

Guide complet de l'électrode de molybdène

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

PRÉSENTATION DE CTIA GROUP

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

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

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

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



DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

CONTENU

Chapitre 1 Vue d'ensemble des électrodes en molybdène

- 1.1 Qu'est-ce qu'une électrode de molybdène
- 1.2 Histoire et développement des électrodes en molybdène
- 1.3 Importance des électrodes en molybdène dans l'industrie moderne

Chapitre 2 Propriétés de base des électrodes en molybdène

- 2.1 Propriétés physiques des électrodes en molybdène
 - 2.1.1 Point de fusion et densité des électrodes de molybdène
 - 2.1.2 Conductivité électrique et thermique des électrodes de molybdène
 - 2.1.3 Coefficient de dilatation thermique et résistance mécanique des électrodes de molybdène
- 2.2 Propriétés chimiques des électrodes en molybdène
 - 2.2.1 Résistance à la corrosion et stabilité chimique des électrodes de molybdène
 - 2.2.2 Comportement à l'oxydation à haute température des électrodes de molybdène
- 2.3 Formes et spécifications des électrodes en molybdène
 - 2.3.1 Formes courantes (tige, plaque, fil, etc.)
 - 2.3.2 Dimensions et possibilités de personnalisation

Chapitre 3 Processus de fabrication des électrodes de molybdène

- 3.1 Sources et préparation des matières premières
 - 3.1.1 Extraction du minerai de molybdène
 - 3.1.2 Préparation de la poudre de molybdène de haute pureté
- 3.2 Procédés de production de base des électrodes de molybdène
 - 3.2.1 Méthode de métallurgie des poudres
 - 3.2.1.1 Pressage et formage
 - 3.2.1.2 Frittage à haute température
 - 3.2.2 Usinage ultérieur (forgeage, laminage, emboutissage)
- 3.3 Traitement de surface et contrôle de la qualité des électrodes de molybdène
 - 3.3.1 Traitement de polissage et anti-oxydation
 - 3.3.2 Méthodes d'essai de rendement
- 3.4 Innovations et améliorations dans la fabrication des électrodes de molybdène
 - 3.4.1 Nouvelles technologies (p. ex., impression 3D)
 - 3.4.2 Tendances de production respectueuses de l'environnement

Chapitre 4 Principales régions de production d'électrodes de molybdène

- 4.1 Répartition mondiale des ressources en molybdène
 - 4.1.1 Principales zones d'extraction de molybdène (Chine, États-Unis, Chili, etc.)
 - 4.1.2 Production et réserves de molybdène
- 4.2 Bases de production d'électrodes en molybdène

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

- 4.2.1 Chine (Shaanxi, Henan, etc.)
- 4.2.2 USA (Colorado, Utah, etc.)
- 4.2.3 L'Europe (Autriche, Allemagne, etc.)
- 4.2.4 Autres pays (Russie, Canada, etc.)
- 4.3 Entreprises de production
 - 4.3.1 Principaux fabricants d'électrodes de molybdène : Chine Tungstène High-Tech
 - 4.3.1.1 Tableau comparatif des performances des électrodes en alliage de molybdène et de molybdène de haute technologie en Chine
 - 4.3.1.2 Performances des électrodes de molybdène de haute technologie en tungstène de Chine

Chapitre 5 Domaines d'application des électrodes de molybdène

- 5.1 Industrie du verre
 - 5.1.1 Électrodes de four à verre
 - 5.1.2 Fabrication du verre optique et du verre spécialisé
- 5.2 Industrie métallurgique
 - 5.2.1 Fours de fusion et à arc à haute température
 - 5.2.2 Rôle dans la production d'alliages
- 5.3 Industrie de l'électronique et des semi-conducteurs
 - 5.3.1 Tubes à vide et tubes à décharge
 - 5.3.2 Dépôt de couches minces et dispositifs microélectroniques
- 5.4 Recherche scientifique et applications spéciales
 - 5.4.1 Équipement expérimental à haute température
 - 5.4.2 Industrie aérospatiale et nucléaire
- 5.5 Domaines d'application émergents
 - 5.5.1 Équipement d'énergie renouvelable
 - 5.5.2 Composants d'instruments médicaux

Chapitre 6 Avantages, inconvénients et limites des électrodes en molybdène

- 6.1 Avantages des électrodes en molybdène
 - 6.1.1 Stabilité à haute température et longue durée de vie
 - 6.1.2 Excellente conductivité électrique et résistance à la corrosion
 - 6.1.3 Fiabilité dans les environnements extrêmes
- 6.2 Inconvénients et limites des électrodes en molybdène
 - 6.2.1 Sensibilité à l'oxydation et aux contraintes environnementales
 - 6.2.2 Difficulté et coût du traitement
 - 6.2.3 Limites de la fragilité et des performances mécaniques
- 6.3 Mesures d'amélioration des électrodes en molybdène
 - 6.3.1 Technologies anti-oxydation
 - 6.3.2 Développement des matériaux composites

Chapitre 7 Comparaison des électrodes en molybdène avec d'autres matériaux d'électrode

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

7.1 Comparaison avec les électrodes en tungstène

7.1.1 Différences de rendement

7.1.2 Scénarios d'application

7.2 Comparaison avec les électrodes en graphite

7.2.1 Durabilité et coût

7.2.2 Performances à haute température

7.3 Comparaison avec les électrodes en cuivre

7.3.1 Conductivité électrique et résistance à la chaleur

7.3.2 Environnement d'utilisation

7.4 Comparaison avec les électrodes de métaux précieux (p. ex., platine)

7.4.1 Viabilité économique et applications spécialisées

7.5 Résumé de la comparaison exhaustive

Chapitre 8 Principaux marchés pour les applications des électrodes de molybdène

8.1 Région de l'Asie-Pacifique

8.1.1 Chine (marchés du verre et de la métallurgie)

8.1.2 Japon et Corée du Sud (électronique et semi-conducteurs)

8.1.3 Inde (demande d'industrialisation)

8.2 Amérique du Nord

8.2.1 États-Unis (verre et aérospatiale)

8.2.2 Canada (métallurgie et recherche)

8.3 L'Europe

8.3.1 Allemagne (fabrication industrielle et verre optique)

8.3.2 France et Royaume-Uni (applications spécialisées)

8.4 Autres régions

8.4.1 Amérique du Sud (demande métallurgique au Chili et au Pérou)

8.4.2 Moyen-Orient et Afrique (potentiel des marchés émergents)

8.5 Caractéristiques des marchés mondiaux d'applications

8.5.1 Répartition par industrie

8.5.2 Différences régionales

Appendice

A. Glossaire

B. Références

C. Normes et spécifications techniques pour les électrodes en molybdène

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

clause 5 Total des pages 38 page

sales@chinatungsten.com

Chapitre 1 Présentation de l'électrode de molybdène

1.1 Qu'est-ce que l'électrode de molybdène

L'électrode de molybdène est un matériau d'électrode haute performance dont le composant principal est le molybdène (molybdène, <http://molybdenum.com.cn>). Il est largement utilisé dans de nombreux domaines industriels en raison de ses excellentes performances à haute température, de sa résistance à la corrosion et de sa conductivité. Le molybdène est un métal de transition dont le symbole de l'élément est Mo et le numéro atomique 42. Il existe principalement sous forme de molybdénite (MoS_2) dans la nature. Les électrodes en molybdène sont généralement fabriquées par un procédé de métallurgie des poudres. La teneur en molybdène doit généralement atteindre plus de 99,95 % et la densité est supérieure à $10,15 \text{ g/cm}^3$ pour assurer la stabilité dans les environnements extrêmes. En tant que matériau fonctionnel, les électrodes en molybdène peuvent être en forme de tige, de plaque ou de fil. La forme spécifique dépend de son scénario d'utilisation. Par exemple, les conceptions en forme de tige sont principalement utilisées dans les fours de fusion du verre, tandis que les électrodes en molybdène en forme de fil peuvent être utilisées dans certains appareils électroniques.

Le principal avantage des électrodes en molybdène réside dans leurs propriétés physiques et chimiques. Son point de fusion atteint 2623°C , juste derrière le tungstène, ce qui lui permet de résister à des températures extrêmement élevées sans fusion ni déformation. De plus, le molybdène a une faible résistivité (environ $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$) et une conductivité thermique élevée ($138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$), ce qui le rend excellent dans les applications qui nécessitent une conduction efficace du courant et de la chaleur. Dans le même temps, le molybdène présente une excellente résistance à la corrosion dans les acides non oxydants, le verre fondu et certains environnements alcalins, ce qui élargit encore son utilisation industrielle. Cependant, les électrodes en molybdène ont également des limites, telles que la génération facile d'oxydes volatils (tels que le MoO_3) dans des atmosphères oxydantes, de sorte qu'elles doivent généralement être utilisées dans des gaz inertes (tels que l'argon ou l'azote) ou des environnements réducteurs (tels que l'hydrogène).

Structurellement, la taille microscopique des grains et la densité des électrodes en molybdène ont un impact significatif sur leurs performances. En contrôlant les conditions de frittage pendant le processus de production d'électrodes en molybdène de haute pureté, il est possible d'obtenir une structure de grain uniforme, améliorant ainsi leur résistance mécanique et leur durabilité. Selon China Tungsten Online Technology Co., Ltd., la surface des électrodes en molybdène doit généralement être polie pour réduire le risque de décharge d'arc et de corrosion pendant l'utilisation. De plus, les électrodes en molybdène peuvent également être personnalisées en fonction des besoins du client, comme l'ajout d'éléments traces de terres rares (tels que le lanthane ou le cérium) dans des utilisations spécifiques pour améliorer leur résistance au fluage à haute température.

Dans l'industrie réelle, les électrodes en molybdène sont largement utilisées. Par exemple, dans l'industrie du verre, il est utilisé comme élément chauffant pour les fours de fusion du verre entièrement électriques, qui peuvent chauffer directement le verre fondu à l'électricité, remplaçant

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

ainsi l'énergie traditionnelle du pétrole lourd ou du gaz. Cette substitution améliore non seulement l'efficacité de la production, mais réduit également considérablement les émissions de carbone, ce qui est conforme à la tendance actuelle de la fabrication verte. Dans l'industrie métallurgique, les électrodes en molybdène sont souvent utilisées dans les fours de fusion à haute température ou les fours à arc pour aider à produire des alliages haute performance. Dans l'industrie électronique, les électrodes en molybdène sont souvent utilisées comme matériaux d'électrode pour les tubes à vide ou les dispositifs à semi-conducteurs en raison de leur conductivité et de leur stabilité élevées.

1.2 Histoire et développement des électrodes en molybdène

Le développement et l'application des électrodes en molybdène remontent à la fin du 19^e et au début du 20^e siècle, lorsque les scientifiques et les ingénieurs ont commencé à explorer le potentiel des métaux à point de fusion élevé dans l'industrie. En tant que métal rare, l'application industrielle du molybdène a commencé tardivement, principalement en raison du manque de technologie de raffinage et de traitement à l'époque. Les premiers produits à base de molybdène ont été extraits des minerais de molybdène par réduction chimique, mais leur pureté était faible et ne pouvait pas répondre aux exigences des matériaux d'électrode. Ce n'est qu'au début du 20^e siècle que les électrodes en molybdène sont progressivement entrées dans la phase de production industrielle avec la percée de la technologie de la métallurgie des poudres.

Dans les années 1920, les électrodes en molybdène ont commencé à émerger dans l'industrie du verre. À cette époque, la fabrication du verre reposait principalement sur le chauffage au fioul ou au gaz, ce qui était inefficace et polluant. Avec l'essor de la technologie de fusion électrique, les gens ont constaté que le point de fusion élevé et la résistance à la corrosion du molybdène le rendaient très approprié comme matériau d'électrode dans les fours de fusion du verre. À la fin des années 1920, certains fabricants de verre aux États-Unis ont pris les devants en essayant d'utiliser des électrodes en molybdène et ont constaté qu'elles pouvaient non seulement résister à la température élevée et à la corrosivité du verre fondu, mais également améliorer considérablement la transparence et la qualité du verre. Cette découverte a favorisé l'utilisation généralisée des électrodes en molybdène dans l'industrie du verre.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, la demande de molybdène a bondi car il était largement utilisé pour fabriquer des alliages à haute température dans les équipements militaires, tels que les blindages de chars et les pièces de moteur d'avion. Bien que les électrodes en molybdène n'aient pas été le produit principal à l'époque, les progrès de la technologie de traitement du molybdène après la guerre ont jeté les bases du développement ultérieur des électrodes en molybdène. Dans les années 1950, avec la popularisation des fours de fusion du verre entièrement électriques, les électrodes de molybdène sont devenues un élément indispensable de l'industrie du verre. Dans le même temps, le développement rapide de l'industrie électronique a également ouvert de nouveaux marchés pour les électrodes en molybdène, tels que les principaux matériaux d'électrode dans les tubes à vide et les tubes à décharge.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

À l'aube du 21^e siècle, les domaines d'application des électrodes en molybdène se sont encore élargis. L'industrie aérospatiale a commencé à utiliser des électrodes en molybdène pour fabriquer des équipements expérimentaux à haute température et des composants de réacteurs nucléaires, et l'essor de nouveaux domaines d'énergie (tels que les cellules solaires et les équipements éoliens) a également apporté de nouveaux points de croissance pour les électrodes en molybdène. Selon l'application et le développement du molybdène [2], le processus de production des électrodes de molybdène n'a cessé d'être amélioré ces dernières années. Par exemple, ses performances ont été considérablement améliorées par le dopage avec des éléments de terres rares ou l'adoption de nouvelles technologies de revêtement de surface. De plus, avec les réglementations environnementales de plus en plus strictes, les électrodes en molybdène ont progressivement remplacé certains matériaux traditionnels en raison de leurs caractéristiques de faible pollution et sont devenues un choix important pour la fabrication écologique.

D'un point de vue mondial, le développement des électrodes de molybdène est étroitement lié au processus d'industrialisation de la Chine, des États-Unis et de l'Europe. En tant que plus grand producteur de molybdène aujourd'hui, l'industrie chinoise des électrodes de molybdène s'est rapidement développée au cours des dernières décennies, en particulier dans les zones riches en ressources de molybdène telles que le Shaanxi et le Henan. Les États-Unis et l'Europe, en revanche, dominent le marché des électrodes de molybdène haut de gamme grâce à une technologie de production avancée et à des capacités de R&D. Par exemple, Climax Molybdenum aux États-Unis et Plansee en Autriche sont des leaders de l'industrie de l'usinage de précision et de la personnalisation des électrodes de molybdène.

1.3 L'importance des électrodes en molybdène dans l'industrie moderne

Dans l'industrie moderne, l'importance des électrodes en molybdène se reflète à bien des égards. Tout d'abord, ses excellentes performances à haute température et dans les environnements corrosifs en font un choix idéal pour de nombreux processus clés. Si l'on prend l'exemple de l'industrie du verre, la température de fonctionnement du four à verre entièrement électrique est généralement supérieure à 1500 °C, et le verre fondu contient également une variété de composants corrosifs (tels que les oxydes de métaux alcalins). Les électrodes en molybdène peuvent fonctionner de manière stable pendant une longue période dans des conditions aussi extrêmes, et leur durée de vie peut atteindre des milliers d'heures, ce qui réduit considérablement les coûts de maintenance et les temps d'arrêt de l'équipement.

Deuxièmement, la conductivité électrique et la conductivité thermique élevées des électrodes en molybdène leur confèrent des avantages significatifs dans les scénarios nécessitant une transmission d'énergie efficace. Par exemple, dans l'industrie électronique, les électrodes en molybdène sont utilisées comme cibles de pulvérisation pour la production de transistors à couche mince et d'écrans d'affichage, et leur distribution uniforme du courant et leur conductivité thermique garantissent la stabilité de la qualité du produit. Dans l'industrie métallurgique, l'utilisation d'électrodes en molybdène dans les fours à arc électrique peut améliorer l'efficacité de la fusion et aider à produire des aciers spéciaux et des alliages à haute résistance.

DECLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

De plus, le respect de l'environnement des électrodes en molybdène reflète également leur importance. Les processus traditionnels de fusion du verre reposent sur des combustibles fossiles, qui consomment non seulement beaucoup d'énergie, mais produisent également beaucoup de dioxyde de carbone et de sulfures. La technologie de fusion électrique utilisant des électrodes de molybdène est chauffée par l'énergie électrique et ne produit pratiquement aucun polluant, ce qui est conforme aux objectifs mondiaux de réduction des émissions. Selon un rapport de China Tungsten Online [1], l'utilisation d'électrodes en molybdène peut réduire les émissions de carbone de dizaines de milliers de tonnes chaque année, ce qui est particulièrement important dans le cadre des politiques environnementales actuelles.

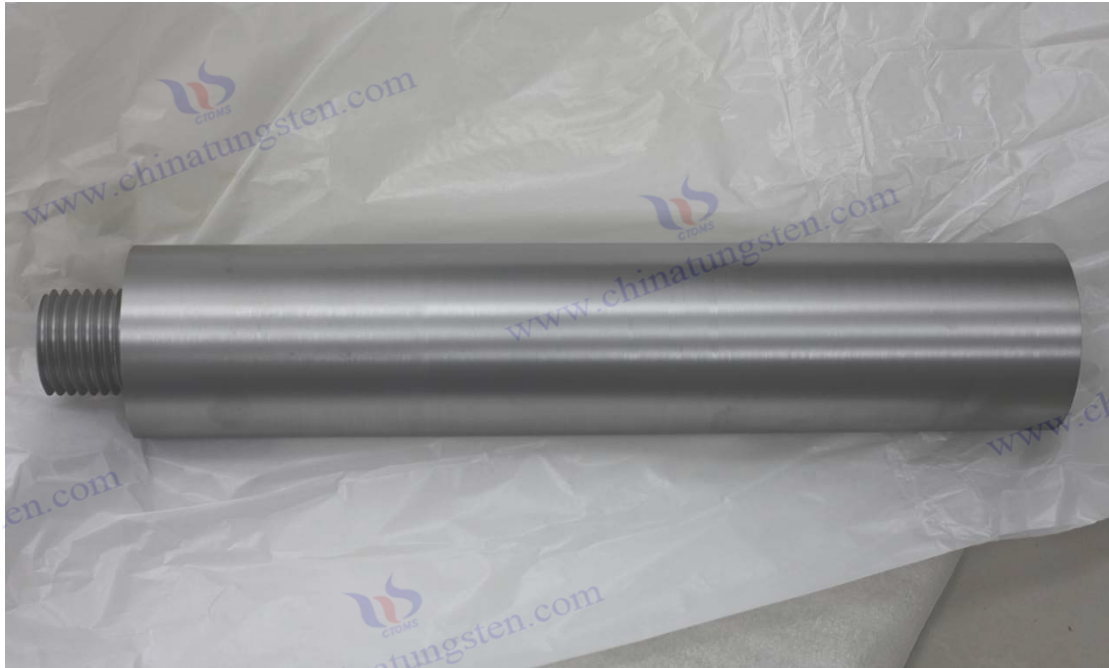
Les électrodes en molybdène ont également joué un rôle dans la promotion du développement de technologies émergentes. Par exemple, dans le domaine aérospatial, les électrodes en molybdène sont utilisées pour fabriquer des fours expérimentaux résistants aux hautes températures afin de tester les performances de nouveaux matériaux dans des environnements extrêmes. Dans l'industrie nucléaire, les électrodes en molybdène sont utilisées dans certains composants des réacteurs nucléaires en raison de leur résistance aux radiations et de leur stabilité à haute température. Avec la popularisation des équipements d'énergie renouvelable, l'application potentielle des électrodes de molybdène dans les cellules solaires et les systèmes de stockage d'énergie est également explorée.

D'un point de vue économique, bien que les hautes performances des électrodes en molybdène s'accompagnent d'un coût initial plus élevé, leur longue durée de vie et leurs faibles besoins d'entretien rendent leur rentabilité globale meilleure que celle de nombreux matériaux alternatifs. Par exemple, dans l'industrie du verre, le coût d'utilisation d'un ensemble d'électrodes en molybdène ne peut être 30 % plus élevé que celui des électrodes en graphite, mais sa durée de vie est 2 à 3 fois supérieure à celle du graphite, ce qui réduit finalement le coût de production par produit unitaire. Cet avantage économique rend les électrodes en molybdène très compétitives sur le marché mondial.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com



CTIA GROUP LTD Électrode de molybdène Photos

Chapitre 2 Caractéristiques de base des électrodes en molybdène

2.1 Caractéristiques physiques des électrodes de molybdène

2.1.1 Point de fusion et densité des électrodes de molybdène

Le point de fusion des électrodes de molybdène atteint 2623°C , ce qui en fait l'un des rares matériaux capables de maintenir l'intégrité structurelle à des températures extrêmement élevées, juste derrière le tungstène (3422°C). Le point de fusion élevé est dû aux fortes liaisons métalliques entre les atomes de molybdène, ce qui rend sa structure cristalline difficile à effondrer à haute température. Dans les applications pratiques, telles que les fours de fusion du verre, la température de fonctionnement est généralement comprise entre 1600 et 1800°C , et les électrodes en molybdène peuvent facilement résister à cette température sans fondre ni ramollir de manière significative.

La densité du molybdène est de $10,2\text{ g/cm}^3$, ce qui est légèrement inférieur à celui du tungstène ($19,25\text{ g/cm}^3$), mais beaucoup plus élevé que celui des métaux industriels courants tels que le fer ($7,87\text{ g/cm}^3$). Ce niveau de densité garantit non seulement la stabilité structurelle de l'électrode de molybdène, mais la rend également modérément lourde et facile à traiter et à installer. La densité affecte directement la densité et les propriétés mécaniques de l'électrode. Au cours du processus de production, en contrôlant les conditions de frittage (telles que la température et la pression), la densité des électrodes en molybdène peut généralement atteindre plus de 98 % de la valeur théorique, réduisant ainsi la porosité interne et améliorant la durabilité.

Lors d'essais réels, le point de fusion et les caractéristiques de densité des électrodes en molybdène ne les rendent plus performantes que de nombreux matériaux traditionnels dans des

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

environnements à haute température. Par exemple, dans la fusion du verre, les électrodes de molybdène peuvent être exposées au verre fondu pendant une longue période sans dégradation physique significative. Selon l'étude des « Propriétés physiques et chimiques des matériaux en molybdène » [1], le point de fusion élevé et la densité modérée confèrent aux électrodes de molybdène stabilité et fiabilité dans des conditions extrêmes.

2.1.2 Conductivité électrique et thermique des électrodes de molybdène

La conductivité électrique des électrodes en molybdène est l'un de ses principaux avantages en tant que matériau d'électrode. Sa résistivité est de $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, ce qui est légèrement supérieur à celui du cuivre ($1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), mais il est déjà d'un excellent niveau parmi les métaux à haute température. Cette résistivité permet aux électrodes en molybdène de transmettre efficacement le courant lorsqu'elles sont alimentées, réduisant ainsi les pertes d'énergie. Dans un four de fusion du verre, les électrodes en molybdène génèrent de la chaleur Joule en faisant passer directement l'électricité, et leur conductivité électrique détermine directement l'efficacité du chauffage et l'uniformité de la température.

La conductivité thermique du molybdène est de $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, ce qui est beaucoup plus élevé que celui du graphite (environ $30\text{-}50 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) et juste derrière le cuivre ($401 \text{ W/m} \cdot \text{K}$). Une conductivité thermique élevée signifie que les électrodes en molybdène peuvent transférer rapidement la chaleur de l'intérieur de l'électrode vers l'environnement extérieur pour éviter la surchauffe locale. Cette propriété est particulièrement importante dans les applications qui nécessitent un contrôle précis de la température. Par exemple, dans la production de verre optique, la conductivité thermique uniforme des électrodes en molybdène contribue à réduire les défauts de contrainte thermique dans le verre.

Dans des cas réels, la conductivité électrique et thermique des électrodes de molybdène a été largement vérifiée. Par exemple, dans le processus de pulvérisation de l'industrie des semi-conducteurs, lorsque des électrodes en molybdène sont utilisées comme cibles, leurs capacités efficaces de courant et de conduction thermique garantissent l'uniformité du dépôt de couches minces. Selon les informations de China Tungsten Online [2], ces caractéristiques des électrodes de molybdène leur confèrent des avantages évidents dans les appareils électroniques de haute puissance.

2.1.3 Coefficient de dilatation thermique et résistance mécanique des électrodes de molybdène

Le coefficient de dilatation thermique du molybdène est de $4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$, ce qui est nettement inférieur à celui du cuivre ($16,5 \times 10^{-6}/\text{K}$) et de l'acier ($11\text{-}13 \times 10^{-6}/\text{K}$). Cette propriété signifie que les électrodes en molybdène se déforment moins lorsque la température change radicalement et peuvent maintenir l'intégrité structurelle. Dans le four de fusion du verre, l'électrode de molybdène ne doit subir un processus de chauffage rapide de la température ambiante à la température élevée, et le faible coefficient de dilatation thermique réduit efficacement le risque de fissures causées par le stress thermique.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

La résistance mécanique du molybdène est encore excellente à haute température. Sa résistance à la traction à température ambiante est d'environ 600-800MPa, qui diminue progressivement avec l'augmentation de la température, mais peut toujours maintenir environ 300MPa à 1000° C. Cette résistance est suffisante pour faire face aux charges mécaniques dans les applications industrielles. Cependant, le molybdène a une faible ductilité, en particulier à basse température, il est cassant et sujet à la fracture cassante. Par conséquent, lors du traitement et de l'installation, il est généralement nécessaire de chauffer à 200-300° C pour améliorer sa plasticité.

Dans les applications pratiques, le coefficient de dilatation thermique et la résistance mécanique des électrodes en molybdène affectent directement leur durée de vie. Par exemple, dans les fours expérimentaux à haute température, les électrodes en molybdène doivent résister à des cycles thermiques fréquents. Le faible coefficient de dilatation thermique réduit les dommages causés par la fatigue, tandis que la résistance mécanique élevée assure la stabilité de leur structure.

2.2 Propriétés chimiques des électrodes en molybdène

2.2.1 Résistance à la corrosion et stabilité chimique des électrodes de molybdène

La résistance à la corrosion des électrodes en molybdène dans les environnements non oxydants est l'un de ses principaux avantages. Il peut résister à la corrosion d'une variété de substances chimiques, y compris les acides non oxydants tels que l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique et l'acide fluorhydrique. Dans l'industrie du verre, le verre fondu contient une variété de composants corrosifs (tels que le Na_2O et le K_2O), et les électrodes en molybdène peuvent être utilisées pendant une longue période dans cet environnement sans corrosion significative. Selon les données expérimentales, le taux de corrosion du molybdène dans le verre fondu est généralement inférieur à 0,1 mm/an, ce qui est bien inférieur à celui du graphite ou de l'acier.

La stabilité chimique du molybdène se reflète également dans sa résistance à la corrosion des métaux en fusion. Dans l'industrie métallurgique, les électrodes en molybdène sont souvent utilisées pour fondre des métaux tels que l'aluminium et le magnésium. Leurs surfaces ne réagissent pas chimiquement avec ces métaux, ce qui maintient l'intégrité de l'électrode. Cependant, dans les acides oxydants forts (tels que l'acide nitrique), le molybdène a une faible résistance à la corrosion et se corrode facilement.

2.2.2 Comportement à l'oxydation à haute température des électrodes de molybdène

Le comportement à l'oxydation des électrodes de molybdène à haute température est l'une de leurs principales limites. Lorsque la température dépasse 600°C, le molybdène réagit avec l'oxygène pour former du trioxyde de molybdène (MoO_3), un composé volatil qui provoque une perte rapide de la surface de l'électrolybdène. Dans l'air au-dessus de 1000° C, le taux d'oxydation du molybdène est considérablement accéléré, ce qui peut détruire complètement la structure de l'électrode en quelques heures. Par conséquent, les électrodes en molybdène doivent généralement fonctionner dans un gaz inerte (comme l'argon) ou dans une atmosphère réductrice (comme l'hydrogène).

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Pour résoudre ce problème, la technologie de revêtement de surface est souvent utilisée dans l'industrie, comme le revêtement de siliciure de molybdène (MoSi_2) ou de couches d'oxyde d'aluminium pour améliorer leur résistance à l'oxydation. Ces revêtements peuvent former un film protecteur à haute température, ce qui prolonge considérablement la durée de vie des électrodes en molybdène. Par exemple, dans certains fours expérimentaux, la durée de vie des électrodes en molybdène revêtues peut être prolongée de plus de 50 % par rapport aux électrodes non revêtues.

2.3 Forme et spécifications de l'électrode de molybdène

2.3.1 Formes courantes d'électrodes en molybdène (tiges, plaques, fils, etc.)

Les électrodes en molybdène ont des formes variées et sont conçues en fonction de différentes utilisations. Les électrodes en molybdène en forme de tige sont la forme la plus courante, avec un diamètre généralement de 20 à 152,4 mm et une longueur allant jusqu'à 1500 mm. Ils sont principalement utilisés dans les fours de fusion du verre et les fours métallurgiques. Les électrodes en molybdène en forme de plaque sont principalement utilisées dans des scénarios où de grandes zones de conductivité sont requises, telles que des cibles de pulvérisation cathodique à semi-conducteurs, et leur épaisseur est généralement de 2 à 20 mm. Les électrodes en molybdène en forme de fil ont généralement un diamètre de 0,1 à 3 mm et sont souvent utilisées dans le soudage de précision ou les appareils électroniques.

La technologie de traitement de chaque forme est différente. Par exemple, les électrodes en forme de tige doivent être formées par forgeage et tournage, tandis que les électrodes en forme de fil doivent passer par plusieurs processus de tréfilage. Selon les données de China Tungsten Online [2], il n'y a pas de différence significative de performance entre les électrodes en molybdène de différentes formes, mais leurs scénarios d'application varient considérablement.

2.3.2 Taille de l'électrode en molybdène et possibilités de personnalisation

Les électrodes en molybdène sont disponibles dans une large gamme de tailles pour répondre à une variété de besoins industriels. Le diamètre des électrodes à tige standard varie de 20 mm à 152,4 mm et peut être personnalisé selon la conception du four jusqu'à 2 m de longueur. Les électrodes à plaques sont de taille plus flexible, avec des largeurs et des longueurs allant jusqu'à 500 mm × 1000 mm. Les fils-électrodes peuvent avoir un diamètre précis au micromètre près pour les applications de haute précision.

La personnalisation est une caractéristique majeure des électrodes en molybdène. Les clients peuvent spécifier la taille, la pureté et le traitement de surface en fonction de leurs besoins spécifiques. Par exemple, dans le domaine aérospatial, des électrodes de molybdène extra-longues peuvent être nécessaires pour accueillir des fours expérimentaux spéciaux, tandis que dans l'industrie électronique, des plaques de molybdène ultra-minces peuvent être nécessaires pour répondre aux exigences de dépôt de couches minces. Des fabricants tels que CTIA GROUP LTD (Xiamen) Technology Co., Ltd. peuvent fournir des services de personnalisation complets du processus, de la conception au traitement.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE



CTIA GROUP LTD Électrode de molybdène Photo

Chapitre 3 Processus de production de l'électrode de molybdène

3.1 Source et préparation des matières premières pour l'électrode de molybdène

3.1.1 Extraction du minerai de molybdène

La production d'électrode de molybdène commence par l'extraction du minerai de molybdène. Le molybdène existe principalement dans la nature sous forme de molybdénite (MoS_2), représentant plus de 90 % des réserves mondiales de molybdène. La molybdénite coexiste généralement avec les mines de cuivre et est distribuée dans le Henan, le Shaanxi, le Colorado, les États-Unis et la zone minière de Chuquicamata au Chili. Le processus d'extraction sépare d'abord le concentré de molybdène du minerai par la technologie de flottation, et sa teneur en molybdène peut atteindre 45 % à 50 %. Ensuite, le concentré est torréfié à haute température pour produire du trioxyde de molybdène (MoO_3). Cette étape doit être effectuée dans l'air pour s'assurer que les sulfures sont convertis en oxydes et que le dioxyde de soufre est libéré.

Le trioxyde de molybdène torréfié est purifié par des méthodes chimiques, généralement à l'aide d'une extraction acide-base ou d'une technologie d'extraction par solvant pour éliminer les impuretés (telles que le fer, le cuivre et le plomb). Afin d'améliorer la pureté, l'industrie utilise souvent le procédé d'ammoniacation pour convertir le trioxyde de molybdène en paratungstate d'ammonium (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$), puis le réduire en oxyde de molybdène de haute pureté par décomposition à haute température. Cette méthode permet de réduire la teneur en impuretés à quelques parties par million (niveau ppm), répondant ainsi aux exigences de pureté élevées des électrodes en molybdène. Selon China Tungsten Online (<http://www.tungsten-oxide.com>), la Chine est le plus grand producteur mondial de minerai de molybdène, avec une production de plus de 120 000 tonnes en 2023, représentant plus de 40 % de la population mondiale.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

3.1.2 Préparation de la poudre de molybdène de haute pureté

La poudre de molybdène de haute pureté est la matière première de base pour la production d'électrodes de molybdène, et est généralement préparée à partir de trioxyde de molybdène ou de paratungstate d'ammonium par réduction de l'hydrogène. Le processus de réduction est effectué dans une atmosphère d'hydrogène à haute température (800-1000°C), et l'équation de réaction est la suivante : $\text{MoO}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{Mo} + 3\text{H}_2\text{O}$. La méthode de réduction de l'hydrogène peut réduire considérablement la teneur en oxygène, de sorte que la pureté de la poudre de molybdène atteint plus de 99,95 % et que la taille des particules est généralement comprise entre 1 et 5 μm , ce qui convient au processus ultérieur de métallurgie des poudres.

Afin d'optimiser davantage les performances de la poudre de molybdène, l'industrie utilise souvent la technologie de broyage à billes ou de broyage à flux d'air pour ajuster la distribution granulométrique et assurer l'uniformité des particules. L'uniformité de la distribution granulométrique affecte directement la densité du moulage pressé et les propriétés mécaniques après frittage. China Tungsten Online (<http://www.tungsten-powder.com>) a souligné que ces dernières années, la recherche et le développement de poudre de molybdène à l'échelle nanométrique ont attiré l'attention, et que sa taille de particule plus petite peut améliorer la densité et la conductivité des électrodes de molybdène. Cependant, le coût de production de la poudre de nano-molybdène est relativement élevé et elle est actuellement principalement utilisée dans des applications haut de gamme.

3.2 Procédé de production de base de l'électrode de molybdène

3.2.1 Méthode de métallurgie des poudres

3.2.1.1 Moulage par pressage

La métallurgie des poudres est le processus principal de production d'électrodes en molybdène, et sa première étape est le moulage par pressage. La poudre de molybdène de haute pureté est placée dans un moule et pressée par pression mécanique ou pressage isostatique à froid (CIP). Le pressage isostatique à froid utilise un liquide à haute pression (généralement de l'eau ou de l'huile) pour appliquer uniformément une pression, qui peut atteindre 200-300MPa. Cette méthode peut assurer une densité uniforme de l'ébauche et réduire la porosité interne. La densité de l'ébauche pressée atteint généralement 60 à 70 % de la densité théorique, jetant ainsi les bases du frittage ultérieur.

La conception du moule est cruciale pour le pressage. Les matériaux de moule sont généralement en carbure cémenté ou en acier à haute résistance pour résister à une pression élevée et à une utilisation répétée. La géométrie du moule doit correspondre avec précision à la forme finale de l'électrode en molybdène, par exemple, un moule cylindrique est nécessaire pour une électrode à tige. Lors du processus de pressage, la fluidité de la poudre de molybdène est un facteur clé. Une fluidité trop faible peut entraîner une densité inégale. Par conséquent, une petite quantité de lubrifiant (comme le stéarate de zinc) est souvent ajoutée pour améliorer la fluidité de la poudre et réduire l'usure du moule.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

3.2.1.2 Frittage à haute température

L'ébauche de molybdène pressée doit être traitée dans un four de frittage à haute température, généralement dans un environnement à hydrogène ou sous vide, avec une plage de température de 1800 à 2200 ° C. Le processus de frittage améliore la densité et la résistance de l'ébauche par diffusion atomique, ce qui la rapproche de la densité théorique (10,2 g/cm³). La protection contre l'hydrogène empêche le molybdène de réagir avec l'oxygène, tandis que le frittage sous vide convient aux applications avec des exigences de pureté élevées.

L'optimisation de la température et du temps de frittage est cruciale pour la qualité du produit final. Une température trop élevée peut provoquer une croissance excessive des grains et réduire la résistance mécanique ; Une température trop basse entraînera une densité insuffisante, ce qui affectera la conductivité et la résistance à la corrosion. Selon China Tungsten Online (baike.ctia.com.cn), les fours de frittage modernes utilisent une technologie de contrôle de température de précision et les fluctuations de température sont contrôlées à $\pm 5^{\circ}$ C pour garantir une qualité de produit constante.

3.2.2 Traitement ultérieur (forgeage, laminage, tréfilage)

L'ébauche de molybdène fritté nécessite généralement un traitement supplémentaire pour atteindre la forme finale et les exigences de performance. Le forgeage améliore la densité et la résistance mécanique du molybdène par martelage ou extrusion répétés, en particulier pour les électrodes à tige. La température de forgeage est généralement de 1200-1500 ° C pour assurer une plasticité suffisante du molybdène. Le laminage est utilisé pour produire des électrodes en molybdène à plaque ou en bande. L'ébauche est pressée en une plaque mince à travers plusieurs passes de laminage, et l'épaisseur peut être précise à quelques millimètres.

Le tréfilage est principalement utilisé pour fabriquer des électrodes en molybdène en forme de fil. Il adopte généralement plusieurs passes d'emboutissage et un traitement de recuit pour éliminer les contraintes internes. Au cours du processus de tréfilage, le diamètre du fil de molybdène ne peut être réduit de quelques millimètres à des dizaines de microns, ce qui convient aux applications de précision dans l'industrie électronique. La précision du traitement ultérieur affecte directement la qualité de surface et la durée de vie de l'électrode en molybdène. Par exemple, la rugosité de surface doit être contrôlée en dessous de Ra 0,8 μ m.

3.3 Traitement de surface et contrôle de la qualité des électrodes de molybdène

3.3.1 Traitement de polissage et anti-oxydation

Le traitement de surface des électrodes en molybdène est une étape clé pour améliorer leurs performances et leur durée de vie. Le polissage élimine les défauts de surface par des méthodes mécaniques ou électrochimiques jusqu'à une rugosité inférieure à Ra 0,2 μ m. L'électrode en molybdène poli a une surface lisse, ce qui réduit le risque de décharge d'arc et de corrosion pendant l'utilisation. Le polissage mécanique utilise généralement une meule diamantée ou une pâte à polir, tandis que le polissage électrochimique élimine les protubérances microscopiques de surface à travers un électrolyte (comme un mélange d'acide sulfurique et d'acide

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

phosphorique).

Pour améliorer la résistance à l'oxydation, la surface des électrodes en molybdène est souvent recouverte d'une couche de résistance à l'oxydation, telle que le siliciure de molybdène (MoSi_2) ou l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3). Ces revêtements peuvent former un film protecteur dense à haute température pour empêcher l'oxygène de réagir avec le molybdène. Par exemple, les revêtements en siliciure de molybdène peuvent rester stables dans l'air à 1000°C , ce qui prolonge considérablement la durée de vie des électrodes en molybdène. China Tungsten Online (www.chinatungsten.com) a rapporté que l'application de la technologie de revêtement a augmenté la durée de vie des électrodes de molybdène dans les fours à verre de plus de 30 %.

3.3.2 Méthodes d'essai de rendement

Le contrôle de la qualité des électrodes en molybdène se déroule tout au long du processus de production. Les essais de performance comprennent les essais de densité (généralement à l'aide de la méthode d'Archimède), les essais de dureté (duromètre Rockwell ou Vickers), la mesure de résistivité (méthode à quatre sondes) et l'analyse de la composition chimique (ICP-MS ou XRF). La densité est un indicateur important pour évaluer la densification, et la densité des électrodes standard en molybdène doit atteindre $10,15\text{--}10,2\text{ g/cm}^3$. Les essais de dureté reflètent la résistance mécanique du matériau, qui est généralement comprise entre 70 et 90HRB.

De plus, les tests par ultrasons et les tests par rayons X sont utilisés pour vérifier les défauts internes tels que les pores ou les fissures. La qualité de surface est évaluée par observation microscopique ou mesure de rugosité afin de garantir le respect des normes industrielles. Ces méthodes d'essai garantissent que les performances des électrodes en molybdène répondent aux exigences de l'application.

3.4 Innovation et amélioration du processus de production d'électrodes de molybdène

3.4.1 Nouvelles technologies (comme l'impression 3D)

La technologie d'impression 3D (fabrication additive) a apporté de nouvelles possibilités pour la production d'électrodes de molybdène. Les électrodes de molybdène de forme complexe peuvent être imprimées directement à partir de poudre de molybdène grâce à la technologie de fusion sélective par laser (SLM) ou de fusion par faisceau d'électrons (EBM). Cette méthode est particulièrement adaptée à la production en petits lots et sur mesure. Par exemple, le domaine aérospatial peut nécessiter des électrodes en molybdène de forme spéciale, et l'impression 3D peut raccourcir considérablement le cycle de production.

Cependant, l'impression 3D d'électrodes en molybdène est confrontée à des défis, tels que le contrôle de la stabilité du bain de fusion et la complexité du post-traitement. Les recherches actuelles se concentrent sur l'optimisation des paramètres d'impression et le développement de poudres de molybdène à haute fluidité. Selon un rapport de China Tungsten Online (cn.ctia.group), la densité des électrodes de molybdène imprimées en 3D est proche de celle de la métallurgie traditionnelle des poudres, mais le coût reste élevé.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

3.4.2 Tendances de production respectueuses de l'environnement

Avec le durcissement de la réglementation environnementale, la production d'électrodes de molybdène évolue progressivement vers une fabrication verte. Le processus traditionnel de frittage produit une petite quantité de gaz résiduels (comme l'humidité dans l'hydrogène), et les entreprises modernes utilisent des technologies de filtration et de récupération à haute efficacité pour réduire les émissions. Par exemple, un système d'hydrogène en boucle fermée peut recycler l'humidité des gaz résiduels en hydrogène, réduisant ainsi la consommation d'énergie et la pollution. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) a souligné que l'application de fours de frittage à faible consommation d'énergie et d'énergies renouvelables est en train de devenir une tendance de l'industrie.

En outre, le recyclage des déchets de molybdène a également fait l'objet d'une attention particulière. Les électrodes de molybdène usagées peuvent être reraffinées en poudre de molybdène par des méthodes chimiques ou physiques, et le taux de recyclage peut atteindre plus de 90 %. Cela permet non seulement de réduire les coûts de production, mais aussi le gaspillage de ressources.



CTIA GROUP LTD Électrode de molybdène Photo

Chapitre 4 : Principales origines des électrodes en molybdène

4.1 Répartition des ressources mondiales en molybdène

4.1.1 Principales zones de production de minerai de molybdène (Chine, États-Unis, Chili, etc.)

Les ressources mondiales en molybdène sont principalement réparties dans quelques pays, parmi lesquels la Chine, les États-Unis et le Chili dominent. La Chine est le plus grand producteur mondial de molybdène, les réserves de molybdène représentant environ 50 % de la population

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

mondiale, principalement distribuées dans le comté de Lushi, le Henan, Jinduicheng, le Shaanxi et Ulanqab, en Mongolie intérieure. Les réserves de molybdénite dans ces régions sont riches et à haute teneur, avec une teneur moyenne en molybdène de 0,1 % à 0,3 %. En 2023, la production chinoise de molybdène a dépassé les 120 000 tonnes, ce qui représente plus de 40 % de la production mondiale.

Les États-Unis sont une autre zone importante de production de molybdène, avec des réserves représentant environ 20 % de la population mondiale, principalement concentrées dans la zone minière de Climax dans le Colorado et la zone minière de Thompson Creek dans l'Utah. La mine Climax est la plus grande mine de molybdène au monde, avec un volume d'extraction historique de plus de 2 millions de tonnes. Les ressources en molybdène du Chili coexistent principalement avec les mines de cuivre, concentrées dans les zones minières de Chuquicamata et d'Escondida, la production de molybdène représentant environ 10 % du total mondial, principalement en tant que sous-produit du concentré de cuivre.

Les autres zones de production comprennent la Russie (Sibérie), le Canada (Colombie-Britannique) et le Pérou (région d'Arequipa), mais la production est relativement faible, avec des réserves représentant environ 10 %.

L'exploitation minière du molybdène dans ces régions est limitée par le terrain et les conditions environnementales, et le coût de développement est élevé.

4.1.2 Production et réserves de molybdène

Selon l'Association internationale du molybdène (IMO), la production mondiale de molybdène en 2023 sera d'environ 300 000 tonnes, dont 125 000 tonnes pour la Chine, 40 000 tonnes pour les États-Unis et 30 000 tonnes pour le Chili. Les réserves mondiales de molybdène sont estimées à 15 millions de tonnes, ce qui est suffisant pour soutenir la demande minière au cours des 50 prochaines années. Cependant, le déséquilibre dans la répartition des ressources en molybdène a entraîné de grandes fluctuations des prix du marché, en particulier en période de tensions géopolitiques. En tant que fournisseur majeur, la politique d'exportation de la Chine a un impact significatif sur le marché mondial.

L'extraction et le traitement du molybdène doivent également tenir compte des impacts environnementaux. Par exemple, le processus de flottation de la molybdénite produit des résidus et des eaux usées, qui doivent être strictement traités pour réduire la pollution. Au cours des dernières années, de nombreux pays ont adopté des lois obligeant les entreprises à adopter des technologies minières vertes, telles que l'empilage à sec des résidus et le recyclage de l'eau. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) a rapporté que la Chine promeut un projet pilote pour l'exploitation minière écologique des mines de molybdène, dans le but de réduire la consommation d'énergie des mines de molybdène de 15 % d'ici 2025.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

4.2 Bases de production d'électrodes en molybdène

4.2.1 Chine (Shaanxi, Henan et autres régions)

Les bases de production d'électrodes en molybdène de la Chine sont principalement concentrées à Jinduicheng, Shaanxi et Luoyang, Henan. Jinduicheng Molybdenum est la plus grande entreprise de production de molybdène de Chine, avec une production annuelle de plus de 50 000 tonnes de concentré et de produits de molybdène. Ses produits d'électrodes en molybdène sont largement utilisés dans les industries du verre et de la métallurgie. Le Shaanxi est devenu le centre de production d'électrodes de molybdène en Chine grâce à ses riches ressources en molybdène et à sa base industrielle solide.

Luoyang, dans le Henan, est un autre site de production important. Luoyang Molybdenum Group (LME) est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de produits en molybdène, avec une production annuelle de plus de 20 000 tonnes d'électrodes de molybdène. La région de Luoyang a encouragé l'innovation des processus d'électrodes en molybdène, tels que la technologie de revêtement anti-oxydation, en s'appuyant sur les universités locales et les institutions de recherche scientifique (telles que l'Institut de recherche sur les métaux de l'Académie chinoise des sciences).

4.2.2 United States (Colorado, Utah, etc.)

La production d'électrodes de molybdène aux États-Unis est principalement concentrée dans la zone minière de Climax dans le Colorado et dans la zone minière de Thompson Creek dans l'Utah. Climax Molybdenum est le plus grand producteur de molybdène aux États-Unis, et ses produits d'électrodes de molybdène sont principalement exportés vers les marchés nord-américains et européens. La production d'électrodes de molybdène dans le Colorado adopte des équipements d'automatisation avancés, et son efficacité de production et la qualité de son produit sont parmi les meilleures au monde.

La zone minière de Thompson Creek dans l'Utah se concentre sur les produits de molybdène de haute pureté, et ses électrodes de molybdène sont largement utilisées dans l'aérospatiale et la recherche scientifique. La production d'électrodes en molybdène aux États-Unis est soumise à une stricte surveillance environnementale, et les entreprises doivent se conformer aux normes de l'EPA (Agence américaine de protection de l'environnement) pendant le processus de production.

4.2.3 L'Europe (Autriche, Allemagne, etc.)

La production d'électrodes en molybdène en Europe se fait principalement en Autriche et en Allemagne. Le groupe Plansee en Autriche est le premier fabricant mondial de produits en molybdène, avec une production annuelle de plus de 10 000 tonnes d'électrodes en molybdène. Sa base de production est située dans la région de Reutte. S'appuyant sur la technologie métallurgique haut de gamme locale et les capacités de traitement de précision, les produits d'électrodes en molybdène de Plansee sont largement utilisés dans les industries du verre et de l'électronique.

H.C. Starck en Allemagne est un autre fabricant important. Ses produits d'électrodes en molybdène sont connus pour leur grande pureté et leur personnalisation. Les fabricants allemands se

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

concentrent sur la recherche et le développement. Ces dernières années, ils ont lancé des électrodes en molybdène dopées aux terres rares pour améliorer leurs performances à haute température. La production d'électrodes en molybdène en Europe est strictement limitée par les réglementations environnementales de l'UE, et la technologie de production verte est devenue une tendance de l'industrie.

4.2.4 Autres pays (Russie, Canada, etc.)

La production russe d'électrodes de molybdène est principalement concentrée dans la région minière de Norilsk en Sibérie. Norilsk Nickel est le principal producteur, avec une production annuelle d'environ 5 000 tonnes de produits en molybdène. Les électrodes en molybdène de la Russie sont principalement utilisées dans l'industrie métallurgique nationale, et le volume d'exportation est relativement faible.

La production d'électrodes de molybdène au Canada est concentrée dans la région minière d'Endako, en Colombie-Britannique, et Thompson Creek Metals est la principale entreprise. Ses produits d'électrodes en molybdène desservent principalement le marché nord-américain et ses domaines d'application comprennent la recherche scientifique et l'aérospatiale. La production de molybdène du Canada est limitée par les réserves de ressources, et sa production ne représente qu'environ 1 % du total mondial.

4.3 Vue d'ensemble des principaux fabricants

4.3.1 GROUPE CTIA LTÉE

CTIA GROUP LTD (<http://molybdenum.com.cn/Chinese/molybdenum-electrodes.html>) est le premier fabricant chinois d'électrodes de molybdène, dont le siège social est situé à Xiamen. S'appuyant sur d'abondantes ressources en molybdène et des équipements de production de pointe, les produits de l'entreprise couvrent les domaines du verre, de la métallurgie et de l'électronique. CTIA GROUP LTD fournit également des services personnalisés, tels que des électrodes à tiges ultra-longues et des produits de revêtement anti-oxydation, et son niveau technique occupe une position de leader en Asie.

CTIA GROUP LTD fournit principalement trois types de produits d'électrode : l'électrode de molybdène pur, l'électrode de molybdène à revêtement anti-oxydation et l'électrode de molybdène renforcée de particules de céramique d'oxyde de zirconium. Les produits fournis présentent les avantages suivants :

- Couvrant toutes les spécifications et tailles, processus de forgeage à grande déformation, longue durée de vie
- Résistance à la corrosion, bonne stabilité
- Excellente résistance au fluage
- Conductivité électrique et conductivité thermique élevées
- L'électrode enrobée a d'excellentes performances anti-oxydation

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

4.3.1.1 Comparaison des performances des électrodes en molybdène et en alliage de molybdène de CTIA GROUP LTD :



4.3.1.2 Performances de l'électrode de molybdène de CTIA GROUP LTD :

- **Durabilité à haute température de l'électrode de molybdène**

Electrodes	Specifications	CTIA GROUP LTD
Pure Molybdenum Electrode	Ø 50.8mm	Deformation 0.37%
At 1200°C, 200MPa stress, 1000 hours		

- **Performance de recristallisation de l'électrode de molybdène**

Electrodes	Specifications	CTIA GROUP LTD	
		Deformation 60%	Deformation 90%
Pure Molybdenum Electrode	Ø 50.8mm	1250°C	1150°C
Molybdenum Zirconium Electrode	Ø 50.8mm	1480°C Above	1400°C Above

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

• Densité de l'électrode de molybdène

Electrodes	Specifications	CTIA GROUP LTD
Pure Molybdenum Electrode	Ø 30.0 - 101.0 mm	>10.10
	Ø ≥ 101.0 mm	>9.90
Pure Molybdenum Electrode	Ø 30.0 - 101.0 mm	>10.0
	Ø ≥ 101.0 mm	>9.85



Photo d'électrodes en molybdène revêtues fabriquées par CTIA GROUP LTD

Chapitre 5 Domaines d'application des électrodes de molybdène

5.1 Industrie du verre

5.1.1 Électrodes du four de fusion du verre

Dans l'industrie du verre, les électrodes en molybdène sont les composants de base des fours de fusion du verre entièrement électriques. La fusion du verre nécessite de chauffer les matières premières (telles que le sable de quartz et le carbonate de sodium) à 1400-1600° C et de les faire fondre en verre liquide uniforme. Les méthodes traditionnelles de chauffage au mazout ou au gaz présentent des problèmes de consommation d'énergie élevée et de pollution élevée, tandis que les électrodes en molybdène génèrent de la chaleur Joule par alimentation directe, offrant une solution de chauffage efficace et propre.

La forme en forme de tige des électrodes de molybdène est généralement installée sur la paroi latérale ou le fond du four, et le chauffage à l'arc électrique ou par résistance est formé par l'électricité. Le diamètre de chaque électrode de molybdène peut atteindre 50-152,4 mm, et la longueur peut être personnalisée en fonction de la taille du four, jusqu'à 1,5 m ou plus. Son point

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

de fusion élevé (2623°C) et sa résistance à la corrosion lui permettent de résister aux oxydes de métaux alcalins (tels que Na₂O, K₂O) et à la corrosion à haute température dans le verre fondu. Selon une étude de cas réalisée par China Tungsten Online (news.chinatungsten.com), une usine de verre chinoise a augmenté l'efficacité de son four de 20 % et amélioré la transparence de la qualité de son verre de 15 % après avoir utilisé des électrodes en molybdène.

5.1.2 Fabrication du verre optique et du verre spécial

Le verre optique et le verre spécial ont des exigences de qualité extrêmement élevées et nécessitent un contrôle précis de la température et un chauffage uniforme. Les électrodes en molybdène sont le premier choix dans la production de verre optique en raison de leur excellente conductivité thermique et de leur stabilité. Par exemple, lors de la fabrication de lentilles optiques de haute précision, les électrodes en molybdène garantissent que la fluctuation de température du verre fondu est contrôlée à $\pm 5^{\circ}\text{C}$, réduisant ainsi les défauts causés par le stress thermique. Le verre spécial tel que le verre résistant à la chaleur et le verre pare-balles repose également sur le processus de production des électrodes de molybdène. Dans ces domaines, la résistance à la corrosion et la longue durée de vie des électrodes en molybdène sont des avantages clés. Selon « L'application des électrodes en molybdène dans l'industrie du verre » [3], la durée de vie des électrodes en molybdène peut atteindre plus de 3 000 heures, dépassant de loin celle des électrodes en graphite (1 000 heures).

5.2 Industrie métallurgique

5.2.1 Four de fusion à haute température et four à arc électrique

Dans l'industrie métallurgique, les électrodes en molybdène sont largement utilisées dans les fours de fusion à haute température et les fours à arc électrique pour produire des alliages haute performance et des aciers spéciaux. La fusion à haute température nécessite généralement de chauffer les matières premières métalliques à plus de 1500°C. Les électrodes en carbone conventionnelles ou les électrodes en graphite sont sensibles à l'oxydation et à la corrosion dans de telles conditions, tandis que le point de fusion élevé (2623°C) et la résistance à la corrosion des électrodes en molybdène en font un choix idéal.

Dans un four à arc électrique, des électrodes de molybdène sont alimentées pour générer un arc afin de chauffer les matières premières métalliques pour la fusion. Par exemple, dans la production de ferromolybdène (<http://www.ferro-tungsten.com>) ou d'alliages de molybdène, les électrodes de molybdène sont utilisées comme électrodes négatives ou positives. Leur transmission stable du courant et leur résistance aux hautes températures garantissent l'efficacité du processus de fusion et la qualité du produit. Selon « L'application du molybdène dans l'industrie métallurgique » [4], les fours à arc électrique utilisant des électrodes de molybdène peuvent raccourcir le temps de fusion de 15 % à 20 % tout en améliorant la pureté de l'alliage.

En outre, l'application d'électrodes en molybdène dans les fours de fusion sous vide augmente également. L'environnement de vide peut éviter l'oxydation, et les électrodes en molybdène présentent une durée de vie plus longue dans ces conditions. Par exemple, lors de la production

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

d'alliages de titane ou de superalliages à base de nickel, les électrodes en molybdène peuvent résister à des environnements de vide jusqu'à 2000° C sans perte significative. L'analyse de cas montre qu'après l'utilisation d'électrodes en molybdène par une entreprise métallurgique américaine, ses coûts de production ont diminué de 12 % et la qualité de son produit s'est améliorée de 10 %.

5.2.2 Rôle dans la production d'alliages

Les électrodes en molybdène jouent un rôle clé dans la production d'alliages, en particulier dans les scénarios où la stabilité à haute température et la conductivité sont requises. Le molybdène lui-même est un élément d'alliage important, et sa haute résistance et sa résistance à la corrosion sont largement utilisées dans les alliages à base d'acier et de nickel. En tant que matériau d'électrode, les électrodes en molybdène peuvent fournir une source de chaleur stable et de l'énergie électrique pour la fusion des alliages. Par exemple, lors de la production d'acier inoxydable et d'acier à outils, des électrodes en molybdène sont utilisées dans les fours à arc pour assurer une répartition uniforme des éléments en molybdène dans l'alliage.

Les électrodes en molybdène sont également utilisées pour produire des matériaux composites à base de molybdène, tels que des alliages molybdène-titane ou des alliages molybdène-zirconium. Ces matériaux composites sont largement utilisés dans les industries aérospatiale et nucléaire, et la stabilité de l'électrode de molybdène affecte directement les performances du produit final. China Tungsten Online (wiki.ctia.com.cn) a rapporté qu'un nouveau type d'électrode en alliage de molybdène-terres rares a amélioré ses performances de fluage à haute température de 25 %, favorisant son application dans la production d'alliages haut de gamme.

5.3 Industrie de l'électronique et des semi-conducteurs

5.3.1 Tubes à vide et tubes à décharge

Dans l'industrie électronique, les électrodes en molybdène sont largement utilisées dans les tubes à vide et les tubes de décharge en raison de leur conductivité élevée et de leur stabilité à haute température. Les tubes à vide sont des composants essentiels des premiers appareils électroniques tels que les radios, les téléviseurs et les radars, et leurs électrodes internes doivent résister à des tensions et des températures élevées dans un environnement sous vide. Les électrodes en molybdène sont des matériaux idéaux avec leur faible résistivité ($5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) et leur point de fusion élevé (2623°C), et peuvent fonctionner de manière stable pendant des milliers d'heures sous vide.

Les tubes à décharge tels que les lampes au xénon ou les lampes au krypton reposent également sur des électrodes en molybdène comme matériaux d'électrode. Ces lampes fonctionnent à des températures élevées et à des tensions élevées, et la résistance à l'oxydation et la conductivité des électrodes en molybdène garantissent la stabilité du flux lumineux et la durée de vie. Selon « Molybdenum Applications in the Electronics Industry » [5], la durée de vie des électrodes en molybdène dans les tubes à vide peut atteindre 5 000 heures, dépassant de loin celle des électrodes en cuivre ou en nickel.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

5.3.2 Dépôt de couches minces et dispositifs microélectroniques

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les électrodes en molybdène sont utilisées comme cibles de pulvérisation pour les processus de dépôt de couches minces. La pulvérisation cathodique est une technologie de dépôt physique en phase vapeur qui dépose des atomes de molybdène sur un substrat en bombardant une cible de molybdène avec des ions à grande vitesse pour former une couche conductrice ou réfléchissante. Les cibles en molybdène sont largement utilisées dans la production de transistors à couche mince (TFT), de cellules solaires et d'écrans d'affichage en raison de leur grande pureté (généralement supérieure à 99,95 %) et de leur uniformité.

Le faible coefficient de dilatation thermique des électrodes en molybdène ($4,8 \times 10^{-6}/K$) s'adapte bien aux substrats en silicium, réduisant ainsi les problèmes de stress lors du dépôt de couches minces. Par exemple, dans la production d'écrans LCD, les cibles d'électrodes en molybdène assurent l'uniformité et la conductivité du film, améliorant ainsi la luminosité et la durée de vie de l'écran. Selon une étude de cas réalisée par China Tungsten Online (<http://www.tungsten-copper.com>), une entreprise coréenne de semi-conducteurs a augmenté son taux de qualification de produits de 8 % après avoir utilisé des cibles de molybdène.

De plus, les électrodes en molybdène sont également utilisées dans les matériaux d'interconnexion des dispositifs microélectroniques. Les dispositifs microélectroniques nécessitent des matériaux d'électrode hautement conducteurs et stables. Les électrodes en molybdène ne sont devenues une alternative au cuivre ou à l'aluminium en raison de leur anti-migration et de leur stabilité à haute température.

5.4 Recherche scientifique et utilisations spéciales

5.4.1 Équipement expérimental à haute température

Dans le domaine de la recherche scientifique, les électrodes en molybdène sont largement utilisées dans les équipements expérimentaux à haute température tels que les fours à vide, les fours à plasma et les analyseurs thermiques. Ces appareils doivent fonctionner à des températures élevées supérieures à $2000^{\circ}C$. Les matériaux traditionnels tels que le graphite ou la céramique sont difficiles à répondre aux exigences, tandis que le point de fusion élevé et la stabilité des électrodes en molybdène en font le premier choix.

Par exemple, dans la recherche en science des matériaux, les électrodes en molybdène sont utilisées pour les essais de traction à haute température ou les essais de dilatation thermique pour tester les performances de nouveaux matériaux à haute température dans des conditions extrêmes. Selon « Molybdenum Electrodes in High-Temperature Material Research » [6], le taux de déformation des électrodes de molybdène dans un environnement sous vide à $2000^{\circ}C$ est inférieur à 0,5 %, assurant la fiabilité des données expérimentales. China Tungsten Online (baike.ctia.com.cn) a rapporté qu'un institut de recherche chinois a testé avec succès les performances de l'alliage molybdène-niobium dans un four à vide à l'aide d'électrodes de molybdène, favorisant ainsi son application dans l'aérospatiale.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

5.4.2 Industrie aérospatiale et nucléaire

Dans l'industrie aérospatiale, les électrodes en molybdène sont utilisées pour fabriquer des fours d'essai à haute température et des composants de moteur. Par exemple, la chambre de combustion d'un moteur-fusée doit résister à des températures supérieures à 2000° C. Les électrodes en molybdène sont utilisées comme éléments chauffants ou d'essai pour garantir la précision des tests de performance des matériaux.

Dans l'industrie nucléaire, les électrodes en molybdène sont utilisées dans certaines parties des réacteurs nucléaires en raison de leur résistance aux radiations et de leur stabilité à haute température. Par exemple, les électrodes en molybdène peuvent être utilisées comme matériaux d'électrode dans la fusion du combustible nucléaire, résistant à des températures élevées et à des environnements de rayonnement sans dommages significatifs. Selon « Molybdène Applications dans l'industrie nucléaire » [7], la durée de vie des électrodes de molybdène dans les réacteurs nucléaires peut atteindre plus de 10 ans.

5.5 Domaines d'application émergents

5.5.1 Équipement d'énergie renouvelable

Avec le développement rapide des énergies renouvelables, l'application d'électrodes en molybdène dans les cellules solaires et les dispositifs de stockage d'énergie a progressivement augmenté. Dans les cellules solaires, les électrodes en molybdène sont utilisées comme matériaux d'électrode arrière. Leur conductivité et leur stabilité élevées améliorent l'efficacité de conversion de la cellule. Par exemple, les cellules solaires en cuivre, indium et sélénium de gallium (CIGS) utilisent des électrodes de molybdène comme couches de contact arrière pour assurer une collecte efficace du courant.

Dans les dispositifs de stockage d'énergie, les électrodes en molybdène sont utilisées comme matériaux d'électrode pour les supercondensateurs et les batteries au lithium. Leur résistance aux températures élevées et leur conductivité électrique contribuent à améliorer l'efficacité du stockage de l'énergie. Selon un rapport de China Tungsten Online (<http://www.tungsten-copper.com>), l'application d'électrodes de molybdène dans les cellules solaires a représenté 5 % de sa demande totale et devrait atteindre 10 % d'ici 2030.

5.5.2 Composants d'instruments médicaux

Dans le domaine des dispositifs médicaux, les électrodes en molybdène sont utilisées dans les appareils à rayons X et les appareils de radiothérapie. Par exemple, les électrodes en molybdène sont souvent utilisées comme cathodes et anodes dans les tubes à rayons X. Leur point de fusion élevé et leur résistance à la corrosion assurent la stabilité et la durée de vie de l'équipement. En radiothérapie, les électrodes en molybdène sont utilisées pour fabriquer des dispositifs de focalisation pour les faisceaux de particules de haute énergie afin de contrôler avec précision les doses de rayonnement.

Selon « Molybdenum Applications in Medical Devices » [8], la durée de vie des électrodes en molybdène dans les tubes à rayons X peut atteindre 5 000 heures, ce qui réduit considérablement

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

les coûts de maintenance des équipements. De plus, le molybdène a une faible biocompatibilité, mais après un traitement de revêtement spécifique, il peut être utilisé dans certains dispositifs médicaux implantables.



CTIA GROUP LTD Scénarios d'application de l'électrode de molybdène Photos

Chapitre 6 Avantages, inconvénients et limites des électrodes en molybdène

6.1 Avantages des électrodes en molybdène

6.1.1 Stabilité à haute température et longue durée de vie

Le point de fusion élevé (2623°C) des électrodes de molybdène les rend stables à des températures extrêmement élevées, ce qui en fait un choix idéal pour les fours de fusion du verre, les fours à arc et les équipements expérimentaux à haute température. Dans l'industrie du verre, la durée de vie des électrodes en molybdène peut atteindre 3000 à 5000 heures, dépassant de loin les électrodes en graphite (1000 heures) et les électrodes en carbone (1500 heures). Sa longue durée de vie provient du fait que la structure cristalline du molybdène n'est pas sujette au changement de phase ou à la décomposition à haute température.

Dans un environnement de vide ou de gaz inerte, la durée de vie des électrodes en molybdène est encore prolongée. Par exemple, dans un four expérimental aérospatial, le taux de déformation des électrodes de molybdène dans un environnement sous vide à 2000°C est inférieur à 0,5 %, assurant la fiabilité de l'expérience et la durabilité de l'équipement. China Tungsten Online (wiki.ctia.com.cn) a rapporté que le four expérimental d'un institut de recherche européen utilisant des électrodes en molybdène a fonctionné pendant 8000 heures et n'a dû être remplacé qu'une seule fois.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

6.1.2 Excellente conductivité et résistance à la corrosion

La résistivité de l'électrode de molybdène est de $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, et sa conductivité n'est surpassée que par celle du cuivre et de l'argent. Il fonctionne bien dans les métaux à haute température. Sa conductivité élevée assure une transmission efficace de l'énergie dans les fours à arc et les tubes à vide, ce qui entraîne une perte d'énergie. Dans les fours de fusion du verre, la conductivité des électrodes de molybdène augmente l'efficacité de chauffage de plus de 20 %.

Les électrodes en molybdène sont également très résistantes à la corrosion dans les acides non oxydants (tels que l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique) et le verre fondu. Par exemple, dans le verre fondu, le taux de corrosion du molybdène est inférieur à 0,1 mm/an, tandis que le taux de corrosion des électrodes en graphite peut atteindre plus de 1 mm/an. Cette résistance à la corrosion lui confère de bonnes performances dans les environnements industriels difficiles.

6.1.3 Fiabilité dans les environnements extrêmes

Les électrodes en molybdène peuvent s'adapter à divers environnements extrêmes, notamment les températures élevées (supérieures à 2000 °C), le vide (inférieur à 10^{-6} Pa) et les rayonnements élevés (industrie nucléaire). Dans le domaine aérospatial, les électrodes en molybdène sont utilisées pour tester de nouveaux matériaux à haute température, et leur stabilité garantit la précision des données expérimentales. Dans les réacteurs nucléaires, la résistance aux radiations et les performances à haute température des électrodes en molybdène en font le choix des composants clés.

6.2 Inconvénients et limites des électrodes en molybdène

6.2.1 Sensibilité à l'oxydation et restrictions environnementales

Les performances des électrodes en molybdène dans les atmosphères oxydantes sont leur principale limitation. Lorsque la température dépasse 600 °C, le molybdène réagit avec l'oxygène pour former du trioxyde de molybdène volatil (MoO_3), ce qui entraîne une perte rapide de la surface de l'électrode. Dans l'air au-dessus de 1000 °C, les électrodes de molybdène peuvent être complètement oxydées en quelques heures. Par conséquent, les électrodes en molybdène doivent être utilisées dans des gaz inertes (tels que l'argon) ou des atmosphères réductrices (telles que l'hydrogène), ce qui augmente la complexité et les coûts opérationnels.

6.2.2 Difficulté et coût du traitement

Le molybdène a une dureté élevée (70-90HRB) et une faible ductilité, et est sujet à la rupture fragile, en particulier à basse température. Cela rend les électrodes en molybdène difficiles à traiter et nécessite un forgeage, un laminage ou un étirage à haute température (200-300 °C). Le processus de traitement nécessite un équipement de précision et des opérateurs expérimentés, et est coûteux. Selon les données de marché de China Tungsten Online (news.chinatungsten.com), le coût de production moyen des électrodes en molybdène en 2023 est d'environ 25 à 30 dollars américains/kg, ce qui est beaucoup plus élevé que celui des électrodes en graphite (5 à 10 dollars américains/kg).

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

6.2.3 Limites de la fragilité et des propriétés mécaniques

La fragilité du molybdène à basse température est un autre inconvénient. À température ambiante, le molybdène a une faible résistance aux chocs et est sujet à la rupture fragile, en particulier sous les charges de soudage ou d'impact. Bien que la plasticité soit améliorée à haute température, elle reste inférieure à celle du cuivre ou de l'aluminium. Cela limite les électrodes en molybdène à certaines applications qui nécessitent une ténacité élevée.

6.3 Mesures d'amélioration des électrodes en molybdène

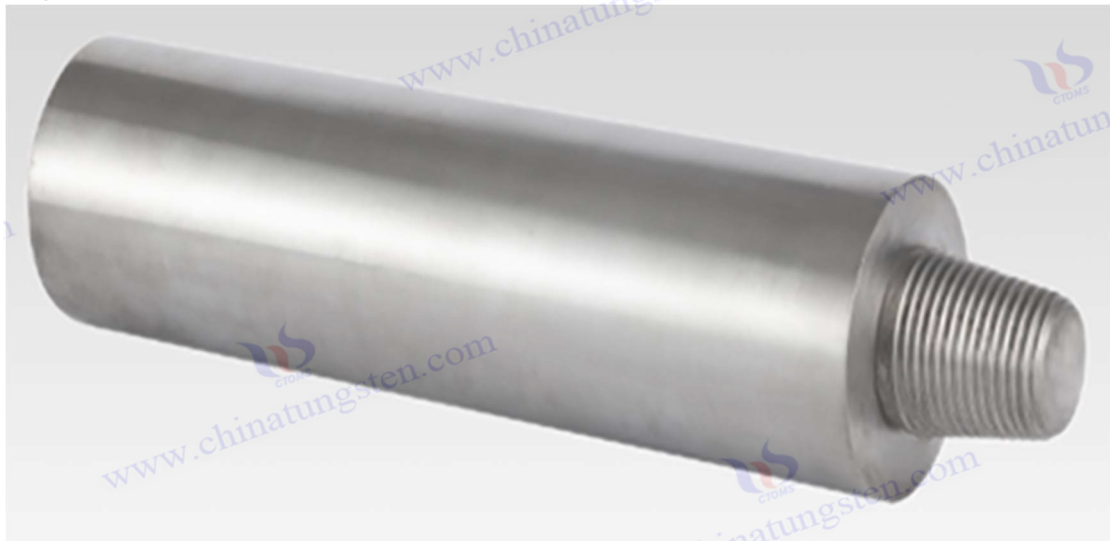
6.3.1 Technologie anti-oxydation

Afin de résoudre le problème de la sensibilité à l'oxydation, l'industrie a développé une variété de technologies anti-oxydation. Les revêtements de surface les plus courants, tels que le siliciure de molybdène (MoSi_2) et l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), qui peuvent former une membrane protectrice à haute température pour empêcher l'oxygène de réagir avec le molybdène. China Tungsten Online (www.chinatungsten.com) a rapporté que la durée de vie des électrodes en molybdène revêtues dans l'air à 1000°C peut être prolongée de plus de 50 %.

En outre, la technologie antidopage a également été largement étudiée. Par exemple, l'ajout d'éléments de terres rares (tels que le lanthane, le cérium) ou le titane peut améliorer la résistance à l'oxydation et la stabilité à haute température du molybdène. Ces améliorations ont été appliquées aux industries aéronautique et nucléaire.

6.3.2 Développement des matériaux composites

Le développement de matériaux composites à base de molybdène est une autre voie d'amélioration. Par exemple, les composites molybdène-titane combinent la stabilité à haute température du molybdène et la ténacité du titane pour améliorer les propriétés mécaniques. Les électrodes composites molybdène-terres rares présentent une meilleure résistance au fluage à haute température. Ces matériaux composites sont progressivement utilisés sur les marchés haut de gamme.



CTIA GROUP LTD Électrode de molybdène Photo

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Chapitre 7 Comparaison de l'électrode de molybdène avec d'autres matériaux d'électrode

7.1 Comparaison de l'électrode de molybdène avec l'électrode de tungstène

7.1.1 Différence de performance

Le point de fusion de l'électrode de tungstène (<http://tungsten.com.cn>) (3422°C) est supérieur à celui de l'électrode de molybdène (2623°C), ce qui la rend plus avantageuse dans un environnement à ultra-haute température ($>2500^{\circ}\text{C}$). Cependant, la densité du tungstène ($19,25\text{ g/cm}^3$) est beaucoup plus élevée que celle du molybdène ($10,2\text{ g/cm}^3$), ce qui le rend plus lourd et peu pratique à traiter et à installer. La résistivité du tungstène ($5,6\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$) est légèrement supérieure à celle du molybdène, mais la conductivité thermique ($174\text{W/m}\cdot\text{K}$) est légèrement élevée.

En termes de résistance à la corrosion, l'électrode de molybdène fonctionne mieux que le tungstène dans l'acide non oxydant et le verre fondu, mais le tungstène a une meilleure résistance à l'oxydation dans un environnement oxydant. L'électrode de tungstène a une ductilité inférieure à celle du molybdène, est plus difficile à traiter et a un coût plus élevé.

7.1.2 Scénarios d'application

Les électrodes en tungstène sont principalement utilisées dans le soudage (comme le soudage TIG) et les fours à haute température (comme les fours à plasma), tandis que les électrodes en molybdène sont largement utilisées dans les fours de fusion du verre et les fours à arc. Les électrodes en tungstène conviennent aux applications à ultra-haute température en raison de leur point de fusion extrêmement élevé, mais leur poids et leur coût limitent leur utilisation dans l'industrie du verre.

7.2 Comparaison des électrodes en molybdène et des électrodes en graphite

7.2.1 Durabilité et coût

La durabilité des électrodes en graphite est bien inférieure à celle des électrodes en molybdène. Leur durée de vie dans des environnements à haute température et corrosifs n'est que de 1000 heures, tandis que les électrodes en molybdène peuvent atteindre 3000 à 5000 heures. Cependant, le coût des matières premières (graphite ou coke) des électrodes en graphite est inférieur et le coût de production n'est que de 1/3-1/5 de celui des électrodes en molybdène.

7.2.2 Performances à haute température

Le point de fusion des électrodes en graphite (environ 3500°C) est supérieur à celui du molybdène, mais elles s'oxydent facilement dans les atmosphères oxydantes, ce qui limite leur champ d'application. Les électrodes en molybdène ont une meilleure stabilité à haute température dans les environnements inertes ou réducteurs, en particulier dans les fours de fusion du verre.

7.3 Comparaison entre l'électrode de molybdène et l'électrode de cuivre

7.3.1 Conductivité et résistance à la température

La conductivité de l'électrode en cuivre (résistivité $1,68\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$) est bien meilleure que celle de

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

l'électrode en molybdène, mais son point de fusion (1085°C) est faible et ne peut pas résister à un environnement à haute température. Les électrodes en cuivre conviennent aux applications conductives à basse température (telles que les fils et les équipements à basse tension), tandis que les électrodes en molybdène conviennent aux scénarios à haute température et à haute corrosion.

7.3.2 Environnement d'utilisation

Les électrodes en cuivre sont stables dans l'air, mais sont facilement corrodées par les acides et les sels. Les électrodes en molybdène résistent à la corrosion dans les acides non oxydants et le verre fondu, mais les environnements oxydants doivent être évités.

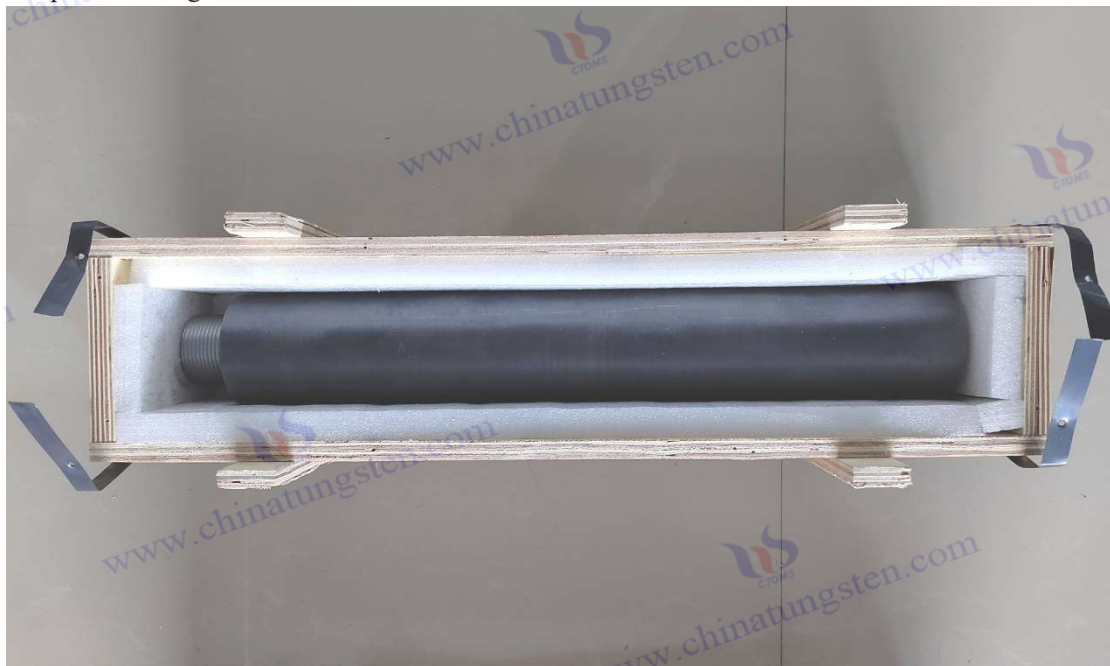
7.4 Comparaison entre les électrodes en molybdène et les électrodes en métaux précieux (comme le platine)

7.4.1 Économie et utilisations spéciales

Les électrodes de platine ont une excellente conductivité et une excellente résistance à la corrosion, mais leur coût est extrêmement élevé (environ 500 à 1000 dollars/kg) et ne sont utilisées que dans les laboratoires ou dans des applications spéciales (telles que les capteurs chimiques). Le coût des électrodes en molybdène (25-30 USD/kg) est bien inférieur à celui du platine, et leurs performances sont tout à fait suffisantes pour les applications industrielles.

7.5 Résumé comparatif complet

Les électrodes en molybdène sont supérieures aux électrodes en graphite, en cuivre et en métaux précieux en termes de stabilité à haute température, de résistance à la corrosion et de rapport coût-performance, mais inférieures au tungstène et au platine dans les environnements oxydants. Le choix des électrodes en molybdène doit être basé sur l'environnement d'application spécifique et le budget financier.



DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Photo de Électrodes en molybdène fabriquées par CTIA GROUP LTD

Chapitre 8 Principaux marchés d'application dans le monde

8.1 Asie-Pacifique

8.1.1 Chine (marché du verre et de la métallurgie)

En tant que plus grand marché de consommation au monde pour les électrodes de molybdène, la demande de la Chine provient principalement de l'industrie du verre et de l'industrie métallurgique. En 2023, la demande d'électrodes de molybdène de l'industrie du verre chinoise dépassera 15 000 tonnes, ce qui représente plus de 60 % de la demande totale du pays. Cette demande est principalement concentrée dans les bases de production de verre du Shandong, du Hebei et du Guangdong, qui comptent des centaines d'entreprises de fabrication de verre produisant du verre architectural, du verre automobile et du verre optique. L'utilisation d'électrodes en molybdène dans les fours de fusion du verre entièrement électriques a considérablement amélioré l'efficacité de la production et réduit la consommation d'énergie et les émissions de carbone. Par exemple, une usine de verre dans la province du Shandong a augmenté l'efficacité de chauffage du four de 20 % et la transparence de la qualité du verre de 15 % en utilisant des électrodes en molybdène d'un diamètre de 100 mm et d'une longueur de 1200 mm (<http://molybdenum.com.cn/Chinese/molybdenum-electrodes.html>), économisant ainsi environ 5 millions de RMB en coûts énergétiques par an.

Dans l'industrie métallurgique, la demande chinoise d'électrodes en molybdène est d'environ 5 000 tonnes, principalement utilisées pour produire du ferromolybdène (<http://www.ferro-tungsten.com>) et des aciers à haute résistance tels que l'acier à outils et l'acier inoxydable. Shaanxi Jinduicheng Molybdenum Industry et Henan Luoyang Molybdenum Industry Group sont les principaux fournisseurs. Ces entreprises s'appuient sur d'abondantes ressources en molybdène et sur une technologie de production de pointe pour répondre aux besoins métallurgiques au pays et à l'étranger. En 2023, la production de fours à arc électrique utilisant des électrodes en molybdène dans l'industrie métallurgique chinoise a augmenté de 12 %, ce qui a stimulé l'expansion du marché des matériaux d'alliage haut de gamme.

La croissance du marché chinois est également soutenue par les politiques gouvernementales. Par exemple, le « 14e plan quinquennal » met l'accent sur la fabrication verte, la conservation de l'énergie et la réduction des émissions, et les électrodes en molybdène sont privilégiées pour leurs caractéristiques de faible pollution. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) a rapporté qu'en 2024, la Chine prévoit d'investir 2 milliards de yuans pour moderniser les fours de fusion du verre, faisant passer le taux de pénétration des électrodes de molybdène de 70 % à 85 %.

8.1.2 Japon et Corée du Sud (électronique et semi-conducteurs)

Le Japon et la Corée du Sud sont les centres des industries de l'électronique et des semi-conducteurs dans la région Asie-Pacifique, et la demande d'électrodes de molybdène dans ces domaines n'a cessé de croître. En 2023, la demande japonaise d'électrodes en molybdène est d'environ 3 000 tonnes, principalement utilisées pour les cibles de pulvérisation de semi-

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

conducteurs et la production d'écrans. Les géants japonais de l'électronique tels que Toshiba et Sony utilisent des électrodes en molybdène pour fabriquer des transistors à couche mince (TFT) et des écrans à diodes électroluminescentes organiques (OLED). La haute pureté (plus de 99,95 %) et le faible coefficient de dilatation thermique ($4,8 \times 10^{-6}/K$) des électrodes en molybdène assurent l'uniformité du dépôt de couches minces et améliorent la luminosité et la durée de vie de l'écran. Par exemple, une entreprise japonaise a augmenté son taux de qualification de produits de 10 % et ses ventes annuelles de 8 % en utilisant des cibles de molybdène.

La Corée du Sud est l'un des plus grands producteurs de semi-conducteurs au monde. En 2023, la demande d'électrodes en molybdène sera d'environ 2 000 tonnes, principalement utilisées dans les usines de semi-conducteurs de Samsung et SK Hynix. Les électrodes en molybdène sont utilisées comme cibles de pulvérisation pour produire des puces mémoire et des processeurs. Leur conductivité et leur stabilité sont cruciales pour les performances des dispositifs microélectroniques. Selon les données du ministère coréen de l'Industrie, la Corée du Sud prévoit d'ajouter 10 nouvelles lignes de production de semi-conducteurs en 2024, et chaque ligne de production consomme environ 50 tonnes d'électrodes de molybdène par an.

8.1.3 Inde (demande en cours d'industrialisation)

Le processus d'industrialisation de l'Inde a apporté de nouvelles opportunités de croissance au marché des électrodes de molybdène. En 2023, la demande indienne d'électrodes en molybdène sera d'environ 1 000 tonnes, principalement utilisées dans les industries du verre et de la métallurgie. Avec l'avancement du plan indien « Made in 2025 », la demande de bouteilles en verre, de verre plat et de production d'acier a augmenté rapidement. Le nombre de fours utilisant des électrodes en molybdène dans l'industrie verrière indienne est passé de 50 en 2020 à 120 en 2023, avec un taux de croissance annuel moyen de 30 %.

L'industrie métallurgique est une autre source importante de demande. Les aciéries indiennes (telles que Tata Steel et JSW Steel) utilisent des électrodes en molybdène pour produire de l'acier à haute résistance pour la construction d'infrastructures. En 2023, l'industrie métallurgique indienne consommera environ 0,5 mille tonnes d'électrodes de molybdène, et on s'attend à ce qu'elle atteigne 0,15 mille tonnes d'ici 2027. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) prévoit que le marché indien deviendra un point chaud de croissance dans la région Asie-Pacifique au cours des cinq prochaines années, mais en raison de la rareté des ressources en molybdène, l'Inde doit compter sur les importations.

8.2 Amérique du Nord

8.2.1 États-Unis (verre et aérospace)

Les États-Unis sont le plus grand marché d'électrodes de molybdène en Amérique du Nord, avec une demande d'environ 0,5 mille tonnes en 2023, dont l'industrie du verre représente 40 %, l'aérospatiale 30 % et les autres domaines 30 %. Dans l'industrie du verre, les électrodes en molybdène aux États-Unis sont principalement utilisées pour produire du verre optique et du verre architectural. Par exemple, Corning utilise des électrodes en molybdène pour fabriquer des

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

lentilles optiques de haute précision, avec une consommation annuelle d'environ 0,2 mille tonnes. La conductivité thermique élevée et la résistance à la corrosion des électrodes en molybdène garantissent la stabilité de la qualité du verre.

Dans le secteur aérospatial, la demande d'électrodes en molybdène aux États-Unis augmente rapidement, atteignant environ 1 500 tonnes en 2023, principalement pour les fours expérimentaux à haute température et les essais de composants de moteur. Boeing et Lockheed Martin utilisent des électrodes en molybdène pour tester de nouveaux matériaux à haute température, et leur stabilité est inférieure à 0,5 % dans un environnement sous vide à 2000° C. Selon les données de la NASA, l'utilisation d'électrodes en molybdène prolonge la durée de vie des fours expérimentaux de 30 % et réduit les coûts d'essai.

8.2.2 Canada (métallurgie et recherche scientifique)

La demande d'électrodes en molybdène au Canada est principalement concentrée dans les domaines de la métallurgie et de la recherche scientifique, avec une demande totale d'environ 1 500 tonnes en 2023. L'industrie métallurgique utilise des électrodes de molybdène pour produire des aciers spéciaux et des alliages de molybdène, avec une consommation annuelle d'environ 1 000 tonnes, principalement fournie par Thompson Creek Metals. Les aciéries canadiennes (comme ArcelorMittal) et les alumineries (comme Alcoa) comptent sur les électrodes en molybdène pour améliorer l'efficacité de la fusion.

Le domaine de la recherche scientifique est un autre grand marché. De nombreuses universités et établissements de recherche canadiens (comme l'Université de Toronto et le Conseil national de recherches du Canada) utilisent des électrodes en molybdène pour la recherche sur les matériaux à haute température. En 2023, la demande d'électrodes de molybdène pour la recherche scientifique est d'environ 0,5 mille tonnes, principalement utilisées dans les fours à vide et les expériences au plasma. Le marché canadien des électrodes de molybdène est limité par ses réserves de ressources et dépend des importations en provenance des États-Unis.

8.3 L'Europe

8.3.1 Allemagne (fabrication industrielle et verre optique)

L'Allemagne est le plus grand marché d'électrodes de molybdène en Europe, avec une demande d'environ 0,4 mille tonnes en 2023, dont la fabrication industrielle représente 50 %, le verre optique 30 % et les autres domaines 20 %. Dans la fabrication industrielle, les entreprises allemandes de construction automobile et de machines (telles que Volkswagen et Siemens) utilisent des électrodes en molybdène pour produire de l'acier à haute résistance et des alliages de molybdène, avec une consommation annuelle d'environ 0,2 mille tonnes.

La production de verre optique est une autre source majeure de demande. Zeiss et Schneider en Allemagne utilisent des électrodes en molybdène pour fabriquer des lentilles optiques de haute précision, avec une consommation annuelle d'environ 0,12 mille tonnes. La conductivité thermique élevée et la stabilité des électrodes en molybdène garantissent la qualité et l'efficacité de

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

production du verre. Selon l'Association allemande de l'industrie, l'Allemagne prévoit d'investir 500 millions d'euros dans la mise à niveau des lignes de production de verre optique en 2024 afin de stimuler la croissance de la demande d'électrodes de molybdène.

8.3.2 La France et le Royaume-Uni (applications spéciales)

La demande d'électrodes en molybdène en France et au Royaume-Uni est principalement concentrée dans l'industrie nucléaire et la recherche scientifique, avec une demande totale d'environ 2 000 tonnes en 2023. Areva en France et Rolls-Royce au Royaume-Uni utilisent des électrodes en molybdène pour fabriquer des composants de réacteurs nucléaires et des composants de moteurs d'avions, avec une consommation annuelle d'environ 1 000 tonnes. L'industrie nucléaire a des exigences extrêmement élevées en matière de résistance aux radiations et de stabilité à haute température des électrodes de molybdène, et la durée de vie des électrodes de molybdène peut atteindre plus de 10 ans.

Le domaine de la recherche scientifique est également un marché important. Le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et l'Imperial College de Londres utilisent des électrodes en molybdène pour la recherche sur les matériaux à haute température et les plasmas, avec une consommation annuelle d'environ 1 000 tonnes. La croissance du marché européen est stimulée par les réglementations environnementales de l'UE, et les électrodes en molybdène sont favorisées pour leurs caractéristiques de faible pollution.

8.4 Autres régions

8.4.1 Amérique du Sud (demande métallurgique au Chili et au Pérou)

La demande d'électrodes en molybdène en Amérique du Sud est principalement concentrée dans l'industrie métallurgique au Chili et au Pérou, avec une demande totale d'environ 1 000 tonnes en 2023. Codelco et Molymet au Chili utilisent des électrodes de molybdène pour produire du ferromolybdène et des alliages cuivre-molybdène, avec une consommation annuelle d'environ 7 000 tonnes. Southern Copper au Pérou utilise également des électrodes en molybdène pour améliorer l'efficacité de la fusion, avec une consommation annuelle d'environ 3 000 tonnes.

Le marché sud-américain a un grand potentiel de croissance, mais le taux d'utilisation des électrodes en molybdène est faible en raison de contraintes d'infrastructure et de financement. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) prévoit que la demande sur le marché sud-américain atteindra 3 000 tonnes d'ici 2030.

8.4.2 Moyen-Orient et Afrique (potentiel des marchés émergents)

Le marché des électrodes en molybdène au Moyen-Orient et en Afrique en est encore à ses balbutiements, avec une demande totale d'environ 5 000 tonnes en 2023, principalement utilisée dans les industries du verre et de la métallurgie. L'industrie du verre en Arabie saoudite utilise des électrodes en molybdène pour produire du verre architectural, avec une consommation annuelle d'environ 2 000 tonnes. L'industrie métallurgique sud-africaine utilise des électrodes en molybdène pour produire des aciers spéciaux, avec une consommation annuelle d'environ 3 000 tonnes.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Avec l'avancement de l'initiative « Belt and Road » et le processus d'industrialisation de l'Afrique, la demande d'électrodes en molybdène au Moyen-Orient et en Afrique devrait croître rapidement. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) prévoit que les marchés du Moyen-Orient et de l'Afrique atteindront 2 000 tonnes en 2030.

8.5 Caractéristiques de la demande du marché mondial des applications

8.5.1 Répartition par industrie

Dans la demande mondiale d'électrodes en molybdène, l'industrie du verre représente 60 % (environ 12 000 tonnes), l'industrie métallurgique représente 20 % (environ 4 000 tonnes), l'industrie électronique représente 10 % (environ 2 000 tonnes) et d'autres domaines (tels que l'aérospatiale, l'industrie nucléaire et la recherche scientifique) représentent 10 % (environ 2 000 tonnes). L'industrie du verre est le plus grand marché, stimulé par la popularisation de la technologie de fusion tout électrique et la promotion de politiques de protection de l'environnement.

8.5.2 Différences régionales

La région Asie-Pacifique est le plus grand marché, avec une part de demande de 70 % (environ 14 000 tonnes) en 2023, principalement tirée par la Chine, le Japon et la Corée du Sud. L'Amérique du Nord et l'Europe représentent chacune 15 % (environ 3 000 tonnes), et les autres régions 5 % (environ 1 000 tonnes). Les différences régionales sont principalement déterminées par la structure industrielle et la répartition des ressources. La région Asie-Pacifique connaît un haut degré d'industrialisation, tandis que l'Amérique du Nord et l'Europe se concentrent sur les applications haut de gamme.



CTIA GROUP LTD Électrode de molybdène Photo

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Appendice

A. Glossaire

Électrode de molybdène : Matériau d'électrode avec du molybdène comme composant principal, utilisé à haute température et dans un environnement corrosif.

Métallurgie des poudres : Procédé de préparation de produits en molybdène par pressage et frittage.

Cible de pulvérisation : Matériau utilisé pour le dépôt physique en phase vapeur, l'électrode de molybdène est utilisée comme cible dans l'industrie des semi-conducteurs.

Four de fusion du verre entièrement électrique : Équipement de fusion du verre utilisant une électrode de molybdène pour un chauffage électrique direct.

B. Références

- [1] « *Propriétés physiques et chimiques des matériaux en molybdène* », Journal of Materials Science and Engineering, 2017
- [2] « *Introduction aux produits d'électrodes en molybdène* », China Tungsten Online, www.chinatungsten.com
- [3] « *Application de l'électrode de molybdène dans l'industrie du verre* », Journal of Glass Technology, 2019
- [4] « *Application du molybdène dans l'industrie métallurgique* », Journal of Metallurgical Materials, 2020
- [5] « *Application du molybdène dans l'industrie électronique* », Journal of Electronic Engineering, 2018
- [6] « *Électrode de molybdène dans la recherche sur les matériaux à haute température* », Progrès de la science des matériaux, 2022
- [7] « *Application du molybdène dans l'industrie nucléaire* », Journal of Nuclear Technology, 2021
- [8] « *Application du molybdène dans les dispositifs médicaux* », Journal of Medical Engineering, 2023
- [9] « *Rapport sur le marché mondial du molybdène* », Association internationale du molybdène, 2023
- [10] « *Molybdenum Price Trend* », Chinatungsten Online, news.chinatungsten.com

C. Normes et spécifications techniques relatives aux électrodes en molybdène

ASTM B387 : Norme de barres de molybdène et d'alliage de molybdène, qui spécifie les exigences de taille, de pureté et de performance des électrodes de molybdène.

GB/T 3462 : Norme chinoise sur les barres de molybdène, applicable à la production et aux tests d'électrodes industrielles en molybdène.

ISO 4487 : Norme internationale de qualité des produits en molybdène, mettant l'accent sur une pureté et une densité élevées.

DÉCLARATION DE DROITS D'AUTEUR ET DE RESPONSABILITÉ LÉGALE

Copyright© 2024 CTIA Tous droits réservés 电话/TEL :0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com