaines aérospatiaux et autres domaines selon différents scénarios d'application. Différentes applications nécessitent des niveaux variables de pureté, d'épaisseur, de qualité de surface et de performance pour les feuilles de molybdène, ce qui incite les fabricants à optimiser leurs processus de production pour répondre à des besoins spécifiques. Avec ses caractéristiques de haute qualité et de personnalisation, la feuille de molybdène CTIA GROUP LTD a bien fonctionné dans divers domaines. Ce qui suit aborde en détail les caractéristiques d'application, les exigences de performance et les utilisations typiques des feuilles de molybdène dans l'électronique, l'industrie métallurgique, l'industrie chimique, l'aérospatiale et d'autres domaines.

3.3.1 Feuilles de molybdène utilisées dans le domaine électronique

Dans le domaine de l'électronique, les feuilles de molybdène sont connues pour leur excellente conductivité électrique (résistivité d'environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), leur conductivité thermique (environ 138

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

W/m·K) et leur faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), en particulier dans la fabrication de semi-conducteurs et les dispositifs microélectroniques. Les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) sont préférées dans le domaine de l'électronique en raison de leur faible teneur en impuretés pour réduire la résistance aux joints de grains et les émissions de gaz, garantissant ainsi la fiabilité du dispositif.

Les feuilles de molybdène sont couramment utilisées dans les cibles de pulvérisation pour produire des couches conductrices pour les transistors à couche mince (TFT), les cellules solaires et les circuits intégrés, généralement avec une épaisseur de 0,01 à 0,1 mm et une rugosité de surface aussi faible que Ra 0,4 micron pour assurer l'uniformité du film. De plus, les feuilles de molybdène sont utilisées comme substrats de dissipation thermique dans les emballages électroniques et sont compatibles avec le silicium (coefficient de dilatation thermique d'environ $2,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) et a une bonne correspondance thermique avec les matériaux céramiques, ce qui peut réduire efficacement le stress thermique et prolonger la durée de vie de la puce. Dans les tubes à rayons X, les feuilles de molybdène sont utilisées comme anode ou matériau de support pour résister au bombardement d'électrons à haute énergie en raison de leur point de fusion élevé (2620°C) et de leur bonne conductivité électrique. Dans la production, les feuilles de molybdène dans le domaine de l'électronique doivent être laminées à froid et recuites sous vide ($1100-1300^{\circ}\text{C}$) pour garantir une précision et une qualité de surface élevées. Ces propriétés des feuilles de molybdène les rendent indispensables dans les industries des semi-conducteurs, de l'affichage et de l'optoélectronique.

3.3.2 Feuilles de molybdène utilisées dans l'industrie métallurgique

Dans l'industrie métallurgique, les feuilles de molybdène sont principalement utilisées dans les composants des fours à haute température et des équipements de fusion, avec leur point de fusion élevé (2620°C) et leur excellente résistance à haute température (résistance à la traction d'environ 700 MPa à 1200°C). Les feuilles de molybdène de pureté ordinaire (99 % à 99,9 %) sont couramment utilisées dans la fabrication de boucliers thermiques, d'éléments chauffants et de revêtements de creusets en raison de leur faible coût, et la plage d'épaisseur est généralement de 0,5 à 3 mm. En raison de sa bonne ductilité (allongement à la rupture d'environ 10 à 15 %) et de sa faible contrainte interne, la tôle de molybdène laminée à chaud convient à l'usinage de composants de forme complexe dans des fours à haute température. Sous vide ou sous atmosphère inerte (comme l'argon ou l'azote), les feuilles de molybdène peuvent résister à des températures élevées supérieures à 1500°C sans déformation, et sont largement utilisées dans les fours de frittage à haute température, les fours de croissance de monocristaux et les équipements de fusion du verre. La résistance au fluage des feuilles de molybdène à haute température (taux de fluage aussi bas que $10^{-6}/\text{s}$ à 1200°C) garantit la stabilité sous des charges à haute température à long terme. Dans la production, les feuilles de molybdène métallurgique utilisent principalement la métallurgie des poudres et les processus de laminage à chaud, et la surface peut être décapée pour améliorer la résistance à la corrosion. L'utilisation de feuilles de molybdène dans l'industrie métallurgique a considérablement amélioré la durabilité des équipements et l'efficacité des processus, par exemple en tant que composant clé dans la fusion du tungstène, du molybdène et d'autres métaux réfractaires.

3.3.3 Feuilles de molybdène utilisées dans l'industrie chimique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dans l'industrie chimique, les feuilles de molybdène sont largement utilisées dans les revêtements de réacteurs, les matériaux d'électrodes et les composants résistants à la corrosion en raison de leur excellente résistance à la corrosion, en particulier dans les acides non oxydants (tels que l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique) et les environnements alcalins, avec un taux de corrosion inférieur à 0,01 mm/an dans l'acide chlorhydrique à 10 % (20 °C). Les feuilles de molybdène de pureté ordinaire (99 %-99,9 %) sont souvent utilisées dans les équipements chimiques en raison de leur grande rentabilité, l'épaisseur est généralement de 0,2 à 2 mm et la surface est principalement décapée (Ra 0,8-1,6 microns) pour assurer la propreté. Les feuilles de molybdène sont utilisées comme matériaux d'électrode dans l'industrie électrochimique, par exemple dans l'électrolyse du chlore ou de l'hydrogène, et résistent aux électrolytes corrosifs en raison de leur conductivité élevée et de leur stabilité chimique. Cependant, les feuilles de molybdène sont sensibles à la formation de MoO₃ volatils dans les acides oxydants (par exemple, l'acide nitrique concentré) ou dans les atmosphères oxydantes à haute température, qui doivent être appliquées par des revêtements de surface (par exemple, les siliciures) ou dans une atmosphère inerte pour une protection accrue. En production, les feuilles chimiques de molybdène sont optimisées grâce à la métallurgie des poudres et au processus de laminage, et les impuretés d'oxygène et d'azote (<100 ppm) sont strictement contrôlées pour améliorer la résistance à la corrosion. L'utilisation de feuilles de molybdène dans l'industrie chimique, telles que les revêtements de réacteur résistants à la corrosion et les matériaux de support de tuyau, augmente considérablement la durée de vie des équipements dans des environnements chimiques difficiles.

3.3.4 Feuilles de molybdène utilisées dans le domaine aérospatial

Dans le secteur aérospatial, les feuilles de molybdène sont utilisées pour les composants structurels à haute température et résistants à la chaleur en raison de leur résistance élevée (résistance à la traction 800-1000 MPa à température ambiante), de leur point de fusion élevé (2620°C) et de leur faible coefficient de dilatation thermique ($4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) ou les feuilles de molybdène en alliage TZM (contenant du titane et du zirconium) sont dues à leurs excellentes propriétés à haute température (résistance à la traction jusqu'à 800 MPa à 1500 °C) et à leur résistance au fluage (taux de fluage 10^{-6} /s), qui sont couramment utilisés pour les revêtements de tuyère de fusée, les supports d'aube de turbine et le blindage thermique des véhicules de rentrée. La faible densité de la feuille de molybdène (10,22 g/cm³) présente un avantage de poids par rapport au tungstène (19,25 g/cm³), qui convient aux exigences d'allègement de l'aérospatiale. Les feuilles de molybdène laminées à froid sont largement utilisées dans les composants de précision tels que les systèmes de contrôle thermique par satellite en raison de leur haute précision (tolérance d'épaisseur $\pm 0,005$ mm) et de leur qualité de surface (Ra $\leq 0,4$ micron). Dans la production de feuilles de molybdène pour l'aérospatiale, des processus de frittage sous vide et de laminage en plusieurs passes sont utilisés pour s'assurer que les grains sont petits (5-20 microns) afin d'améliorer la résistance et la ténacité. L'utilisation de feuilles de molybdène dans le secteur aérospatial améliore considérablement la fiabilité des composants soumis à des températures et des contraintes mécaniques extrêmement élevées, comme dans les moteurs de fusée et les systèmes de propulsion à haute température.

3.3.5 Feuilles de molybdène utilisées dans d'autres domaines

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dans d'autres domaines, les feuilles de molybdène sont utilisées dans les applications médicales, énergétiques et de recherche scientifique en raison de leur polyvalence. Dans le domaine médical, les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) sont utilisées dans les cibles d'anode pour les équipements à rayons X et CT, qui peuvent résister à un bombardement d'électrons à haute énergie en raison de leur point de fusion et de leur conductivité élevés, généralement de 0,1 à 1 mm d'épaisseur, et la surface doit être polie à Ra 0,4 micron pour assurer l'uniformité du rayonnement. Dans le secteur de l'énergie, les feuilles de molybdène sont utilisées dans les électrodes arrière des cellules solaires à couche mince et dans le blindage radiologique des réacteurs nucléaires en raison de leur faible section efficace de capture thermique des neutrons et de leur grande stabilité à la température (stable à 1500°C). Dans le domaine de la recherche scientifique, les feuilles de molybdène sont largement utilisées dans les expériences de science des matériaux et de physique comme substrat d'échantillon ou matériau d'électrode pour les expériences à haute température, et son épaisseur peut être aussi faible que 0,01 mm pour répondre aux besoins des expériences de haute précision. D'autres applications incluent le traitement des bijoux (en tant que moules à haute température) et l'industrie de l'éclairage (en tant que matériaux de support de filament). En production, ces feuilles de molybdène sont produites à l'aide de procédés de laminage à froid et de recuit sous vide afin d'optimiser la structure du grain et la qualité de surface pour répondre à des besoins spécifiques. Malgré la variété des applications, ces feuilles de molybdène sont souvent utilisées sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter l'oxydation à haute température et garantir des performances constantes.



CTIA GROUP LTD feuille de molybdène

Chapitre 4 Processus de production et de préparation des feuilles de molybdène

4.1 Préparation des matières premières avant la production de feuilles de molybdène

Le processus de production et de préparation des feuilles de molybdène commence par l'acquisition et le traitement de matières premières de haute qualité, qui sont les maillons clés pour garantir les performances des feuilles de molybdène, qui affectent directement leur pureté, leur microstructure et les résultats finaux de l'application. La matière première des feuilles de molybdène est principalement dérivée du minerai de molybdène, dont la molybdénite (MoS_2) est la principale source de molybdène. Le processus de préparation des matières premières comprend l'extraction du minerai, l'enrichissement et la purification initiale afin de fournir une poudre de molybdène de haute pureté pour les processus ultérieurs de métallurgie des poudres et de laminage. Les feuilles de molybdène de CTIA GROUP LTD garantissent une pureté et une consistance élevées des matières premières grâce à un processus de préparation strict des matières premières, et répondent aux exigences strictes de l'aérospatiale, de l'électronique et des industries à haute température. Ce qui suit traite en détail des types et des caractéristiques du minerai de molybdène, des méthodes d'extraction et d'enrichissement, en mettant l'accent sur les caractéristiques et la distribution de la molybdénite, ainsi que sur le processus et les points clés de l'exploitation minière à ciel ouvert.

4.1.1 Types et caractéristiques du minerai de molybdène

Le minerai de molybdène est la matière première de base pour la production de feuilles de molybdène, principalement sous forme de sulfures, et la molybdénite (MoS_2) est le minéral de molybdène le plus courant, représentant la majeure partie des ressources mondiales en molybdène. D'autres types de minerais de molybdène comprennent le molybdate (par exemple, le molybdate de calcium, CaMoO_4) et

l'oxyde de molybdénite (par exemple, MoO_3). Cependant, il est moins utilisé en raison des faibles réserves ou de la difficulté d'exploitation. La molybdénite est devenue la principale matière première pour la production de feuilles de molybdène en raison de sa teneur élevée en molybdène (environ 60 % de molybdène) et de sa séparation facile. Les propriétés du minerai de molybdène affectent directement le processus de purification et les performances de la feuille de molybdène finale, par exemple, les impuretés dans le minerai (telles que le cuivre, le fer, le silicium) affecteront la pureté de la poudre de molybdène, qui doit être éliminée par enrichissement et traitement chimique. De plus, les propriétés physiques du minerai de molybdène, telles que la dureté et la structure cristalline, affectent également l'efficacité du broyage et de l'enrichissement. Le minerai de molybdène est souvent associé au minerai de cuivre porphyrique ou à d'autres minéraux sulfurés, qui nécessitent un processus de tri complexe pour extraire un concentré de molybdène à haute teneur.

4.1.1.1 Caractéristiques et distribution de la molybdénite

La molybdénite (MoS_2) est un minéral sulfuré stratifié avec un éclat gris argenté à ferreux avec une dureté de 1 à 1,5 sur l'échelle de Mohs et une densité d'environ 4,7 à 5,0 g/cm^3 . Sa composition chimique est principalement du molybdène (59,94 %) et du soufre (40,06 %), et la structure cristalline est un système cristallin hexagonal, et la force de liaison entre les couches est faible, ce qui lui confère un bon pouvoir lubrifiant et un pelage facile. La molybdénite est souvent dans la nature des flocons ou des écailles et est facile à séparer par flottation. Il est thermiquement stable et commence à s'oxyder pour former MoO_3 lorsqu'il est chauffé à 600°C dans l'air, mais peut résister à des températures plus élevées (environ 1200°C) dans une atmosphère inerte. La stabilité chimique de la molybdénite la rend résistante aux attaques acides et alcalines, mais il est facile de réagir avec des oxydants (tels que l'acide nitrique), il est donc nécessaire de faire attention au contrôle de l'environnement dans le processus d'enrichissement et de purification. La répartition des ressources en molybdénite dans le monde est concentrée, et les principales zones de production comprennent la Chine (représentant environ 40 % des réserves mondiales, principalement dans le Henan, le Shaanxi, le Jilin et d'autres endroits), les États-Unis (Colorado, Montana), le Chili, le Canada et l'Australie. La région de Luanchuan à Luoyang, en Chine, est la plus grande zone d'extraction de molybdène au monde, avec des teneurs de minerai allant généralement de 0,1 % à 0,3 % (teneur en molybdène), et les minerais à haute teneur peuvent atteindre plus de 0,5 %. La molybdénite est souvent associée à des minerais sulfurés tels que le cuivre, le plomb, le zinc, etc., et la teneur en éléments associés (tels que le fer et le cuivre) doit être strictement contrôlée par enrichissement pour garantir la pureté de la poudre de molybdène ($\geq 99,95\%$) pour la purification ultérieure.

4.1.2 Méthodes d'extraction et d'enrichissement du minerai de molybdène

L'extraction et l'enrichissement du minerai de molybdène constituent l'étape centrale de la préparation des matières premières, visant à extraire un concentré de molybdène à haute teneur à partir d'un minerai à faible teneur et à fournir des matières premières de haute qualité pour la purification métallurgique ultérieure. Les méthodes d'exploitation sont divisées en exploitation à ciel ouvert et en exploitation souterraine en fonction des conditions géologiques du gisement, et l'exploitation minière à ciel ouvert est dominante en raison de son faible coût et de sa grande efficacité, et convient aux grands gisements peu profonds. La méthode d'enrichissement utilise principalement la technologie de flottation, combinée à la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

séparation par gravité, à la séparation magnétique et à d'autres moyens auxiliaires, pour séparer la molybdénite dans le minerai de molybdène des minéraux associés, et obtenir un concentré contenant $\geq 50\%$ de molybdène. Dans le processus d'enrichissement, la taille des particules de broyage (généralement jusqu'à -200 mesh, environ 74 microns), les réactifs de flottation (tels que le xanthate, l'agent moussant) et la valeur du pH (8-10) doivent être strictement contrôlés pour améliorer le taux de récupération de la molybdénite (généralement 85-95 %). Après enrichissement, le concentré de molybdène doit être davantage torréfié pour produire de l'oxyde de molybdène (MoO_3), qui jette les bases de la réduction ultérieure de l'hydrogène pour préparer la poudre de molybdène. L'efficacité de l'enrichissement et la pureté du concentré affectent directement les performances des feuilles de molybdène, par exemple, des niveaux élevés d'impuretés (fer, cuivre) peuvent réduire la conductivité et la résistance à la corrosion des feuilles de molybdène.

4.1.2.1 Procédé d'extraction à ciel ouvert du minerai de molybdène et points clés

L'exploitation minière à ciel ouvert est le principal mode d'extraction du molybdène, qui convient aux gisements avec un enfouissement peu profond du corps de minerai et de grandes réserves, comme Luanchuan en Chine et la mine Klemax aux États-Unis. Le processus comprend l'exploration, le décapage, le dynamitage, le chargement, le transport et le stockage. Au cours de la phase d'exploration, des forages géologiques et des méthodes géophysiques sont utilisés pour déterminer l'emplacement du corps minéralisé, la teneur (généralement de 0,1 % à 0,3 % de molybdène) et les réserves, et pour élaborer un plan d'exploitation minière. La phase de décapage enlève la couche arable et les stériles qui recouvrent le corps minéralisé, et le rapport de décapage (rapport entre les stériles et le volume du minerai) est généralement de 3:1 à 10:1 et doit être optimisé pour réduire les coûts. Le dynamitage utilise des explosifs contrôlés avec précision (tels que le nitrate d'ammonium) pour broyer le corps minéralisé, la taille du trou de dynamitage est généralement de 100 à 250 mm et la taille des particules de minerai est contrôlée à 0,1 à 1 m après le dynamitage pour le concassage ultérieur. De grandes pelles (10 à 30 mètres cubes de capacité de godet) et des camions à benne basculante (50 à 200 tonnes de charge) sont utilisés pour transporter le minerai vers le concentrateur. À l'étape de l'empilement, il est nécessaire de classer et d'empiler en fonction de la teneur pour éviter le mélange des minerais à haute et à basse teneur.

Les principaux points à retenir de l'exploitation minière à ciel ouvert sont les suivants : optimiser la conception du dynamitage pour réduire la dilution du minerai (cible $< 10\%$) et améliorer l'uniformité de la teneur ; La deuxième consiste à utiliser des équipements à haut rendement, tels que des pelles électriques et des camions lourds, pour améliorer l'efficacité de la production (jusqu'à 100 000 tonnes de minerai par jour) ; Le troisième est la protection de l'environnement, en contrôlant les poussières de sablage (suppression des poussières par pulvérisation) et les rejets d'eaux usées (taux de recyclage $> 80\%$), dans le respect des réglementations de protection de l'environnement. Le minerai de molybdène à ciel ouvert entre dans le processus d'enrichissement après le concassage préliminaire, fournissant des matières premières de haute qualité pour la production de feuilles de molybdène.

4.1.2.2 Méthodes d'extraction souterraine du minerai de molybdène

La production de feuilles de molybdène repose sur des matières premières de minerai de molybdène de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

haute qualité, tandis que l'exploitation minière souterraine est l'acquisition de minerai de molybdène (MoS_2) dans des conditions géologiques profondes ou complexes. Il convient aux gisements où le corps minéralisé est enterré profondément ou les conditions de surface ne conviennent pas à l'exploitation minière à ciel ouvert, comme certaines mines de molybdène à Jilin, Chine ou Canada. Le processus d'exploitation minière souterraine comprend la construction de mines, l'aménagement routier, l'exploitation minière à l'explosif, le levage du minerai et le transport à surface. La construction de la mine commence par l'ouverture du corps minéralisé par des puits verticaux ou inclinés, équipés de systèmes de ventilation, de drainage et de levage pour assurer la sécurité des opérations. Le creusement de tunnels routiers adopte une méthode de linteau ou de dynamitage, et des routes horizontales ou inclinées sont posées le long du corps minéralisé, et la taille de la chaussée est généralement de 3 à 5 mètres de large et de 3 à 4 mètres de haut. Dans l'étape de l'exploitation minière, la méthode de la chambre et du pilier ou la méthode de remplissage est principalement adoptée, et la méthode de la pièce et du pilier soutient le toit en retenant le pilier de minerai, et le taux de récupération est d'environ 70-80 %; La méthode de remplissage remplit le goaf avec des résidus ou du ciment, et le taux de récupération peut atteindre plus de 90 %, mais le coût est élevé. Le dynamitage utilise des charges de précision, telles que des explosifs à émulsion, pour briser le minerai à une taille de particule de 0,1 à 0,5 mètre, qui est ensuite remontée à la surface par des chargeurs et des wagonnets de mines.

Les points clés de l'exploitation minière souterraine sont : d'abord, la gestion de la sécurité, qui nécessite un contrôle strict de la ventilation (volume d'air $\geq 3 \text{ m}^3/\text{s}$ -personne) et du support (ancrages, treillis métallique) pour éviter l'effondrement ; La seconde est d'optimiser la séquence d'extraction, de privilégier l'exploitation de gisements à haute teneur (teneur en molybdène de 0,2 à 0,5 %) et de réduire le taux de dilution (cible $<15 \%$) ; Le troisième est la conservation de l'énergie et la protection de l'environnement, en utilisant des équipements à faible consommation d'énergie (comme des chargeuses électriques) et des remblais de résidus pour réduire l'impact environnemental. Le minerai de molybdène extrait sous terre entre dans le processus d'enrichissement après le concassage préliminaire, fournissant des matières premières stables pour la production de feuilles de molybdène.

4.1.2.3 Principes et procédés de la méthode de flottation du minerai de molybdène

La flottation est la méthode de base de l'enrichissement de la molybdénite, qui est largement utilisée pour extraire le concentré de molybdène à haute teneur à partir de molybdénite à faible teneur, et son principe est basé sur la différence entre l'hydrophobicité de la molybdénite et l'hydrophilie des minéraux associés. La molybdénite (MoS_2) est naturellement hydrophobe en surface et est facilement adsorbée par des collecteurs (tels que le xanthate ou le mercaptan) et attachée aux bulles, tandis que les minéraux associés (tels que le quartz, le feldspath) sont hautement hydrophiles et restent dans la boue. Le processus de flottation se compose de cinq étapes : concassage, broyage, boue, flottation et déshydratation. Le concassage écrase le minerai brut (granulométrie 0,1-1 m) à 10-50 mm, et le broyage broie davantage le minerai à -200 mailles (environ 74 microns), de sorte que le degré de dissociation du monomère de molybdénite atteint plus de 80 %. Au cours de l'étape de conditionnement de la boue, un collecteur (p. ex., xanthate butyle, 0,1-0,3 kg/t), un agent moussant (p. ex., terpinéol, 0,05-0,1 kg/t) et un inhibiteur (p. ex., silicate de sodium, 0,5-1 kg/t) ont été ajoutés pour ajuster le pH de la boue à 8-10 afin d'optimiser l'effet de flottation. La flottation a lieu dans une cellule de flottation, où des bulles (air ou azote) sont

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

agitées pour amener la molybdénite à la couche de mousse afin de produire un concentré de molybdène (50 à 60 % de teneur en molybdène) avec un taux de récupération généralement de 85 à 95 %. Les résidus sont ensuite récupérés par flottation en plusieurs étapes pour récupérer le molybdène résiduel. La déshydratation réduit l'humidité du concentré à moins de 10 % à l'aide d'un épaississant et d'un filtre-pressé. Les avantages de la flottation sont qu'elle est très efficace et adaptable, et qu'elle peut traiter des minerais à faible teneur (teneur en molybdène de 0,1 à 0,3 %), mais elle doit contrôler strictement la quantité de produits chimiques et le traitement des eaux usées (taux de recyclage > 80 %) pour réduire la pollution de l'environnement. Le concentré de molybdène obtenu par flottation fournit des matières premières de haute qualité pour la torréfaction et la purification ultérieures.

4.1.2.4 Principes et procédés de la méthode de séparation par gravité du minerai de molybdène

La méthode de séparation par gravité est une méthode auxiliaire pour l'enrichissement de la molybdénite, qui utilise la différence de densité entre la molybdénite (densité 4,7-5,0 g/cm³) et les minéraux associés (tels que le quartz, densité 2,65 g/cm³) pour la séparation, ce qui convient à la récupération de la molybdénite à gros grains ou des minéraux lourds associés. Le principe de la séparation par gravité est basé sur la sédimentation par gravité ou la force centrifuge, et la molybdénite se dépose rapidement dans les équipements de séparation par gravité en raison de sa haute densité, tandis que les minéraux légers de la gangue sont emportés. Le processus de séparation par gravité comprend le concassage, le broyage, la classification, la séparation par gravité et l'assèchement. Le minerai brut est d'abord concassé à 50-100 mm et broyé à 0,5-2 mm pour libérer des particules de molybdénite. Le calibrage est effectué à l'aide d'un classificateur à spirale ou d'un hydrocyclone pour diviser la boue en grains grossiers et fins, et les grains grossiers (>0,5 mm) entrent dans l'équipement de séparation par gravité. Les gabarits ou les agitateurs sont couramment utilisés pour la séparation par gravité, et la machine à jigger stratifie les particules de minerai en fonction de leur densité grâce à l'écoulement d'eau pulsé, et la molybdénite coule dans la couche inférieure pour produire un concentré grossier (teneur en molybdène de 20 à 40 %) ; Le vibreur utilise le flux latéral de l'eau et les vibrations pour atteindre un taux de récupération de 70 à 85 %. La boue à grain fin (<0,5 mm) est généralement transférée au processus de flottation. La déshydratation réduit l'humidité du concentré de séparation par gravité à moins de 10 %. Les avantages de la séparation par gravité sont que l'équipement est simple, que le coût est faible et qu'il convient au traitement du minerai à gros grains à haute teneur (teneur en molybdène >0,3 %), mais il est moins efficace pour le minerai à grains fins et est souvent utilisé en combinaison avec la flottation. Le concentré de séparation par gravité doit faire l'objet d'une flottation et d'une purification supplémentaires afin de fournir des matières premières de haute qualité pour la production de feuilles de molybdène.

4.1.2.5 Principes et procédés de séparation magnétique du minerai de molybdène

La séparation magnétique est un moyen auxiliaire d'enrichissement du minerai de molybdène, qui est utilisé pour éliminer les impuretés magnétiques (telles que la magnétite, le Fe₃O₄) ou les minéraux magnétiques associés dans la molybdénite et améliorer la pureté du concentré de molybdène. Le principe de la séparation magnétique est basé sur les différences magnétiques des minéraux, la molybdénite est un matériau non magnétique (susceptibilité magnétique < 10⁻⁶ cm³/g), tandis que la magnétite a un fort magnétisme (susceptibilité magnétique 10²-10³ cm³/g), qui est facilement adsorbé dans le champ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

magnétique. Le processus de séparation magnétique comprend le broyage, le broyage, la séparation magnétique et la déshydratation. Le minerai brut est broyé à 50-100 mm et broyé à -200 mesh (environ 74 microns) pour dissocier les impuretés magnétiques de la molybdénite. La séparation magnétique adopte un séparateur magnétique humide, l'intensité du champ magnétique est généralement de 0,1 à 0,6 T, les impuretés magnétiques sont adsorbées sur le tambour magnétique et la molybdénite non magnétique s'écoule avec la boue pour produire un pré-concentré (teneur en molybdène de 10 à 30 %). Après la séparation magnétique, la boue entre généralement dans le processus de flottation pour une purification supplémentaire. La déshydratation réduit l'humidité du concentré à moins de 10 % à l'aide de concentrateurs et de filtres-presses. L'avantage de la séparation magnétique est qu'elle peut éliminer efficacement les impuretés ferromagnétiques (telles que la teneur en fer de 1 % à moins de 0,1 %) et améliorer la qualité du concentré de molybdène, mais elle est inefficace contre les impuretés non magnétiques (telles que le quartz) et doit être utilisée en combinaison avec d'autres méthodes d'enrichissement. L'équipement de séparation magnétique doit être régulièrement entretenu pour garantir la stabilité du champ magnétique, et le taux de recyclage des eaux usées doit atteindre plus de 80 % pour répondre aux exigences de protection de l'environnement. Le concentré de molybdène prétraité par séparation magnétique fournit une matière première à faible teneur en impuretés pour la purification ultérieure et la production de feuilles de molybdène.

4.1.3 Raffinage et conversion du concentré de molybdène

Le raffinage et la conversion du concentré de molybdène sont une étape clé dans la conversion du concentré de molybdène (principalement de la molybdénite, MoS_2) obtenu par enrichissement en composés de molybdène de haute pureté ou en poudre de molybdène métallique, qui fournit des matières premières de haute qualité pour la production ultérieure de feuilles de molybdène. Le processus de raffinage élimine principalement les impuretés telles que le soufre et le fer par grillage oxydatif combiné à l'hydrométallurgie (comme la lixiviation de l'ammoniac ou la lixiviation acide) pour obtenir de l'oxyde de molybdène de haute pureté (MoO_3) ou du molybdate d'ammonium $((\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4)$, et enfin la poudre de molybdène est préparée par réduction. Le choix du processus de raffinage affecte directement la pureté de la poudre de molybdène ($99,95\% \geq$ est nécessaire pour répondre à la demande de feuilles de molybdène de haute pureté), la distribution granulométrique et le coût de production. Grâce à une technologie de raffinage avancée, les feuilles de molybdène de CTIA GROUP LTD garantissent la pureté et la consistance élevées des matières premières et répondent aux besoins d'applications haut de gamme telles que l'électronique et l'aérospatiale. Ce qui suit traite en détail de la méthode de lixiviation oxydative de l'ammoniac, du processus de raffinage de la lixiviation de l'acide de grillage oxydatif et du processus de préparation de la poudre de molybdène du concentré de molybdène.

4.1.3.1 Procédé de raffinage par grillage oxydatif-lixiviation à l'ammoniac du concentré de molybdène

Le grillage oxydatif-lixiviation à l'ammoniac est le processus principal de raffinage du concentré de molybdène, qui convient à la production de composés de molybdène de haute pureté et est largement utilisé dans la préparation de matières premières de feuilles de molybdène de haute pureté. Le principe est que la molybdénite (MoS_2) est oxydée en oxyde de molybdène (MoO_3) par grillage à haute

température, puis dissoute avec de l'ammoniac pour produire du molybdate d'ammonium soluble, qui est ensuite purifié par cristallisation. Le processus se compose de cinq étapes : la torréfaction, la lixiviation de l'ammoniac, la filtration, la cristallisation et le séchage. L'étape de torréfaction est réalisée dans un four rotatif ou un four à plusieurs chambres à une température contrôlée à 550-650°C, et de l'air est introduit pour oxyder le MoS₂ en MoO₃. Dans le même temps, le soufre est converti en SO₂ (ce qui nécessite un traitement des effluents gazeux pour répondre aux normes environnementales, et le taux de récupération du SO₂ est de >95 %). Après la torréfaction, le concentré de molybdène (teneur en molybdène de 50 à 60 %) est converti en oxyde de molybdène brut (teneur en molybdène > 95 %), et les impuretés telles que le fer et le cuivre sont partiellement volatilisées ou oxydées. Dans l'étape de lixiviation de l'ammoniac, l'oxyde de molybdène brut réagit avec de l'eau ammoniacale (concentration de 10 à 15 %) à 50-70 °C et à un pH de 8-9 pour générer une solution de molybdate d'ammonium, et les impuretés insolubles telles que le fer et le silicium sont filtrées et séparées. La solution filtrée de molybdate d'ammonium est cristallisée par évaporation pour obtenir des cristaux de molybdate d'ammonium de haute pureté (pureté ≥ 99,5 %), qui sont finalement séchés à 120-150 °C. L'avantage de la méthode de lixiviation à l'ammoniac est que l'efficacité de purification est élevée et que la teneur en impuretés (telles que le fer et le cuivre) peut être réduite à moins de 50 ppm, ce qui convient à la production de matières premières en feuilles de molybdène de haute pureté. Cependant, l'utilisation de l'eau ammoniacale nécessite un contrôle strict du traitement des déchets liquides (taux de récupération de l'ammoniac > 90 %) pour réduire la pollution de l'environnement. Le molybdate d'ammonium produit par ce procédé fournit des matières premières de haute pureté pour la préparation ultérieure de la poudre de molybdène.

4.1.3.2 Procédé de raffinage par lixiviation à l'acide de grillage oxydatif du concentré de molybdène

La lixiviation oxydative à l'acide de torréfaction est un autre procédé de raffinage du concentré de molybdène couramment utilisé, qui convient au traitement du concentré de molybdène contenant des impuretés complexes, en particulier lorsqu'il existe de nombreux métaux associés tels que le cuivre et le plomb. Le principe est d'oxyder la molybdénite en oxyde de molybdène (MoO₃) par grillage, puis de dissoudre les impuretés avec une solution acide pour retenir l'oxyde de molybdène de haute pureté. Le processus comprend la torréfaction, le décapage, la filtration, le lavage et le séchage. L'étape de grillage est similaire à la méthode de lixiviation de l'ammoniac, qui est réalisée dans une atmosphère d'air de 550-650°C, où la molybdénite est oxydée en MoO₃ et le soufre est converti en SO₂ (un dispositif d'absorption des gaz d'échappement à haut rendement est nécessaire, et le taux d'élimination du SO₂ est de >95 %). Dans l'étape de lixiviation acide, l'oxyde de molybdène brut réagit avec de l'acide chlorhydrique dilué (concentration de 5 à 10 %) ou de l'acide sulfurique à 60-80 °C pour dissoudre les impuretés telles que le fer, le cuivre et le calcium, tandis que le MoO₃ est conservé car il est insoluble dans l'acide dilué. Après avoir filtré et séparé la solution d'impuretés, les solides d'oxyde de molybdène sont lavés plusieurs fois avec de l'eau désionisée pour s'assurer que la teneur en impuretés (par exemple, fer, cuivre) est réduite à moins de 100 ppm. L'oxyde de molybdène lavé est séché à 150-200 °C pour obtenir de l'oxyde de molybdène de haute pureté (pureté ≥ 99,5 %).

Les avantages de la méthode de lixiviation acide sont qu'elle peut éliminer efficacement une variété d'impuretés métalliques, et l'adaptabilité du processus est forte, ce qui convient au traitement de minerais

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de faible qualité ou complexes, mais le coût de traitement des déchets liquides acides est élevé (il doit être neutralisé à pH 6-8 avant d'être déchargé). Par rapport à la méthode de lixiviation à l'ammoniac, la méthode de lixiviation acide est plus simple à utiliser, mais la pureté est légèrement inférieure et convient à la production de matières premières de feuilles de molybdène de pureté ordinaire (99 % -99,9 %). L'oxyde de molybdène obtenu constitue une base fiable pour la préparation ultérieure de la poudre de molybdène.

4.1.3.3 Préparation de la poudre de molybdène à partir d'extraits concentrés de molybdène

L'extrait concentré de molybdène (oxyde de molybdène ou molybdate d'ammonium) est converti en poudre de molybdène de haute pureté grâce à un processus de réduction de l'hydrogène, qui fournit la matière première finale pour la production de feuilles de molybdène. Le principe est d'utiliser de l'hydrogène pour réduire le MoO_3 ou le $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ en molybdène métallique à haute température, tout en éliminant l'oxygène et les impuretés résiduelles. Le processus comprend la réduction, le dépistage et le contrôle de la qualité. La phase de réduction a lieu dans un four tubulaire ou un four rotatif et s'effectue en deux étapes : la première étape réduit le MoO_3 ou le molybdate d'ammonium à 400-600 °C dans un flux d'hydrogène gazeux (pureté $\geq 99,99$ % et débit 1-2 m^3/h). , libèrent en même temps de la vapeur d'eau et de l'ammoniac (nécessité d'un traitement des gaz résiduels) ; La deuxième étape est encore réduite à de la poudre de molybdène métallique à 900-1100 °C, la taille des particules est généralement de 1 à 10 microns et la pureté peut atteindre plus de 99,95 %.

Au cours du processus de réduction, la pureté de l'hydrogène et de l'atmosphère dans le four doit être strictement contrôlée pour éviter l'oxydation (teneur en oxygène < 50 ppm) due aux résidus d'oxygène. Au cours de l'étape de criblage, un tamis vibrant (100-200 mesh) est utilisé pour éliminer les grosses particules ou les agglomérats afin de garantir que la taille des particules de la poudre de molybdène est uniforme (environ 2-5 microns pour le D50). Le contrôle de la qualité est effectué par ICP-MS par détection des impuretés (par exemple, fer, cuivre < 20 ppm) et par diffraction des rayons X pour confirmer la structure cristalline (cube centré sur le corps). Les propriétés de la poudre de molybdène affectent directement la qualité des feuilles de molybdène, par exemple, la taille fine et uniforme des particules est propice à la densité de frittage (>98 %), et la haute pureté assure la conductivité et la résistance à la corrosion. La poudre de molybdène préparée est ensuite transformée en feuilles de molybdène par métallurgie des poudres et laminage pour répondre aux besoins de l'aérospatiale, de l'électronique et d'autres domaines.

4.2 Processus de moulage de la feuille de molybdène

Le processus de moulage de la feuille de molybdène est une étape clé pour la transformer d'une poudre de molybdène de haute pureté ou d'une ébauche de molybdène en un matériau en feuille avec une épaisseur, une taille et des propriétés spécifiques, qui détermine directement les propriétés mécaniques, la qualité de surface et l'adaptabilité à l'application de la feuille de molybdène. Le processus de formage comprend principalement la métallurgie des poudres et le processus de laminage, dans lequel le processus de laminage est divisé en deux manières : le laminage à chaud et le laminage à froid. Ces processus optimisent la structure du grain, la résistance et la ductilité des feuilles de molybdène en contrôlant avec

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

précision la température, la déformation et les conditions environnementales pour répondre aux besoins d'industries telles que l'électronique, l'aérospatiale et les industries à haute température. La feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD est fabriquée grâce à une technologie de moulage avancée pour assurer la haute précision et la cohérence des produits. Ce qui suit aborde en détail les caractéristiques du processus, les influences sur les performances et les avantages d'application de la métallurgie des poudres pour la préparation des feuilles de molybdène, la préparation des feuilles de molybdène par processus de laminage à chaud et la préparation des feuilles de molybdène par processus de laminage à froid.

4.2.1 Préparation des feuilles de molybdène par métallurgie des poudres

La métallurgie des poudres est le procédé de formage de base pour la production de feuilles de molybdène, qui convient à la préparation d'une structure homogène et de haute pureté de feuilles de molybdène, en particulier pour la production de feuilles de molybdène ultra-minces (épaisseur 0,01-0,1 mm) ou de composants de forme complexe. Le processus comprend le pressage de poudre de molybdène, le frittage et le traitement ultérieur. La poudre de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$, taille des particules 1-10 microns) est pressée en flans par pressage isostatique à froid (pression 100-200 MPa), et la forme des flans peut être personnalisée en fonction des besoins (tels que des plaques ou des tiges). L'ébauche pressée est frittée sous vide ou sous atmosphère protectrice d'hydrogène, la température est contrôlée à 1800-2000 °C et le temps de frittage est de 2 à 6 heures, de sorte que les particules de poudre de molybdène sont combinées par diffusion pour former un corps vert dense, et la densité est supérieure à 98 %. Pendant le processus de frittage, la taille des grains est contrôlée à 10-50 microns pour équilibrer la résistance et la ténacité. La résistance à la traction de la billette frittée est d'environ 500-700 MPa, et la densité est proche de la valeur théorique (10,22 g/cm³). Pour une préparation ultérieure des feuilles, la billette frittée est laminée ou forgée, et la surface est décapée ou polie avec une rugosité de Ra 0,8-1,6 micron. L'avantage de la métallurgie des poudres est qu'elle permet de produire des feuilles de molybdène de haute pureté et de structure uniforme, avec une faible teneur en impuretés (fer, cuivre < 20 ppm), ce qui convient aux cibles semi-conductrices et aux composants de four à haute température. Cependant, le processus est complexe et coûteux, ce qui le rend adapté aux applications de haute précision, telles que les cibles de pulvérisation dans l'industrie électronique ou le blindage contre les radiations dans l'industrie nucléaire.

4.2.2 Préparation de la feuille de molybdène par laminage

Le processus de laminage est la méthode de formage la plus couramment utilisée dans la production de feuilles de molybdène, dans laquelle la billette de molybdène frittée est progressivement amincie à l'épaisseur souhaitée tout en améliorant ses propriétés mécaniques et sa qualité de surface. Le laminage est divisé en deux méthodes : le laminage à chaud et le laminage à froid, qui conviennent aux tôles de molybdène avec des épaisseurs et des exigences de performance différentes. Le processus de laminage est effectué sous vide ou dans une atmosphère inerte (par exemple l'argon) afin d'éviter l'oxydation à haute température et de s'assurer qu'aucun MoO₃ volatil ne se forme à la surface de la feuille de molybdène. Au cours du processus de laminage, la quantité de déformation, la température de laminage et le processus de recuit affectent directement la taille des grains, la résistance et la ductilité des feuilles

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de molybdène. Le laminage à chaud convient à la production de tôles de molybdène plus épaisses (0,5-3 mm), tandis que le laminage à froid est utilisé pour les feuilles de molybdène ultra-minces (0,01-0,1 mm). La résistance à la traction de la feuille de molybdène laminée peut atteindre 800-1200 MPa, et la rugosité de surface peut être aussi faible que Ra 0,4 micron par polissage, ce qui répond aux exigences de précision de l'électronique, de l'aérospatiale et d'autres domaines.

4.2.2.1 Préparation des feuilles de molybdène par laminage à chaud

Le processus de laminage à chaud prépare des feuilles de molybdène d'une épaisseur de 0,5 à 3 mm en laminant la billette de molybdène à haute température (1000-1400 °C) pour plusieurs passes, ce qui convient aux composants de four à haute température et aux pièces structurelles aérospatiales. Les billettes de molybdène (généralement préparées par métallurgie des poudres) sont traitées dans un laminoir à chaud sous vide ou sous gaz inerte avec une déformation contrôlée de 20 à 30 % par rouleau pour éviter la fissuration. Au cours du processus de laminage à chaud, les grains de molybdène subissent une recristallisation dynamique et la taille des grains est plus grande (50-100 microns), ce qui confère à la feuille de molybdène une bonne ductilité (allongement à la rupture 10-15 %) et une faible contrainte interne. La résistance à la traction de la feuille de molybdène laminée à chaud est d'environ 600-800 MPa à température ambiante, et elle peut encore atteindre 500 MPa à haute température (1200°C), ce qui convient aux environnements à haute température. La rugosité de surface est généralement de Ra 1,0-2,0 microns et peut être optimisée par décapage ou sablage. Les avantages du processus de laminage à chaud sont qu'il a une efficacité de production élevée, qu'il convient à la production de masse et qu'il a un coût inférieur à celui de la méthode de métallurgie des poudres, mais la tolérance d'épaisseur ($\pm 0,05$ mm) est légèrement inférieure à celle du laminage à froid. Les feuilles de molybdène laminées à chaud sont largement utilisées dans les éléments chauffants pour les fours à haute température, les revêtements résistants à la corrosion pour les équipements chimiques et les structures de support à haute température pour l'aérospatiale, où leur résistance à haute température et leur résistance au fluage (taux de fluage 10^{-6} /s) assurent une stabilité à long terme.

4.2.2.2 Préparation des feuilles de molybdène par laminage à froid

Le processus de laminage à froid consiste à laminier davantage de tôles de molybdène laminées à chaud ou d'ébauches de molybdène fritté à température ambiante ou proche de celle-ci pour produire des feuilles de molybdène ultra-minces d'une épaisseur de 0,01 à 1 mm, adaptées aux applications électroniques et microélectroniques de haute précision. Le laminage à froid utilise des laminoirs de haute précision à quatre ou plusieurs cylindres, et la quantité de déformation est contrôlée à 10-20 % à chaque fois pour éviter les fissures causées par l'écrouissage. Les feuilles de molybdène laminées à froid ont une petite granulométrie (5-20 microns), une densité de dislocation élevée et une résistance à la traction allant jusqu'à 900-1200 MPa, mais une faible ductilité (allongement à la rupture 5-8 %). Afin d'améliorer la ténacité, un recuit de détente (800-1100°C) est effectué après le laminage à froid, de sorte que l'allongement à la rupture est augmenté à 10-12 %, et la résistance est légèrement réduite à 800-1000 MPa. La qualité de surface de la feuille de molybdène laminée à froid est excellente, la rugosité après polissage peut atteindre Ra 0,4 micron et la tolérance d'épaisseur est contrôlée à $\pm 0,005$ mm, ce qui répond aux besoins des cibles semi-conductrices et des substrats flexibles. Le processus de laminage à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

froid présente l'avantage de produire des feuilles de molybdène ultra-minces et à haute résistance pour des applications de haute précision, mais avec des exigences élevées en matière d'équipement et un contrôle strict des lubrifiants (généralement une lubrification à base d'huile) pour éviter les défauts de surface. Les feuilles de molybdène laminées à froid sont largement utilisées dans le dépôt de couches minces, l'emballage de semi-conducteurs et les dispositifs médicaux tels que les anodes de tubes à rayons X, où leur haute résistance et leur excellente qualité de surface améliorent considérablement les performances du dispositif.

en.com

www.chinatungsten.com

www.ch

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

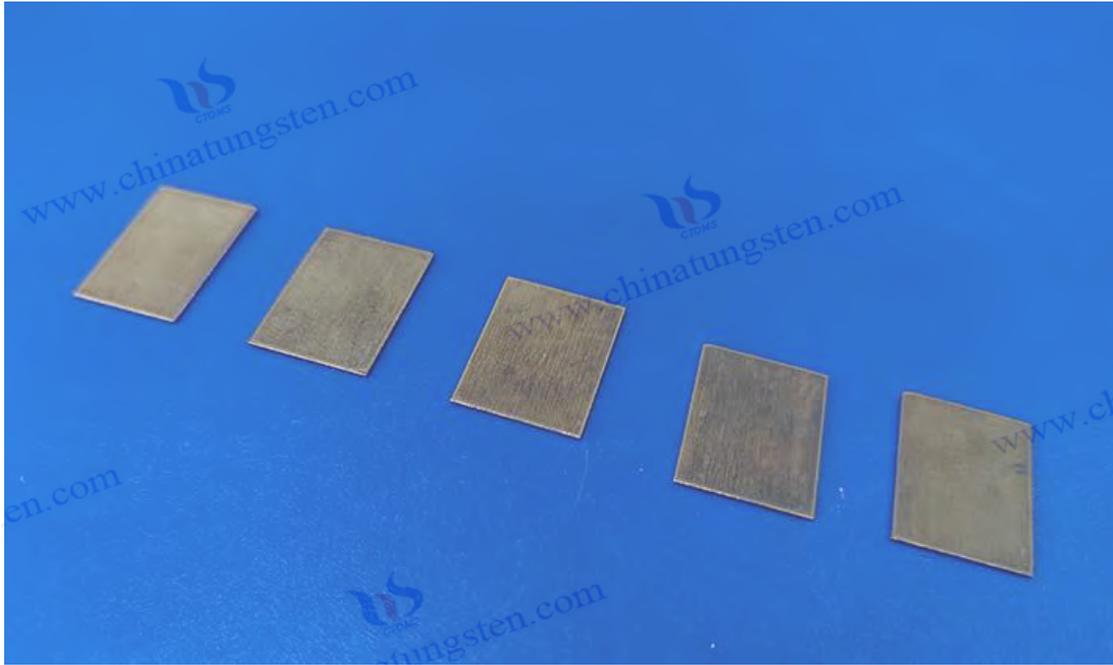
Molybdenum Ingot (Raw Material) \rightarrow Inspection \rightarrow Hot Rolling \rightarrow Leveling & Annealing \rightarrow Alkali Cleaning \rightarrow Inspection \rightarrow Warm Rolling \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Cold Rolling \rightarrow Leveling \rightarrow Shearing \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Packaging

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD feuille de molybdène

Chapitre 5 Équipements de production et d'essai de performance pour les feuilles de molybdène

5.1 Équipement d'extraction du minerai de molybdène

L'extraction du minerai de molybdène est la première étape de la production de feuilles de molybdène, et la sélection de l'équipement affecte directement l'efficacité et le coût d'obtention des matières premières. Selon les conditions géologiques du gisement, l'équipement minier est divisé en équipement minier à ciel ouvert et en équipement minier souterrain, qui conviennent aux grands gisements peu profonds et aux gisements complexes profonds. CTIA GROUP LTD [Molybdenum](#) sheets s'appuie sur des équipements miniers efficaces pour assurer la haute qualité et un approvisionnement stable en matières premières de molybdénite (MoS_2). Ce qui suit est une discussion détaillée des types, des fonctions et des points d'application de l'équipement minier à ciel ouvert et souterrain.

5.1.1 Matériel d'exploitation minière à ciel ouvert pour le minerai de molybdène

L'équipement minier à ciel ouvert est utilisé pour traiter des gisements de molybdénite peu enfouis, tels que Luanchuan à Luoyang en Chine ou Klemax aux États-Unis, et comprend principalement des appareils de forage, des équipements de dynamitage, des excavatrices, des camions à benne basculante et des chargeuses. Les engins de forage (par exemple, les engins de forage rotatifs ou fond de trou) sont utilisés pour le forage de pré-dynamitage, généralement avec un diamètre de trou de 100 à 250 mm et un taux de pénétration allant jusqu'à 20-50 m/h, équipés d'un système de positionnement GPS de haute précision pour optimiser la disposition du dynamitage. L'équipement de sablage utilise des explosifs à base de nitrate d'ammonium ou d'émulsion, et le dynamitage est contrôlé avec précision par des détonateurs électroniques pour broyer le minerai à une taille de particule de 0,1 à 1 mètre, réduisant ainsi le taux de dilution (objectif < 10 %). Les excavatrices (par exemple, pelles électriques ou hydrauliques,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'une capacité de 10 à 30 m³) sont chargées de décaper les stériles et d'extraire du minerai d'une capacité de production de 5 000 à 10 000 t/h. Les camions à benne basculante (50 à 200 tonnes, par exemple Caterpillar 797F) sont utilisés pour transporter le minerai vers les concentrateurs et sont équipés de systèmes de navigation automatique pour améliorer l'efficacité du transport. Les chargeuses (par exemple, les chargeuses sur pneus, d'une capacité de godet de 5 à 15 mètres cubes) sont utilisées pour l'empilement et le transfert de minerai et de stériles. Les principaux points à retenir sont les suivants : une résistance élevée à l'usure pour faire face à la dureté de la molybdénite (1-1,5 sur l'échelle de Mohs), le dynamitage et l'excavation pour réduire les rapports de décapage (3:1 à 10:1) ; Les mesures environnementales telles que la suppression de la poussière par pulvérisation (concentration de poussière < 10 mg/m³) et le recyclage des eaux usées (> 80 %) sont strictement appliquées. La synergie efficace de ces installations garantit que l'exploitation à ciel ouvert fournit du minerai de molybdène à haute teneur (0,1 à 0,5 % de molybdène).

5.1.2 Matériel d'exploitation minière souterraine pour le minerai de molybdène

L'équipement d'exploitation minière souterraine convient aux gisements de molybdénite dont les conditions géologiques sont profondes ou complexes, comme à Jilin, en Chine ou dans certaines régions du Canada, principalement les machines de traçage, les marteaux perforateurs, les chargeuses, les camions miniers et les systèmes de levage. Les tunneliers (par exemple les tunneliers de section complète ou les pelles d'ancrage) sont utilisés pour creuser des tunnels à une vitesse d'environ 5 à 10 m/jour et sont équipés d'une navigation laser pour assurer la précision de la chaussée (déviations < 5 cm). Les marteaux perforateurs (par exemple les foreuses hydrauliques) sont utilisés pour le dynamitage et le forage, avec un diamètre de trou de 50 à 100 mm et une efficacité de forage de 10 à 20 m/h, adaptés à l'exploitation minière à chambre et colonne ou à remblai et remblai. Les chargeurs (par exemple, racleurs, capacité du godet de 2 à 5 m³) sont chargés du chargement du minerai concassé (granulométrie de 0,1 à 0,5 m) et sont équipés de chaînes à neige pour s'adapter aux routes glissantes. Les wagons mineurs (10 à 30 tonnes) transportent le minerai vers le puits de levage par l'intermédiaire d'un système à chenilles ou sans chenilles, qui (par exemple un treuil ou un treuil, 500 à 2000 kW) remonte le minerai à la surface avec une efficacité de 1000 à 5000 tonnes/jour. Les principaux points à retenir sont les suivants : l'équipement doit être suffisamment compact pour s'adapter aux allées étroites (3 à 5 m de large et 3 à 4 m de haut) ; Système de ventilation (volume d'air ≥ 3 m³/s·personne) pour assurer la sécurité de fonctionnement ; Les commandes automatisées, telles que les marteaux perforateurs télécommandés, augmentent l'efficacité et réduisent les risques liés à la main-d'œuvre. L'équipement minier souterrain nécessite un entretien régulier pour faire face à l'usure élevée, assurant la récupération du minerai (70 à 90 %) et la constance de la teneur, et fournissant une charge d'alimentation stable pour la production de feuilles de molybdène.

5.2 Équipement de traitement des minéraux pour le minerai de molybdène

L'équipement d'enrichissement est utilisé pour transformer le minerai de molybdène à faible teneur (teneur en molybdène de 0,1 à 0,3 %) en concentré de molybdène à haute teneur (teneur en molybdène de 50 à 60 %), qui est le maillon central de la préparation des matières premières pour la production de feuilles de molybdène. L'équipement de traitement des minéraux comprend l'équipement de concassage, l'équipement de broyage, l'équipement de classification et l'équipement de flottation, qui séparent la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

molybdénite des minéraux associés (tels que le quartz et la magnétite) par des méthodes physiques et chimiques. Voici une analyse détaillée des fonctions, des performances et des principaux points de fonctionnement de ces appareils.

5.2.1 Équipement de concassage du minerai de molybdène

L'installation de concassage est utilisée pour broyer le minerai brut (0,1-1 m) à une taille de particule appropriée (10-50 mm) pour l'enrichissement, jetant ainsi les bases du broyage et de la flottation ultérieurs. L'équipement principal comprend un concasseur à mâchoires, un concasseur à cône et un concasseur à percussion. Les concasseurs à mâchoires (par exemple la série PE, puissance 75-200 kW) sont utilisés pour le concassage primaire, avec une capacité de traitement de 100-1000 t/h, le concassage du minerai à 50-150 mm, adapté à la molybdénite de haute dureté. Les concasseurs à cône (par exemple série HP, 200-500 kW) sont utilisés pour le concassage secondaire avec une taille de particules de 10 à 50 mm et un rapport de broyage allant jusqu'à 4:1 et sont équipés d'un système de réglage hydraulique pour assurer une taille de particule uniforme. Le concasseur à percussion est utilisé pour le concassage fin, convient aux minerais à forte teneur en gangue et produit une granulométrie de 5 à 20 mm. Les principaux points à retenir sont les suivants : l'équipement doit être équipé de revêtements résistants à l'usure (p. ex., acier à haute teneur en manganèse) pour faire face à la nature abrasive du molybdène ; Le tamis vibrant (trou de tamis 10-50 mm) est utilisé en combinaison avec le concasseur pour s'assurer que la taille des particules répond aux exigences ; Le dépoussiérage (enlèvement par pulvérisation ou par sac, concentration en poussières <math><10 \text{ mg/m}^3</math>) répond aux normes environnementales. Le fonctionnement efficace de l'installation de concassage garantit que le minerai est entièrement dissocié et fournit des intrants de haute qualité pour l'enrichissement.

5.2.2 Équipement de broyage du minerai de molybdène

L'équipement de broyage raffine encore le minerai concassé à -200 mailles (environ 74 microns), de sorte que le degré de dissociation du monomère de molybdénite atteint plus de 80 %, ce qui répond aux exigences de flottation. L'équipement principal est le broyeur à boulets et le broyeur à barres. Les broyeurs à boulets (par exemple série MQG, 200-1000 kW) sont broyés au moyen de billes d'acier (20-100 mm de diamètre) et de collisions de minerai, d'une capacité de 50-500 t/h et d'une finesse de broyage de 70-80 %-200 mailles, équipés d'un système de contrôle automatique pour optimiser la vitesse d'avance et la vitesse (20-30 tr/min). Le broyeur à barres est utilisé pour le broyage grossier ou les minerais argileux, et les tiges d'acier (2 à 3 m de longueur) sont réduites pour le surbroyage et produisent une granulométrie de 0,5 à 2 mm. Les points clés sont les suivants : le fluide de broyage doit être changé régulièrement pour maintenir l'efficacité (consommation de billes de 0,5 à 1 kg/t) ; Le broyage humide (rapport eau/minerai 1:1-2:1) réduit la poussière et améliore la dissociation ; Le broyage en circuit fermé est associé à des classificateurs pour assurer une répartition granulométrique uniforme (D50 environ 50-100 microns). Le rendement élevé de l'équipement de broyage a un impact direct sur le taux de récupération de la flottation (85-95 %).

5.2.3 Équipement de classement du minerai de molybdène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les classificateurs sont utilisés pour séparer le lisier broyé par taille de particule et optimiser l'efficacité de la flottation, et les équipements couramment utilisés comprennent les classificateurs à spirale et les hydrocyclones. Les classificateurs en spirale (par exemple série FG, puissance 5-15 kW) séparent les lames grossières (>0,15 mm) des fines (<0,15 mm) à travers des lames en spirale, avec une capacité de 20-200 t/h et une efficacité de calibrage de 70-85 %.

Les hydrocyclones (par exemple la série FX, pression d'entrée 0,1-0,3 MPa) utilisent la force centrifuge pour classer les boues à grain fin (<0,1 mm) avec une grande précision de classification (erreur <5 %) et une capacité de 10-100 m³/h. Les principaux points à retenir sont les suivants : le classificateur doit avoir un cycle en circuit fermé avec le broyeur, et le rapport de retour (100-300 %) doit être optimisé pour réduire le surbroyage ; Revêtements d'équipement (par exemple en polyuréthane) pour une meilleure résistance à l'usure ; Le taux de recyclage des eaux usées > 80 % pour réduire la consommation d'eau. L'équipement de calibrage garantit que la taille des particules de molybdénite est adaptée à la flottation et améliore la teneur du concentré.

5.2.4 Équipement de flottation du minerai de molybdène

L'équipement de flottation utilise la séparation hydrophobe de la molybdénite pour séparer le concentré de molybdène, et l'équipement de base est la machine de flottation. Les cellules de flottation à agitation mécanique (par exemple série SF ou XCF, puissance 15-100 kW) génèrent des bulles (air ou azote, débit 1-2 m³/min) à travers une roue (vitesse 200-400 tr/min), à laquelle la molybdénite adhère aux bulles pour former une couche de mousse permettant de produire du concentré de molybdène (teneur en molybdène de 50 à 60 %). La cellule de flottation a un volume de 4 à 20 m³, équipée d'un système de dosage automatique (xanthate 0,1-0,3 kg/t, terpinéol 0,05-0,1 kg/t) et d'un contrôle du pH à 8-10. Les points clés sont les suivants : la cellule de flottation nécessite plusieurs réservoirs en série (6 à 12 réservoirs) pour la séparation grossière, la sélection et le balayage, avec un taux de récupération de 85 à 95 % ; La taille des bulles (0,5-2 mm) et la concentration de boue (20-30 %) doivent être contrôlées avec précision ; Les résidus et les eaux usées doivent être traités (taux de recyclage > 80 %) pour répondre aux normes environnementales. Le fonctionnement efficace de l'équipement de flottation garantit une teneur élevée et de faibles impuretés du concentré de molybdène, fournissant des matières premières de haute qualité pour la production de feuilles de molybdène.

5.3 Équipement de moulage pour feuilles de molybdène

L'équipement de formage de la feuille de molybdène est l'outil de base pour la traiter à partir de poudre de molybdène de haute pureté ou d'une ébauche de molybdène en matériau en feuille mince, ce qui affecte directement la précision de l'épaisseur, la qualité de surface et les propriétés mécaniques de la feuille de molybdène. L'équipement de moulage comprend principalement des équipements de métallurgie des poudres et des équipements de laminage, dont l'équipement de métallurgie des poudres est utilisé pour préparer des billettes de molybdène de haute pureté et de structure uniforme, qui est le maillon de base dans la production de feuilles de molybdène. S'appuyant sur des équipements de moulage avancés, la feuille de molybdène CTIA GROUP LTD garantit une précision et une cohérence élevées des produits, et répond aux besoins de l'électronique, de l'aérospatiale et des industries à haute température. Ce qui

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

suit est une discussion détaillée des fonctions, des performances et des points de fonctionnement des équipements de pressage de poudre et des équipements de frittage dans les équipements de métallurgie des poudres.

5.3.1 Équipement de métallurgie des poudres pour les feuilles de molybdène

L'équipement de métallurgie des poudres est utilisé pour traiter la poudre de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$, taille des particules de 1 à 10 microns) en billettes de molybdène denses, ce qui constitue la base du laminage ultérieur ou du formage direct des feuilles de molybdène. Le processus de métallurgie des poudres se compose de deux étapes principales, le pressage et le frittage de poudre, impliquant des équipements tels que des presses isostatiques à froid, des presses hydrauliques et des fours de frittage sous vide. Ces machines constituent la base de la production de feuilles de molybdène haute performance en contrôlant avec précision la pression, la température et l'atmosphère pour garantir une densité élevée ($>98\%$) et une faible teneur en impuretés (fer, cuivre < 20 ppm).

5.3.1.1 Matériel de pressage de poudre pour feuilles de molybdène

L'équipement de pressage de poudre est utilisé pour presser la poudre de molybdène en une ébauche d'une certaine forme et résistance, et l'équipement courant comprend les presses isostatiques à froid (CIP) et les presses hydrauliques. Les presses isostatiques à froid (par exemple la série CIP-400, pression 100-400 MPa) appliquent une pression uniforme à la poudre de molybdène à travers un milieu liquide (par exemple de l'eau ou de l'huile) et la pressent en ébauches de plaques ou de tiges (taille 100-500 mm) avec une densité de 60-70 %. Son avantage est que la pression est uniformément répartie, évitant la concentration de contraintes à l'intérieur de la billette, et il convient à la production de billettes de molybdène de grande taille ou de forme complexe. Les presses hydrauliques (par exemple les presses hydrauliques à quatre colonnes, puissance 200-1000 kW) sont utilisées pour le pressage unidirectionnel, pression 50-200 MPa, adaptées aux petites ébauches (épaisseur 10-50 mm), efficacité de production élevée (1-3 pièces par minute). Au cours du processus de pressage, la poudre de molybdène doit être pré-tamisée (100-200 mesh) et une petite quantité de liant (par exemple de l'alcool polyvinylique, 0,1-0,5 %) est ajoutée pour améliorer la résistance de l'ébauche. Les principaux points à retenir sont les suivants : les moules doivent être fabriqués en acier ou en carbure à haute résistance pour résister à des pressions élevées ; Les paramètres de pressage (par exemple, temps de maintien de la pression 10-30 secondes) doivent être optimisés pour assurer l'uniformité du flan ; L'équipement est équipé d'un système de suppression des poussières (concentration de poussières < 5 mg/m³) pour protéger l'environnement de travail. La billette de molybdène pressée fournit une entrée de haute qualité pour le frittage, garantissant des performances constantes de la feuille de molybdène suivante.

5.3.1.2 Équipement de frittage des feuilles de molybdène

L'équipement de frittage est utilisé pour consolider la billette de molybdène pressée en une billette à haute densité à haute température, qui est l'étape centrale de la métallurgie des poudres. Les équipements couramment utilisés comprennent les fours de frittage sous vide et les fours de frittage de protection contre l'hydrogène. Le four de frittage sous vide (tel que la série VSF, puissance 100-500 kW) fonctionne

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

à un degré de vide de 10^{-3} - 10^{-5} Pa et à une température de 1800-2000 °C, et le temps de frittage est de 2 à 6 heures, de sorte que les particules de poudre de molybdène sont combinées par diffusion, la taille des grains est contrôlée à 10-50 microns et la densité atteint 98-99 %. L'environnement sous vide empêche efficacement l'oxydation et la teneur en oxygène est réduite à <50 ppm, ce qui convient à la production de matières premières en feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95$ %). Le four de frittage de protection contre l'hydrogène (température 1600-1900°C, pureté de l'hydrogène $\geq 99,99$ %, débit 1-2 m³/h) élimine les oxydes traces à travers une atmosphère réductrice, adaptée aux feuilles de molybdène de pureté ordinaire (99-99,9 %). La résistance à la traction de la billette de molybdène fritté est d'environ 500-700 MPa, et la densité est proche de la valeur théorique (10,22 g/cm³). Les points clés sont les suivants : un contrôle précis de la vitesse de montée en puissance (5-10°C/min) pour éviter la fissuration des billettes ; Surveillance de l'atmosphère du four pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuite d'oxygène ; La vitesse de refroidissement (10-20°C/min) optimise la structure du grain. Les hautes performances de l'équipement de frittage garantissent la haute densité et les faibles impuretés de la billette de molybdène, qui fournit une base de haute qualité pour le traitement ultérieur du laminage et répond aux besoins des cibles électroniques et des composants à haute température.

5.3.2 Équipement de laminage des feuilles de molybdène

L'équipement de laminage est l'outil de base du processus de formage des feuilles de molybdène, qui est utilisé pour transformer les billettes de molybdène frittées en feuilles minces d'épaisseur, de taille et de performances spécifiques, et est largement utilisé dans l'électronique, l'aérospatiale et les industries à haute température. L'équipement de laminage est divisé en laminoir à chaud et laminoir à froid, qui sont utilisés pour produire des feuilles de molybdène plus épaisses (0,5-3 mm) et ultra-minces (0,01-0,1 mm), respectivement, et optimiser la structure du grain, la résistance et la qualité de surface des feuilles de molybdène en contrôlant avec précision la quantité de déformation, la température et l'atmosphère. La feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD s'appuie sur des équipements de laminage avancés pour assurer la haute précision et la cohérence des produits et répondre aux besoins des applications haut de gamme. Ce qui suit est une discussion détaillée des fonctions, des performances et des principaux points de fonctionnement des laminoirs à chaud et à froid pour les feuilles de molybdène.

5.3.2.1 Laminoirs à chaud pour tôles de molybdène

Le laminoir à chaud est utilisé pour le laminage en plusieurs passes de billettes de molybdène à haute température (1000-1400°C) afin de produire des feuilles de molybdène d'une épaisseur de 0,5 à 3 mm, adaptées aux composants de fours à haute température et aux pièces structurelles aérospatiales. L'équipement couramment utilisé est un laminoir à chaud à quatre hauteurs ou un laminoir à chaud réversible (par exemple, équipement du groupe SMS, 500-2000 kW) équipé d'un système de protection contre le vide ou les gaz inertes (par exemple, argon) pour empêcher l'oxydation du molybdène à haute température pour former des MoO₃ volatiles. Le diamètre du cylindre de travail du laminoir à chaud est de 300 à 600 mm, la vitesse de laminage est de 1 à 5 m / min et la déformation est contrôlée à 20-30 % à chaque fois pour éviter les fissures. La billette de molybdène (généralement préparée par la méthode de la métallurgie des poudres, épaisseur 10-50 mm) est chauffée à 1100-1300 °C dans un four de préchauffage, puis entre dans le laminoir, où elle est progressivement amincie en plusieurs passes (6-10

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

passes) avec une granulométrie de 50-100 microns, donnant à la feuille de molybdène une bonne ductilité (allongement à la rupture 10-15 %) et une résistance à haute température (environ 500 MPa à 1200 °C). La rugosité de surface est généralement de Ra 1,0-2,0 microns et peut être optimisée par décapage. Les points clés sont les suivants : contrôle précis de l'écartement des rouleaux et de la température (écart < 10°C) pour garantir les tolérances d'épaisseur ($\pm 0,05$ mm) ; Protège la pureté de l'atmosphère ($\geq 99,99$ %) contre l'oxydation ; Équipé d'un mesureur d'épaisseur en ligne et d'un système de refroidissement (vitesse de refroidissement 10-20°C/min) pour optimiser la structure du grain. Les avantages du laminoir à chaud sont une efficacité de production élevée (10 à 50 tonnes par jour), adapté à la production de gros volumes et largement utilisé dans la fabrication de revêtements d'équipements chimiques et d'éléments chauffants de four à haute température.

5.3.2.2 Laminoir à froid pour tôles de molybdène

Le laminoir à froid lamine ensuite des feuilles de molybdène laminées à chaud ou des ébauches de molybdène fritté à température ambiante ou proche de celle-ci pour produire des feuilles de molybdène ultra-minces d'une épaisseur de 0,01 à 1 mm, adaptées aux cibles semi-conductrices et aux substrats microélectroniques. L'équipement couramment utilisé est un laminoir à froid de haute précision à quatre ou plusieurs cylindres (par exemple laminoir Sendzimir, 200-1000 kW) équipé de rouleaux de travail à haute résistance (diamètre 100-300 mm, dureté HRC 60-65) et d'un système de contrôle automatique de l'écartement des rouleaux (précision $\pm 0,001$ mm). La déformation du laminage à froid est contrôlée à 10-20 % à chaque fois, et la vitesse de laminage est de 0,5-3 m/min pour éviter les fissures causées par l'écroutissage. Les tôles de molybdène laminées à froid ont une petite granulométrie (5-20 microns) et une résistance à la traction de 900-1200 MPa, mais une ductilité (allongement à la rupture 5-8 %) et une ténacité (allongement à la rupture 10-12 %) grâce au recuit de détente (800-1100°C). La qualité de surface est excellente, la rugosité après polissage peut atteindre Ra 0,4 micron et la tolérance d'épaisseur est contrôlée à $\pm 0,005$ mm.

Les principaux points à retenir sont les suivants : l'utilisation de lubrifiants à base d'huile (viscosité 10-20 cSt) pour réduire les défauts de surface ; Équipé d'une détection de défauts en ligne (par exemple, balayage laser) pour garantir la qualité de surface ; Les fours de recuit doivent être protégés sous vide ou à l'hydrogène (pureté $\geq 99,99$ %) pour éviter l'oxydation. Le laminoir à froid présente l'avantage de produire des feuilles de molybdène ultra-fines et de haute précision pour des applications exigeantes dans l'industrie électronique, telles que le dépôt de couches minces et les assemblages de tubes à rayons X, mais avec des coûts d'équipement élevés et un entretien régulier des surfaces de rouleaux et des systèmes de contrôle.

5.4 Équipement d'essai de performance des feuilles de molybdène

Les équipements d'essai de performance des feuilles de molybdène sont utilisés pour évaluer leurs propriétés physiques et chimiques afin de s'assurer que les produits répondent aux exigences strictes de l'électronique, de l'aérospatiale et des industries à haute température. L'équipement de test couvre des paramètres clés tels que la densité, le point de fusion, la conductivité électrique et thermique, et fournit des données fiables grâce à des instruments de haute précision pour vérifier la pureté, la structure et la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fonctionnalité des feuilles de molybdène. La feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD a passé avec succès un équipement de test avancé pour garantir que les paramètres de performance répondent à la norme ASTM B386, tels que la densité de 10,22 g / cm³ et la résistivité d'environ 5,2×10⁻⁸ Ω·m et la conductivité thermique d'environ 138 W / m·K. Ce qui suit est une discussion détaillée des types, des fonctions et des points de fonctionnement des équipements de mesure de la densité, des équipements d'essai du point de fusion, des équipements d'essai de conductivité et des équipements d'essai de conductivité thermique pour les feuilles de molybdène.

5.4.1 Équipement de mesure de la masse volumique pour les feuilles de molybdène

L'équipement de mesure de la masse volumique est utilisé pour déterminer la masse volumique des feuilles de molybdène (valeur théorique 10,22 g/cm³) afin d'évaluer leur densité et leur pureté, adaptée au contrôle de la qualité et à la certification des matériaux. L'équipement couramment utilisé comprend le dispositif de drainage d'Archimède et un densitomètre à rayons X. Les appareils de drainage d'Archimède (par exemple, densimètre Mettler Toledo, précision ±0,001 g/cm³) calculent la masse volumique en mesurant la masse de la feuille de molybdène dans l'air et l'eau liquide (généralement de l'eau déminéralisée) avec une plage d'essai de 0,1 à 20 g/cm³ et conviennent aux feuilles de molybdène d'une épaisseur de 0,01 à 3 mm. Pendant le fonctionnement, la feuille de molybdène doit être nettoyée (nettoyage par ultrasons, élimination de l'huile), les bulles d'air doivent être évitées lorsqu'elle est immergée dans un liquide et l'erreur de mesure doit être contrôlée à ±0,01 g/cm³. Les densitomètres à rayons X (par exemple, PANalytical X'Pert, avec une précision de ±0,005 g/cm³) analysent la densité des matériaux par absorption des rayons X sans détruire l'échantillon, ce qui les rend adaptés à une détection de haute précision. Les principaux points à retenir sont les suivants : étalonnage de l'équipement pour assurer la précision (à l'aide d'échantillons standard tels que des blocs de molybdène pur) ; L'environnement d'essai doit être maintenu à une température constante (20±1 °C) pour éliminer l'effet de dilatation thermique ; La moyenne de plusieurs mesures est calculée pour améliorer la fiabilité. Les appareils de mesure de la masse volumique détectent les défauts microscopiques (par exemple, la porosité <2 %) dans les feuilles de molybdène pour s'assurer qu'elles conviennent aux cibles semi-conductrices et aux composants à haute température.

5.4.2 Équipement d'essai du point de fusion pour les feuilles de molybdène

L'équipement d'essai du point de fusion est utilisé pour vérifier le point de fusion des feuilles de molybdène (environ 2620 °C) afin de confirmer leurs performances et leur pureté à haute température, adapté aux applications aérospatiales et aux fours à haute température. Les équipements couramment utilisés sont la calorimétrie à balayage différentiel (DSC) à haute température et l'équipement de fusion par flash laser. La DSC à haute température (par exemple, Netzsch STA 449, plage de température 25-2800 °C, précision ± 5 °C) détermine le point de fusion en chauffant un échantillon de feuille de molybdène (masse 5-10 mg) et en enregistrant les pics endothermiques, équipé d'un creuset en tungstène et d'une protection contre l'argon (pureté ≥ 99,99 %) pour éviter l'oxydation. L'équipement de fusion par flash laser (par exemple LFA 467, plage de température 1000-3000°C) chauffe la surface de la feuille de molybdène par impulsion laser, combinée à un thermomètre infrarouge pour enregistrer la température de fusion, et le temps de test est court (<1 minute), ce qui convient à une détection rapide. Les principaux

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

points à retenir sont les suivants : les échantillons doivent être d'une pureté élevée ($\geq 99,95\%$) pour éviter les impuretés et abaisser le point de fusion ; L'atmosphère d'essai doit être strictement contrôlée (teneur en oxygène < 10 ppm) ; L'équipement doit être étalonné régulièrement (à l'aide d'étalons de tungstène, point de fusion 3422°C). L'équipement d'essai du point de fusion assure la stabilité des feuilles de molybdène dans des environnements à haute température (tels que les fours à vide), et l'erreur est contrôlée à $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

5.4.3 Équipement d'essai de conductivité pour les feuilles de molybdène

L'équipement de test de conductivité est utilisé pour mesurer la résistivité des feuilles de molybdène (environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$), pour évaluer ses propriétés électriques, adaptées aux applications d'électrodes et de cibles dans l'industrie électronique. L'équipement couramment utilisé est un testeur à quatre sondes et un conductimètre. Un testeur à quatre sondes (par exemple, Keithley 2635B, précision $\pm 0,01\%$) calcule la résistivité de la feuille de molybdène en appliquant un courant constant (1-100 mA) et en mesurant la tension à l'aide de quatre sondes équidistantes (espacées de 1 à 2 mm) avec une plage de test de 10^{-9} - $10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$, adaptée aux feuilles de molybdène d'une épaisseur de 0,01 à 3 mm. Les conductimètres (par exemple, Sigmascope SMP350, fréquence 10-100 kHz) mesurent la conductivité (en S/m) par la méthode des courants de Foucault sans contact et conviennent à la détection rapide de grandes surfaces de feuilles de molybdène. Les points clés sont les suivants : la surface de la feuille de molybdène doit être polie ($R_a \leq 0,4$ microns) pour réduire la résistance de contact, et l'environnement d'essai doit être constant en termes de température et d'humidité ($20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, humidité $< 50\%$) pour éviter les interférences ; La moyenne de plusieurs mesures (au moins 5 fois) est calculée pour garantir l'exactitude. Le testeur à quatre sondes détecte la résistance des joints de grains et les effets d'impuretés des feuilles de molybdène, garantissant ainsi leur stabilité de conductivité dans le dépôt de couches minces de semi-conducteurs.

5.4.4 Équipement d'essai de conductivité thermique pour les feuilles de molybdène

L'équipement d'essai de conductivité thermique est utilisé pour mesurer la conductivité thermique des feuilles de molybdène (environ $138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et évaluer leurs performances de gestion thermique, et convient aux substrats de dissipation de chaleur et aux composants de four à haute température. L'équipement couramment utilisé est le conductimètre thermique à flash laser et l'équipement de flux de chaleur à l'état stationnaire. La conductivité thermique du flash laser (par exemple Netzsch LFA 467, précision $\pm 3\%$) chauffe un côté de la feuille de molybdène (taille de l'échantillon $10 \times 10 \times 0,5$ - 3 mm) par impulsion laser, le thermomètre infrarouge enregistre l'élévation de température de l'autre côté, calcule la conductivité thermique, teste la plage de température 20 - 1500°C et est équipé d'une protection contre l'argon (pureté $\geq 99,99\%$) pour éviter l'oxydation. Les appareils à flux de chaleur en régime permanent (par exemple, Hot Disk TPS 2500S, avec une précision de $\pm 2\%$) mesurent le gradient de température sous un flux de chaleur constant en intégrant une sonde thermique dans le disque de molybdène et conviennent aux grands échantillons (20×20 mm). Les points clés comprennent une surface d'échantillon plane ($R_a \leq 0,4 \mu\text{m}$) pour assurer le contact thermique, des tests sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter les effets d'oxydation, et l'étalonnage de l'équipement à l'aide d'échantillons standard (par exemple, acier inoxydable, conductivité thermique $16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). L'équipement de test de conductivité thermique vérifie la conductivité thermique des feuilles de molybdène, garantissant ainsi leurs performances dans

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

les emballages électroniques et le blindage thermique à haute température avec une erreur de ± 5 W/m \cdot K.

5.5 Équipement d'essai des propriétés mécaniques des feuilles de molybdène

Les équipements d'essai des propriétés mécaniques sont utilisés pour évaluer la résistance, la dureté, la ténacité et la résistance à la fatigue des feuilles de molybdène afin de s'assurer qu'elles répondent aux exigences strictes de l'aérospatiale, de l'électronique et des industries à haute température. Ces appareils mesurent des paramètres clés tels que la résistance à la traction, la dureté et la résistance à la rupture des feuilles de molybdène en appliquant des charges mécaniques ou des chocs, fournissant ainsi des données pour le contrôle de la qualité et la certification des matériaux. La feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD est conforme à la norme ASTM B386 grâce à un équipement d'essai de propriétés mécaniques avancé pour garantir que sa résistance à la traction (800-1200 MPa), sa dureté (220-250 HV) et sa ténacité (ténacité à la rupture 10-15 MPa \cdot m^{1/2}) répondent à la norme ASTM B386. Ce qui suit est une discussion détaillée des fonctions, des performances et des points de fonctionnement des machines universelles d'essai des matériaux, des testeurs de dureté et des machines d'essai de choc pour tester les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène.

5.5.1 Machine universelle d'essai des matériaux pour tester les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène

La machine d'essai universelle des matériaux (UTM) est l'équipement de base pour tester les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène, qui est utilisé pour mesurer la résistance à la traction, la limite d'élasticité, l'allongement à la rupture et le module d'élasticité, et convient aux feuilles de molybdène d'une épaisseur de 0,01 à 3 mm. Les équipements couramment utilisés tels que l'Instron 5982 ou la série MTS Criterion (plage de charge de 1 à 100 kN avec une précision de $\pm 0,5$ %) évaluent les performances des feuilles de molybdène par des essais de traction, de compression ou de flexion. Dans un essai de traction, un échantillon de feuille de molybdène (taille standard telle que ASTM E8, largeur 5-10 mm) est fixé entre les montages, étiré jusqu'à la rupture à une vitesse constante (1-10 mm/min), et une courbe contrainte-déformation est enregistrée pour donner la résistance à la traction (800-1200 MPa), la limite d'élasticité (environ 600-900 MPa) et l'allongement à la rupture (5-15 %). L'essai de traction à haute température (1000-1500°C) doit être équipé d'un four à haute température (protection contre l'argon, pureté $\geq 99,99$ %) pour simuler les conditions de travail réelles et tester la résistance à haute température (environ 500-700 MPa à 1200°C). Les points clés sont les suivants : polissage de la surface de l'échantillon ($R_a \leq 0,4$ microns) pour éviter les concentrations de contraintes, précision de l'alignement du dispositif ($< 0,1$ mm) pour assurer la cohérence du test ; L'environnement d'essai doit être à température constante (20 ± 1 °C) ou à haute température strictement contrôlée (teneur en oxygène < 10 ppm). Les machines universelles d'essai des matériaux évaluent avec précision les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène et garantissent leur fiabilité dans les structures aérospatiales et les composants de fours à haute température.

5.5.2 L'appareil d'essai de dureté teste les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène

Le testeur de dureté est utilisé pour mesurer la dureté des feuilles de molybdène, reflétant leur résistance

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

à la déformation et à l'usure, et constitue un outil important pour évaluer leurs propriétés mécaniques. Les équipements couramment utilisés comprennent les duromètres Vickers (par exemple, Wilson VH3300, 0,1-10 kgf, précision ± 1 HV) et les duromètres Brinell (par exemple, ZwickRoell ZHU250, 5-3000 kgf). L'essai de dureté Vickers applique une charge de 1 à 5 kgf sur la surface de la feuille de molybdène (polie à $Ra \leq 0,4$ micron), presse l'échantillon à travers un pénétrateur en diamant (angle de cône de 136°), mesure la longueur diagonale d'indentation et calcule la valeur de dureté (220-250 HV pour la feuille de molybdène de haute pureté, 300-350 HV pour l'alliage TZM). L'essai de dureté Brinell utilise un pénétrateur à bille en carbure (diamètre 2,5-10 mm) pour les feuilles de molybdène plus épaisses (> 1 mm) avec une valeur de dureté d'environ 230-260 HB. L'essai doit être effectué dans un environnement à température constante (20 ± 1 °C) et la moyenne d'au moins 5 points doit être calculée pour réduire l'effet de l'inhomogénéité du grain. Les points clés sont les suivants : la surface de l'échantillon doit être propre et exempte de couche d'oxyde (décapage ou nettoyage par ultrasons) ; Le pénétrateur et la charge doivent être sélectionnés en fonction de l'épaisseur (faible charge pour les tôles minces $< 0,1$ mm) ; L'équipement doit être calibré régulièrement (à l'aide de blocs de dureté standard). Les résultats des tests de dureté peuvent vérifier l'effet d'écrouissage et la résistance à l'usure des feuilles de molybdène, et conviennent aux cibles électroniques et aux substrats de revêtement d'outils de coupe.

5.5.3 Machine d'essai de choc pour tester les propriétés mécaniques des feuilles de molybdène

Les machines d'essai d'impact sont utilisées pour évaluer la ténacité et la résistance aux chocs des feuilles de molybdène, en vérifiant leurs performances sous des charges dynamiques en mesurant la ténacité à la rupture (K_{IC}) ou l'énergie d'absorption des chocs. Les équipements couramment utilisés sont les appareils d'essai d'impact Charlest (par exemple, série ZwickRoell HIT, plage d'énergie 5-300 J, précision $\pm 0,1$ J) et les appareils d'essai d'impact de chute de poids (par exemple, Instron Dynatup, énergie 50-1000 J). L'essai de choc Charlest applique un impact instantané à une éprouvette standard (par exemple, ASTM E23, taille $10 \times 10 \times 55$ mm avec encoche en V) et enregistre l'énergie absorbée à la rupture (environ 5-15 J pour les feuilles de molybdène) et reflète sa ténacité (ténacité à la rupture 10-15 $MPa \cdot m^{1/2}$). L'essai de chute de poids convient aux feuilles minces de molybdène (0,01 à 1 mm d'épaisseur), à la mesure de la résistance aux chocs par impact en chute libre (hauteur 0,5 à 2 m) et à la simulation de l'environnement vibratoire des composants aérospatiaux. L'essai d'impact à haute température ($1000^\circ C$) doit être équipé d'un four de protection contre l'argon (pureté $\geq 99,99$ %) pour éviter l'oxydation. Les points clés sont les suivants : les encoches de l'échantillon doivent être usinées avec précision (2 mm de profondeur, angle de 45°) ; La température d'essai doit être contrôlée ($20 \pm 1^\circ C$ ou haute température $\pm 10^\circ C$) ; La moyenne de plusieurs tests (au moins 3 fois) est calculée pour garantir la fiabilité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD feuille de molybdène

Chapitre 6 Méthodes d'essai pour les performances des feuilles de molybdène

Les méthodes d'essai de performance des feuilles de molybdène sont utilisées pour évaluer avec précision leurs propriétés physiques et chimiques afin de s'assurer qu'elles répondent aux exigences strictes de l'industrie de l'électronique, de l'aérospatiale et des industries à haute température. Les méthodes d'essai couvrent des paramètres clés tels que la densité, le point de fusion et la stabilité thermique, et fournissent des données fiables pour vérifier la pureté, la structure et la fonctionnalité des feuilles de molybdène grâce à des processus et des équipements standardisés. Les copeaux de molybdène de CTIA GROUP LTD sont testés à l'aide de normes internationales (par exemple, ASTM B386) pour s'assurer que les paramètres de performance tels que la densité ($10,22 \text{ g/cm}^3$), le point de fusion (2620°C) et la stabilité à haute température répondent aux attentes.

6.1 Méthode d'essai pour la masse volumique d'une feuille de molybdène

La méthode d'essai pour la masse volumique des feuilles de molybdène est utilisée pour mesurer sa masse volumique (valeur théorique $10,22 \text{ g/cm}^3$) afin d'évaluer la densité et la pureté du matériau, adapté au contrôle de la qualité et à la certification. Les méthodes couramment utilisées sont la méthode de drainage d'Archimède et l'analyse de la densité des rayons X.

Basée sur le principe de la flottabilité, la méthode de drainage d'Archimède mesure la différence de masse des feuilles de molybdène dans l'air et le liquide, calcule la densité et la précision peut atteindre $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, ce qui convient aux feuilles de molybdène d'une épaisseur de 0,01 à 3 mm. Le processus de test comprend : 1) la préparation de l'échantillon, le nettoyage par ultrasons des feuilles de molybdène (5 minutes, élimination de l'huile), le séchage (60°C , 10 minutes) ; 2) pesage, à l'aide d'une balance électronique de haute précision (par exemple Mettler Toledo XS205, avec une précision de $\pm 0,1 \text{ mg}$)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pour mesurer la masse dans l'air (m_1) ; 3) Mesure d'immersion, la feuille de molybdène est suspendue dans de l'eau désionisée (densité $\rho_0=1$ g/cm³, 20 °C) pour s'assurer qu'il n'y a pas de fixation de bulles, et la masse dans l'eau (m_2) est enregistrée ; 4) Calculez la densité, la formule est $\rho=m_1/(m_1-m_2)\cdot\rho_0$, et répétez la mesure 3 à 5 fois pour prendre la valeur moyenne.

La densitométrie à rayons X utilise un densimètre à rayons X (par exemple, PANalytical X'Pert) pour calculer la masse volumique à partir de l'intensité d'absorption des rayons X avec une précision de $\pm 0,005$ g/cm³ sans détruire l'échantillon, ce qui la rend adaptée à une détection de haute précision. Les principaux points à retenir sont les suivants : l'environnement d'essai doit être maintenu à une température constante (20 ± 1 °C) pour éliminer les effets de la dilatation thermique ; La surface de l'échantillon doit être plane ($R_a \leq 0,4$ μm) pour réduire les erreurs, et l'équipement d'étalonnage utilise des échantillons standard (par exemple, des blocs de molybdène pur). Les tests de densité détectent la porosité (cible $< 2\%$) et les effets d'impuretés pour s'assurer que la feuille de molybdène convient aux cibles semi-conductrices et aux composants à haute température.

6.2 Méthode d'essai pour le point de fusion d'une feuille de molybdène

La méthode d'essai pour le point de fusion des feuilles de molybdène est utilisée pour vérifier son point de fusion (environ 2620 °C) afin de confirmer les performances et la pureté à haute température, et convient aux applications aérospatiales et aux fours à haute température. Les méthodes couramment utilisées sont la calorimétrie différentielle à balayage (DSC) et la fusion flash laser. La méthode DSC mesure le pic endothermique de la feuille de molybdène pendant le processus de chauffage à l'aide d'un calorimètre différentiel à balayage à haute température (par exemple, Netzsch STA 449, plage de température 25-2800°C, précision $\pm 5^\circ\text{C}$). Le processus d'essai comprenait : 1) la préparation de l'échantillon, la découpe de feuilles de molybdène (5-10 mg, épaisseur 0,1-1 mm), le polissage ($R_a \leq 0,4$ microns) et le nettoyage par ultrasons, 2) le chargement de l'échantillon, le placement de l'échantillon dans un creuset en tungstène et son placement dans une atmosphère protectrice à l'argon (pureté $\geq 99,99\%$, teneur en oxygène < 10 ppm) ; 3) Chauffage, chauffage à 2800°C à une vitesse de 5-10 °C/min, enregistrement de la température de crête endothermique comme point de fusion ; 4) Analyse des données, répétez le test 3 fois pour prendre la moyenne. La méthode de fusion par flash laser utilise un dispositif de fusion par flash laser (tel que LFA 467, plage de température 1000-3000 °C) pour chauffer rapidement la surface de la feuille de molybdène (surface 5×5 mm) par impulsions laser, et le thermomètre infrarouge enregistre la température de fusion, et le temps de test est < 1 minute. Les principaux points à retenir sont les suivants : les échantillons doivent être d'une pureté élevée ($\geq 99,95\%$) pour éviter les impuretés et abaisser le point de fusion ; L'atmosphère d'essai doit être strictement contrôlée pour éviter l'oxydation ; L'appareil est calibré à l'aide d'un échantillon standard (par exemple tungstène, point de fusion 3422°C). L'erreur d'essai du point de fusion est contrôlée à $\pm 10^\circ\text{C}$ pour garantir la stabilité des feuilles de molybdène dans les fours à vide ou les composants à haute température.

6.3 Méthodes d'essai pour la stabilité thermique des feuilles de molybdène

La méthode d'essai de stabilité thermique des feuilles de molybdène est utilisée pour évaluer sa stabilité structurelle et ses performances dans des environnements à haute température, en particulier dans des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

atmosphères oxydantes ou sous vide, et convient aux fours à haute température et aux applications aérospatiales. L'essai de stabilité thermique est principalement réalisé par analyse thermogravimétrique (TGA) et méthode d'essai de recuit à haute température. La méthode TGA utilise un analyseur thermogravimétrique (par exemple, TA Instruments Q500, plage de température 25-1500°C, précision $\pm 0,1$ %) pour mesurer le changement de masse de la feuille de molybdène à haute température, en évaluant la tendance à l'oxydation et la perte de volatilité. Le processus d'essai comprend : 1) la préparation de l'échantillon, la découpe de feuilles de molybdène (10-20 mg, épaisseur 0,1-1 mm), le nettoyage et le séchage par ultrasons, 2) l'environnement d'essai, l'argon (pureté $\geq 99,99$ %) ou l'atmosphère de l'air, vitesse de chauffage 5-10°C/min à 600-1500°C ; 3) enregistrer les données et mesurer le taux de perte de masse (l'objectif $< 0,1$ % dans l'argon à 1000 °C, et le MoO₃ peut être généré au-dessus de 600 °C dans l'atmosphère oxydante) ; 4) Analysez la température de départ de l'oxydation et le taux de volatilisation. La méthode d'essai de recuit à haute température est réalisée dans un four de recuit sous vide (par exemple Carbolite Gero, température 1000-2000°C, degré de vide 10⁻⁵). Pa), les feuilles de molybdène ont été chauffées à 1200-1500 °C, incubées pendant 1 à 4 heures, et la topographie de surface (observation MEB) et les changements de grain (diffraction des rayons X) ont été vérifiés. Les points clés sont les suivants : polissage de la surface de l'échantillon (Ra $\leq 0,4$ μm) pour réduire le point d'oxydation, et une atmosphère d'essai étroitement contrôlée (teneur en oxygène < 10 ppm) ; Plusieurs tests (3 à 5 fois) pour vérifier la stabilité. Les tests de stabilité thermique confirment la résistance à l'oxydation et l'intégrité structurelle des feuilles de molybdène à haute température, garantissant leur fiabilité dans le blindage thermique des fours à vide ou les revêtements de tuyères de fusée.

6.4 Méthode d'essai de conductivité de la feuille de molybdène

La méthode d'essai de conductivité de la feuille de molybdène est utilisée pour mesurer sa résistivité (environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$) afin d'évaluer les propriétés électriques et de s'assurer de leur adéquation pour les électrodes et les cibles de pulvérisation dans l'industrie électronique. Les méthodes couramment utilisées sont la méthode à quatre sondes et la méthode par courants de Foucault. La méthode à quatre sondes mesure la résistivité des feuilles de molybdène à l'aide d'un testeur à quatre sondes (par exemple, Keithley 2635B, précision $\pm 0,01$ %), adapté aux échantillons d'une épaisseur de 0,01 à 3 mm. Le processus d'essai comprend : 1) la préparation de l'échantillon, la découpe de feuilles de molybdène (taille 10×10 mm), le polissage à Ra $\leq 0,4$ microns, le nettoyage par ultrasons pour éliminer l'huile de surface, 2) la configuration d'essai, la disposition équidistante de quatre sondes (espacement de 1 à 2 mm), l'application d'un courant constant (1 à 100 mA), la mesure de la chute de tension ; 3) Calculez la résistivité à l'aide de la formule $\rho = (V/I) \cdot (A/L)$, où V est la tension, I est le courant, A est la section transversale de l'échantillon, L est l'espacement des sondes et la valeur moyenne est prise en répétant la mesure 5 fois ; 4) Étalonnage des données, en tenant compte de l'influence de l'épaisseur de l'échantillon et de la température (20 \pm 1°C). La méthode par courants de Foucault utilise un conductimètre (par exemple, Sigmascope SMP350, fréquence 10-100 kHz) pour mesurer la conductivité en S/m par des courants de Foucault sans contact, ce qui la rend adaptée à la détection rapide de grandes surfaces de feuilles de molybdène. Les principaux points à retenir sont les suivants : pas de couche d'oxyde à la surface de l'échantillon ; L'environnement de test doit avoir une température et une humidité constantes (humidité < 50 %) pour réduire les interférences ; L'appareil est calibré à l'aide de conducteurs standard tels que le cuivre, résistivité $1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$). La méthode à quatre sondes a une grande précision et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

convient aux cibles de haute précision ; La méthode par courants de Foucault est très efficace et convient aux tests par lots. Le test de conductivité garantit la stabilité électrique de la feuille de molybdène dans le dépôt de couches minces de semi-conducteurs.

6.5 Méthode d'essai de conductivité thermique de la feuille de molybdène

La méthode d'essai de la conductivité thermique des feuilles de molybdène est utilisée pour mesurer sa conductivité thermique (environ 138 W/m·K) et évaluer les performances de gestion thermique, et convient aux substrats de dissipation de chaleur et aux composants de four à haute température. Les méthodes couramment utilisées sont la méthode du flash laser et la méthode du flux de chaleur à l'état stationnaire. La méthode du flash laser mesure la conductivité thermique à l'aide d'un conductimètre thermique à flash laser (par exemple, Netzsch LFA 467, avec une précision de $\pm 3\%$) et convient aux feuilles de molybdène d'une épaisseur de 0,5 à 3 mm. Le processus de test comprend : 1) la préparation de l'échantillon, la découpe de la feuille de molybdène (10×10 mm), le polissage à $Ra \leq 0,4$ microns, le nettoyage par ultrasons, 2) la configuration du test, le placement de l'échantillon dans un environnement protégé contre l'argon (pureté $\geq 99,99\%$, teneur en oxygène < 10 ppm), le chauffage par impulsion laser d'un côté, le thermomètre infrarouge enregistrant l'élévation de température de l'autre côté ; 3) Calculer la conductivité thermique à l'aide de la formule $k = \alpha \cdot \rho \cdot C_p$, où α est la diffusivité thermique (mesurée par l'instrument), ρ est la masse volumique et C_p est la capacité thermique spécifique (environ 0,25 J/g·K) ; 4) Répétez l'essai 3 à 5 fois pour obtenir la moyenne. La méthode du flux de chaleur en régime permanent utilise un fluxmètre de chaleur (par exemple, Hot Disk TPS 2500S, avec une précision de $\pm 2\%$) pour mesurer le gradient de température sous un flux de chaleur constant à travers une sonde thermique et convient aux grands échantillons (20×20 mm). Les principaux points à retenir sont les suivants : une épaisseur uniforme de l'échantillon pour assurer un flux de chaleur constant ; La température d'essai est contrôlée à 20-1500°C ; Les étalonnages ont été effectués à l'aide d'échantillons standard (par exemple, acier inoxydable, 16 W/m·K). La méthode du flash laser convient aux tests à haute température, et la méthode à l'état stationnaire convient aux grands échantillons à température ambiante. Le test de conductivité thermique garantit l'efficacité de conductivité thermique de la feuille de molybdène dans le boîtier électronique, et l'erreur est contrôlée à ± 5 W/m·K.

6.6 Méthode d'essai pour le coefficient de dilatation thermique de la feuille de molybdène

La méthode d'essai pour le coefficient de dilatation thermique des feuilles de molybdène est utilisée pour mesurer son coefficient de dilatation linéaire (environ $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 20-1000°C) pour évaluer les performances d'adaptation thermique et convient aux emballages de semi-conducteurs et aux composants à haute température. Les méthodes les plus couramment utilisées sont la méthode du thermodilatomètre et la méthode d'analyse des cristaux de rayons X. La méthode du dilatomètre utilise un thermodilatomètre (par exemple, Netzsch DIL 402 avec une précision de $\pm 0,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Le coefficient de dilatation thermique est calculé en mesurant la variation de la longueur de la feuille de molybdène pendant le chauffage. Le processus d'essai comprenait : 1) la préparation de l'échantillon, la découpe de feuilles de molybdène (longueur 10-25 mm, épaisseur 0,1-1 mm), le polissage à $Ra \leq 0,4$ microns, 2) la configuration de l'essai, l'exposition de l'échantillon à un environnement protégé contre l'argon (pureté $\geq 99,99\%$), le chauffage à 1000°C à 2-5 °C/min, l'enregistrement des changements de longueur (résolution 0,1 microns),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3) le calcul du coefficient de dilatation thermique par la formule $\alpha = \Delta L / (L_0 \cdot \Delta T)$, où ΔL est la variation de longueur, L_0 est la longueur initiale et ΔT est la variation de température ; 4) Répétez le test 3 fois pour faire la moyenne. L'analyse des cristaux à rayons X utilise un diffractomètre à rayons X (par exemple, Bruker D8, avec une précision de $\pm 0,05 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) pour estimer le coefficient de dilatation thermique en mesurant la variation de la constante du réseau à haute température, et convient aux petits échantillons. Les principaux points à retenir sont les suivants : les échantillons doivent être exempts de défauts de surface ; La température d'essai doit être contrôlée avec précision ($\pm 1^\circ\text{C}$) ; Les étalonnages sont effectués à l'aide d'un échantillon standard (par exemple, alumine, $7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$). Le test de coefficient de dilatation thermique garantit la compatibilité thermique de la feuille de molybdène avec le silicium ou la céramique, et l'erreur est contrôlée à $\pm 0,2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

6.7 Méthode d'essai de résistance de la feuille de molybdène

La méthode d'essai de la résistance des feuilles de molybdène est utilisée pour mesurer leur résistance à la traction (800-1200 MPa) et leur limite d'élasticité (600-900 MPa) afin d'évaluer les propriétés mécaniques et convient aux pièces structurelles aérospatiales et à haute température. La méthode la plus courante est la méthode d'essai de traction, à l'aide d'une machine d'essai universelle des matériaux (par exemple, Instron 5982, plage de charge 1-100 kN, précision $\pm 0,5\%$). Le processus d'essai comprend : 1) la préparation des échantillons, la découpe de feuilles de molybdène (norme ASTM E8, largeur 5-10 mm, épaisseur 0,01-3 mm), polissage à $R_a \leq 0,4$ microns ; 2) configuration d'essai, l'échantillon est fixé dans des montages, étiré jusqu'à la rupture à une vitesse de 1 à 10 mm/min, et la courbe contrainte-déformation est enregistrée ; 3) Analyse des données pour calculer la résistance à la traction (contrainte maximale), la limite d'élasticité (contrainte de décalage de 0,2 %) et l'allongement à la rupture (5-15 %) ; 4) Le test à haute température (1000-1500°C) nécessite une protection contre l'argon (pureté $\geq 99,99\%$). Les points clés sont les suivants : précision de l'alignement du dispositif ($< 0,1$ mm) pour éviter les charges excentriques ; L'environnement d'essai est à température constante ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) ou à haute température ($\pm 10^\circ\text{C}$) ; Répétez le test 3 à 5 fois pour faire la moyenne. La méthode d'essai de traction évalue la résistance des feuilles de molybdène à température ambiante et à haute température, garantissant ainsi leur fiabilité dans les revêtements de tuyère de fusée et les composants de four à haute température.

6.8 Méthode d'essai pour la dureté de la feuille de molybdène

La méthode d'essai pour la dureté des feuilles de molybdène est utilisée pour mesurer sa dureté Vickers (220-250 HV, alliage TZM 300-350 HV) afin d'évaluer la résistance à la déformation et à l'usure, et convient aux cibles électroniques et aux substrats d'outils de coupe. La méthode la plus courante est l'essai de dureté Vickers, qui utilise un duromètre Vickers (par exemple, Wilson VH3300, charge 0,1-10 kgf, précision ± 1 HV). Le processus d'essai comprenait : 1) la préparation de l'échantillon, la découpe de feuilles de molybdène (10×10 mm, épaisseur 0,1-3 mm), le polissage à $R_a \leq 0,4 \mu\text{m}$, le nettoyage par ultrasons, 2) la configuration d'essai, à l'aide d'un pénétrateur diamanté (angle de cône de 136°), l'application d'une charge de 1-5 kgf (0,1-0,5 kgf pour les lamelles $< 0,1$ mm), la tenue pendant 10-15 secondes ; 3) Mesurez l'indentation, mesurez la longueur diagonale de l'indentation à l'aide d'un microscope (grossissement 400x) et calculez la valeur de dureté ($HV = 1,8544 \cdot F/d^2$, F est la charge, d est la longueur moyenne de la diagonale d'indentation) ; 4) Répétez le test 5 à 7 fois pour prendre la moyenne.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les principaux points à retenir sont les suivants : la surface de l'échantillon doit être exempte d'une couche d'oxyde (décapage) ; La sélection de la charge doit correspondre à l'épaisseur pour éviter l'effet de substrat ; Les étalonnages sont effectués à l'aide de blocs de dureté standard (par exemple, 200 HV). L'essai de dureté Vickers est très précis et convient à l'évaluation de l'écrouissage et de la résistance à l'usure des feuilles de molybdène, garantissant ainsi leur stabilité dans les cibles de pulvérisation.

6.9 Méthodes d'essai pour la ténacité des feuilles de molybdène

La méthode d'essai de la ténacité des feuilles de molybdène est utilisée pour évaluer leur résistance à la rupture et leur capacité à absorber l'énergie d'impact, et pour mesurer la ténacité à la rupture (K_{IC} , environ $10-15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), qui convient aux applications aérospatiales et de substrats électroniques. Les méthodes couramment utilisées sont la méthode d'essai de choc charnaisienne et la méthode d'essai de résistance à la rupture. La méthode d'essai de choc Charpend utilise un testeur de choc Charpend (par exemple, ZwickRoell HIT, plage d'énergie 5-300 J, précision $\pm 0,1 \text{ J}$). Le processus d'essai comprend : 1) la préparation de l'échantillon, la découpe de la feuille de molybdène (norme ASTM E23, $10\times 10\times 55 \text{ mm}$, profondeur de l'encoche en V de 2 mm, angle 45°), le polissage à $Ra \leq 0,4 \text{ microns}$), 2) la configuration de l'essai, l'échantillon est fixé dans la machine d'essai pour frapper l'encoche avec un pendule, et l'énergie absorbée (environ 5-15 J) est enregistrée ; 3) Analyse des données, calcul de la résistance aux chocs, répétez le test 3 à 5 fois pour prendre la moyenne ; 4) Le test à haute température (1000°C) nécessite une protection contre l'argon (pureté $\geq 99,99 \%$, teneur en oxygène $< 10 \text{ ppm}$). La méthode d'essai de résistance à la rupture utilise une machine d'essai de matériaux universelle (par exemple, Instron 5982, charge 1-100 kN), à l'aide d'un échantillon de traction entaillée unilatérale (SENB) (ASTM E399, épaisseur 0,5-3 mm), chargé à une vitesse de 0,5-2 mm/min, enregistrant la force de propagation de la fissure et calculant le K_{IC} . Les points clés sont les suivants : précision d'encoche ($\pm 0,01 \text{ mm}$) pour éviter les concentrations de contraintes ; L'environnement d'essai est à température constante ($20\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) ou à haute température ($\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) ; Les étalonnages sont effectués à l'aide d'échantillons standard (par exemple, de l'acier, K_{IC} environ $50 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). L'essai de ténacité garantit la résistance à la rupture de la feuille de molybdène sous des charges dynamiques et convient aux buses à haute température et aux substrats semi-conducteurs.

6.10 Méthode d'essai pour la ductilité des feuilles de molybdène

La méthode d'essai pour la ductilité des feuilles de molybdène est utilisée pour mesurer son allongement à la rupture (5-15 %) et sa capacité de déformation plastique, et pour évaluer ses propriétés de moulage, et convient au dépôt de couches minces et aux substrats flexibles. La méthode la plus courante est la méthode d'essai de traction, qui utilise une machine d'essai universelle des matériaux (par exemple, critère MTS, charge 1-100 kN, précision $\pm 0,5 \%$). Le processus d'essai comprend : 1) la préparation des échantillons, la découpe de feuilles de molybdène (norme ASTM E8, largeur 5-10 mm, épaisseur 0,01-3 mm), polissage à $Ra \leq 0,4 \text{ microns}$; 2) configuration d'essai, l'échantillon est fixé dans des montages, étiré jusqu'à la rupture à une vitesse de 1 à 10 mm/min, et la courbe de déformation est enregistrée ; 3) Analyse des données, calcul de l'allongement à la rupture ($\Delta L/L_0 \times 100 \%$) et du taux de réduction de surface, et répétez le test 3 à 5 fois pour prendre la valeur moyenne ; 4) Le test de ductilité à haute température ($1000-1200^\circ\text{C}$) nécessite une protection sous vide ou à l'argon (pureté $\geq 99,99 \%$) pour

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

améliorer la ductilité (jusqu'à 20 %). Les points clés sont les suivants : précision de l'alignement du dispositif (<0,1 mm) pour assurer une force uniforme ; L'environnement d'essai est à température constante (20±1 °C) ou à haute température (±10 °C) ; La surface de l'échantillon est exempte de défauts pour éviter une rupture prématurée. Les tests de ductilité vérifient la capacité de traitement plastique des feuilles de molybdène, garantissant ainsi leur aptitude à l'emboutissage et à l'usinage de précision.

6.11 Méthodes d'essai pour les propriétés de fatigue des feuilles de molybdène

La méthode d'essai des propriétés de fatigue des feuilles de molybdène est utilisée pour évaluer sa durabilité sous des charges cycliques, pour mesurer la limite de fatigue (environ 400-500 MPa, 10^7 cycles), et convient aux environnements aérospatiaux et aux vibrations à haute température. La méthode la plus courante est la méthode d'essai de fatigue à grand cycle, à l'aide d'une machine d'essai de fatigue (par exemple, MTS 810, charge 1-100 kN, fréquence 10-100 Hz). Le processus d'essai comprend : 1) la préparation des échantillons, la découpe de feuilles de molybdène (ASTM E466, largeur 5-10 mm, épaisseur 0,1-3 mm), le polissage à $R_a \leq 0,4$ microns ; 2) configuration d'essai, application de contraintes cycliques (rapport de contrainte $R = 0,1-0,5$), fréquence 20-50 Hz, cycles d'enregistrement jusqu'à la pause ou jusqu'à 10^7 fois ; 3) L'analyse des données, le dessin de la courbe S-N, la limite de fatigue déterminée, la protection contre l'argon (pureté $\geq 99,99\%$) sont nécessaires pour l'essai à haute température (1000°C) ; 4) Répétez le test 5 fois pour faire la moyenne. Les points clés sont les suivants : la surface de l'échantillon doit être exempte de rayures (nettoyée par ultrasons) ; La précision du contrôle des contraintes (± 1 MPa) assure la cohérence ; Des matériaux standard (par exemple l'acier inoxydable) sont utilisés pour l'étalonnage, avec une limite de fatigue d'environ 200 MPa. Les essais de fatigue garantissent la stabilité à long terme de la feuille de molybdène dans le support des aubes de turbine et les composants du réacteur nucléaire.

6.12 Méthode d'essai pour la résistance à la corrosion des feuilles de molybdène

La méthode d'essai pour la résistance à la corrosion des feuilles de molybdène est utilisée pour évaluer leur stabilité dans les milieux chimiques (par exemple, les acides non oxydants, les bases) et pour mesurer le taux de corrosion (<0,01 mm/an dans l'acide chlorhydrique à 10 %) et convient aux revêtements d'équipements chimiques. Les méthodes couramment utilisées sont la méthode d'essai de corrosion par immersion et la méthode d'essai électrochimique. La méthode d'essai de corrosion par immersion utilise une chambre d'essai de corrosion (p. ex., Q-FOG CCT, 20-80 °C). Le processus d'essai comprend : 1) la préparation de l'échantillon, la découpe de feuilles de molybdène (20×20 mm, épaisseur 0,1-3 mm), le polissage à $R_a \leq 0,4$ microns, le nettoyage par ultrasons, 2) la configuration d'essai, l'immersion dans des milieux corrosifs (tels que l'acide chlorhydrique à 10 %, l'acide sulfurique ou le NaOH, pH 1-14) à 20-60°C pendant 168-720 heures ; 3) Analyse des données, pesée de la perte de masse de l'échantillon (précision $\pm 0,1$ mg), calcul de la vitesse de corrosion (mm/an), et répétition de l'essai 3 fois. La méthode d'essai électrochimique utilise un poste de travail électrochimique (p. ex., Gamry Interface 1010, avec une précision de $\pm 0,01$ mV) pour mesurer le potentiel de corrosion et la densité de courant au moyen d'une courbe de Tafel, et l'échantillon est placé dans une cellule électrolytique (p. ex., 3,5 % de NaCl). Les principaux points à retenir sont les suivants : les médias doivent être changés régulièrement pour maintenir la concentration ; Il n'y a pas de couche d'oxyde à la surface de l'échantillon ; Les étalonnages

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sont effectués à l'aide d'électrodes standard (par exemple, Ag/AgCl). Les tests de résistance à la corrosion garantissent la stabilité des feuilles de molybdène dans les réacteurs chimiques et les matériaux d'électrode.

6.13 Méthodes d'essai de résistance à l'oxydation des feuilles de molybdène

La méthode d'essai pour la résistance à l'oxydation de la feuille de molybdène est utilisée pour évaluer sa stabilité dans un environnement d'oxydation à haute température, pour mesurer la température de début d'oxydation (environ 600°C) et le taux de perte de masse, et convient aux fours à vide et aux composants aérospatiaux. Les méthodes couramment utilisées sont l'analyse thermogravimétrique (TGA) et les tests d'oxydation à haute température. La méthode TGA utilise un analyseur thermogravimétrique (par exemple, TA Instruments Q500, 25-1500°C, précision $\pm 0,1$ %). Le processus d'essai comprend : 1) la préparation de l'échantillon, la découpe de feuilles de molybdène (10-20 mg, épaisseur 0,1-1 mm), le polissage à $Ra \leq 0,4$ microns ; 2) configuration d'essai, élévation de température à 600-1500°C à 5-10°C/min dans l'air ou l'argon (pureté $\geq 99,99$ %), enregistrement des changements de qualité ; 3) Analyse des données, détermination de la température de départ de l'oxydation (augmentation de masse ou point de volatilisation MoO_3), répétez le test 3 fois. La méthode d'essai d'oxydation à haute température est effectuée dans un four à haute température (par exemple, Carbolite Gero, température 600-1500 °C), la feuille de molybdène est exposée à l'air, incubée pendant 1 à 4 heures, et l'épaisseur de la couche d'oxyde de surface est observée par MEB (cible < 1 micron à 600 °C). Les principaux points à retenir sont les suivants : l'atmosphère d'essai doit être contrôlée avec précision (teneur en oxygène $<$ de 10 ppm dans l'argon) ; La surface de l'échantillon est propre et sans défaut ; L'étalonnage utilise des échantillons étalons (p. ex., tungstène). Des tests de résistance à l'oxydation vérifient la stabilité des feuilles de molybdène dans des environnements à haute température et garantissent leur aptitude à fonctionner sous vide ou dans des atmosphères inertes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD feuille de molybdène

Chapitre 7 Domaines d'application des feuilles de molybdène

7.1 Application de la feuille de molybdène dans le domaine de l'information électronique

La feuille de molybdène a une excellente conductivité électrique (résistivité d'environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), une conductivité thermique (environ $138 W/m \cdot K$), un faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,8 \times 10^{-6} / ^\circ C$) et un point de fusion élevé ($2620^\circ C$) ont une large gamme d'applications dans le domaine de l'information électronique, en particulier dans la fabrication de semi-conducteurs, les matériaux d'électrodes et les cadres de connexion. Les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) sont devenues les matériaux de base des appareils de haute précision dans l'industrie électronique en raison de leur faible teneur en impuretés et de leur excellente qualité de surface ($R_a \leq 0,4$ micron). Grâce à un usinage de précision et à un contrôle de qualité strict, la feuille de molybdène CTIA GROUP LTD répond aux normes élevées des industries des semi-conducteurs, de la microélectronique et de l'optoélectronique.

7.1.1 Application de feuilles de molybdène dans les semi-conducteurs

Les puces de molybdène sont principalement utilisées comme cibles de pulvérisation et substrats de dissipation thermique dans l'industrie des semi-conducteurs, et sont largement utilisées dans la fabrication de transistors à couche mince (TFT), de circuits intégrés et de cellules solaires. Les feuilles de molybdène (épaisseur 0,05-1 mm, pureté $\geq 99,95\%$) pour les cibles de pulvérisation sont déposées par pulvérisation magnétron pour former une couche conductrice ou une couche barrière, qui est utilisée dans les électrodes des écrans à cristaux liquides (LCD), des diodes électroluminescentes organiques (OLED) et des cellules photovoltaïques. Sa faible résistivité et sa grande uniformité (granulométrie 5-20 μm) garantissent que le film est électriquement stable et peut être déposé à une vitesse de 10-50 nm/min.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le faible coefficient de dilatation thermique des feuilles de molybdène est similaire à celui du silicium ($2,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$).) et les substrats céramiques sont thermo-adaptés pour réduire les contraintes thermiques et améliorer la durée de vie du dispositif. En tant que substrat de dissipation thermique (0,1 à 2 mm d'épaisseur), les feuilles de molybdène sont utilisées dans les semi-conducteurs de puissance (par exemple les modules IGBT) pour la gestion thermique, avec une conductivité thermique élevée pour une dissipation efficace de la chaleur et des températures de fonctionnement allant jusqu'à 150-200°C. En production, les feuilles de molybdène sont laminées à froid et recuites sous vide (1100-1300°C) pour optimiser la qualité de surface ($R_a \leq 0,4$ microns) et la précision dimensionnelle (tolérance $\pm 0,005$ mm). Les avantages comprennent une grande pureté, une résistance réduite aux joints de grains et un faible taux de libération de gaz ($< 10^{-8}$ mbar·L/s) assure la stabilité de l'environnement de vide et est largement utilisé dans la fabrication de puces et les équipements de communication 5G.

7.1.2 Application de la feuille de molybdène dans les matériaux d'électrode

Les feuilles de molybdène sont principalement utilisées dans les fours à vide à haute température, les tubes à rayons X et les équipements électrochimiques dans les matériaux d'électrodes, et fonctionnent bien en raison de leur point de fusion élevé et de leur excellente conductivité électrique. Les feuilles de molybdène de haute pureté (épaisseur 0,1-2 mm, pureté $\geq 99,95$ %) sont utilisées comme électrodes chauffantes ou électrodes de support dans les fours à vide, résistant à des températures élevées de 1500-2000°C, et la résistance à la traction (environ 500 MPa à 1200°C) assure une stabilité à long terme. Dans les tubes à rayons X, les feuilles de molybdène sont utilisées comme cibles d'anode ou matériaux de support (0,5 à 3 mm d'épaisseur), leur conductivité élevée et leur résistance au bombardement d'électrons favorisent la génération de rayons X à haute énergie, et la rugosité de surface ($R_a \leq 0,4$ microns) assure l'uniformité du rayonnement. Dans le domaine de l'électrochimie, les feuilles de molybdène sont utilisées comme électrodes pour l'électrolyse du chlore ou de l'hydrogène gazeux en raison de leur excellente résistance à la corrosion dans les acides non oxydants tels que l'acide chlorhydrique à 10 % avec un taux de corrosion de $< 0,01$ mm/an). En production, les feuilles de molybdène sont laminées à froid et polies pour optimiser la qualité de surface, et le recuit à l'hydrogène (800-1100°C) réduit les contraintes internes. Les avantages des électrodes en molybdène comprennent une faible résistivité et une stabilité chimique élevée, des pertes d'électrodes réduites et conviennent à une utilisation dans les électrolyseurs industriels et les équipements d'imagerie médicale.

7.1.3 Application d'une feuille de molybdène dans le cadre de connexion

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme pièces de support et conductrices pour les boîtiers de semi-conducteurs dans les cadres de connexion, et sont largement utilisées dans les boîtiers de circuits intégrés (CI) et de diodes électroluminescentes (LED). Feuilles de molybdène (épaisseur de 0,1 à 0,5 mm, pureté $\geq 99,95$ %) en raison de leur coefficient de dilatation thermique correspondant ($4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) au silicium et à la céramique), ce qui peut réduire efficacement le stress thermique dans le processus d'emballage et améliorer la fiabilité de l'appareil. Sa conductivité élevée assure une connexion à faible résistance du cadre de connexion avec une perte de transmission de courant de < 1 %. La résistance mécanique (résistance à la traction 800-1000 MPa) et la ductilité (allongement à la rupture 5-10 %) des feuilles de molybdène permettent l'emboutissage de formes complexes, et le polissage de surface ($R_a \leq$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,4 microns) améliore les performances de soudage. En production, les feuilles de molybdène sont préparées par des processus de laminage à froid et de découpe de précision avec des tolérances dimensionnelles de $\pm 0,005$ mm, recuit sous vide (800-1100°C) pour optimiser la structure du grain (5-20 microns). Les avantages des cadres de connexion des puces en molybdène comprennent une conductivité thermique élevée (138 W/m·K), la prise en charge d'une dissipation thermique efficace, une résistance aux températures élevées et une adaptabilité à la soudure par refusion (250-300 °C), qui sont largement utilisés dans les dispositifs d'alimentation, les microprocesseurs et l'emballage des puces LED.

7.2 Application de feuilles de molybdène dans le four de croissance de cristal de saphir

Les feuilles de molybdène sont largement utilisées dans les fours de croissance de cristal de saphir en raison de leur point de fusion élevé (2620°C), de leur excellente stabilité thermique (résistance d'environ 500 MPa à 1500°C), de leur faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) et de leur bonne conductivité thermique (environ 138 W/m·K), principalement utilisées dans la fabrication d'écrans réfléchissants, de couvercles et d'autres composants clés. Les fours de croissance en verre saphir (Al_2O_3) (par exemple ceux de Chaister ou d'échange de chaleur) doivent fonctionner à des températures élevées (2050-2100°C) et dans une atmosphère vide ou inerte, ce qui rend les feuilles de molybdène idéales pour leurs propriétés à haute température et leur résistance au fluage (taux de fluage de $10^{-6}/\text{s}$). Grâce à une haute pureté ($\geq 99,95\%$) et à un processus d'usinage de précision, la feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD répond aux exigences élevées de résistance aux hautes températures, de résistance à la corrosion et de gestion thermique du four de croissance du saphir. Ce qui suit est une discussion détaillée des applications spécifiques, des exigences de performance et des avantages techniques des feuilles de molybdène dans les écrans et les couvertures réfléchissants.

7.2.1 Écran réfléchissant dans le four de croissance de cristal de saphir pour la production de feuilles de molybdène

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme écrans réfléchissants dans les fours de croissance de cristal de saphir, principalement pour la gestion du champ thermique, et optimisent la distribution de la température dans le four en réfléchissant la chaleur rayonnante pour assurer une croissance cristalline uniforme. Les écrans réfléchissants sont généralement constitués de feuilles de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$, épaisseur 0,1-2 mm), préparées par laminage à froid et recuit sous vide (1100-1300°C), et la taille des grains est contrôlée à 5-20 microns pour équilibrer résistance et ténacité. La surface de l'écran réfléchissant doit être polie à $\text{Ra} \leq 0,4$ micron pour améliorer la réflectivité du rayonnement thermique (environ 0,8-0,9) et réduire les pertes de chaleur. Le faible coefficient de dilatation thermique de la feuille de molybdène est bien adapté au creuset en saphir (environ $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), qui réduit la contrainte thermique à haute température (< 50 MPa). La résistance à la traction de la feuille de molybdène (environ 400-500 MPa) assure la stabilité structurelle et la résistance à l'oxydation dans une atmosphère de vide ou d'argon (teneur en oxygène < 10 ppm) sans générer de MoO_3 volatil dans une atmosphère de vide ou d'argon. En production, l'écran réfléchissant est formé par estampage de précision ou découpe laser, et la tolérance dimensionnelle est $\pm 0,01$ mm pour assurer l'uniformité du champ thermique. Ses avantages comprennent une conductivité thermique élevée, une conduction thermique efficace, une excellente résistance aux hautes températures et une durée de vie prolongée (> 1000 heures),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

qui est largement utilisée dans la production de cristaux de saphir pour les substrats LED et les fenêtres optiques.

7.2.2 Feuilles de molybdène pour la production de couvercles de fours de croissance de cristal de saphir

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme plaques de recouvrement dans les fours de croissance de cristal de saphir pour sceller les creusets ou protéger le champ thermique à l'intérieur du four contre les fuites de chaleur et la contamination par les impuretés. Les plaques de recouvrement sont généralement constituées de feuilles de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$, épaisseur 0,5-3 mm), préparées par laminage à chaud ou à froid, avec une résistance à la traction de 800-1000 MPa, une ductilité (allongement à la rupture 5-10 %) pour prendre en charge le traitement de formes complexes. La surface du couvercle doit être décapée ou polie ($R_a \leq 0,4 \mu\text{m}$) pour réduire l'adsorption de gaz et assurer un vide dans le four (10^{-5} Pa). À des températures élevées de 2050-2100°C, la stabilité thermique (taux de perte de masse $< 0,1\%$ dans l'argon) et la résistance au fluage (taux de fluage $10^{-6}/\text{s}$) de la feuille de molybdène garantissent que la couverture ne se déforme pas pendant une longue période. En production, la plaque de recouvrement est usinée CNC ou estampée et formée, avec une précision dimensionnelle de $\pm 0,02$ mm, et les bords doivent être ébavurés pour éviter la concentration des contraintes.

Les avantages de la plaque de recouvrement en feuille de molybdène comprennent une conductivité thermique élevée ($138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), une stabilité du champ thermique et un faible taux de libération de gaz ($< 10^{-8}$ mbar·L/s) pour maintenir un environnement propre dans le four, adapté à la méthode Chai ou au four de croissance par méthode d'échange de chaleur. Il améliore la pureté du cristal (impuretés < 10 ppm) et l'efficacité de croissance dans la production de cristal de saphir, et est largement utilisé dans la fabrication de saphir pour les écrans de smartphones et les substrats laser.

7.3 Application de feuilles de molybdène dans les fours à vide

Les feuilles de molybdène sont largement utilisées dans les fours à vide en raison de leur point de fusion élevé (2620°C), de leur excellente résistance à haute température (environ 500 MPa à 1500°C), de leur faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) et de leur bonne conductivité thermique (environ $138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), principalement utilisées dans la fabrication d'écrans réfléchissants, de chaleurs chauffantes et de connecteurs. Les fours à vide (par exemple, les fours de frittage à haute température, les fours de traitement thermique) doivent fonctionner sous vide ou sous atmosphère inerte (10^{-5} Pa, teneur en oxygène < 10 ppm), généralement à $1000-2000^\circ\text{C}$, et la résistance au fluage des feuilles de molybdène (taux de fluage $10^{-6}/\text{s}$) et le faible taux de libération de gaz ($< 10^{-8}$ mbar·L/s) en fait un matériau idéal.

Grâce à un processus d'usinage de haute pureté ($\geq 99,95\%$) et de précision, la feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD répond aux exigences élevées des fours à vide en matière de résistance aux hautes températures, de résistance à la corrosion et de gestion thermique. Vous trouverez ci-dessous une discussion détaillée des applications spécifiques, des exigences de performance et des avantages

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

techniques des feuilles de molybdène dans l'écran réfléchissant, du chauffage thermique et des connecteurs dans le four à vide.

7.3.1 Écrans réfléchissants dans les fours à vide pour la production de feuilles de molybdène

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme écrans réfléchissants dans les fours sous vide, principalement pour la gestion du champ thermique, pour optimiser la distribution de la température dans le four en réfléchissant la chaleur rayonnante, et pour assurer l'uniformité du frittage ou du traitement thermique du matériau. L'écran réfléchissant est constitué d'une feuille de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95$ %, épaisseur 0,1-2 mm), préparée par laminage à froid et recuit sous vide (1100-1300°C), et la taille des grains est contrôlée à 5-20 microns pour équilibrer résistance et ténacité. La surface est polie à $Ra \leq 0,4$ microns, ce qui améliore la réflectivité du rayonnement thermique (environ 0,8-0,9) et réduit les pertes de chaleur. Le faible coefficient de dilatation thermique de la feuille de molybdène est adapté aux pièces en céramique ou en métal dans le four, ce qui réduit la contrainte thermique à haute température (< 50 MPa). Dans un environnement sous vide de 1500-2000°C, la résistance à la traction de la feuille de molybdène (environ 400-500 MPa) assure la stabilité structurelle et la résistance à l'oxydation empêche la formation de MoO_3 volatils. En production, l'écran réfléchissant est découpé au laser ou estampé et formé, et la tolérance dimensionnelle est $\pm 0,01$ mm pour assurer l'uniformité du champ thermique. Ses avantages comprennent une conductivité thermique élevée, une conduction thermique efficace, une excellente résistance aux hautes températures et une longue durée de vie (> 1000 heures), qui sont largement utilisés dans les fours de frittage de céramique et les fours de traitement thermique des matériaux semi-conducteurs.

7.3.2 Chaleur dans le four à vide pour la production de feuilles de molybdène

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme chaleurs chauffantes dans les fours à vide pour générer directement de la chaleur résistive en tant qu'éléments chauffants pour soutenir les processus de frittage ou de traitement thermique à haute température. Le centre capillaire est préparé par un processus de laminage à froid avec une feuille de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95$ % et épaisseur 0,1-1 mm), avec une résistance à la traction de 800-1000 MPa et une résistivité d'environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ pour assurer une conversion efficace de la chaleur électrique. La surface doit être polie ($Ra \leq 0,4 \mu m$) ou décapée pour réduire l'adsorption de gaz et maintenir le vide (10^{-5} Pa). À 1500-1800°C, la stabilité thermique (taux de perte de masse $< 0,1$ %) et la résistance au fluage (taux de fluage 10^{-6}) des feuilles de molybdène/s garantissent que la chaleur n'est pas déformée pendant une longue période. Dans la production, la chaleur des cheveux est formée par emboutissage de précision ou découpe au fil, d'une largeur de 5 à 50 mm, d'une longueur personnalisée en fonction du type de four et d'une tolérance dimensionnelle de $\pm 0,02$ mm. Les avantages de la génération de chaleur comprennent une conductivité élevée, un support pour une élévation rapide de la température (taux 10-20°C/min), une résistance à haute température, une adaptabilité à une atmosphère sous vide ou à l'argon, et convient aux fours de frittage d'alliages métalliques et de matériaux monocristallins. Sa conversion thermique efficace augmente le taux d'utilisation de l'énergie dans le four (> 90 %).

7.3.3 Connecteurs dans les fours à vide pour la production de feuilles de molybdène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme connecteurs dans les fours à vide pour fixer ou connecter des écrans réfléchissants, des chaleurs thermiques ou d'autres composants afin d'assurer la stabilité de la structure du champ thermique. Les connecteurs sont constitués de feuilles de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$, épaisseur 0,5-3 mm), préparées par laminage à chaud ou laminage à froid, avec une résistance à la traction de 800-1000 MPa, une ductilité (allongement à la rupture 5-10 %) pour supporter l'emboutissage ou le pliage. Le décapage ou le polissage de surface ($R_a \leq 0,4$ microns) réduit le taux de dégagement de gaz et maintient un environnement propre dans le four. À des températures élevées de 1500-2000°C, la résistance au fluage et le faible coefficient de dilatation thermique des feuilles de molybdène garantissent que les connecteurs ne se déforment pas ou ne se desserrent pas. En production, les connecteurs sont préparés par usinage CNC ou découpe laser avec une tolérance de $\pm 0,01$ mm, et les bords sont ébavurés pour éviter la concentration des contraintes. Ses avantages comprennent un support à haute résistance pour les structures complexes, une conductivité thermique élevée (138 W/m·K) et une uniformité de champ thermique auxiliaire, adaptée aux cadres de support et aux fixations pour les fours à vide à haute température. Les connexions améliorent la fiabilité structurelle et la durée de vie dans les fours de traitement thermique en céramique, en métal et en composite.

7.4 Application d'une feuille de molybdène dans un revêtement plasma

Les feuilles de molybdène sont utilisées dans les revêtements plasma en raison de leur conductivité élevée (résistivité d'environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), de leur excellente stabilité thermique (point de fusion 2620 °C), de leur faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}C$) et de leur grande pureté ($\geq 99,95\%$), en particulier comme cible de pulvérisation dans le processus de pulvérisation magnétron. Le revêtement plasma est une technologie qui bombarde la surface d'une cible avec du plasma dans un environnement sous vide pour déposer des films minces, et est largement utilisée dans la fabrication de semi-conducteurs, d'écrans et de cellules solaires. Grâce à un traitement de précision et à un contrôle de qualité strict, la feuille de molybdène CTIA GROUP LTD répond aux exigences strictes du revêtement plasma pour une pureté, une qualité de surface et une précision dimensionnelle élevées. Ce qui suit traite en détail des applications spécifiques, des exigences de performance et des avantages techniques de la feuille de molybdène en tant que cible de pulvérisation.

7.4.1 Feuille de molybdène comme cible de pulvérisation pour le revêtement plasma

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme cibles de pulvérisation dans les revêtements plasma, et les films de molybdène sont déposés par pulvérisation magnétron pour former des couches conductrices, des couches barrières ou des électrodes, qui sont largement utilisées dans les transistors à couche mince (TFT), les diodes électroluminescentes organiques (OLED), les cellules solaires et la fabrication de circuits intégrés. La cible de pulvérisation est constituée de feuilles de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$, épaisseur 0,05-1 mm), préparées par laminage à froid et recuit sous vide (1100-1300°C), et la taille des grains est contrôlée à 5-20 microns pour assurer l'uniformité du film déposé. Polissage de surface à $R_a \leq 0,4$ microns, réduisant les projections de particules lors de la pulvérisation et améliorant la qualité du film (densité des défauts $< 10/cm^2$). La faible résistivité et la conductivité thermique élevée (138 W/m·K) des feuilles de molybdène supportent un bombardement au plasma à haut rendement avec

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

des taux de dépôt de 10 à 50 nm/min, et son faible coefficient de dilatation thermique correspond à celui des substrats de silicium ($2,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) pour réduire le stress thermique (< 50 MPa). En production, les cibles en feuille de molybdène sont formées par découpe laser ou usinage CNC avec des tolérances dimensionnelles de $\pm 0,005$ mm, et les impuretés (fer, cuivre < 20 ppm) et les taux de libération de gaz ($< 10^{-8}$ mbar·L/s) sont strictement contrôlés pour maintenir un environnement de vide (10^{-6} Pa). Ses avantages comprennent une grande pureté, des propriétés électriques stables des films minces, une excellente résistance à la corrosion (sous atmosphère d'argon), une durée de vie cible prolongée (> 1000 heures), et est largement utilisé dans le dépôt d'électrodes d'écrans LCD, d'écrans OLED et de cellules photovoltaïques.

7.5 Application de la feuille de molybdène dans l'industrie métallurgique

La feuille de molybdène est largement utilisée dans l'industrie métallurgique en raison de son point de fusion élevé (2620°C), de son excellente résistance à haute température (environ 500 MPa à 1500°C) et de sa résistance à la corrosion (taux de corrosion $< 0,01$ mm/an dans des environnements non oxydants), principalement comme additifs pour la fabrication de l'acier et composants de four à haute température. Le molybdène peut améliorer considérablement la résistance, la ténacité et la résistance à la corrosion de l'acier et convient à la production d'aciers alliés haute performance. Grâce à la métallurgie des poudres et au processus de laminage, la feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD fournit des matériaux additifs de haute qualité pour répondre aux besoins de l'industrie métallurgique pour un équilibre entre performance et coût. Ce qui suit traite en détail de l'application, des exigences de performance et des avantages techniques des tôles de molybdène en tant qu'additifs pour la fabrication de l'acier.

7.5.1 Application des feuilles de molybdène en tant qu'additifs dans la sidérurgie

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme additifs dans la sidérurgie pour produire des aciers faiblement alliés (HSLA) à haute résistance, des aciers inoxydables et des aciers à outils pour améliorer la résistance à la traction (qui peut être augmentée de 20 à 30 %), la résistance à l'usure et la résistance à la corrosion. Les feuilles de molybdène (0,5 à 3 mm d'épaisseur, pures à 99-99,9 %) sont préparées par laminage à chaud ou à froid et ont généralement une largeur de 10 à 50 mm et une longueur de 100 à 500 mm, ce qui est pratique pour la fusion et l'ajout dans les fours sidérurgiques tels que les fours à arc électrique ou les convertisseurs. L'ajout de feuilles de molybdène représente généralement 0,1 à 1 % du poids de l'acier, et ses propriétés mécaniques (par exemple, une résistance à la traction de 1000 à 1500 MPa) sont considérablement améliorées en augmentant la finesse du grain et le renforcement de la transformation de phase de l'acier (par exemple, la formation de martensitique). Dans les environnements de sidérurgie à haute température ($1500-1600^{\circ}\text{C}$), la faible teneur en impuretés des feuilles de molybdène (fer, cuivre < 100 ppm) garantit qu'aucun élément nocif n'est introduit, et le décapage de surface (Ra 0,8-1,6 microns) réduit les inclusions de gaz. Lors de la production, les feuilles de molybdène sont cisailées ou broyées en petits morceaux avec une tolérance dimensionnelle de $\pm 0,05$ mm pour faciliter une fusion uniforme. Ses avantages comprennent un point de fusion élevé et une stabilité chimique pour un processus d'addition stable, une conductivité thermique élevée ($138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) pour une fusion rapide, et est largement utilisé dans la production d'aciers à haute résistance dans les industries automobile, maritime et de la construction, tels que les aciers pour récipients sous pression et les aciers alliés résistants

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

à la corrosion.

7.6 Application de la feuille de molybdène dans la structure d'un four à haute température

La feuille de molybdène est largement utilisée dans les pièces structurelles de fours à haute température en raison de son point de fusion élevé (2620 °C), de son excellente résistance à haute température (environ 500 MPa à 1500 °C), de son faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) et de sa bonne conductivité thermique (environ 138 W/m·K), principalement utilisée pour les boucliers thermiques et les éléments chauffants. Les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) ou les feuilles de molybdène en alliage TZM sont connues pour leur résistance au fluage (taux de fluage $10^{-6}/\text{s}$) et leur faible taux de libération de gaz ($< 10^{-8}$ mbar·L/s) dans des fours à haute température (par exemple fours de frittage, fours de traitement thermique) sous vide ou dans des atmosphères inertes (argon, teneur en oxygène < 10 ppm). Grâce à un usinage de précision et à un contrôle de qualité strict, les plaques de molybdène de CTIA GROUP LTD répondent aux exigences élevées des fours à haute température en matière de résistance aux hautes températures, de résistance à la corrosion et de gestion thermique. Ce qui suit est une discussion détaillée des applications spécifiques, des exigences de performance et des avantages techniques des feuilles de molybdène dans les boucliers thermiques et les éléments chauffants.

7.6.1 Application d'une feuille de molybdène dans l'écran thermique

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme boucliers thermiques dans les fours à haute température pour optimiser la distribution du champ thermique dans le four en réfléchissant et en protégeant la chaleur rayonnante, réduisant les pertes d'énergie et améliorant l'uniformité de la température. Le bouclier thermique est constitué d'une feuille de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$, épaisseur 0,1-2 mm), préparée par laminage à froid et recuit sous vide (1100-1300°C), et la taille des grains est contrôlée à 5-20 microns pour équilibrer résistance et ténacité. La surface est polie à $Ra \leq 0,4$ microns, ce qui améliore la réflectivité du rayonnement thermique (environ 0,8-0,9) et réduit efficacement les pertes de chaleur. Le faible coefficient de dilatation thermique de la feuille de molybdène est adapté aux pièces en céramique ou en tungstène dans le four, ce qui réduit la contrainte thermique à haute température (< 50 MPa). La résistance à la traction (environ 400-500 MPa) et la résistance à l'oxydation des feuilles de molybdène assurent une stabilité à long terme et empêchent la formation de MoO_3 volatils dans un environnement sous vide ou à argon à 1500-2000°C. En production, le bouclier thermique est découpé au laser ou estampé dans une forme avec une tolérance dimensionnelle de $\pm 0,01$ mm, et empilé en plusieurs couches (3 à 5 couches) pour améliorer l'effet d'isolation thermique. Ses avantages comprennent une conductivité thermique élevée, un support pour un champ thermique stable, une excellente résistance aux hautes températures et une longue durée de vie (> 1000 heures), qui sont largement utilisés dans les fours de frittage de céramique, les fours de croissance monocristalline et les fours de traitement thermique à haute température.

7.6.2 Application d'une feuille de molybdène dans un élément chauffant

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme éléments chauffants dans les fours à haute température, fournissant un environnement stable à haute température grâce au chauffage par résistance pour soutenir

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

les processus de frittage, de recuit et de traitement thermique. L'élément chauffant est constitué d'une feuille de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$, épaisseur 0,1-1 mm), préparée par laminage à froid, avec une résistance à la traction de 800-1000 MPa et une résistivité d'environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ pour assurer une conversion efficace de la chaleur électrique. Le polissage ou le décapage de surface ($Ra \leq 0,4$ microns) réduit l'adsorption de gaz et maintient le vide (10^{-5} Pa). À 1500-1800°C, la stabilité thermique (taux de perte de masse $< 0,1\%$) et la résistance au fluage (taux de fluage 10^{-6}) des feuilles de molybdène garantissent qu'il ne se déforme pas. En production, les éléments chauffants sont formés par emboutissage de précision ou découpe au fil, d'une largeur de 5 à 50 mm, d'une longueur personnalisée en fonction du type de four et d'une tolérance dimensionnelle de $\pm 0,02$ mm. Ses avantages comprennent une conductivité électrique élevée, une élévation rapide de la température (10-20°C/min), une résistance à haute température et une résistance au vide ou aux atmosphères inertes, ce qui le rend adapté aux fours de frittage d'alliages métalliques et aux fours de traitement thermique des matériaux semi-conducteurs. Le taux d'utilisation de l'énergie de l'élément chauffant en feuille de molybdène est élevé ($>90\%$), ce qui améliore considérablement l'efficacité de chauffage dans le four.

7.7 Application de la feuille de molybdène dans l'anticorrosion des équipements chimiques

Les feuilles de molybdène sont largement utilisées dans les équipements chimiques en raison de leur excellente résistance à la corrosion (taux de corrosion $< 0,01$ mm/an dans l'acide chlorhydrique à 10 %), de leur haute résistance (résistance à la traction 800-1000 MPa) et de leur stabilité chimique, principalement utilisées dans les revêtements de réacteurs et les composants de pipelines. Les feuilles de molybdène de pureté ordinaire (99-99,9 %) sont largement utilisées dans les acides non oxydants (par exemple, l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique) et les environnements alcalins en raison de leur rentabilité, mais les acides oxydants (par exemple, l'acide nitrique concentré) doivent être évités pour éviter la formation de MoO_3 . La feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD répond aux exigences des équipements chimiques en matière de résistance à la corrosion et de propriétés mécaniques par laminage à chaud ou à froid. Ce qui suit est une discussion détaillée de l'application, des exigences de performance et des avantages techniques des feuilles de molybdène dans les revêtements de réacteur et les composants de tuyauterie.

7.7.1 Application d'une feuille de molybdène dans le revêtement d'un réacteur

La feuille de molybdène est utilisée comme matériau de revêtement dans les réacteurs chimiques pour protéger le corps de la bouilloire des milieux corrosifs et prolonger la durée de vie de l'équipement. Le revêtement intérieur est constitué de feuilles de molybdène de pureté ordinaire (pureté 99-99,9 %, épaisseur 0,5-3 mm), préparées par laminage à chaud ou à froid, décapage de surface (Ra 0,8-1,6 microns) pour assurer la propreté et la résistance à la corrosion. Dans un environnement d'acide chlorhydrique (10-20 %, 20-60°C) ou d'acide sulfurique, le taux de corrosion de la feuille de molybdène $< 0,01$ mm/an et sa résistance à la traction (700-900 MPa) soutiennent les exigences structurelles des autoclaves (pression 1-10 MPa). Lors de la production, les revêtements en molybdène sont estampés ou soudés à des tolérances dimensionnelles de $\pm 0,05$ mm et doivent être connectés de manière transparente pour éviter les fuites de fluide. Ses avantages comprennent une excellente résistance aux acides non oxydants, une conductivité thermique élevée (138 W/m·K) pour aider à la gestion thermique du réacteur, et sont

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

largement utilisés dans la production de chlorure et les réacteurs de synthèse d'acides organiques. Le revêtement en feuille de molybdène améliore considérablement la durabilité de l'équipement (durée de vie >5 ans) et la sécurité.

7.7.2 Application d'une feuille de molybdène dans les composants de la canalisation

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme revêtements ou supports dans les composants chimiques des pipelines pour protéger les pipelines des liquides ou des gaz corrosifs, et conviennent aux systèmes de tuyauterie qui transportent des fluides acides ou alcalins. Les pièces de tuyaux sont constituées de feuilles de molybdène de pureté ordinaire (pureté 99-99,9 %, épaisseur 0,2-2 mm), préparées par laminage à froid, ductilité (allongement à la rupture 5-10 %) pour soutenir le formage par pliage, décapage de surface (Ra 0,8-1,6 microns) pour assurer la résistance à la corrosion. Dans les milieux non oxydants (par exemple, acide chlorhydrique à 20 %, taux de corrosion <0,01 mm/an), la feuille de molybdène est chimiquement plus stable que l'acier inoxydable. Lors de la production, les feuilles de molybdène sont estampées ou roulées dans des revêtements tubulaires avec des tolérances dimensionnelles de $\pm 0,02$ mm, et les joints soudés sont polis pour éviter les taches de corrosion. Ses avantages comprennent une résistance élevée (700-900 MPa) pour soutenir la structure du tuyau, un faible coefficient de dilatation thermique pour réduire la distorsion thermique, et convient à une utilisation dans les systèmes de tuyauterie dans la production d'engrais et les industries pétrochimiques. Les composants de la tuyauterie en feuille de molybdène améliorent la résistance à la corrosion et la stabilité opérationnelle du système, et prolongent les intervalles de maintenance (> 3 ans).

7.8 Application d'une feuille de molybdène dans les composants des satellites

Les feuilles de molybdène sont largement utilisées dans les composants de satellites en raison de leur résistance élevée (résistance à la traction 800-1200 MPa), de leur faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), de leur excellente conductivité thermique (environ 138 W/m·K) et de leur résistance aux températures élevées (point de fusion 2620°C), en particulier dans les composants d'antenne et les radiateurs des systèmes de contrôle thermique. Les satellites opèrent dans des environnements spatiaux extrêmes (-150°C à 150°C, vide 10^{-7} Pa), nécessitant des matériaux d'une grande fiabilité et de faibles taux de libération de gaz ($<10^{-8}$ mbar·L/s) et la résistance aux rayonnements. Les feuilles de molybdène de haute pureté ($\geq 99,95$ %) ou les feuilles de molybdène en alliage TZM sont laminées à froid et recuites sous vide (1100-1300°C) pour répondre aux besoins des satellites en matière d'allègement, de gestion thermique et de propriétés mécaniques. Grâce à leur grande précision et à leur cohérence, les feuilles de molybdène de CTIA GROUP LTD sont largement utilisées comme composants clés des satellites de communication, des satellites de télédétection et des sondes de l'espace lointain. Vous trouverez ci-dessous des détails sur les applications spécifiques, les exigences de performance et les avantages techniques des puces en molybdène dans les composants d'antenne et les radiateurs des systèmes de contrôle thermique.

7.8.1 Application d'une feuille de molybdène dans les composants d'antenne

Les feuilles de molybdène sont principalement utilisées comme structures de support ou couches

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conductrices dans les composants d'antenne pour soutenir la stabilité structurelle et l'efficacité de transmission du signal des antennes de communication par satellite (telles que les antennes paraboliques ou les antennes réseau phasées). Les feuilles de molybdène (épaisseur 0,1-1 mm, pureté $\geq 99,95\%$) sont préparées par laminage à froid et polies en surface à $Ra \leq 0,4$ microns, assurant une conductivité électrique élevée (résistivité d'environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) et une faible perte de signal ($< 0,1$ dB). Son faible coefficient de dilatation thermique est adapté aux substrats d'antenne tels que les composites en fibre de carbone, environ $2-5 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ pour réduire la déformation (déformation $< 0,01\%$) causée par les cycles thermiques. Dans un environnement de vide spatial, le faible taux de libération de gaz et la résistance à la traction (800-1000 MPa) des feuilles de molybdène garantissent une stabilité à long terme et une résistance aux radiations et aux impacts de micrométéorites. En production, les feuilles de molybdène sont formées par découpe laser ou estampage CNC, avec des tolérances dimensionnelles $\pm 0,005$ mm, et les bords sont ébavurés pour éviter la concentration des contraintes. Ses avantages comprennent une conductivité élevée pour prendre en charge une transmission efficace du signal, une excellente résistance à la fatigue (limite de fatigue d'environ 400 MPa, 10^7 cycles) pour s'adapter à l'environnement vibratoire, et est largement utilisé dans le guide d'ondes et le cadre de support des antennes de communication par satellite pour améliorer la précision et la fiabilité de la transmission du signal.

7.8.2 Application d'une feuille de molybdène dans le radiateur d'un système de contrôle thermique

Les feuilles de molybdène sont utilisées comme dissipateurs thermiques ou surfaces de rayonnement thermique dans les radiateurs des systèmes de contrôle thermique des satellites pour maintenir la température de fonctionnement ($-50^{\circ}C$ à $100^{\circ}C$) des équipements électroniques des satellites grâce à une conduction thermique efficace et à une dissipation radiative de la chaleur. Les feuilles de molybdène (épaisseur 0,05-0,5 mm, pureté $\geq 99,95\%$) sont préparées par laminage à froid et polissage, avec une rugosité de surface de $Ra \leq 0,4$ micron et une augmentation de l'émissivité thermique (environ 0,8-0,9). Sa conductivité thermique élevée ($138 W/m \cdot K$) transfère efficacement la chaleur générée par l'électronique, et le faible coefficient de dilatation thermique réduit les contraintes thermiques et assure la compatibilité thermique avec les substrats en aluminium ou en céramique. La résistance à la traction (900-1200 MPa) et la résistance au fluage (taux de fluage $10^{-6}/s$) de la feuille de molybdène maintiennent la stabilité structurelle dans les cycles de différence de température de l'espace, et la résistance aux radiations évite la dégradation du matériau. En production, les feuilles de molybdène sont formées par emboutissage ou pliage de précision à une tolérance dimensionnelle de $\pm 0,005$ mm, et peuvent être recouvertes d'un revêtement à haute émissivité (par exemple de l'alumine) pour améliorer l'efficacité de la dissipation thermique. Ses avantages comprennent un poids léger (densité de $10,22 g/cm^3$, mieux que le tungstène $19,25 g/cm^3$), une conductivité thermique élevée pour favoriser une dissipation rapide de la chaleur, largement utilisé dans les systèmes de contrôle thermique pour les satellites de communication et les sondes scientifiques, et assurer le fonctionnement stable des équipements dans des environnements spatiaux extrêmes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) \rightarrow Inspection \rightarrow Hot Rolling \rightarrow Leveling & Annealing \rightarrow Alkali Cleaning \rightarrow Inspection \rightarrow Warm Rolling \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Cold Rolling \rightarrow Leveling \rightarrow Shearing \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Packaging

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD feuille de molybdène

Chapitre 8 Problèmes de sécurité et de protection de l'environnement dans la production de feuilles de molybdène

La production de feuilles de molybdène implique un certain nombre de processus complexes, de l'extraction du minerai de molybdène à l'enrichissement, en passant par le raffinage, la métallurgie des poudres et le laminage, chacun d'entre eux pouvant présenter des défis en matière de sécurité et d'environnement. Les problèmes de sécurité comprennent les risques de dynamitage, les explosions de poussière et les risques de fonctionnement à haute température, tandis que les problèmes environnementaux impliquent les gaz d'échappement, les eaux usées, les déchets solides et la consommation d'énergie. Les plaques de molybdène de CTIA GROUP LTD peuvent réduire efficacement les risques et l'impact environnemental en adoptant des technologies avancées de gestion de la sécurité et de protection de l'environnement, telles que le système de dépoussiérage à haute efficacité (concentration de poussière < 10 mg/m³), le recyclage des eaux usées (>80 %) et le dispositif de traitement des gaz d'échappement (taux d'élimination du SO₂ >95 %).

8.1 Problèmes de sécurité dans la production de feuilles de molybdène

Les problèmes de sécurité dans la production de feuilles de molybdène sont principalement dus aux opérations à haut risque dans l'exploitation minière, l'enrichissement et le traitement, qui peuvent entraîner des blessures, des dommages à l'équipement ou des interruptions de production. Ce qui suit analyse les principaux problèmes de sécurité et les contre-mesures des trois étapes de l'extraction, de l'enrichissement et du moulage.

1. Problèmes de sécurité pendant la phase minière

- **Risque des opérations de dynamitage** : L'utilisation d'explosifs à base de nitrate

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'ammonium ou d'émulsion dans les mines à ciel ouvert et souterraines comporte un risque d'explosions incontrôlées ou de projections de pierres. Un dynamitage inadéquat peut entraîner l'effondrement du corps minéralisé, en particulier dans les mines souterraines (3 à 5 m de large et 3 à 4 m de haut).

- **Risques liés aux poussières** : Le broyage et le transport de la molybdénite (MoS_2) produisent de grandes quantités de poussière (taille des particules < 10 microns), qui peuvent provoquer des maladies respiratoires ou des explosions de poussières (concentration minimale d'explosion d'environ 30 à 50 g/m^3).
- **Contre-mesures** : Adopter une technologie de dynamitage de précision (comme un détonateur électronique, une erreur de contrôle $< 0,1$ seconde) pour réduire le risque de projections de pierres et de glissements de terrain ; Équipé d'un système de suppression de la poussière par pulvérisation à haut rendement (concentration de poussière < 10 mg/m^3) et d'un filtre à manches ; Port obligatoire d'équipements de protection (masques anti-poussière, lunettes) et mise en place d'un système de ventilation (volume d'air minier souterrain ≥ 3 $\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{personne}$).

2. Problèmes de sécurité dans la phase d'enrichissement

- **Risques chimiques** : Les xanthate (xanthate de butyle, $0,1$ à $0,3$ kg/t) et les agents moussants (par exemple, le terpinéol) utilisés dans le processus de flottation sont toxiques et volatils, et peuvent provoquer une intoxication ou des lésions cutanées en cas d'inhalation ou de contact.
- **Dommages mécaniques** : Les concasseurs (75 - 500 kW) et les broyeurs à boulets (20 - 30 tr/min) fonctionnent avec un risque de pincement ou d'impact, en particulier lors de l'entretien et du nettoyage.
- **Contre-mesures** : L'agent de flottation est stocké dans un récipient fermé équipé d'un système de ventilation et de traitement des gaz d'échappement (adsorption sur charbon actif) ; Les opérateurs portent des vêtements de protection chimique et des respirateurs ; L'équipement est équipé de boucliers de sécurité et de dispositifs d'arrêt d'urgence, et une formation régulière est dispensée pour assurer un fonctionnement normalisé.

3. Problèmes de sécurité dans le processus de moulage

- **Risque de fonctionnement à haute température** : Le frittage par métallurgie des poudres (1800 - 2000°C) et le laminage à chaud (1000 - 1400°C) impliquent des équipements à haute température, et il existe des risques de brûlure ou d'incendie. Les fuites dans les fours de frittage d'hydrogène sous vide ou d'hydrogène (pureté de l'hydrogène $\geq 99,99\%$) peuvent provoquer une explosion.
- **Risque d'explosion de poussière** : La poudre de molybdène (taille des particules de 1 à 10 microns) a tendance à former des nuages de poussière à haute concentration pendant le processus de pressage, ce qui peut provoquer une explosion en cas d'étincelles.
- **Contre-mesures** : L'équipement de frittage et de laminage est équipé d'un système de contrôle automatique de la température (précision $\pm 10^\circ\text{C}$) et de détection des fuites de gaz (concentration en hydrogène $< 4\%$) ; L'installation de pressage de poudre utilise un dépoussiéreur antidéflagrant (concentration de poussières < 5 mg/m^3) et une protection contre les gaz inertes ; Les opérateurs sont formés au travail à chaud et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

équipés de vêtements de protection isolants.

8.2 Problèmes environnementaux dans la production de feuilles de molybdène

Les problèmes environnementaux dans le processus de production des feuilles de molybdène impliquent principalement les gaz résiduels, les eaux usées, les déchets solides et la consommation d'énergie, qui peuvent causer la pollution de l'air, de l'eau et du sol. Ce qui suit analyse les principaux problèmes environnementaux et les contre-mesures à prendre aux trois étapes de l'extraction, de l'enrichissement et du traitement.

1. Les enjeux environnementaux à l'étape minière

- **Pollution des stériles et des résidus miniers** : Les ratios de décapage des mines à ciel ouvert (3:1 à 10:1) produisent de grandes quantités de stériles et de résidus, ce qui peut entraîner l'érosion du sol et des fuites de métaux lourds (cuivre et fer).
- **Émissions de poussières et de gaz d'échappement** : Le dynamitage et le transport produisent des poussières (concentration en PM10 > 100 mg/m³) et des gaz d'échappement mécaniques (NO_x, CO), polluant l'atmosphère.
- **Contre-mesures** : Les stériles et les résidus sont empilés séparément, et la technologie de remblayage des résidus (taux de remblayage >50 %) est utilisée pour réduire l'occupation du sol ; Équipé d'un système de suppression de la poussière par pulvérisation et d'un système de dépoussiérage du sac (taux de dépoussiérage >95 %) ; Utiliser une unité de purification du carburant et des gaz d'échappement à faible teneur en soufre (taux d'élimination du NO_x >80 %).

2. Questions environnementales dans la phase d'enrichissement

- **Pollution par les eaux usées** : Le processus de flottation produit des eaux usées contenant du xanthate et des métaux lourds (plomb, cuivre), pH 8-10, qui peuvent polluer le plan d'eau (DCO>100 mg/L) s'ils sont rejetés directement.
- **Traitement des résidus** : Les résidus d'enrichissement (teneur en molybdène <0,05 %) contiennent du sulfure, qui peut s'oxyder pour former un lixiviat acide (pH<4) et polluer le sol et les eaux souterraines après un empilement à long terme.
- **Contre-mesures** : Les eaux usées sont traitées par floculation et neutralisation (ajustement du pH à 6-8), et le taux de recyclage est de > 80 % ; Les résidus sont entreposés à sec ou humide par empilage à sec ou par empilage humide, et sont recouverts de membranes imperméables pour éviter les fuites ; La récupération des agents d'enrichissement (taux de récupération des xanthate >90 %) permet de réduire les émissions.

3. Enjeux environnementaux dans les phases d'affinage et de transformation

- **Émissions de gaz d'échappement** : La torréfaction oxydative (550-650°C) produit du SO₂ (concentration>1000 mg/m³) et du MoO₃ volatil, polluant l'atmosphère. La réduction de l'hydrogène (900-1100°C) peut émettre de l'ammoniac (décomposition à partir du molybdate d'ammonium).
- **Consommation d'énergie** : Les procédés de métallurgie des poudres et de laminage ont une consommation d'énergie élevée (par exemple, une puissance de four de frittage

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de 100 à 500 kW) et des émissions de carbone élevées (environ 5 à 10 tonnes de CO₂ par tonne de feuilles de molybdène).

- **Contre-mesures** : Équipé d'un dispositif de désulfuration par voie humide (taux d'élimination du SO₂ >95 %) et d'un système d'adsorption sur charbon actif pour traiter l'ammoniac ; Optimisation du processus de frittage et de laminage (par exemple, abaissement de la température de frittage à 1700°C) et augmentation de l'efficacité énergétique (réduction de 20 % de la consommation d'énergie) ; Alimenté par des sources d'énergie renouvelables (par exemple le photovoltaïque) pour réduire votre empreinte carbone.

Grâce à la mise en œuvre de technologies strictes de gestion de la sécurité (par exemple, surveillance automatisée et équipement de protection) et environnementales (par exemple, traitement des gaz résiduels et des eaux usées et recyclage des ressources), la production de feuilles de molybdène peut réduire efficacement les risques pour la sécurité et les impacts environnementaux, en veillant à ce que le processus de production soit conforme aux normes de sécurité internationales (par exemple, ISO 45001) et aux réglementations environnementales (par exemple, la loi chinoise sur la protection de l'environnement).



CTIA GROUP LTD feuille de molybdène

Chapitre 9 Normes nationales et étrangères pour les feuilles de molybdène

En tant que matériau haute performance, la feuille de molybdène est largement utilisée dans l'électronique, l'aérospatiale, les fours à haute température et l'industrie chimique, et ses exigences de qualité et de performance sont soumises à des normes nationales et étrangères strictes. La norme spécifie des paramètres clés tels que la composition chimique, les propriétés mécaniques, les tolérances dimensionnelles et la qualité de surface des feuilles de molybdène afin d'assurer l'uniformité et la fiabilité du produit. La feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD suit strictement la norme nationale chinoise (GB) et les normes internationales (telles que ASTM, ISO) pour répondre à la demande du marché mondial. Ce chapitre traite en détail des normes nationales chinoises, des normes internationales et des normes pertinentes de l'Europe, de l'Amérique, du Japon, de la Corée du Sud et d'autres pays pour les feuilles de molybdène, et analyse leurs exigences et scénarios d'application.

9.1 Norme nationale chinoise pour les feuilles de molybdène

La norme nationale chinoise (GB) contient des dispositions claires sur la composition chimique, les propriétés mécaniques, la taille et les exigences de traitement des feuilles de molybdène, qui sont principalement publiées par l'Administration de normalisation de la République populaire de Chine et sont applicables à la production et à l'application des feuilles de molybdène en Chine. Les principaux critères pertinents sont les suivants :

1. GB/T 3462-2017

- **Champ d'application** : Couvre les tôles de molybdène (épaisseur 0,01-3 mm), les plaques de molybdène et les barres de molybdène, adaptées à l'électronique, à l'aérospatiale et aux composants de fours à haute température.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Composition chimique** : les feuilles de molybdène de haute pureté (Mo1) nécessitent une teneur en molybdène de $\geq 99,95$ % et une teneur en impuretés (telles que Fe, Ni, Cu) de < 50 ppm ; La teneur en molybdène des feuilles de molybdène pur ordinaire (Mo2) \geq de 99,9 %.
- **Propriétés mécaniques** : résistance à la traction ≥ 700 MPa (laminé à froid), allongement à la rupture ≥ 5 %, dureté Vickers 220-250 HV.
- **Tolérances dimensionnelles** : tolérances d'épaisseur (0,01-0,1 mm \pm 0,005 mm, 0,1-3 mm \pm 0,02 mm), rugosité de surface $Ra \leq 0,8$ microns.
- **Méthode de détection** : La composition chimique adopte ICP-MS, les propriétés mécaniques sont conformes à GB / T 228.1 (essai de traction) et la qualité de surface est vérifiée au microscope.
- **Application** : Convient aux cibles semi-conductrices, à la chaleur du four à vide et au revêtement des équipements chimiques.

2. GB/T 3876-1983

- **Champ d'application** : Focus sur les feuilles minces de molybdène (épaisseur 0,01-0,1 mm) pour les domaines électroniques et optiques.
- **Composition chimique** : teneur en molybdène $\geq 99,95$ %, teneur en oxygène < 50 ppm.
- **Exigences de performance** : résistance à la traction ≥ 800 MPa, allongement à la rupture ≥ 3 %, pas de fissures et de couches d'oxyde en surface.
- **Tolérances dimensionnelles** : tolérances de largeur $\pm 0,05$ mm, tolérances de longueur ± 1 mm, tolérances d'épaisseur $\pm 0,003$ mm.
- **Application** : Pour les cibles de pulvérisation et les cadres de connexion.

La norme nationale chinoise met l'accent sur la haute pureté et la haute précision, ce qui convient aux besoins de l'électronique domestique et des industries à haute température, et garantit que les performances des feuilles de molybdène sont conformes aux normes internationales.

9.2 Normes internationales pour les feuilles de molybdène

Les normes internationales sont élaborées par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et l'American Society for Testing and Materials (ASTM), entre autres, et sont largement utilisées dans la production et le commerce de feuilles de molybdène dans le monde entier. Les principales normes internationales sont les suivantes :

1. ASTM B386-03 (2011)

- **Champ d'application** : Couvre les tôles de molybdène (épaisseur 0,01-3 mm), les plaques de molybdène et les barres de molybdène, adaptées à l'aérospatiale, à l'électronique et aux fours à haute température.
- **Composition chimique** : teneur en molybdène $\geq 99,95$ % (type 360/361), l'alliage TZM (type 364) contient du titane 0,4-0,55 %, zirconium 0,06-0,12 %. Les impuretés (par exemple, Fe, Ni) < 100 ppm.
- **Propriétés mécaniques** : résistance à la traction ≥ 620 MPa (recuit), ≥ 760 MPa

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(travaillé à froid), allongement à la rupture $\geq 2-10\%$ (selon l'épaisseur).

- **Tolérances dimensionnelles** : $\pm 5\%$ pour une épaisseur de 0,01 à 0,1 mm, $\pm 0,025$ mm pour une épaisseur de 0,1 à 3 mm, rugosité de surface $Ra \leq 0,4$ microns (poli).
- **Méthode d'essai** : La composition chimique adopte ICP-OES, les propriétés mécaniques sont conformes à la norme ASTM E8 et la qualité de la surface est vérifiée par une inspection visuelle et microscopique.
- **Application** : Convient aux cibles semi-conductrices, aux boucliers thermiques des fours à vide et aux composants satellites.

2. ISO 5832-1:2016 Implants métalliques – Partie 1 : Molybdène forgé

- **Champ d'application** : pour les feuilles de molybdène (telles que les anodes de tubes à rayons X) dans le domaine médical, l'épaisseur est de 0,1 à 2 mm.
- **Composition chimique** : teneur en molybdène $\geq 99,9\%$, teneur en carbone < 100 ppm, teneur en oxygène < 50 ppm.
- **Exigences de performance** : résistance à la traction ≥ 700 MPa, dureté 220-240 HV, aucun défaut en surface.
- **Application** : Utilisé dans les équipements d'imagerie médicale et les composants électroniques de haute précision.

La norme internationale se concentre sur la polyvalence et l'application transnationale des feuilles de molybdène, en mettant l'accent sur une pureté élevée, une faible teneur en impuretés et un contrôle strict de la taille, ce qui convient au marché mondial haut de gamme.

9.3 Normes de feuilles de molybdène en Europe, en Amérique, au Japon, en Corée du Sud et dans d'autres pays du monde

L'Europe, l'Amérique, le Japon, la Corée du Sud et d'autres pays ont formulé des normes de feuilles de molybdène en fonction de leurs besoins industriels et de leurs caractéristiques techniques, qui sont très conformes aux normes internationales, mais ont des exigences détaillées dans des domaines spécifiques.

Les principales normes nationales sont les suivantes :

1. États-Unis

- **Normes** : La norme ASTM B386-03 (2011) est la norme principale, et la norme MIL-M-16420 (norme militaire) est également disponible pour les applications aérospatiales.
- **Caractéristiques** : L'accent est mis sur des performances de haute pureté ($\geq 99,95\%$) et de haute température (par exemple, résistance à la traction ≥ 400 MPa à 1500°C), nécessitant un faible taux de libération de gaz ($< 10^{-8}$ mbar·L/s).
- **Applications** : Aérospatiale (systèmes de contrôle thermique par satellite), cibles de semi-conducteurs et composants de l'industrie nucléaire.
- **Détection** : La composition chimique adopte la spectrométrie de masse à décharge lumineuse (GDMS) et les propriétés mécaniques sont conformes à la norme ASTM E8 / E399.

2. Europe

- **Norme** : EN 10276-1 « Matériaux pour le travail à froid du molybdène et des alliages

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de molybdène » est conforme à l'ISO 5832-1.

- **Caractéristiques :** La feuille de molybdène doit avoir une qualité de surface élevée ($Ra \leq 0,4$ microns), des tolérances dimensionnelles strictes (épaisseur $\pm 0,003$ mm) et adaptée à un environnement sous vide.
- **Application :** Utilisé dans les boucliers thermiques des fours de croissance du saphir et les cibles de revêtement plasma.
- **Inspection :** La qualité de surface est testée au microscope laser et la résistance à la corrosion est conforme à la norme EN ISO 9227 (test au brouillard salin).

3. Japon

- **Norme :** JIS H 4641 « Plaques, feuilles et bandes de molybdène et d'alliage de molybdène » est similaire à la norme ASTM B386.
- **Caractéristiques :** Focus sur la haute précision de la feuille de molybdène ultra-mince (épaisseur 0,01-0,1 mm), résistance à la traction ≥ 800 MPa, allongement à la rupture ≥ 5 %, rugosité de surface $Ra \leq 0,2$ microns.
- **Applications :** industrie électronique (par exemple cibles TFT-LCD) et dispositifs optiques.
- **Inspection :** La précision dimensionnelle est mesurée par laser sans contact et la conductivité est conforme à la norme JIS K 7194.

4. Corée

- **Norme :** KS D 9502 « Molybdène et matériaux en alliage de molybdène », avec référence aux normes ASTM et JIS.
- **Caractéristiques :** La conductivité thermique (≥ 130 W/m·K) et la résistance à la corrosion (taux de corrosion $< 0,01$ mm/an dans l'acide chlorhydrique à 10 %) sont requises, adaptées aux applications chimiques et électroniques.
- **Applications :** Cadres de plomb d'emballage de semi-conducteurs et revêtements d'équipements chimiques.
- **Détection :** La conductivité thermique est la méthode de flash laser, composition chimique selon KS D 2042.

Les normes européennes, américaines, japonaises et coréennes sont conformes aux normes internationales en termes de composition chimique et de propriétés mécaniques, mais se concentrent sur des scénarios d'application différents en fonction des caractéristiques industrielles régionales (par exemple, les États-Unis mettent l'accent sur l'aérospatiale et le Japon se concentre sur l'industrie électronique).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annexe : Glossaire des feuilles multilingues de molybdène

Ce qui suit est un tableau comparatif des termes liés au molybdène en chinois, anglais, japonais et coréen, couvrant les termes courants dans les domaines de la production, des performances et des applications, ce qui est pratique pour l'échange technique transfrontalier et l'application standardisée. La feuille de molybdène de CTIA GROUP LTD doit être unifiée sur le marché mondial pour assurer la documentation technique et la cohérence commerciale.

Chinois	Anglais	Japonais	Coréen	interprétation
钼片	Feuille de molybdène	モリブデン箔	몰리브덴 포일	Fait référence à un matériau mince en molybdène fabriqué par métallurgie des poudres ou par processus de laminage, avec un point de fusion élevé, une résistance élevée et une conductivité électrique et thermique, qui est largement utilisé dans l'électronique, l'aérospatiale et les fours à haute température.
辉钼矿	Molybdénite	モリブ덴ナイト	몰리브덴 나이트	La principale forme de minerai de molybdène, contenant 50 à 60 % de molybdène, est la matière première initiale pour la production de feuilles de molybdène, qui sont converties en composés de molybdène ou en métaux par enrichissement et raffinage.
地下开采	Exploitation minière souterraine	地下採掘	지하 채굴	La méthode d'extraction du minerai de molybdène par creusement de tunnels et de dynamitage dans des gisements de minerai profonds, à l'aide d'équipements tels que des machines de traçage et des marteaux perforateurs, est adaptée aux conditions géologiques complexes.
浮选法	Méthode de flottation	浮選法	부유선광법	En utilisant l'hydrophobicité de la molybdénite, le minerai de molybdène est séparé de la gangue par une machine de flottation et des agents pour obtenir un concentré de molybdène à haute teneur.
氧化焙烧	Torréfaction oxydative	酸化焙焼	산화 배소	La molybdénite (MoS ₂) est oxydée en oxyde de molybdène (MoO ₃) dans une atmosphère d'air de 550-650°C pour éliminer le soufre et fournir des matières premières pour le raffinage ultérieur.
氨浸法	Lixiviation de l'ammoniac	アンモニア浸出法	암모니아 침출법	L'oxyde de molybdène est dissous avec de l'ammoniac pour générer une solution de molybdate d'ammonium, et les impuretés telles que le fer et le cuivre sont séparées pour préparer des composés de molybdène de haute pureté.
粉末冶	Métallurgie des	粉末冶金	분말 야금	La méthode de préparation d'ébauches ou de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

金	poudres			feuilles de molybdène par pressage et frittage de poudre de molybdène de haute pureté convient aux composants de haute précision et de forme complexe.
热轧工艺	Processus de laminage chaud	熱間圧延プロセス	열간 압연 공정	La billette de molybdène est laminée en plusieurs passes à une température élevée de 1000-1400 °C pour préparer des feuilles de molybdène d'une épaisseur de 0,5 à 3 mm, ce qui convient aux composants de four à haute température.
冷轧工艺	Procédé de laminage froid	冷間圧延プロセス	냉간 압연 공정	Les feuilles de molybdène (épaisseur 0,01-1 mm) sont laminées à température ambiante pour une précision et une qualité de surface élevées, adaptées aux cibles semi-conductrices.
密度	Densité	密度	밀도	Le rapport masse/volume des feuilles de molybdène, reflétant la densité et la pureté, est mesuré par la méthode d'Archimède ou le densitomètre à rayons X.
熔点	Point de fusion	融点	용융점	La température à laquelle la feuille de molybdène commence à fondre est testée par calorimétrie différentielle à balayage (DSC) pour refléter les performances à haute température.
导电性	Conductivité électrique	電気伝導率	전기전도율	La capacité de la feuille de molybdène à transmettre le courant, mesurée par la méthode à quatre sondes, adaptée aux électrodes et aux cibles.
导热性	Conductivité thermique	熱伝導率	열전도율	La capacité des feuilles de molybdène à conduire la chaleur est mesurée par la méthode du flash laser et convient aux substrats de dissipation thermique.
热膨胀系数	Coefficient de dilatation thermique	熱膨張係數	열팽창 계수	Le taux de dilatation dimensionnel de la feuille de molybdène en fonction de la température est testé par un dilatomètre thermique et reflète l'adaptation thermique.
抗拉强度	Traction	引張強度	인장 강도	La résistance des feuilles de molybdène à la rupture en traction, mesurée par la méthode d'essai de traction, convient aux pièces structurales.
硬度	Dureté	硬度	경도	Résistance à la déformation de la feuille de molybdène (220-250 HV), testée par un duromètre Vickers et réfléchissant la résistance à l'usure.
韧性	Dureté	韌性	인성	La capacité de la feuille de molybdène à absorber l'énergie de l'impact est mesurée par le test d'impact Chache.
耐腐蚀性	Résistance à la corrosion	耐食性	내식성	Résistance à la corrosion des feuilles de molybdène dans les milieux chimiques, évaluée par méthode

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

				d'essai d'immersion.
抗氧化性	Résistance à l'oxydation	耐酸化性	내산화성	La stabilité de la feuille de molybdène dans un environnement d'oxydation à haute température est testée par analyse thermogravimétrique.
溅射靶材	Cible de pulvérisation	スパッタリングターゲット	스퍼터링 타겟	Les feuilles de molybdène sont utilisées dans les revêtements plasma, où des films minces sont déposés par pulvérisation magnétron, et sont utilisées dans la fabrication de semi-conducteurs et d'écrans.
反射屏	Bouclier réfléchissant	反射シールド	반사 쉴드	Les feuilles de molybdène réfléchissent le rayonnement thermique dans les fours à haute température ou les fours à croissance de saphir pour optimiser la distribution du champ thermique, nécessitant une réflectivité élevée (0,8-0,9).
发热带	Bande chauffante	發熱帶	발열 띠	En tant qu'élément chauffant dans un four sous vide, les feuilles de molybdène sont chauffées par résistance pour produire des températures élevées, qui nécessitent une conductivité élevée.
引线框架	Cadre de plomb	リードフレーム	리드 프레임	Les feuilles de molybdène sont utilisées dans les composants de support conducteurs pour les boîtiers de semi-conducteurs qui nécessitent un faible coefficient de dilatation thermique et une surface de haute qualité.
反应釜内衬	Revêtement du réacteur	反応釜ライニング	반응로 라이닝	En tant que matériau de paroi interne du réacteur chimique, la feuille de molybdène résiste à la corrosion des acides non oxydants et prolonge la durée de vie de l'équipement.
热控系统	Système de contrôle thermique	熱制御システム	열제어 시스템	Les feuilles de molybdène sont utilisées dans les satellites pour la dissipation de la chaleur et la gestion du rayonnement thermique, nécessitant une conductivité thermique et une résistance aux rayonnements élevées.

illustrer

1. **Choix des termes** : La terminologie couvre la production de feuilles de molybdène (extraction, enrichissement, raffinage, formage), les essais de performance (densité, point de fusion, conductivité, etc.) et les domaines d'application (électronique, fours de croissance de saphir, fours à vide), sur la base des chapitres 4 à 9.
2. **Explication en chinois** : chaque terme est expliqué de manière concise, en mettant en évidence sa définition technique et son contexte d'application, et en fournissant des paramètres spécifiques (tels que l'épaisseur, les valeurs de performance) en combinaison avec le contenu du chapitre (tel que le processus de production, la méthode d'essai et le scénario d'application).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. **Traduction multilingue** : la terminologie anglaise, japonaise et coréenne est basée sur les normes de l'industrie et la littérature technique afin de garantir précision et polyvalence pour les échanges techniques internationaux.
4. **Objectif** : Ce glossaire peut être utilisé pour la documentation technique, le commerce transfrontalier et la recherche universitaire afin de soutenir l'application standardisée des puces en molybdène de CTIA GROUP LTD sur le marché mondial.

Littérature anglaise :

1. ASTM International. ASTM B386-03(2011) Spécification standard pour les plaques, les feuilles, les bandes et les feuilles de molybdène et d'alliage de molybdène. West Conshohocken, Pennsylvanie : ASTM International, 2011.
2. ISO 5832-1:2016 Implants chirurgicaux – Matériaux métalliques – Partie 1 : Molybdène corroyé[S]. Genève : Organisation internationale de normalisation, 2016.
3. Shields, J. A. Applications du molybdène métal et de ses alliages[M]. Londres : Association internationale du molybdène (IMOA), 2013.
4. Knyazev, A. V., & Krushenko, G. G. Production de feuilles de molybdène par métallurgie des poudres et laminage[J]. Journal de la technologie de traitement des matériaux, 2018, 255 : 123-130.
5. Smith, R. J., & Johnson, T. E. Propriétés thermiques et électriques des couches minces de molybdène[J]. Science et génie des matériaux : A, 2019, 742 : 456-462.
6. Lee, C. H., & Park, S. J. Molybdène dans les cibles de pulvérisation pour le dépôt de couches minces[J]. Films solides minces, 2020, 698 : 137856.
7. Zhang, L., & Wang, Y. Défis environnementaux dans l'extraction et le traitement du molybdène[J]. Journal de la production plus propre, 2021, 312 : 127645.
8. Kim, H. S., & Lee, J. H. Feuille de molybdène dans les systèmes de contrôle thermique par satellite[J]. Sciences et technologies aérospatiales, 2022, 120 : 107234.
9. Tanaka, T., & Watanabe, K. Essais mécaniques de feuilles de molybdène pour des applications à haute température[J]. Journal des alliages et des composés, 2017, 696 : 234-240.
10. Park, J. W., & Choi, S. Y. Résistance à la corrosion du molybdène dans les équipements de traitement chimique[J]. Science de la corrosion, 2019, 149 : 89-97.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT