

Guide complet du creuset en molybdène

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Global Leader in Intelligent Manufacturing for Tungsten, Molybdenum, and Rare Earth Industries

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

INTRODUCTION TO CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, a wholly-owned subsidiary with independent legal personality established by CHINATUNGSTEN ONLINE, is dedicated to promoting the intelligent, integrated, and flexible design and manufacturing of tungsten and molybdenum materials in the Industrial Internet era. CHINATUNGSTEN ONLINE, founded in 1997 with www.chinatungsten.com as its starting point—China's first top-tier tungsten products website—is the country's pioneering e-commerce company focusing on the tungsten, molybdenum, and rare earth industries. Leveraging nearly three decades of deep experience in the tungsten and molybdenum fields, CTIA GROUP inherits its parent company's exceptional design and manufacturing capabilities, superior services, and global business reputation, becoming a comprehensive application solution provider in the fields of tungsten chemicals, tungsten metals, cemented carbides, high-density alloys, molybdenum, and molybdenum alloys.

Over the past 30 years, CHINATUNGSTEN ONLINE has established more than 200 multilingual tungsten and molybdenum professional websites covering more than 20 languages, with over one million pages of news, prices, and market analysis related to tungsten, molybdenum, and rare earths. Since 2013, its WeChat official account "CHINATUNGSTEN ONLINE" has published over 40,000 pieces of information, serving nearly 100,000 followers and providing free information daily to hundreds of thousands of industry professionals worldwide. With cumulative visits to its website cluster and official account reaching billions of times, it has become a recognized global and authoritative information hub for the tungsten, molybdenum, and rare earth industries, providing 24/7 multilingual news, product performance, market prices, and market trend services.

Building on the technology and experience of CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP focuses on meeting the personalized needs of customers. Utilizing AI technology, it collaboratively designs and produces tungsten and molybdenum products with specific chemical compositions and physical properties (such as particle size, density, hardness, strength, dimensions, and tolerances) with customers. It offers full-process integrated services ranging from mold opening, trial production, to finishing, packaging, and logistics. Over the past 30 years, CHINATUNGSTEN ONLINE has provided R&D, design, and production services for over 500,000 types of tungsten and molybdenum products to more than 130,000 customers worldwide, laying the foundation for customized, flexible, and intelligent manufacturing. Relying on this foundation, CTIA GROUP further deepens the intelligent manufacturing and integrated innovation of tungsten and molybdenum materials in the Industrial Internet era.

Dr. Hanns and his team at CTIA GROUP, based on their more than 30 years of industry experience, have also written and publicly released knowledge, technology, tungsten price and market trend analysis related to tungsten, molybdenum, and rare earths, freely sharing it with the tungsten industry. Dr. Han, with over 30 years of experience since the 1990s in the e-commerce and international trade of tungsten and molybdenum products, as well as the design and manufacturing of cemented carbides and high-density alloys, is a renowned expert in tungsten and molybdenum products both domestically and internationally. Adhering to the principle of providing professional and high-quality information to the industry, CTIA GROUP's team continuously writes technical research papers, articles, and industry reports based on production practice and market customer needs, winning widespread praise in the industry. These achievements provide solid support for CTIA GROUP's technological innovation, product promotion, and industry exchanges, propelling it to become a leader in global tungsten and molybdenum product manufacturing and information services.



Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Contenu

Chapitre 1 Introduction

- 1.1 Définition et importance du creuset en molybdène
- 1.2 Développement historique et évolution technologique
- 1.3 Rôle du creuset en molybdène dans l'industrie moderne et la recherche scientifique

Chapitre 2 Principes de base du creuset en molybdène

- 2.1 Propriétés physiques et chimiques du molybdène métal
- 2.2 Mécanisme de fonctionnement dans un environnement à haute température
- 2.3 Comparaison avec d'autres matériaux résistants aux hautes températures
- 2.4 Propriétés thermodynamiques et mécaniques

Chapitre 3 Performances du creuset en molybdène

- 3.1 Propriétés physiques et chimiques du creuset en molybdène
 - 3.1.1 Point de fusion et stabilité thermique du creuset en molybdène
 - 3.1.2 Masse volumique et conductivité thermique du creuset en molybdène
 - 3.1.3 Performances anti-oxydation et anti-corrosion du creuset en molybdène
 - 3.1.4 Résistance mécanique et ténacité du creuset en molybdène
- 3.2 Propriétés thermiques et mécaniques du creuset en molybdène
 - 3.2.1 Dilatation thermique et déformation à haute température du creuset en molybdène
 - 3.2.2 Résistance aux chocs thermiques du creuset en molybdène
 - 3.2.3 Fluage et stabilité à long terme du creuset en molybdène
 - 3.2.4 Fatigue du creuset en molybdène et utilisation cyclique
- 3.3 Relation entre la microstructure du creuset en molybdène et les performances
 - 3.3.1 Structure et orientation des grains
 - 3.3.2 Effet des éléments dopants
 - 3.3.3 Morphologie de surface et performance à haute température
- 3.4 Durée de vie et fiabilité du creuset en molybdène
 - 3.4.1 Facteurs influant sur la durée de vie
 - 3.4.2 Analyse des modes de défaillance
 - 3.4.3 Méthode d'essai de fiabilité
- 3.5 Chine Tungstène Intelligent Molybdène Creuset MSDS

Chapitre 4 Utilisations du creuset en molybdène

- 4.1 Croissance cristalline
 - 4.1.1 Verre saphir (méthode Czochralski, méthode d'échange thermique)
 - 4.1.2 Monocristal de silicium (méthode Czochralski)
 - 4.1.3 Autres matériaux cristallins
- 4.2 Fusion et fusion à haute température
 - 4.2.1 Métaux des terres rares
 - 4.2.2 Métaux et alliages non ferreux
 - 4.2.3 Purification des métaux précieux

Copyright and Legal Liability Statement

- 4.3 Traitement thermique sous vide et à haute température
 - 4.3.1 Four de traitement thermique sous vide
 - 4.3.2 Métallurgie des poudres et frittage
 - 4.3.3 Recuit à haute température
- 4.4 Recherche scientifique et applications en laboratoire
 - 4.4.1 Équipement d'essai à haute température
 - 4.4.2 Essai de performance des matériaux
 - 4.4.3 Recherche sur les matières nucléaires et le plasma
- 4.5 Applications émergentes
 - 4.5.1 Fabrication additive
 - 4.5.2 Aérospatiale
 - 4.5.3 Dispositif de fusion nucléaire

Chapitre 5 Procédé et technologie de préparation des creusets en molybdène

- 5.1 Sélection et préparation des matières premières
 - 5.1.1 Purification du minerai de molybdène
 - 5.1.2 Exigences de qualité de la poudre de molybdène
 - 5.1.3 Dopage et alliage
 - 5.1.4 Analyse des matières premières
- 5.2 Procédé métallurgique
 - 5.2.1 Pressage et frittage
 - 5.2.1.1 Pressage isostatique
 - 5.2.1.2 Four de frittage et atmosphère
 - 5.2.2 Forgeage et laminage
 - 5.2.2.1 Forgeage à chaud et forgeage à froid
 - 5.2.2.2 Processus de laminage
 - 5.2.3 Filature et étirement
 - 5.2.3.1 Spinning Die
 - 5.2.3.2 Température d'étirement et lubrification
- 5.3 Traitement et finition
 - 5.3.1 Tournage et fraisage
 - 5.3.1.1 Usinage CNC
 - 5.3.1.2 Précision et rugosité
 - 5.3.2 Technologie de soudage
 - 5.3.2.1 Soudage par faisceau d'électrons
 - 5.3.2.2 Soudage et brasage au laser
 - 5.3.3 Traitement de surface
 - 5.3.3.1 Nettoyage et polissage
 - 5.3.3.2 Revêtement anti-oxydation
 - 5.3.4 Traitement thermique et recuit
 - 5.3.4.1 Contrôle des grains
 - 5.3.4.2 Soulagement du stress
- 5.4 Équipement de production et automatisation

Copyright and Legal Liability Statement

- 5.4.1 Équipement clé
 - 5.4.1.1 Four de frittage sous vide
 - 5.4.1.2 Machines à filer et tours
 - 5.4.1.3 Équipement de traitement de surface
- 5.4.2 Automatisation et intelligence
- 5.4.3 Exigences relatives aux salles blanches

Chapitre 6 Contrôle de la qualité et inspection du creuset en molybdène

- 6.1 Détection en ligne
 - 6.1.1 Dimensions et précision
 - 6.1.2 Défauts de surface
- 6.2 Essais de performance
 - 6.2.1 Résistance à haute température
 - 6.2.2 Résistance à la corrosion
- 6.3 Analyse des défaillances
 - 6.3.1 Fissures et déformations
 - 6.3.2 Fatigue et durée de vie

Chapitre 7 Précautions d'utilisation du creuset en molybdène

- 7.1 Spécifications d'installation et de fonctionnement
- 7.2 Exigences relatives à l'environnement de fonctionnement à haute température
- 7.3 Compatibilité avec les matériaux fondus
- 7.4 Méthodes d'entretien et de nettoyage
- 7.5 Fonctionnement de sécurité et mesures de protection

Chapitre 8 Transport et stockage du creuset en molybdène

- 8.1 Exigences en matière d'emballage
- 8.2 Résistance aux chocs et à l'humidité
- 8.3 Environnement et conditions de stockage
- 8.4 Gestion des stocks et suivi de la qualité

Chapitre 9 Durabilité et recyclage des creusets en molybdène

- 9.1 Économie d'énergie et réduction des émissions
- 9.2 Technologie de recyclage des déchets
- 9.3 Avantages économiques et environnementaux du recyclage
- 9.4 Tendances et pratiques de fabrication écologique

Chapitre 10 : Défis techniques et développement futur du creuset en molybdène

- 10.1 Défis techniques
 - 10.1.1 Propriétés antioxydantes
 - 10.1.2 Fabrication de formes complexes
 - 10.1.3 Contrôle des coûts
- 10.2 Nouveaux matériaux et technologies

Copyright and Legal Liability Statement

- 10.2.1 Matériaux composites à base de molybdène
- 10.2.2 Nanostructures
- 10.2.3 Matériaux alternatifs
- 10.3 Fabrication intelligente et écologique
 - 10.3.1 Surveillance intelligente
 - 10.3.2 Économie d'énergie et protection de l'environnement
 - 10.3.3 Recyclage des déchets
- 10.4 Tendances futures
 - 10.4.1 Conception haute performance
 - 10.4.2 Applications interdomaines
 - 10.4.3 Environnements extrêmes

Chapitre 11 Normes et spécifications des creusets en molybdène

- 11.1 Normes nationales (GB)
 - 11.1.1 GB/T Norme de matériau en molybdène
 - 11.1.2 Essais et évaluation
 - 11.1.3 Spécifications de l'équipement
- 11.2 Normes internationales (ISO)
 - 11.2.1 ISO 6892 Essai de traction
 - 11.2.2 ISO 14001 Management environnemental
 - 11.2.3 ISO 3452 Essais non destructifs
- 11.3 Norme américaine (norme américaine)
 - 11.3.1 Alliage de molybdène ASTM B386
 - 11.3.2 Essai de dureté ASTM E384
 - 11.3.3 Récipients à haute température de l'ASME
- 11.4 Autres normes internationales et industrielles
 - 11.4.1 JIS G 0571
 - 11.4.2 NORME DIN EN 10228
 - 11.4.3 GOST 17431
- 11.5 Mise en œuvre et certification de la norme
 - 11.5.1 Production et essais
 - 11.5.2 Certification de la qualité
 - 11.5.3 Conformité à l'exportation

Appendice

- A. Glossaire
- B. Références

Copyright and Legal Liability Statement

Chapitre 1 Introduction

1.1 Définition et importance du creuset en molybdène

Le creuset en molybdène est un récipient résistant aux hautes températures fabriqué en molybdène métallique de haute pureté comme matière première principale, qui est largement utilisé dans la fusion à haute température, la synthèse de matériaux et la recherche scientifique. Ses principales caractéristiques sont un point de fusion élevé (environ 2623 °C), une excellente résistance à la corrosion et une résistance à haute température, ainsi qu'une bonne conductivité thermique et un faible coefficient de dilatation thermique. Ces caractéristiques permettent au creuset en molybdène de maintenir la stabilité structurelle et l'inertie chimique dans des environnements extrêmes, ce qui en fait un outil indispensable dans de nombreuses industries et processus de recherche scientifique.

Le creuset en molybdène peut être expliqué sous deux aspects : son matériau et sa fonction. Du point de vue du matériau, le creuset en molybdène est généralement fabriqué en métal de molybdène ou en alliage de molybdène d'une pureté supérieure à 99,95 % et est formé par des procédés tels que la métallurgie des poudres, le forgeage, l'usinage ou le soudage. Du point de vue de l'objectif, le creuset en molybdène est principalement utilisé pour des processus tels que la fusion de matériaux, l'évaporation, le frittage et la croissance de cristaux dans des environnements à haute température, tels que la fusion de métaux de terres rares, la croissance de cristaux de saphir, la préparation de matériaux semi-conducteurs et la synthèse d'alliages à haute température.

Importance

Les creusets en molybdène dans l'industrie moderne et la recherche scientifique se reflètent dans les aspects suivants :

Stabilité à haute température : Le point de fusion élevé du molybdène et son excellente résistance à haute température lui permettent de fonctionner de manière stable à des températures de 1100 °C à 1700 °C ou même plus, dépassant de loin de nombreux autres creusets métalliques (tels que l'aluminium, le cuivre ou les creusets en alliage à faible point de fusion). Cela fait des creusets en molybdène le récipient privilégié pour la fusion à haute température et la synthèse des matériaux. Par exemple, dans la fusion des métaux des terres rares, les creusets en molybdène peuvent résister à des températures extrêmement élevées et maintenir une stabilité chimique pour éviter la contamination par les impuretés.

Résistance à la corrosion : Les creusets en molybdène ont une bonne résistance à la corrosion à une variété d'acides, d'alcalis et de métaux en fusion, en particulier lorsqu'ils sont en contact avec des métaux de terres rares, des oxydes ou certains produits chimiques corrosifs. En revanche, les creusets en tungstène, bien qu'ayant un point de fusion plus élevé, peuvent ne pas être aussi résistants à la corrosion que les creusets en molybdène dans certains environnements chimiques.

Préparation de matériaux de haute pureté : Les caractéristiques de haute pureté et de faible libération d'impuretés des creusets en molybdène les rendent particulièrement adaptés à la production de matériaux de haute pureté. Par exemple, dans le processus de croissance du cristal de saphir, les

Copyright and Legal Liability Statement

creusets en molybdène peuvent fournir un environnement à haute température sans pollution pour garantir la qualité et les propriétés optiques du cristal. De même, dans l'industrie des semi-conducteurs, les creusets en molybdène sont utilisés pour préparer du silicium de haute pureté et d'autres matériaux composés.

Flexibilité du processus : Selon les différentes exigences d'application, les creusets en molybdène peuvent être préparés par diverses méthodes de traitement, notamment l'usinage, le soudage, le rivetage et l'emboutissage. Ces méthodes de traitement confèrent aux creusets en molybdène une variété de tailles, de formes et de performances, répondant à divers besoins allant des expériences de laboratoire à petite échelle à la production industrielle à grande échelle.

Économie et durée de vie : Bien que le coût de fabrication du creuset en molybdène soit relativement élevé, sa longue durée de vie et sa fiabilité dans un environnement à haute température le rendent très rentable. Comparé à d'autres matériaux de creuset (tels que le creuset au tantale), le creuset en molybdène a une durée de vie plus longue dans les fusions de terres rares et d'autres domaines, réduisant la fréquence de remplacement et les coûts de maintenance dans le processus de production.

Force motrice de la recherche scientifique : Dans le domaine de la recherche scientifique, les creusets en molybdène sont largement utilisés dans les expériences en science des matériaux, en physique et en chimie. Par exemple, dans le développement de matériaux supraconducteurs à haute température, de nanomatériaux et de nouveaux alliages, les creusets en molybdène fournissent une plate-forme expérimentale stable et favorisent le développement de technologies de pointe.

1.2 Développement historique et évolution technologique

Le molybdène a été découvert et appliqué relativement tard, mais son développement dans la fabrication de creusets a profondément influencé l'industrie moderne et la recherche scientifique. Ce qui suit traite en détail de son développement historique depuis la découverte du molybdène, l'application précoce des creusets de molybdène jusqu'à l'évolution de la technologie moderne.

Découverte et premières applications du molybdène

Le molybdène a été découvert pour la première fois par le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele en 1778, qui a séparé l'acide de molybdène de la molybdénite et l'a confirmé comme un nouvel élément. En 1792, un autre chimiste suédois a réussi à extraire du molybdène métallique en réduisant l'acide molybdène. En raison de son point de fusion élevé et de sa difficulté de traitement, l'application précoce du molybdène se limitait principalement à la production de réactifs chimiques et de pigments.

À la fin du 19^{ème} siècle, avec les progrès de la technologie métallurgique, le molybdène a commencé à être utilisé comme élément d'alliage dans l'industrie sidérurgique. Par exemple, l'alliage de molybdène et d'acier a considérablement amélioré la résistance à haute température et la résistance à la corrosion de l'acier, et a été largement utilisé dans la fabrication d'armes et l'industrie des machines. Cependant, le développement des creusets en molybdène était encore limité par la

Copyright and Legal Liability Statement

pureté des matériaux et la technologie de traitement. Ce n'est qu'au début du 20e siècle que l'essor de la technologie de la métallurgie des poudres a jeté les bases de la fabrication de creusets en molybdène.

Creusets en molybdène

Au début du XXe siècle, les creusets en molybdène ont commencé à apparaître dans les laboratoires et les petites applications industrielles. Les premiers creusets en molybdène étaient principalement préparés par métallurgie des poudres, c'est-à-dire que la poudre de molybdène était pressée pour prendre forme, puis frittée à haute température. Bien que cette méthode puisse produire des creusets en molybdène de haute pureté, la densité et la résistance mécanique des creusets sont faibles, ce qui limite leur application dans des environnements à haute température et à haute pression.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, la demande de creusets en molybdène a bondi en raison du développement rapide des industries militaire et aéronautique. Par exemple, les creusets en molybdène ont été utilisés dans la fusion d'alliages à haute température et de matériaux spéciaux, fournissant un support pour la fabrication de moteurs d'avion et de matériaux de blindage. Au cours de cette période, la technologie de traitement des creusets en molybdène a été considérablement améliorée, et les processus d'usinage et de forgeage ont commencé à être appliqués à la fabrication des creusets, améliorant ainsi la densité et la durabilité du produit.

Évolution de la technologie moderne

Dans la seconde moitié du 20e siècle, avec l'essor des métaux rares, des semi-conducteurs et des industries du cristal de saphir, les domaines d'application des creusets en molybdène se sont rapidement étendus et la technologie de fabrication a également fait des progrès révolutionnaires. Voici quelques aspects clés de l'évolution de la technologie des creusets en molybdène :

Matériau en molybdène de haute pureté : Les creusets modernes en molybdène utilisent généralement du molybdène métallique d'une pureté supérieure à 99,95 %, et les impuretés sont éliminées grâce à des technologies de purification avancées telles que la fusion par faisceau d'électrons et la fusion par zone. Cela améliore considérablement la stabilité chimique et les performances à haute température du creuset, répondant ainsi aux besoins de préparation de matériaux de haute pureté.

Technologie de traitement diversifiée : Selon les exigences de l'application, le processus de fabrication du creuset en molybdène s'est développé en différents types, notamment :

Creuset usiné : traité à partir de tiges de molybdène ou de plaques de molybdène par tournage, fraisage et autres processus, adapté aux creusets de haute précision et de formes complexes.

Creuset de soudage : Il est fabriqué en découpant et en enroulant des plaques de molybdène, puis en soudant sous vide. Il a un faible coût, mais la qualité de la soudure doit être strictement contrôlée.

Copyright and Legal Liability Statement

Creuset riveté : Fabriqué en connectant mécaniquement des plaques de molybdène, adapté à la fabrication de grands creusets.

Creuset estampé : Il est formé par estampage d'une plaque de molybdène à travers un moule, adapté à la production de masse de petits creusets.

Dopage et alliage : Afin d'améliorer la résistance à haute température et la résistance à la corrosion des creusets en molybdène, les procédés de fabrication modernes ajoutent souvent des oligo-éléments (tels que l'oxyde de cérium, l'hydrure de titane ou les terres rares) au molybdène. Par exemple, l'ajout d'oxyde de cérium peut prolonger considérablement la durée de vie des creusets en molybdène dans les fonderies de terres rares.

Technologie de frittage avancée : Le processus de frittage des creusets modernes en molybdène est généralement effectué sous vide ou sous atmosphère protectrice d'hydrogène pour éviter l'oxydation et augmenter la densité du creuset. L'application de la technologie de pressage isostatique améliore encore l'uniformité et les propriétés mécaniques du creuset.

Conception personnalisée : Avec la diversification des besoins de recherche industrielle et scientifique, la taille, la forme et les performances des creusets en molybdène peuvent être personnalisées en fonction des besoins du client. Par exemple, la croissance du cristal de saphir nécessite de grands creusets en molybdène à paroi épaisse, tandis que l'industrie des semi-conducteurs nécessite de petits creusets de haute précision.

Protection de l'environnement et durabilité : Ces dernières années, le processus de fabrication des creusets en molybdène a commencé à se concentrer sur la protection de l'environnement et le recyclage des ressources. Par exemple, les creusets en molybdène usagés peuvent être recyclés par traitement chimique et refusion pour récupérer le molybdène métallique, réduisant ainsi les coûts de production et l'impact environnemental.

CTIA GROUP LTD joue un rôle important dans la R&D et la production de creusets en molybdène. Son site Web fournit une mine d'informations techniques et les tendances du marché des creusets en molybdène. Par exemple, les creusets en molybdène de haute pureté développés par la société sont largement utilisés dans la fusion des terres rares et la croissance du cristal de saphir. Ses produits sont connus pour leur haute densité ($\geq 9,8\text{g}/\text{cm}^3$) et leur longue durée de vie.

1.3 Le rôle du creuset en molybdène dans l'industrie moderne et la recherche scientifique

Dans l'industrie moderne et la recherche scientifique, le creuset en molybdène joue un rôle essentiel grâce à ses excellentes performances et à son large éventail de scénarios d'application. Ce qui suit traite en détail de son rôle sous trois aspects : l'application industrielle, la contribution à la recherche scientifique et les tendances futures.

Applications industrielles

Fusion des métaux des terres rares : Le creuset en molybdène est le principal récipient pour la fusion

Copyright and Legal Liability Statement

des métaux des terres rares et de leurs oxydes. Les métaux des terres rares (tels que le néodyme, le dysprosium et le terbium) sont très corrosifs à haute température, et les creusets en molybdène peuvent résister efficacement à l'érosion de ces substances corrosives, garantissant ainsi la pureté et l'efficacité du processus de fusion. Par exemple, dans la production d'aimants NdFeB, des creusets en molybdène sont utilisés pour fondre du néodyme métallique de haute pureté.

Croissance du cristal de saphir : Les cristaux de saphir sont largement utilisés dans les substrats LED, les fenêtres optiques et les miroirs de montre. Leur croissance doit être effectuée à des températures élevées (environ 2050°C). Les creusets en molybdène sont des récipients idéaux pour la croissance cristalline en utilisant la méthode Czochralski et la méthode de l'échangeur de chaleur en raison de leur stabilité à haute température et de leurs caractéristiques de faible libération d'impuretés.

Industrie des semi-conducteurs : Dans la préparation de matériaux semi-conducteurs (tels que le silicium et l'arséniure de gallium), les creusets en molybdène sont utilisés dans les processus d'évaporation et de dépôt à haute température. Sa grande pureté et sa résistance à la corrosion garantissent la qualité des matériaux semi-conducteurs et répondent aux exigences strictes de la fabrication de puces en matière de pureté des matériaux.

Alliages à haute température et matériaux spéciaux : Les creusets en molybdène sont utilisés pour le frittage et la fusion d'alliages à haute température (tels que les alliages à base de nickel, les alliages de titane) et les céramiques spéciales. Ces matériaux sont très utilisés dans les domaines de l'aérospatiale, de l'énergie et de la médecine. Par exemple, dans la fabrication d'aubes de turbine de moteur d'avion, les creusets en molybdène sont utilisés pour fondre les matières premières d'alliage à haute température.

Photovoltaïque et nouvelles énergies : Les creusets en molybdène sont utilisés dans l'industrie photovoltaïque pour produire du silicium polycristallin et du silicium monocristallin. Leurs performances à haute température favorisent la fusion et la purification des lingots de silicium. En outre, les creusets en molybdène sont également utilisés dans la recherche et le développement de batteries à l'état solide et de matériaux de piles à combustible.

Contribution à la recherche scientifique

Science des matériaux : Les creusets en molybdène constituent une plate-forme expérimentale fiable pour la synthèse de nouveaux matériaux. Par exemple, dans la préparation de matériaux supraconducteurs à haute température (tels que l'oxyde de cuivre et de baryum d'yttrium), les creusets en molybdène peuvent fournir un environnement stable à haute température pour soutenir des réactions chimiques complexes.

Expériences de physique et de chimie : Dans les expériences à haute température et à haute pression, les creusets en molybdène sont utilisés pour étudier les transitions de phase, les propriétés thermodynamiques et la cinétique de réaction chimique des matériaux. Par exemple, les creusets en molybdène sont utilisés pour étudier le comportement de frittage des composites métal-céramique.

Copyright and Legal Liability Statement

Nanotechnologie : Les creusets en molybdène jouent un rôle dans la préparation des nanomatériaux (tels que les nanotubes de carbone et le graphène). Leur stabilité à haute température et leur inertie chimique favorisent des processus tels que le dépôt en phase vapeur et la pyrolyse.

Recherche énergétique : Dans le domaine de l'énergie nucléaire et des énergies renouvelables, les creusets en molybdène sont utilisés pour étudier les performances des matériaux des piles à combustible à haute température et des réacteurs nucléaires. Par exemple, les creusets en molybdène sont utilisés pour tester la compatibilité des matériaux dans les réacteurs à sels fondus à haute température.

Tendances futures

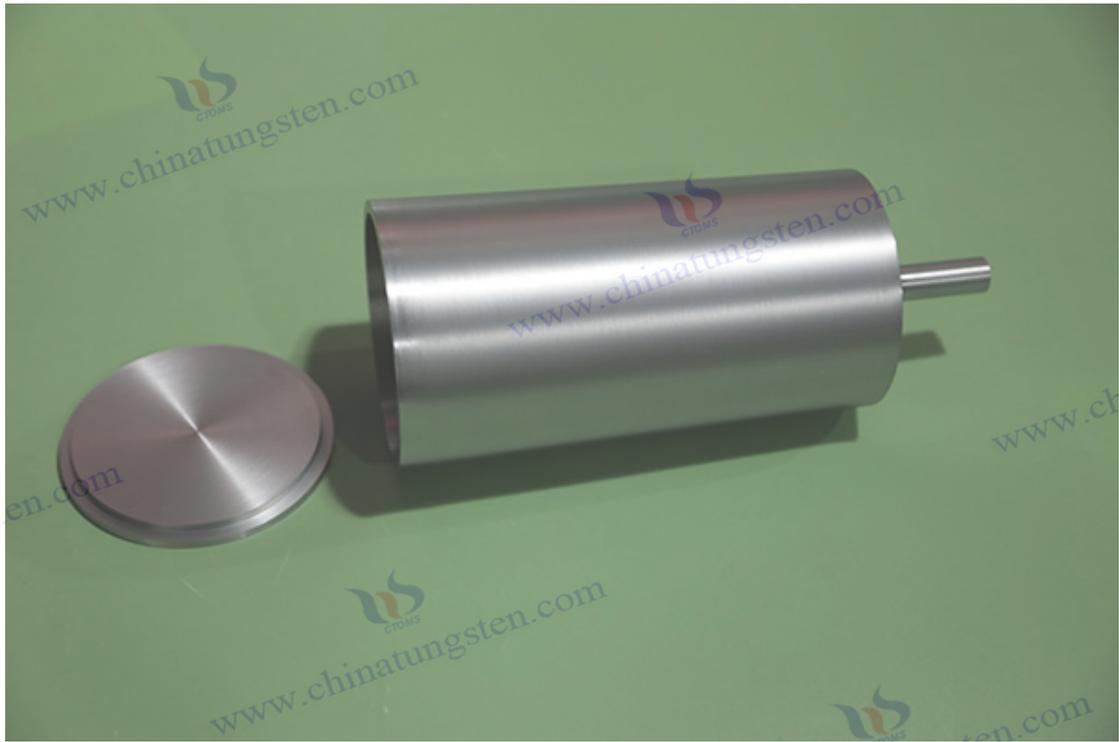
Fabrication intelligente : Avec les progrès de l'industrie 4.0, la fabrication de creusets en molybdène deviendra plus intelligente. Par exemple, les capteurs et l'analyse des données peuvent être utilisés pour optimiser le processus de frittage et améliorer la densité et la cohérence du creuset.

Production verte : Le durcissement des réglementations environnementales a favorisé l'écologisation de la fabrication des creusets en molybdène. À l'avenir, la production de creusets en molybdène accordera plus d'attention à l'efficacité énergétique et au recyclage des déchets afin de réduire l'empreinte environnementale.

Développement de nouveaux matériaux : Les creusets en molybdène joueront un rôle plus important dans la préparation de domaines émergents tels que le graphène, les matériaux bidimensionnels et les matériaux quantiques. Par exemple, les creusets en molybdène peuvent être utilisés pour la synthèse à haute température de sulfures de métaux de transition bidimensionnels (tels que le MoS₂).

Applications intersectorielles : Avec le développement de la biomédecine et de l'exploration spatiale, les creusets en molybdène peuvent être utilisés pour la synthèse à haute température de biomatériaux ou la préparation de matériaux dans des environnements spatiaux.

Copyright and Legal Liability Statement



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Chapitre 2 Principes de base du creuset en molybdène

2.1 Propriétés physiques et chimiques du molybdène métal

Le molybdène est un métal de transition de symbole d'élément Mo et de numéro atomique 42, appartenant au sixième groupe du tableau périodique. Il est connu pour son point de fusion élevé, sa résistance à la corrosion et ses excellentes propriétés mécaniques, et est le principal matériau pour la fabrication des creusets en molybdène. Ce qui suit traite en détail des propriétés du molybdène métal et de son influence sur les performances des creusets en molybdène sous deux aspects : les propriétés physiques et chimiques.

Propriétés physiques

Point de fusion et point d'ébullition :

le molybdène est à 2623°C (environ 2896K), juste derrière quelques métaux tels que le tungstène et le rhénium. Cela permet au creuset en molybdène de maintenir sa stabilité structurelle dans des environnements à très haute température (tels que la fusion de métaux de terres rares et la croissance du cristal de saphir).

Le point d'ébullition est d'environ 4639°C, ce qui indique que le molybdène a une faible volatilité à haute température et qu'il convient aux opérations à haute température à long terme.

Densité:

La teneur en molybdène est de 10,28 g/cm³, ce qui est inférieur au tungstène (19,25 g/cm³) mais supérieur à celui de nombreux autres métaux (comme l'aluminium à 2,7 g/cm³). Cela confère au creuset en molybdène une résistance élevée et un poids relativement léger, ce qui le rend facile à traiter et à transporter.

Conductivité thermique et coefficient de dilatation thermique :

Le molybdène a une conductivité thermique de 138 W/(m·K) à température ambiante, ce qui indique qu'il a une bonne conductivité thermique et qu'il peut transférer rapidement la chaleur pour assurer une répartition uniforme de la température à l'intérieur du creuset. Ceci est crucial pour des processus tels que la croissance du verre de saphir qui nécessitent un contrôle précis de la température.

Le faible coefficient de dilatation thermique est de $4,8 \times 10^{-6} / K$ (20-1000°C), ce qui signifie que la taille du creuset en molybdène change peu à haute température, réduisant ainsi le risque de fissuration causée par le stress thermique.

Conductivité:

Le molybdène a une conductivité électrique de $1,9 \times 10^7$ S/m, ce qui montre une bonne conductivité électrique. Cela rend les creusets en molybdène avantageux dans certains environnements de chauffage électrique ou de plasma, tels que les processus de revêtement par évaporation sous vide.

Copyright and Legal Liability Statement

Propriétés mécaniques :

Le molybdène a une dureté élevée (dureté de Mohs d'environ 5,5) et une résistance à la traction (environ 600-700 MPa) à température ambiante. Bien que la résistance du molybdène diminue à haute température, sa résistance à haute température peut être considérablement améliorée par le dopage (comme l'ajout d'oxyde de cérium ou de terres rares).

Le molybdène a une bonne ductilité et peut être transformé en plaques minces ou en formes complexes par forgeage, laminage ou étirement. Il convient à la fabrication de creusets de différentes spécifications.

Propriétés chimiques

Résistance à la corrosion :

Le molybdène a une bonne résistance à la corrosion à la plupart des acides (tels que l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique) et les alcalis à température ambiante et modérée, mais peut réagir avec des acides oxydants forts (tels que l'acide nitrique) ou des alcalis fondus à haute température.

Dans les atmosphères non oxydantes à haute température (telles que le vide ou les gaz inertes), le molybdène présente une excellente stabilité chimique aux métaux en fusion (tels que les métaux des terres rares, l'aluminium, le magnésium) et aux oxydes, et convient à la fusion de matériaux de haute pureté.

Le molybdène réagit facilement avec l'oxygène et forme du trioxyde de molybdène lorsqu'il est chauffé à plus de 600°C dans l'air. Par conséquent, les creusets en molybdène sont généralement utilisés sous vide ou sous atmosphère inerte (comme l'argon ou l'azote).

Comportement à l'oxydation :

À basse température (<400°C), une couche protectrice d'oxyde dense se forme à la surface du molybdène pour ralentir l'oxydation. Cependant, à des températures élevées, l'oxyde se volatilise et provoque une oxydation rapide du molybdène, nécessitant une atmosphère protectrice ou un revêtement de surface (tel qu'un revêtement de siliciure) pour prolonger la durée de vie du creuset.

Réactivité avec d'autres éléments :

Le molybdène réagit lentement avec les non-métaux tels que le carbone, l'azote et le soufre à haute température, mais peut former du carbure de molybdène (Mo_2C) ou du nitrure de molybdène (MoN) à des températures extrêmement élevées (>1500°C), affectant les performances du creuset. Par conséquent, il faut faire preuve de prudence lors de son utilisation dans des matériaux à base de carbone ou dans des atmosphères contenant de l'azote.

Le molybdène a une bonne résistance à la corrosion à certains métaux en fusion (tels que le lithium et le sodium), mais une légère corrosion peut se produire au contact de nickel fondu ou d'alliages de fer.

Copyright and Legal Liability Statement

Les performances du creuset en molybdène

Le molybdène détermine directement les performances des creusets en molybdène dans des environnements à haute température. Par exemple, le point de fusion élevé et le faible coefficient de dilatation thermique assurent la stabilité structurelle du creuset dans des environnements supérieurs à 1700°C ; une bonne conductivité thermique assure une température uniforme à l'intérieur du creuset et réduit les défauts de croissance des cristaux ; La résistance à la corrosion réduit la réaction entre le creuset et le matériau fondu, garantissant ainsi la pureté du produit.

2.2 Mécanisme de fonctionnement dans un environnement à haute température

Le creuset en molybdène dans un environnement à haute température implique des interactions complexes de conduction thermique, de rayonnement thermique, de réaction chimique et de réponse mécanique. Voici une analyse détaillée de son principe de fonctionnement sous trois aspects : thermique, chimique et mécanique.

Mécanisme thermique

Conduction thermique :

La conductivité thermique élevée du creuset en molybdène lui permet de transférer rapidement l'énergie d'une source de chaleur externe (telle que le chauffage par résistance ou le chauffage par induction) à l'intérieur du creuset, garantissant ainsi que le matériau fondu ou les réactifs sont chauffés uniformément. Par exemple, dans la croissance du cristal de saphir, le creuset en molybdène favorise la cristallisation stable de l'alumine fondue par un chauffage uniforme.

Dans des conditions de chauffage non uniformes, le faible coefficient de dilatation thermique du creuset en molybdène réduit les contraintes thermiques et évite la fissuration ou la déformation du creuset.

Rayonnement thermique :

À des températures élevées (>1000°C), la surface du creuset en molybdène émet de l'énergie vers le milieu environnant par rayonnement thermique. L'émissivité du molybdène est d'environ 0,1 à 0,3 (varie en fonction de la température et de l'état de surface). Une émissivité plus faible permet de réduire les pertes de chaleur et d'améliorer l'efficacité énergétique.

Pour améliorer encore l'efficacité thermique, les creusets modernes en molybdène ont souvent une surface polie ou ajoutent un revêtement réfléchissant (tel qu'un revêtement en oxyde de zirconium) pour réduire les pertes de rayonnement.

Gestion du gradient de température :

Lors de la croissance cristalline ou de la fusion, le creuset en molybdène doit maintenir un gradient de température spécifique. Par exemple, la croissance cristalline de Czochralski nécessite que la température au fond du creuset soit légèrement inférieure à celle du haut pour favoriser la croissance directionnelle des cristaux. La conductivité thermique et la conception géométrique du creuset en molybdène (telles que l'épaisseur et la forme de la paroi) peuvent être optimisées par simulation

Copyright and Legal Liability Statement

pour assurer une distribution idéale de la température.

Mécanisme chimique

Stabilité chimique :

Sous vide ou sous atmosphère inerte, les creusets en molybdène ne réagissent pas de manière significative avec la plupart des métaux et oxydes en fusion. Par exemple, dans la fusion des métaux des terres rares, les creusets en molybdène peuvent résister à la corrosion à haute température du néodyme ou du cérium et maintenir la pureté du matériau.

Dans une atmosphère contenant de l'oxygène, les creusets en molybdène doivent être protégés de l'oxydation par une atmosphère protectrice ou un revêtement de surface. Par exemple, le revêtement en siliciure de molybdène (MoSi_2) peut former une couche protectrice stable en SiO_2 à haute température, prolongeant ainsi considérablement la durée de vie du creuset.

Contrôle des impuretés :

Les creusets en molybdène de haute pureté (teneur en impuretés $<0,05\%$) minimisent les réactions avec les matériaux fondus et évitent la contamination. Par exemple, dans la production de lingots de silicium semi-conducteurs, la faible libération d'impuretés des creusets en molybdène garantit une grande pureté du silicium ($>99,9999\%$).

Mécanique

Résistance à haute température :

Le molybdène à haute température diminue avec l'augmentation de la température, mais après dopage avec des oxydes de terres rares (tels que La_2O_3 ou CeO_2), sa résistance à haute température peut être considérablement améliorée. Par exemple, un creuset en molybdène dopé au cérium peut encore maintenir une résistance à la traction d'environ 200 MPa à 1700°C , ce qui convient à un fonctionnement à long terme à haute température.

Les creusets en molybdène (c'est-à-dire la déformation lente à haute température) sont également optimisés par le raffinement des grains et le dopage, ce qui prolonge la durée de vie du creuset.

Résistance à la fatigue thermique :

Les creusets en molybdène peuvent développer des microfissures en raison des contraintes thermiques lors de cycles de chauffage et de refroidissement répétés. Les procédés de fabrication modernes améliorent la résistance à la fatigue thermique des creusets en contrôlant la taille des grains et en ajoutant des phases de renforcement telles que les particules d'oxyde.

Résistance aux chocs :

Les creusets en molybdène conservent une certaine ténacité à des températures élevées et peuvent résister aux chocs mécaniques lors du chargement ou du déchargement. Par exemple, dans un grand four de fusion de terres rares, le creuset en molybdène doit résister à l'impact du métal en fusion sans se briser.

Copyright and Legal Liability Statement

2.3 Comparaison avec d'autres matériaux résistants aux hautes températures

Les creusets en molybdène ainsi que d'autres matériaux résistants aux hautes températures tels que le tungstène, le tantale, le graphite, l'alumine et la zircone aident à comprendre leurs avantages et limites uniques. Voici une comparaison détaillée sous quatre aspects : propriétés physiques, stabilité chimique, coût et scénarios d'application.

1. Tungstène

Propriétés physiques :

Le point de fusion du tungstène (3422°C) est supérieur à celui du molybdène, et il convient aux environnements à haute température (>2000°C). Cependant, la densité du tungstène (19,25 g/cm³) est presque le double de celle du molybdène, ce qui rend le creuset en tungstène lourd et difficile à traiter.

La conductivité thermique du tungstène (173 W/(m·K)) est légèrement supérieure à celle du molybdène, mais son coefficient de dilatation thermique ($4,5 \times 10^{-6}$ /K) est similaire à celui du molybdène, et ses performances en matière de contrainte thermique sont similaires.

Stabilité chimique :

Le tungstène est plus résistant à la corrosion par les métaux en fusion que le molybdène, en particulier lorsqu'il est en contact avec du fer ou du nickel en fusion. Cependant, le tungstène s'oxyde plus rapidement dans une atmosphère contenant de l'oxygène et nécessite une atmosphère protectrice plus stricte.

Coût:

Le tungstène est généralement plus cher que le molybdène, et le coût de traitement est plus élevé en raison de sa dureté et de sa fragilité élevées. Les creusets en molybdène sont plus économiques dans les applications inférieures à 1700°C.

Scénarios d'application :

Les creusets en tungstène sont principalement utilisés dans des environnements à ultra-haute température (tels que les processus à >2000°C que le molybdène ne peut pas supporter), tandis que les creusets en molybdène sont plus courants dans la fusion des terres rares et la croissance du cristal de saphir.

2. Le tantale

Propriétés physiques :

Le point de fusion du tantale (3017°C) se situe entre le molybdène et le tungstène, et sa densité (16,6 g/cm³) est supérieure à celle du molybdène mais inférieure à celle du tungstène. La conductivité thermique du tantale (57 W/(m·K)) est beaucoup plus faible que celle du molybdène, ce qui entraîne une répartition inégale de la chaleur.

Copyright and Legal Liability Statement

Stabilité chimique :

Le tantale a une excellente résistance à la corrosion aux acides et aux métaux en fusion, en particulier mieux que le molybdène dans les environnements fortement acides. Cependant, le tantale s'oxyde facilement dans des atmosphères contenant de l'oxygène à haute température et nécessite un environnement de vide strict.

Coût:

Le prix du tantale est beaucoup plus élevé que celui du molybdène et du tungstène, et sa ressource est rare, ce qui entraîne des coûts de fabrication extrêmement élevés des creusets en tantale. Il n'est généralement utilisé que dans des processus chimiques spéciaux.

Scénarios d'application :

Les creusets au tantale sont principalement utilisés dans les réactions chimiques hautement corrosives (telles que la fusion du fluorure), tandis que les creusets en molybdène dominent dans les fusions à haute température plus étendues et la croissance cristalline.

3. Le graphite

Propriétés physiques :

Le graphite a un point de fusion extrêmement élevé (>3500°C), mais sa densité (1,8-2,2 g/cm³) est bien inférieure à celle du molybdène, ce qui le rend léger et facile à traiter. La conductivité thermique du graphite (100-200 W/(m·K)) est comparable à celle du molybdène, mais son coefficient de dilatation thermique est plus élevé, ce qui le rend sujet aux contraintes thermiques.

Stabilité chimique :

Le graphite a une bonne stabilité chimique dans les atmosphères non oxydantes, mais s'oxyde facilement dans les environnements contenant de l'oxygène, ce qui limite son utilisation dans l'air. Le graphite peut également réagir avec certains métaux en fusion et contaminer le produit.

Coût:

Le coût de fabrication du creuset en graphite est beaucoup plus faible que celui du molybdène, qui convient à la production à grande échelle et à faible coût. Cependant, sa durée de vie est courte et doit être remplacée fréquemment.

Scénarios d'application :

Les creusets en graphite sont largement utilisés dans la fusion des métaux non ferreux (tels que l'aluminium et le cuivre), tandis que les creusets en molybdène sont plus adaptés aux processus de haute pureté et à haute température (tels que la production de silicium semi-conducteur).

4. L'alumine (Al₂O₃) et l'oxyde de zirconium (ZrO₂)

Propriétés physiques :

Le point de fusion de l'oxyde d'aluminium est d'environ 2072 °C et celui de l'oxyde de zirconium

Copyright and Legal Liability Statement

est d'environ 2715 °C, tous deux inférieurs à celui du molybdène. La conductivité thermique des deux (20-30 W/(m·K)) est beaucoup plus faible que celle du molybdène, ce qui entraîne une distribution inégale de la chaleur.

La densité des matériaux céramiques (environ 3,9 g/cm³ pour l'alumine et environ 5,8 g/cm³ pour la zircone) est inférieure à celle du molybdène, mais ils sont très fragiles et susceptibles de se fissurer en raison des chocs thermiques.

Stabilité chimique :

L'alumine et la zircone se comportent bien dans les atmosphères oxydantes, mais peuvent réagir au contact de certains métaux en fusion, tels que les métaux des terres rares, contaminant le produit.

Coût:

Les creusets en céramique coûtent moins cher que le molybdène, mais ont une durée de vie plus courte à des températures et des pressions élevées et des coûts de maintenance plus élevés.

Scénarios d'application :

Les creusets en céramique sont principalement utilisés pour les expériences de laboratoire à petite échelle ou le frittage de matériaux non métalliques, tandis que les creusets en molybdène sont plus adaptés à la fusion à haute température à l'échelle industrielle.

Résumer

Les creusets en molybdène ont le meilleur rapport performance-coût dans la plage de température inférieure à 1700°C, combinant un point de fusion élevé, une résistance à la corrosion et une flexibilité de traitement. Par rapport au tungstène et au tantale, les creusets en molybdène sont plus économiques et plus faciles à traiter ; Par rapport au graphite et à la céramique, les creusets en molybdène sont supérieurs en termes de pureté et de stabilité à haute température. Selon Chinatungsten Online (news.chinatungsten.com), la part de marché des creusets en molybdène dans les industries des terres rares et des semi-conducteurs continue de croître, ce qui reflète sa large applicabilité.

2.4 Propriétés thermodynamiques et mécaniques

Les creusets en molybdène dans les environnements à haute température déterminent leur efficacité de travail et leur durée de vie. Ce qui suit est une analyse détaillée des deux aspects de la thermodynamique et de la mécanique.

Propriétés thermodynamiques

Capacité calorifique et chaleur spécifique :

le molybdène est d'environ 0,25 J/(g· K) (température ambiante), qui augmente légèrement avec l'augmentation de la température. La capacité thermique spécifique plus faible signifie que le creuset en molybdène nécessite moins d'énergie pendant le chauffage et convient aux processus de chauffage rapides.

Copyright and Legal Liability Statement

La capacité calorifique est directement liée à la masse et à la taille du creuset. Les grands creusets en molybdène nécessitent des temps de chauffage plus longs, mais leur conductivité thermique élevée peut effectivement raccourcir ce processus.

Dilatation thermique et contrainte thermique :

le molybdène ($4,8 \times 10^{-6}$ /K) réduit les changements de volume à haute température et réduit le risque de fissuration causée par le stress thermique. Par exemple, dans la croissance du cristal de saphir, les creusets en molybdène peuvent rester stables à 2050°C.

Les contraintes thermiques peuvent être encore réduites en optimisant l'épaisseur et la géométrie de la paroi du creuset (par exemple, les coins arrondis).

Stabilité de phase :

Le molybdène n'a pas de changement de phase dans la plage de l'état solide (<2623°C) et a une grande stabilité thermodynamique, évitant le changement de volume ou la dégradation des performances causée par le changement de phase.

À des températures proches du point de fusion, le molybdène a une faible pression de vapeur (environ 10^{-5} Pa à 2000 °C), ce qui réduit les pertes de matière.

Rayonnement thermique et perte d'énergie :

Le creuset en molybdène réduit les pertes de rayonnement thermique et améliore l'utilisation de l'énergie. Les creusets modernes en molybdène sont souvent optimisés pour les performances de rayonnement thermique par polissage de surface ou revêtement.

Propriétés mécaniques

Résistance à haute température et fluage :

le molybdène à 1700°C est d'environ 100-200 MPa, ce qui est beaucoup plus élevé que de nombreux métaux. En dopage avec des oxydes (tels que CeO_2 ou La_2O_3), la résistance à haute température peut être augmentée à plus de 300 MPa.

Le molybdène accélère avec des contraintes croissantes à haute température, mais le fluage peut être considérablement réduit par le raffinage des grains et le dopage. Par exemple, le taux de fluage du creuset en molybdène dopé au cérium à 1700°C peut être contrôlé en dessous de 10^{-5} / s.

Fatigue et choc thermique :

Les creusets en molybdène peuvent développer des microfissures dues à la fatigue lors de cycles thermiques répétés. Les procédés de fabrication modernes améliorent la résistance à la fatigue en contrôlant la taille des grains (généralement <50 μm) et en ajoutant des phases de renforcement.

La ténacité du molybdène lui permet de résister à certains chocs thermiques, tels que le refroidissement rapide, tout en conservant son intégrité.

Copyright and Legal Liability Statement

Dureté et résistance à l'usure :

La dureté Vickers du molybdène à température ambiante est d'environ 200-250 HV, qui diminue légèrement à haute température. La dureté du creuset dopé au molybdène peut être augmentée jusqu'à 300 HV, ce qui améliore sa résistance à l'usure et convient à une utilisation à long terme.

Performances de traitement :

Le molybdène permet d'en faire des creusets de formes complexes par forgeage, laminage ou usinage. Cependant, le molybdène est cassant à température ambiante et doit être travaillé à chaud à haute température (>1000°C) pour éviter la fissuration.

Performance dans des applications pratiques

Dans la fusion des terres rares, les propriétés thermodynamiques et mécaniques des creusets en molybdène assurent leur stabilité à long terme à 1700°C. Par exemple, les creusets en molybdène peuvent résister à la corrosion et à l'impact mécanique du néodyme fondu tout en maintenant une distribution uniforme de la température. Dans la croissance du cristal saphir, la faible dilatation thermique et la résistance à haute température des creusets en molybdène permettent un fonctionnement continu pendant des semaines.



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Chapitre 3 Performances du creuset en molybdène

3.1 Propriétés physiques et chimiques du creuset en molybdène

Le creuset en molybdène provient principalement des propriétés physiques et chimiques de son matériau de base, le molybdène. Ces propriétés déterminent les performances du creuset en molybdène dans un environnement à haute température et à haute corrosion. Ce qui suit est une discussion détaillée sous quatre aspects : le point de fusion et la stabilité thermique, la densité et la conductivité thermique, la résistance à l'oxydation et la résistance à la corrosion, la résistance mécanique et la ténacité.

3.1.1 Point de fusion et stabilité thermique du creuset en molybdène

Le molybdène est à 2623° C, qui est l'un des matériaux avec des points de fusion plus élevés parmi les métaux connus, juste derrière le tungstène et le rhénium. Ce point de fusion élevé confère aux creusets en molybdène une excellente stabilité dans des environnements à très haute température, ce qui les rend largement utilisés dans la fusion des métaux de terres rares, la croissance du cristal de saphir et les processus de préparation des matériaux semi-conducteurs.

Performance de stabilité thermique :

Les creusets en molybdène peuvent fonctionner de manière stable pendant une longue période à des températures inférieures à 1700°C, et peuvent même résister à des températures supérieures à 2000°C pendant une courte période. Par exemple, lors de la croissance des cristaux de saphir, les creusets en molybdène doivent fonctionner en continu à 2050°C pendant plusieurs semaines tout en maintenant l'intégrité structurelle et la stabilité chimique.

la faible pression de vapeur du molybdène (environ 10^{-5} Pa à 2000 °C) garantit une perte de matériau minimale à haute température, prolongeant ainsi la durée de vie du creuset.

Le creuset en molybdène se reflète également dans ses caractéristiques d'absence de changement de phase. Le molybdène ne subit pas de changements de structure cristalline dans la plage de l'état solide (<2623°C), évitant ainsi l'expansion de volume ou la dégradation des performances causée par le changement de phase.

Facteurs d'influence :

Teneur en impuretés : Les creusets en molybdène de haute pureté ($\geq 99,95\%$) ont une meilleure stabilité thermique que les produits de faible pureté, car les impuretés (telles que le carbone, l'oxygène) peuvent provoquer une fusion locale ou un affaiblissement de la limite des grains à haute température.

Les creusets en molybdène préparés par métallurgie des poudres peuvent avoir des micropores, ce qui réduit la stabilité thermique ; Les creusets forgés ou usinés ont une densité plus élevée et une meilleure stabilité thermique.

Atmosphère protectrice : Le molybdène s'oxyde facilement dans un environnement contenant de l'oxygène et doit être utilisé sous vide ou dans une atmosphère inerte (comme l'argon, l'azote) pour

Copyright and Legal Liability Statement

maintenir sa stabilité thermique.

3.1.2 Masse volumique et conductivité thermique du creuset en molybdène

Densité:

La teneur en molybdène est de 10,28 g/cm³, ce qui est inférieur au tungstène (19,25 g/cm³) mais supérieur à celui de l'aluminium (2,7 g/cm³). Cette densité confère au creuset en molybdène une résistance élevée et un poids relativement léger, ce qui le rend facile à traiter, à transporter et à installer.

Les creusets en molybdène haute densité (près de 99,5 % de la densité théorique) sont produits par pressage isostatique et frittage à haute température, assurant la résistance mécanique et la résistance à la corrosion du creuset. En revanche, les creusets de faible densité (<95 % de densité théorique) peuvent manquer de résistance en raison des pores.

Conductivité thermique :

La conductivité thermique du molybdène est de 138 W/(m·K) à température ambiante, qui diminue légèrement avec l'augmentation de la température (environ 100 W/(m·K) à 1000°C). La conductivité thermique élevée permet au creuset en molybdène de transférer rapidement la chaleur, assurant ainsi une répartition uniforme de la température à l'intérieur.

Dans la croissance du cristal de saphir, une distribution uniforme de la température est essentielle à la qualité du cristal. La conductivité thermique élevée des creusets en molybdène réduit les défauts cristallins causés par les gradients de température.

En revanche, la conductivité thermique des creusets en céramique (comme l'alumine, avec une conductivité thermique d'environ 20-30 W/(m·K)) est beaucoup plus faible que celle du molybdène, ce qui entraîne une distribution inégale de la chaleur, ce qui limite son application dans les processus de haute précision.

Application pratique :

Dans la fusion des terres rares, la conductivité thermique élevée du creuset en molybdène favorise un chauffage rapide et une fusion uniforme, améliorant ainsi l'efficacité de la production.

3.1.3 Performances anti-oxydation et anticorrosion du creuset en molybdène

Propriétés antioxydantes :

Le molybdène forme une couche d'oxyde dense à la surface à basse température (<400°C), ce qui ralentit l'oxydation. Cependant, à des températures élevées (>600°C), l'oxyde se volatilise, entraînant une oxydation rapide.

Pour améliorer la résistance à l'oxydation, les creusets en molybdène sont généralement utilisés sous vide ou en atmosphère inerte. Par exemple, dans la production de lingots de silicium semi-conducteurs, les creusets en molybdène sont utilisés dans un environnement de vide poussé (<10⁻⁴ Pa) pour éviter l'oxydation.

Copyright and Legal Liability Statement

La technologie de revêtement de surface (telle que le siliciure de molybdène MoSi₂ ou le revêtement d'oxyde de zirconium ZrO₂) peut améliorer considérablement la résistance à l'oxydation. Le revêtement en siliciure de molybdène forme une couche protectrice stable en SiO₂ à haute température, prolongeant la durée de vie du creuset.

Résistance à la corrosion :

Les creusets en molybdène ont une excellente résistance à la corrosion à une variété de métaux en fusion (tels que les métaux des terres rares, l'aluminium, le magnésium) et les oxydes. Par exemple, dans la production d'aimants NdFeB, les creusets en molybdène peuvent résister à la corrosion du néodyme fondu et maintenir la pureté du produit.

Le molybdène a une bonne résistance à la corrosion aux acides (tels que l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique) et aux alcalis, mais peut réagir dans les acides oxydants forts (tels que l'acide nitrique) ou les alcalis fondus.

Lorsqu'il est en contact avec certains matériaux à haute température (tels que le nickel et les alliages de fer), le molybdène peut être légèrement corrodé, ce qui doit être contrôlé par une modification de surface ou la sélection de conditions de fonctionnement appropriées.

Mesures d'amélioration :

Le dopage avec des oxydes de terres rares (tels que CeO₂, La₂O₃) peut améliorer la résistance à la corrosion des creusets en molybdène, en particulier lorsqu'ils sont en contact avec des métaux de terres rares fondus.

3.1.4 Résistance mécanique et ténacité du creuset en molybdène

Résistance mécanique :

Le molybdène à température ambiante est d'environ 600-700 MPa, qui tombe à 100-200 MPa à haute température (1700°C). Par dopage (tel que CeO₂), la résistance à haute température peut être augmentée à 300 MPa.

Le creuset en molybdène est d'environ 200-250 HV, ce qui peut atteindre 300 HV après dopage, ce qui améliore la résistance à l'usure et la résistance aux chocs.

Les creusets en molybdène forgé sont plus hauts que ceux des creusets en métallurgie des poudres car le processus de forgeage élimine les pores et affine les grains.

Dureté:

Le molybdène est cassant (ductilité limitée) à température ambiante, mais présente une bonne ténacité à haute température (>1000°C), ce qui le rend adapté au travail à chaud et aux opérations à haute température.

Le creuset en molybdène lui permet de résister aux chocs mécaniques lors du chargement ou du

Copyright and Legal Liability Statement

déchargement. Par exemple, dans la fusion des terres rares, le creuset en molybdène doit résister à l'impact du métal en fusion sans se briser.

Le dopage à l'oxyde ou le contrôle de la taille des grains ($<50 \mu\text{m}$) peuvent encore améliorer la ténacité et réduire la croissance des fissures pendant les cycles thermiques.

Application pratique :

Dans les grands fours de fusion de terres rares, la résistance mécanique et la ténacité des creusets en molybdène garantissent leur fiabilité à haute température et à haute pression.

3.2 Propriétés thermiques et mécaniques du creuset en molybdène

Les creusets en molybdène déterminent leurs performances dans des environnements à haute température, notamment en termes de dilatation thermique, de résistance aux chocs thermiques, de fluage et de résistance à la fatigue. Voici une analyse détaillée.

3.2.1 Dilatation thermique et déformation à haute température du creuset en molybdène

Dilatation thermique :

le molybdène est de $4,8 \times 10^{-6} /\text{K}$ (20-1000°C), ce qui est beaucoup plus faible que de nombreux métaux (tels que l'aluminium : $23 \times 10^{-6} /\text{K}$) et céramiques (tels que l'alumine : $8 \times 10^{-6} /\text{K}$). Le faible coefficient de dilatation thermique réduit les changements de volume à haute température et réduit le risque de fissuration causée par le stress thermique.

Dans la croissance du cristal saphir, la faible dilatation thermique du creuset en molybdène garantit que la forme du creuset reste stable à 2050°C, évitant ainsi les défauts de croissance cristalline.

Déformation à haute température :

À des températures élevées, les creusets en molybdène peuvent se déformer légèrement en raison de contraintes thermiques ou de forces externes. Le degré de déformation est lié à l'épaisseur de la paroi du creuset, à la géométrie et à la vitesse de chauffage.

L'optimisation de la conception (par exemple, l'augmentation de l'épaisseur de la paroi ou l'utilisation de coins arrondis) peut réduire la déformation. Par exemple, l'épaisseur de la paroi des grands creusets en molybdène est généralement de 10 à 20 mm pour améliorer la capacité à résister à la déformation.

Le dopage avec des oxydes de terres rares peut améliorer la rigidité à haute température et réduire la déformation. Par exemple, la déformation d'un creuset en molybdène dopé au cérium à 1700°C est environ 20 % inférieure à celle d'un creuset en molybdène pur.

3.2.2 Résistance aux chocs thermiques du creuset en molybdène

Résistance aux chocs thermiques :

Les creusets en molybdène proviennent de leur conductivité thermique élevée, de leur faible coefficient de dilatation thermique et d'une certaine ténacité. Ces caractéristiques leur permettent de

Copyright and Legal Liability Statement

résister aux contraintes thermiques causées par un chauffage ou un refroidissement rapide.

Dans la fusion des terres rares, le creuset en molybdène doit subir une augmentation rapide de la température de la température ambiante à 1700°C. Sa résistance aux chocs thermiques garantit que le creuset ne se fissure pas.

Facteurs d'influence :

Taille des grains : Les grains fins (<50 µm) peuvent disperser les contraintes thermiques et améliorer la résistance aux chocs thermiques.

Qualité de surface : Les surfaces polies ou les revêtements peuvent réduire la propagation des fissures causées par les défauts de surface.

Conditions de fonctionnement : Des vitesses de chauffage et de refroidissement lentes (par exemple <10°C/min) peuvent encore améliorer la résistance aux chocs thermiques.

Mesures d'amélioration :

L'ajout d'oxydes (tels que La₂O₃) peut augmenter la ténacité du molybdène et améliorer sa résistance aux chocs thermiques.

3.2.3 Fluage et stabilité à long terme du creuset en molybdène

Propriétés de fluage :

Le fluage est la déformation lente d'un creuset en molybdène sous contrainte continue à haute température. Le taux de fluage du molybdène à 1700°C est d'environ 10⁻⁵ /s (contrainte 100 MPa), qui peut être réduit à 10⁻⁶ /s par dopage.

Le taux de fluage est étroitement lié à la température, à la contrainte et à la taille des grains. Les températures élevées et les gros grains accélèrent le fluage ; tandis que le dopage et les grains fins le ralentissent.

Stabilité à long terme :

Le creuset en molybdène dépend de sa résistance au fluage et à l'oxydation. Sous vide ou en atmosphère inerte, le creuset en molybdène dopé au cérium peut fonctionner à 1700°C pendant des milliers d'heures sans déformation significative.

Mesures d'amélioration :

Granulométrie contrôlée (<30 µm) pour améliorer la résistance au fluage.

Ajouter des phases de renforcement de l'oxyde ou du carbure (telles que ZrO₂, TiC) pour améliorer la rigidité à haute température.

3.2.4 Fatigue du creuset en molybdène et utilisation cyclique

Performance en fatigue :

Les creusets en molybdène peuvent produire des microfissures dues à la fatigue lors de cycles thermiques répétés. Les performances en fatigue sont liées à la taille des grains, aux défauts de surface et aux éléments de dopage.

Copyright and Legal Liability Statement

Les creusets en molybdène à grain fin et dopé à l'oxyde ont une résistance à la fatigue plus élevée. Par exemple, les creusets en molybdène dopé au cérium peuvent résister à plus de 200 cycles thermiques à 1500°C.

Recyclage:

Le creuset en molybdène dépend des conditions de fonctionnement et des mesures d'entretien. Dans des conditions d'atmosphère protectrice appropriée et de lente montée et descente de la température, le creuset en molybdène peut être réutilisé des centaines de fois.

Les revêtements de surface (tels que MoSi_2) peuvent réduire la croissance des fissures de fatigue et prolonger la durée de vie.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les creusets en molybdène doivent subir plusieurs cycles de chauffage-refroidissement, et leur résistance à la fatigue affecte directement les coûts de production.

3.3 Relation entre la microstructure du creuset en molybdène et les performances

Le creuset en molybdène est étroitement lié à sa microstructure, notamment la structure des grains, les éléments dopants et la morphologie de surface. Voici une analyse détaillée.

3.3.1 Structure et orientation des grains

Structure du grain :

Le creuset en molybdène est généralement compris entre 10 et 100 μm . Les grains fins (<50 μm) améliorent la résistance, la ténacité et la résistance au fluage en augmentant la densité des joints de grains.

Les gros grains (>100 μm) peuvent entraîner une réduction de la résistance à haute température et une croissance accélérée des fissures, de sorte que les creusets modernes en molybdène ont tendance à adopter une structure à grains fins.

Orientation du grain :

Le creuset en molybdène a un effet significatif sur les propriétés mécaniques. Les processus de forgeage ou de laminage peuvent induire une texture (telle que l'orientation <110>), améliorant la résistance à la traction et la résistance aux chocs thermiques.

Les structures de grains orientées de manière aléatoire, telles que les creusets de métallurgie des poudres, sont plus courantes dans les applications isotropes, mais sont légèrement plus faibles que les creusets texturés.

Application pratique :

Le creuset en molybdène assure une répartition constante de la température et réduit les défauts de cristal lors de la croissance du verre saphir.

Copyright and Legal Liability Statement

3.3.2 Effet des éléments dopants

Éléments dopants :

Les éléments dopants couramment utilisés comprennent l'oxyde de cérium (CeO_2), l'oxyde de lanthane (La_2O_3), l'oxyde d'yttrium (Y_2O_3) et le carbure de titane (TiC). Ces éléments améliorent les performances des creusets en molybdène grâce au renforcement en solution solide ou au renforcement de la deuxième phase.

L'oxyde de cérium (0,5 à 2 % en poids) peut affiner les grains, améliorer la résistance aux hautes températures et la résistance au fluage, et améliorer la résistance à la corrosion.

L'oxyde de lanthane améliore la ténacité et la résistance aux chocs thermiques, ce qui le rend particulièrement adapté aux scénarios de recyclage.

Mécanisme d'action :

Les éléments dopants forment un effet d'épingleage au niveau des joints de grains, inhibant la croissance et le fluage des grains.

Les particules d'oxyde peuvent disperser les contraintes thermiques et réduire la croissance des fissures.

Le dopage peut également améliorer la résistance à l'oxydation du molybdène. Par exemple, l'oxyde de cérium peut favoriser la formation d'une couche protectrice stable.

3.3.3 Morphologie de surface et performance à haute température

Morphologie de surface :

Le creuset en molybdène a une influence importante sur ses performances à haute température. La surface polie ($R_a < 0,8 \mu\text{m}$) peut réduire le point de départ de la fissure et améliorer la résistance aux chocs thermiques et à la corrosion.

Les surfaces rugueuses ($R_a > 2 \mu\text{m}$) peuvent provoquer des fissures en raison de la concentration des contraintes, réduisant ainsi la durée de vie.

Modification de surface :

Les revêtements (tels que MoSi_2 , ZrO_2) peuvent améliorer la résistance à l'oxydation de surface et la résistance à la corrosion. Par exemple, le revêtement MoSi_2 forme une couche protectrice SiO_2 à 1700°C , prolongeant considérablement la durée de vie du creuset.

La pulvérisation plasma ou le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) peut produire des revêtements de surface uniformes pour améliorer les performances à haute température.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les faibles défauts de surface des creusets en molybdène poli garantissent la préparation d'un silicium de haute pureté.

3.4 Durée de vie et fiabilité du creuset en molybdène

Les creusets en molybdène sont des indicateurs clés pour leurs applications industrielles. Voici une

Copyright and Legal Liability Statement

analyse sous trois aspects : les facteurs affectant la durée de vie, les modes de défaillance et les méthodes d'essai de fiabilité.

3.4.1 Facteurs influant sur la durée de vie

Conditions de fonctionnement :

Température : Les températures de fonctionnement supérieures à 1700 °C accélèrent le fluage et l'oxydation, raccourcissant ainsi la durée de vie.

Atmosphère : L'atmosphère contenant de l'oxygène entraîne une oxydation rapide et nécessite une protection contre le vide ou les gaz inertes.

Cycle thermique : Les cycles fréquents de chauffage-refroidissement augmentent le risque de fissures de fatigue.

Qualité du matériel :

les creusets en Mo de haute pureté ($\geq 99,95\%$) et en Mo dopé sont nettement plus longs que les produits de pureté inférieure.

Des grains fins et une microstructure uniforme permettent une durée de vie plus longue.

Technique de traitement :

La densité et les propriétés mécaniques des creusets forgés ou usinés sont meilleures que celles des creusets de métallurgie des poudres, et leur durée de vie est plus longue.

La qualité de soudure du creuset de soudage a une influence importante sur la durée de vie et doit être strictement contrôlée.

3.4.2 Analyse des modes de défaillance

Défaillance par oxydation :

Dans une atmosphère contenant de l'oxygène, le MoO_3 se forme à la surface du creuset de molybdène et se volatilise, entraînant une perte de matière et la formation de pores.

Solution : Utilisez une atmosphère protectrice ou un revêtement anti-oxydation.

Défaillance du fluage :

À des températures élevées, une contrainte continue provoque une déformation lente du creuset et finit par tomber en panne.

Solution : doper les oxydes ou optimiser la structure des grains.

Défaillance par fatigue thermique :

Des cycles thermiques répétés ont induit la croissance de microfissures conduisant à la rupture du creuset.

Solution : Polissez la surface, affinez le grain et augmentez et diminuez lentement la température.

Défaillance par corrosion :

La réaction avec le métal en fusion ou les oxydes provoque un amincissement ou une perforation des parois du creuset.

Solution : Choisissez des matériaux dopés résistants à la corrosion ou ajoutez des revêtements protecteurs.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

3.4.3 Méthode d'essai de fiabilité

Essai de fluage à haute température :

Une contrainte constante a été appliquée à 1700°C, et le taux de fluage et la déformation ont été mesurés pour évaluer la stabilité à long terme.

Norme : ASTM E139 (spécification d'essai de fluage).

Test de cycle thermique :

En simulant les conditions de fonctionnement réelles, plusieurs cycles de chauffage-refroidissement ont été effectués pour observer la formation et la croissance des fissures.

Norme : ISO 1893 (Essais de chocs thermiques sur matériaux réfractaires).

Test antioxydant :

Chauffage à 600-1000°C dans une atmosphère contenant de l'oxygène, mesure du gain de poids par oxydation ou de la perte de matière.

Norme : ASTM G54 (test d'oxydation à haute température).

Essais de corrosion :

Le creuset est exposé à du métal en fusion ou à de l'oxyde et la perte d'épaisseur de paroi et les changements de surface sont mesurés.

Norme : ASTM G31 (Corrosion Test Specification).

3.5 Chine Tungstène Intelligent Molybdène Creuset MSDS

La fiche de données de sécurité (FDS) fournit des conseils de sécurité pour l'utilisation, le stockage et la manipulation des creusets en molybdène. Ce qui suit est un résumé de la fiche signalétique des [creusets intelligents en molybdène Chinatungstène, basée sur les normes de l'industrie et les informations en ligne de Chinatungstène.](#)

1. Identification du produit

Nom du produit : Creuset en molybdène

Nom chimique : Molybdène (Mo)

N° CAS : 7439-98-7

2. Identification des dangers

État physique : métal solide, blanc argenté, inodore.

Main dangers:

La vapeur d'oxyde de molybdène (MoO_3) peut être libérée à des températures élevées, ce qui peut provoquer une irritation respiratoire en cas d'inhalation.

La poussière ou les copeaux de coupe peuvent provoquer une irritation de la peau ou des yeux.

Impact environnemental : Le molybdène est un métal peu toxique, mais les déchets doivent être traités conformément à la réglementation.

3. Information sur les ingrédients

Copyright and Legal Liability Statement

Ingrédient principal : Molybdène ($\geq 99,95$ %)

Impuretés : Carbone ($< 0,01$ %), Oxygène ($< 0,005$ %), Azote ($< 0,003$ %)

Éléments dopants : oxyde de lanthane (La_2O_3 , 0,5-1 %)

4. Mesures de premiers secours

Inhalation : Amener la victime à l'air libre et consulter un médecin si les symptômes persistent.

Contact avec la peau : Lavez la zone exposée à l'eau et au savon, consultez un médecin en cas d'irritation.

Contact avec les yeux : Rincer abondamment à l'eau pendant au moins 15 minutes et consulter un médecin si nécessaire.

Ingestion : Peu fréquente, si elle se produit, consulter immédiatement un médecin.

5. Mesures de lutte contre l'incendie

Méthode d'extinction d'incendie : Utilisez de la poudre sèche ou un extincteur à dioxyde de carbone, n'utilisez pas d'eau.

La vapeur d'oxyde de molybdène peut être libérée à haute température. Les pompiers doivent porter un équipement de protection respiratoire.

6. Traitement des fuites

Méthode de nettoyage : Récupérez la poussière ou les fragments de molybdène qui s'échappent et mettez-les dans un récipient scellé pour éviter la poussière.

Mesures de protection : Portez un masque anti-poussière, des gants et des lunettes de protection.

7. Manutention et stockage

Notes sur l'opération :

Utiliser dans un endroit bien ventilé pour éviter de créer de la poussière.

Les opérations à haute température doivent être effectuées sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter l'oxydation.

Conditions de stockage :

Conserver dans un endroit sec et frais, éviter tout contact avec des oxydants forts.

Utilisez un emballage résistant à l'humidité pour éviter l'oxydation de la surface.

8. Contrôle de l'exposition et protection individuelle

Mesures d'ingénierie : Utilisez une ventilation par aspiration locale pour contrôler la poussière et la vapeur.

Équipement de protection individuelle:

Protection respiratoire : masque anti-poussière certifié NIOSH.

Protection des mains : gants résistants aux hautes températures.

Protection oculaire : Lunettes de sécurité.

Limites d'exposition: OSHA PEL (molybdène): 5 mg/m^3 (poussières respirables).

Copyright and Legal Liability Statement

9. Propriétés physiques et chimiques

Point de fusion : 2623°C

Densité : 10,28 g/cm³

Conductivité thermique : 138 W/(m·K)

Solubilité : Insoluble dans l'eau, soluble dans l'acide nitrique et l'alcali fondu.

10. Stabilité et réactivité

Stabilité : Stable à température ambiante, facilement oxydé à haute température.

Conditions à éviter : atmosphères contenant de l'oxygène, oxydants forts, flammes nues à haute température.

Matériaux incompatibles : acides forts, bases fortes, agents oxydants.

11. Renseignements toxicologiques

Toxicité aiguë : Faible toxicité. L'inhalation de fortes concentrations de poussière de molybdène peut provoquer une légère irritation respiratoire.

Toxicité chronique : Une exposition à long terme peut provoquer une irritation des poumons et des contrôles de santé réguliers sont nécessaires.

Cancérogénicité : Non classé comme cancérogène par le CIRC.

12. Informations écologiques

Impact environnemental : Le molybdène est un métal peu toxique, mais les déchets doivent être correctement manipulés pour éviter la pollution de l'eau.

Bioaccumulation : Aucune bioaccumulation significative.

13. Élimination des déchets

Méthode d'élimination : Recyclez selon les réglementations locales ou confiez la gestion à un organisme professionnel.

Remarque : Évitez le déversement direct pour éviter la propagation de la poussière.

14. Informations sur l'expédition

Classification du transport : marchandises non dangereuses.

Exigences d'emballage : Utilisez un emballage résistant à l'humidité et aux chocs pour assurer la sécurité du transport.

15. Informations réglementaires

Réglementations internationales : Conforme aux exigences OSHA, REACH et RoHS.

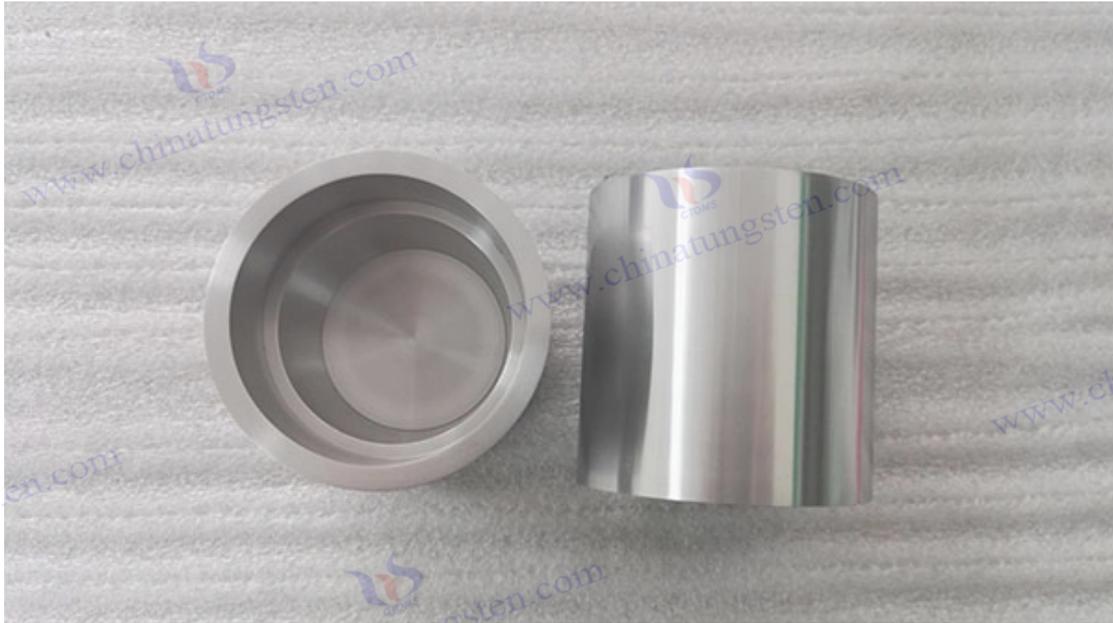
Réglementation chinoise : Se conformer à la réglementation sur la gestion de la sécurité des produits chimiques dangereux.

16. Autres informations

Fournisseur : CTIA GROUP LTD

Tél. : 0592-5129696/5129595

Copyright and Legal Liability Statement



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

Chapitre 4 Utilisations du creuset en molybdène

Les creusets en molybdène sont largement utilisés dans de nombreuses industries et domaines de recherche scientifique en raison de leur point de fusion élevé (2623°C), de leur excellente résistance à la corrosion et de leur stabilité à haute température. Ce chapitre traite en détail des utilisations spécifiques des creusets en molybdène dans la croissance cristalline, la fusion et la fusion à haute température, le traitement thermique sous vide et à haute température, la recherche scientifique et les applications en laboratoire, ainsi que les domaines émergents, en couvrant les détails du procédé, les exigences de performance et les pratiques industrielles mondiales.

4.1 Croissance cristalline

Les creusets en molybdène jouent un rôle clé dans le domaine de la croissance cristalline, en particulier dans la préparation du saphir, des monocristaux de silicium et d'autres matériaux cristallins. Sa grande pureté ($\geq 99,95\%$), sa faible libération d'impuretés et sa grande stabilité à la température garantissent la haute qualité du cristal.

4.1.1 Verre saphir (méthode Czochralski, méthode d'échange thermique)

Les monocristaux de saphir (Al_2O_3) sont largement utilisés dans les substrats LED, les fenêtres optiques, les miroirs de montres et les lasers en raison de leur dureté élevée (dureté de Mohs 9), de leur excellente transparence optique et de leur stabilité thermique. Les creusets en molybdène sont des récipients indispensables dans la croissance des cristaux de saphir, principalement utilisés dans la méthode Czochralski et la méthode de l'échangeur de chaleur (HEM).

La méthode du Chai :

Présentation du procédé : La méthode Czochralski fait fondre de l'alumine de haute pureté dans un

Copyright and Legal Liability Statement

creuset en molybdène (environ 2050 °C) et extrait lentement un seul cristal de la masse fondue à l'aide d'un cristal d'amorçage. Le creuset en molybdène doit résister à des températures élevées et maintenir une distribution uniforme de la température pour assurer une croissance cristalline stable.

Exigences du creuset en molybdène :

Stabilité à haute température : Les creusets en molybdène doivent maintenir l'intégrité structurelle à 2050°C pour éviter les déformations ou les fissures.

Haute pureté : Les impuretés (telles que le carbone et le fer) peuvent contaminer la masse fondue et affecter les propriétés optiques du cristal. La pureté des creusets en molybdène doit généralement être de $\geq 99,95\%$.

Conductivité thermique : La conductivité thermique élevée du molybdène (138 W/(m·K)) assure une température de fusion uniforme et réduit les défauts cristallins.

Taille et conception : Le procédé Czochralski nécessite de grands creusets en molybdène (200-500 mm de diamètre, 10-20 mm d'épaisseur de paroi), préparés par forgeage ou soudage.

Méthode d'échange de chaleur :

Présentation du procédé : La méthode d'échange de chaleur fait fondre l'alumine dans un creuset en molybdène, utilise le refroidissement par le bas et le chauffage par le haut pour former un gradient de température, et favorise la croissance des cristaux de bas en haut. Cette méthode est adaptée à la production de grands verres saphir (diamètre > 300 mm).

Exigences du creuset en molybdène :

Résistance aux chocs thermiques : La méthode d'échange de chaleur implique des gradients de température complexes, et le creuset en molybdène doit résister à des cycles thermiques rapides sans se fissurer.

Résistance à la corrosion : Les creusets en molybdène doivent résister à la légère corrosion de l'alumine fondue. Le dopage à l'oxyde de cérium (CeO_2) peut améliorer la résistance à la corrosion. Creusets en molybdène avec des parois plus épaisses (15-30 mm) pour résister aux contraintes mécaniques et thermiques.

4.1.2 Monocristal de silicium (méthode de Czochralski)

Le matériau de base de l'industrie des semi-conducteurs et du photovoltaïque, et est largement utilisé dans la fabrication de puces et de cellules solaires. La méthode Czochralski est la principale méthode de production d'un monocristal de silicium, et le creuset en molybdène est utilisé comme récipient auxiliaire ou composant à haute température dans certains procédés spéciaux.

Présentation du processus :

La méthode Czochralski utilise généralement un creuset en quartz pour fondre du silicium de haute pureté (>99,9999 %), mais dans certains procédés auxiliaires à haute température (tels que la purification des lingots de silicium ou le dopage spécial), les creusets en molybdène sont utilisés pour manipuler des fondements de silicium à haute température ou des matériaux connexes.

Les creusets en molybdène sont également utilisés pour les composants de champ chaud des

Copyright and Legal Liability Statement

équipements Czochralski (tels que les boucliers thermiques ou les supports chauffants) en raison de leur stabilité à haute température et de leur résistance à la corrosion.

Exigences du creuset en molybdène :

Haute pureté : La libération d'impuretés du creuset en molybdène doit être extrêmement faible pour éviter la contamination du silicium fondu.

Résistance à la corrosion : Le silicium fondu (environ 1414°C) présente peu de corrosion sur le creuset en molybdène, mais une utilisation à long terme doit prévenir l'érosion à l'état de traces.

Stabilité thermique : Le creuset en molybdène doit maintenir ses performances à 1500-1600°C pour s'adapter à l'environnement thermique de la méthode Czochralski.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les creusets en molybdène sont utilisés dans le processus de dopage de monocristaux de silicium spéciaux, tels que la préparation de cristaux de silicium dopés au bore ou au phosphore. L'application auxiliaire de son creuset en molybdène de haute pureté dans la production de monocristaux de silicium améliore la pureté des cristaux et l'efficacité de la production.

Limites : L'utilisation directe de creusets en molybdène dans la méthode Czochralski est limitée par l'avantage de coût des creusets en quartz, mais elle reste irremplaçable dans les procédés de haute pureté ou spéciaux.

4.1.3 Autres matériaux cristallins

Les creusets en molybdène sont également utilisés pour la croissance d'autres matériaux cristallins, notamment l'arséniure de gallium (GaAs), le phosphore d'indium (InP), le tantalate de lithium (LiTaO_3) et les cristaux de quartz.

Arséniure de gallium et phosphore d'indium :

Utilisations : L'arséniure de gallium et le phosphore d'indium sont des matériaux semi-conducteurs à haute fréquence utilisés dans les communications 5G et les dispositifs optoélectroniques.

Processus: Dans la méthode de Bridgman horizontale ou la méthode de solidification à gradient vertical (VGF), les creusets en molybdène sont utilisés pour la fusion et la croissance cristalline et doivent être utilisés à 1200-1400°C.

Exigences: Les creusets en molybdène doivent résister à la corrosion des vapeurs d'arsenic ou de phosphore et sont généralement recouverts d'un revêtement de surface (tel que MoSi_2) pour améliorer la durabilité.

Tantalate de lithium et cristal de quartz :

Application : Le tantalate de lithium est utilisé dans les dispositifs à ondes acoustiques de surface, et les cristaux de quartz sont utilisés dans les oscillateurs et les capteurs.

Processus : Le creuset en molybdène est utilisé comme récipient dans le processus Czochralski ou le processus de fusion, et la température de fonctionnement est généralement de 1200-1600°C.

Exigences : Les creusets en molybdène doivent fournir un champ thermique stable et un

Copyright and Legal Liability Statement

environnement à faible teneur en impuretés pour garantir les propriétés optiques et électriques du cristal.

4.2 Fusion et fusion à haute température

Les creusets en molybdène sont utilisés pour traiter les métaux des terres rares, les métaux non ferreux, les alliages et les métaux précieux dans la fusion et la fusion à haute température. Leur résistance à la corrosion et leur résistance à haute température en font un choix idéal.

4.2.1 Métaux des terres rares

Les métaux des terres rares (tels que le néodyme, le cérium et le dysprosium) sont très demandés en raison de leurs applications dans les aimants, les alliages et les catalyseurs. Les creusets en molybdène sont utilisés pour la fusion et la purification dans la fusion des métaux des terres rares.

Présentation du processus :

Les métaux des terres rares sont extraits des oxydes ou des halogénures par électrolyse ou fusion sous vide, généralement à des températures de fonctionnement de 1500-1700°C.

Le creuset en molybdène doit résister à la forte corrosivité des métaux de terres rares en fusion et maintenir une grande pureté.

Exigences du creuset en molybdène :

corrosif à haute température. Les creusets en molybdène doivent être dopés (tels que le CeO_2) ou revêtis un revêtement de surface pour améliorer la résistance à la corrosion.

Résistance à haute température : Le creuset en molybdène doit maintenir sa résistance mécanique à 1700°C pour éviter la déformation ou la fissuration.

Faible teneur en impuretés : La pureté du creuset en molybdène ($\geq 99,95\%$) garantit la grande pureté des métaux des terres rares ($> 99,9\%$).

Application pratique :

Dans la production d'aimants NdFeB, des creusets en molybdène sont utilisés pour fondre du néodyme de haute pureté afin de répondre aux exigences de haute performance des aimants.

4.2.2 Métaux non ferreux et alliages

Les creusets en molybdène sont largement utilisés dans la fusion de métaux non ferreux (tels que l'aluminium, le magnésium, le titane) et d'alliages à haute température (tels que les alliages à base de nickel et les alliages à base de cobalt).

Présentation du processus :

Les métaux non ferreux et les alliages sont produits par fusion par induction sous vide ou par fusion à l'arc à des températures allant de 1200 à 1800 °C.

Les creusets en molybdène sont utilisés pour fondre des métaux ou des alliages de haute pureté afin d'assurer la qualité et l'uniformité du produit.

Exigences du creuset en molybdène :

Copyright and Legal Liability Statement

Résistance à la corrosion : Les creusets en molybdène doivent résister à la corrosion de l'aluminium ou du magnésium fondu, et le dopage avec des oxydes peut prolonger leur durée de vie.

Stabilité thermique : Le creuset en molybdène doit conserver sa forme à des températures élevées pour éviter la déformation due au stress thermique.

Flexibilité de taille : Des petits creusets de laboratoire (capacité <1 L) aux creusets de qualité industrielle (capacité >10 L), les creusets en molybdène peuvent être personnalisés en fonction des besoins.

Application pratique :

Dans l'industrie aéronautique, les creusets en molybdène sont utilisés pour fondre des alliages à haute température à base de nickel afin de produire des aubes de turbine et des composants de moteur.

4.2.3 Purification des métaux précieux

Les creusets en molybdène sont utilisés pour la fusion et l'affinage à haute température dans la purification et la récupération des métaux précieux (tels que l'or, l'argent, le platine et le palladium).

Présentation du processus :

Les métaux précieux sont purifiés par fusion sous vide ou raffinage chimique à des températures allant de 1000 à 2000°C.

Les creusets en molybdène sont utilisés comme récipients de fusion pour garantir une grande pureté (>99,99 %) et une faible teneur en impuretés des métaux précieux.

Exigences du creuset en molybdène :

Inertie chimique : Les creusets en molybdène doivent éviter toute réaction avec des métaux précieux en fusion pour éviter toute contamination.

Haute pureté : La faible libération d'impuretés des creusets en molybdène (comme le carbone <0,01 %) garantit la qualité des métaux précieux.

Résistance à l'oxydation : Dans une atmosphère contenant de l'oxygène, les creusets en molybdène doivent être protégés de l'oxydation par une atmosphère protectrice ou un revêtement.

Application pratique :

Dans les industries de la bijouterie et de l'électronique, les creusets en molybdène sont utilisés pour purifier le platine de haute pureté afin de répondre aux besoins de fabrication de précision.

4.3 Traitement sous vide et thermique à haute température

Les creusets en molybdène sont utilisés pour le frittage de matériaux, le recuit et l'optimisation des performances dans les processus de traitement thermique sous vide et à haute température, et sont largement utilisés dans les industries de la métallurgie des poudres, de l'aérospatiale et de l'électronique.

4.3.1 Four de traitement thermique sous vide

Les fours de traitement thermique sous vide sont utilisés pour améliorer les propriétés mécaniques des métaux et des alliages, et les creusets en molybdène sont utilisés comme conteneurs ou

Copyright and Legal Liability Statement

composants de champ thermique.

Présentation du processus :

Le traitement thermique sous vide est effectué dans un environnement sous vide de 10^{-4} - 10^{-6} Pa à une plage de température de 1000-1800°C.

Les creusets en molybdène sont utilisés pour transporter des matériaux à traiter (tels que l'alliage de titane, l'acier), ou comme composants tels que des boucliers thermiques et des supports chauffants.

Exigences du creuset en molybdène :

Résistance à l'oxydation : L'environnement sous vide empêche efficacement le molybdène de s'oxyder et assure la durée de vie du creuset.

Résistance à haute température : Les creusets en molybdène doivent résister aux contraintes mécaniques à haute température, et le dopage aux oxydes peut augmenter leur résistance.

Conductivité thermique : La conductivité thermique élevée du molybdène assure un champ thermique uniforme et optimise l'effet du traitement thermique.

Application pratique :

Dans l'industrie aéronautique, les creusets en molybdène sont utilisés pour le traitement thermique sous vide des alliages de titane afin d'améliorer leur résistance et leur résistance à la corrosion.

4.3.2 Métallurgie des poudres et frittage

La métallurgie des poudres prépare des matériaux haute performance par pressage et frittage, et les creusets en molybdène sont utilisés dans les processus de frittage à haute température.

Présentation du processus :

La poudre de métal ou de céramique est frittée dans un creuset en molybdène à 1200-1800°C pour former un matériau dense.

Les creusets en molybdène doivent fonctionner sous vide ou dans une atmosphère inerte pour éviter l'oxydation et la contamination.

Exigences du creuset en molybdène :

Stabilité chimique : Les creusets en molybdène doivent éviter de réagir avec les matériaux en poudre pour maintenir la pureté du produit.

Résistance au fluage : Le fonctionnement à long terme à haute température nécessite que le creuset en molybdène ait un faible taux de fluage.

Qualité de surface : La surface polie ($Ra < 0,8 \mu m$) réduit l'adhérence de la poudre et facilite le nettoyage.

Application pratique :

Dans la production de carbure cémenté, des creusets en molybdène sont utilisés pour fritter la poudre de carbure de tungstène afin d'assurer une dureté élevée et une résistance à l'usure des outils de coupe.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

4.3.3 Recuit à haute température

Le recuit à haute température est utilisé pour éliminer les contraintes internes des matériaux et améliorer la structure cristalline, et le creuset en molybdène est utilisé comme récipient de recuit.

Présentation du processus :

La température de recuit est généralement de 1000-1600°C et est effectuée sous vide ou sous atmosphère inerte.

Les creusets en molybdène maintiennent des échantillons de métal, d'alliage ou de céramique et assurent un chauffage et un refroidissement uniformes.

Exigences du creuset en molybdène :

Stabilité thermique : Le creuset en molybdène doit maintenir une forme stable à haute température pour éviter la déformation.

Faible dilatation thermique : Le faible coefficient de dilatation thermique du molybdène ($4,8 \times 10^{-6}$ /K) réduit les contraintes thermiques.

Résistance à la corrosion : Les creusets en molybdène doivent résister à la légère corrosion de certains matériaux recuits (tels que les alliages de nickel).

Application pratique :

Dans la production d'acier inoxydable, les creusets en molybdène sont utilisés pour le recuit à haute température afin d'améliorer la ductilité et la résistance à la corrosion du matériau.

4.4 Recherche scientifique et applications en laboratoire

Les creusets en molybdène sont utilisés dans la recherche scientifique et les laboratoires pour les expériences à haute température, les essais de matériaux et la recherche de pointe. Leur grande pureté et leur stabilité permettent d'obtenir des résultats expérimentaux précis.

4.4.1 Équipement d'essai à haute température

Les creusets en molybdène sont utilisés comme récipients de réaction ou composants chauffants dans les équipements expérimentaux à haute température (tels que les fours tubulaires et les fours à creuset).

Scénarios d'application :

Synthèse des matériaux : Les creusets en molybdène sont utilisés pour la synthèse à haute température de nouveaux alliages, céramiques ou matériaux composites.

Réactions chimiques : Les creusets en molybdène prennent en charge des réactions chimiques à haute température telles que la réduction de l'oxyde ou le dépôt en phase vapeur.

Plage de température : 1000-2000 °C, généralement sous vide ou en atmosphère inerte.

Exigences du creuset en molybdène :

Haute pureté : éviter que les impuretés n'interfèrent avec les résultats expérimentaux.

Exigences de licence : Les creusets de laboratoire en molybdène sont généralement petits (capacité < 500 ml) pour une manipulation facile.

Copyright and Legal Liability Statement

Résistance aux chocs thermiques : permet des expériences rapides d'élévation et de descente de la température.

Application pratique :

matériaux supraconducteurs à haute température (tels que YMCO), les creusets en molybdène sont utilisés pour fritter les céramiques supraconductrices afin d'assurer la stabilité à haute température.

4.4.2 Essai de performance des matériaux

Les creusets en molybdène sont utilisés pour tester les propriétés des matériaux à des températures élevées, telles que le fluage, la fatigue et la résistance à la corrosion.

Scénarios d'application :

Essai de fluage : Une contrainte constante est appliquée à 1700°C et la déformation du matériau est mesurée.

Essais de corrosion : Expose les matériaux à des métaux en fusion ou à des oxydes pour évaluer la résistance à la corrosion.

Essais de fatigue thermique : simule les cycles thermiques et observe la croissance des fissures.

Exigences du creuset en molybdène :

Résistance à haute température : permet des tests à long terme sans défaillance.

Inerte chimiquement : évite la réaction avec les matériaux d'essai.

Qualité de surface : La surface polie réduit les interférences.

Application pratique :

Dans les essais de matériaux aérospatiaux, les creusets en molybdène sont utilisés pour évaluer les propriétés à haute température des alliages à base de nickel.

4.4.3 Recherche sur les matières nucléaires et le plasma

Les creusets en molybdène sont utilisés pour les expériences à haute température et la préparation des matériaux dans la recherche sur les matériaux nucléaires et les plasmas.

Scénarios d'application :

Matières nucléaires : Les creusets en molybdène sont utilisés pour tester la compatibilité des matériaux des réacteurs à sels fondus à haute température.

Recherche sur le plasma : Le creuset en molybdène est utilisé comme récipient pour le générateur de plasma, qui est soumis à des températures élevées et à un fort rayonnement.

Plage de température : 1500-2000°C, durabilité extrêmement élevée requise.

Exigences du creuset en molybdène :

Résistance aux radiations : Les creusets en molybdène doivent résister aux dommages causés par les rayonnements neutroniques ou plasmatiques.

Stabilité à haute température : prend en charge le fonctionnement à long terme à haute température.

Résistance à la corrosion : Résistant à la corrosion par les sels fondus ou le plasma.

Copyright and Legal Liability Statement

Application pratique :

Dans le cadre de la recherche ITER (International Thermonuclear Experimental React), des creusets en molybdène sont utilisés pour tester les performances des matériaux plasma à haute température.

4.5 Applications émergentes

Les creusets en molybdène dans des domaines émergents tels que la fabrication additive, l'aérospatiale et la fusion nucléaire se développent rapidement, reflétant leur potentiel dans les industries de haute technologie.

4.5.1 Fabrication additive

La fabrication additive (impression 3D) est utilisée pour produire des pièces métalliques complexes, et les creusets en molybdène jouent un rôle dans la fusion des poudres à haute température.

Scénarios d'application :

Fusion par laser ou faisceau d'électrons : Le creuset en molybdène est utilisé pour fondre des alliages de titane, des alliages de nickel et d'autres poudres à une température de 1500-1800°C.

Fusion sur lit de poudre : Les creusets en molybdène servent de récipients à poudre pour assurer l'uniformité des températures élevées.

Exigences du creuset en molybdène :

Conductivité thermique : favorise la fusion et la solidification rapides.

Résistance à la corrosion : Résistant à l'érosion par les poudres métalliques.

Miniaturisation : Convient aux petits équipements d'impression 3D.

Application pratique :

Dans la fabrication de pièces d'aviation, les creusets en molybdène sont utilisés pour l'impression 3D de pièces en alliage de titane, ce qui améliore l'efficacité de la production.

4.5.2 Aérospatiale

Les creusets en molybdène sont utilisés dans le domaine aérospatial pour la préparation et les essais de matériaux à haute température.

Scénarios d'application :

Alliages à haute température : Les creusets en molybdène sont utilisés pour fondre des alliages à base de nickel ou de cobalt afin de produire des aubes de turbine.

Matériaux composites : Les creusets en molybdène sont utilisés pour le frittage de composites à matrice céramique (CMC) à une température de 1600-1800°C.

Matériaux de protection thermique : Les creusets en molybdène sont utilisés pour tester les performances des matériaux de protection thermique des engins spatiaux.

Exigences du creuset en molybdène :

Résistance à haute température : prend en charge le fonctionnement à haute température à long terme.

Copyright and Legal Liability Statement

Résistance aux chocs thermiques : Résiste aux cycles thermiques rapides.

Haute pureté : garantit des propriétés constantes du matériau.

Application pratique :

Boeing utilise des creusets en molybdène pour produire des alliages à haute température afin de répondre aux besoins de ses moteurs de nouvelle génération.

4.5.3 Dispositif de fusion nucléaire

Les dispositifs de fusion nucléaire (tels que les tokamaks et la fusion par confinement inertiel) nécessitent des matériaux à haute température, et des creusets en molybdène sont utilisés pour la préparation et les tests des matériaux.

Scénarios d'application :

Matériau revêtu de plasma (PFM) : Le creuset en molybdène est utilisé pour fritter le PFM à base de tungstène ou de molybdène à une température de 1800-2000°C.

Conteneurs de combustible : Les creusets en molybdène sont utilisés pour faire fondre le combustible deutérium-tritium ou d'autres matériaux à haute température.

Essais à haute température : Les creusets en molybdène sont utilisés pour simuler des environnements de fusion et tester les propriétés des matériaux.

Exigences du creuset en molybdène :

Résistance aux radiations : Résistant aux neutrons de haute énergie et aux rayonnements plasmatiques.

Stabilité à haute température : permet un fonctionnement à des températures extrêmement élevées (>2000°C).

Résistance à la corrosion : Résistant à l'érosion par le plasma et les matériaux en fusion.

Application pratique :

Dans le tokamak chinois EAST, des creusets en molybdène sont utilisés pour tester la durabilité des matériaux face au plasma.

Copyright and Legal Liability Statement



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

Chapitre 5 Procédé et technologie de préparation des creusets en molybdène

Le creuset en molybdène est un système technique complexe qui intègre la purification des matières premières, la métallurgie des poudres, l'usinage de précision et le traitement de surface. Son objectif est de produire des creusets de haute pureté, de haute densité, de haute température et résistants à la corrosion pour répondre aux besoins d'applications haut de gamme telles que la croissance du cristal de saphir, la fusion des terres rares et la fabrication de semi-conducteurs. Ce chapitre explore de manière exhaustive et approfondie le processus de préparation des creusets en molybdène, couvrant la sélection et la préparation des matières premières, les processus métallurgiques, le traitement et la finition, les équipements de production et l'automatisation, etc., et fait référence aux pratiques techniques et aux recherches universitaires des principales entreprises mondiales pour fournir des détails techniques détaillés et des paramètres de processus.

5.1 Sélection et préparation des matières premières

Les creusets en molybdène dépendent directement de la qualité des matières premières, en particulier de la pureté, de la distribution granulométrique et de la microstructure de la poudre de molybdène. La sélection et la préparation des matières premières sont la base pour garantir la cohérence et la fiabilité des performances du creuset.

5.1.1 Purification du minerai de molybdène

Le molybdène est principalement extrait de la molybdénite (MoS_2), et le processus de purification implique le dressage du minerai, le grillage, le traitement chimique et le raffinage pour produire des composés de molybdène de haute pureté.

Copyright and Legal Liability Statement

Épandage du minerai :

Déroutement du processus : La molybdénite est séparée du minerai brut par concassage, broyage et flottation. Le minerai brut contient généralement 0,1 à 0,5 % de molybdène, et après flottation, un concentré contenant 50 à 60 % de molybdène est obtenu.

Technologie de flottation :

Collecteurs : Le xanthate (comme le xanthate de butyle, concentration de 0,1 à 0,5 g/L) augmente l'hydrophobicité du sulfure de molybdène.

Agent moussant : L'huile de pin (concentration 0,05-0,2 g/L) génère une mousse stable.

Inhibiteur : Le silicate de sodium (0,5-2 g/L) inhibe les minéraux silicatés et améliore la sélectivité du molybdène.

Taux de récupération : Le processus de flottation de haute qualité peut atteindre 90-95 %, et la teneur en molybdène des résidus est de <0,02 %.

Technologie de pointe : Les rouleaux de broyage à haute pression (HPGR) peuvent améliorer l'efficacité du broyage et réduire la consommation d'énergie de 20 à 30 %. La flottation en plusieurs étapes (comme l'ébauche-nettoyage-le nettoyage) réduit encore les impuretés (telles que Si, Fe, Cu).

Torréfaction:

Déroutement du processus : Le concentré de molybdène est torréfié à 600-700°C dans un four rotatif ou un four à plusieurs foyers, et le MoS₂ est oxydé en trioxyde de molybdène (MoO₃), la réaction est : $2\text{MoS}_2 + 7\text{O}_2 \rightarrow 2\text{MoO}_3 + 4\text{SO}_2$.

Paramètres du processus :

Concentration en oxygène : 20-25 %, pour éviter une oxydation et une volatilisation excessives du molybdène.

Temps de torréfaction : 4-8 heures, assurant une teneur en soufre <0,1 %.

Traitement des gaz résiduels : La désulfuration par voie humide (solution de Ca(OH)₂) est utilisée pour éliminer le SO₂, conformément aux normes d'émission (telles que la Chine GB 28662).

Équipement : Four rotatif (1-3 m de diamètre, 10-20 m de longueur) équipé d'un système de contrôle précis de la température (±10°C) pour améliorer l'efficacité de la torréfaction.

Purification chimique :

Dissolution d'ammoniac : le MoO₃ réagit avec l'ammoniac aqueux (concentration 10-15 %) pour former une solution de molybdate d'ammonium, qui est ensuite filtrée pour éliminer les impuretés insolubles (telles que le SiO₂ et le Fe₂O₃), qui sont ensuite calcinées (500-600°C) pour générer du MoO₃ (pureté >99,9 %).

Raffinage:

Fusion par faisceau d'électrons : faire fondre MoO₃ à un degré de vide <10⁻⁵ Pa et à une

Copyright and Legal Liability Statement

température >3000°C pour éliminer les impuretés volatiles (telles que S et P).

Le molybdène métallique d'une pureté de $\geq 99,95\%$ est obtenu par purification multiple à haute température locale (>2600°C).

Protection de l'environnement et recyclage :

Les déchets liquides sont traités par neutralisation et précipitation pour récupérer le molybdate d'ammonium (taux de récupération >80 %).

Les gaz d'échappement sont évacués après désulfuration et dépoussiérage, et la concentration de SO₂ est de <50 mg/m³, ce qui est conforme à la réglementation REACH de l'UE.

5.1.2 Exigences relatives à la qualité de la poudre de molybdène

La poudre de molybdène est la matière première de base pour la préparation des creusets en molybdène. Sa pureté, sa taille de particules, sa morphologie et sa fluidité affectent directement la densité et les performances du creuset.

Pureté:

Standard : Les creusets en molybdène ordinaires nécessitent une pureté de poudre de molybdène $\geq 99,95\%$, et les applications haut de gamme (telles que la croissance du cristal de saphir) nécessitent $\geq 99,99\%$.

Limites d'impuretés :

de carbure de molybdène (Mo₂C) à haute température .

Oxygène (O) : <0,005 %, pour éviter les défauts de frittage.

Azote (N) : <0,003 %, réduit la fragilisation des joints de grains.

Impuretés métalliques (Fe, Si, Al) : <0,001 %, assurant la pureté à l'état fondu.

Méthode de détection :

Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) : détecte les impuretés métalliques avec une précision de <0,1 ppm.

Analyseur d'oxygène et d'azote : mesure la teneur en O et N avec une précision de <0,001 %.

Analyseur de carbone et de soufre : mesure les teneurs en C et S avec une précision de <0,005 %.

Taille et morphologie des particules :

Gamme de tailles de particules : 1-10 μm , taille moyenne des particules 3-5 μm . La taille fine des particules améliore l'activité de frittage, et la distribution uniforme de la taille des particules (D50 / D90 <2) garantit la consistance des billettes.

Morphologie : Particules presque sphériques ou polyédriques, surface 2-5 m²/g, éviter les particules en forme de bâtonnet ou floconneuses (faible fluidité).

Technologie de production :

Atomisation plasma : produit une poudre de molybdène sphérique d'une fluidité <25 s/ 50g.

Séchage par atomisation : Contrôle de la distribution granulométrique, écart D50 <0,5 μm .

Fluidité et densité apparente :

Densité apparente : 1,0-2,5 g/cm³, de préférence supérieure à 2,0 g/cm³ pour améliorer l'efficacité

Copyright and Legal Liability Statement

du pressage.

Fluidité : Débit Hall <30 s/ 50g, assurant un remplissage uniforme du moule.

Méthodes d'essai : ASTM B213 (essai de fluidité), ASTM B212 (essai de densité apparente).

Processus de production :

Réduction de l'hydrogène : le MoO₃ est réduit en poudre de molybdène dans un flux d'hydrogène (pureté 99,999 %) à 900-1100°C. Le processus est divisé en deux étapes :

Réduction de la température basse (600-800°C) : générer du MoO₂ et contrôler la teneur en oxygène.

Réduction à haute température (900-1100°C) : génère de la poudre de molybdène et affine la taille des particules.

Optimisation des paramètres :

Débit d'hydrogène : 0,5-2 m³/h, pour assurer une réduction adéquate.

Temps de réduction : 6-12 heures, taille des particules contrôlée <5 µm.

5.1.3 Dopage et alliage

Le dopage et l'alliage améliorent la résistance à haute température, la résistance au fluage et la résistance à la corrosion du creuset en molybdène par l'ajout d'oligo-éléments ou de métaux.

Éléments dopants :

Oxyde de cérium (CeO₂): 0,5-2 % en poids, raffine les grains (<30 µm), et augmente la résistance à la traction à 1700°C (>300 MPa).

Oxyde de lanthane (La₂O₃) : 0,5-1 % en poids améliore la ténacité et la résistance aux chocs thermiques, et prolonge la durée de vie.

Oxyde d'yttrium (Y₂O₃): 0,5-1 % en poids améliore la résistance à l'oxydation et la résistance à la corrosion.

Carbure de titane (TiC) : 0,1-0,5 % en poids pour une dureté accrue (>300 HV) et une résistance à l'usure.

Méthode de dopage :

Mélange à sec : La poudre de molybdène et le dopant sont mélangés à l'aide d'un broyeur à boulets à haute énergie (200-400 tr/min, 2-4 heures).

Mélange humide : Des poudres composites homogènes ont été préparées par séchage par atomisation (température d'entrée 200 °C, température de sortie 80 °C).

Alliage:

Alliage Mo-W: contient 10 à 30 % de tungstène (www.tungsten.com.cn), le point de fusion est augmenté à 2800 °C, adapté aux applications à ultra-haute température.

Alliage Mo-Re : contient 5 à 25 % de rhénium, ce qui améliore la ténacité à température ambiante et la résistance à haute température.

Alliage Mo-Zr : contient 0,5 à 2 % de zirconium, améliore la résistance à la corrosion et convient à la fusion des terres rares.

Copyright and Legal Liability Statement

Méthode d'alliage :

Co-réduction: MoO_3 et WO_3 sont co-réduits dans l'hydrogène, et la température de réduction est contrôlée (1000-1200°C).

Alliage mécanique : Le broyage à billes à haute énergie mélange de la poudre de molybdène et des éléments d'alliage, avec un rapport bille/matériau de 10:1, pendant 4 à 8 heures.

Améliorations des performances :

Le creuset en molybdène dopé à 1700°C est réduit à 10^{-6} / s, et la durée de vie est prolongée de 50 %.

Le creuset en alliage Mo-W maintient toujours une résistance à la traction de >200 MPa à 2000°C.

Détection:

La microscopie électronique à balayage (MEB) combinée à la spectroscopie à dispersion d'énergie (EDS) a confirmé l'uniformité de la distribution des éléments de dopage.

La diffraction des rayons X (DRX) est utilisée pour analyser la composition de la phase afin de s'assurer qu'aucune impureté n'est générée.

5.1.4 Analyse des matières premières

Des tests stricts des matières premières garantissent que la qualité de la poudre de molybdène et des dopants répond aux exigences de la fabrication de creusets.

Analyse de la composition chimique :

ICP-MS : Détection d'impuretés métalliques telles que Fe, Si, Al, etc., avec une limite de détection de <0,05 ppm.

Analyseur d'oxygène et d'azote : mesure la teneur en O et N avec une précision de <0,001 %.

Analyseur de carbone et de soufre : mesure les teneurs en C et S avec une précision de <0,005 %.

Test de performance physique :

Analyseur de taille de particules laser: mesure de la distribution granulométrique, D10 , D50 , D90 écart <0,5 μm .

Débitmètre à effet Hall : Fluidité du test, précision $\pm 0,5$ s.

Densimètre apparent : mesure la masse volumique apparente avec une précision de $\pm 0,01$ g/cm^3 .

Microstructure observation:

MEB : Analysez la morphologie de la poudre de molybdène, grossissement 1000-5000 fois.

Microscopie électronique à transmission (MET) : Observez la structure des particules à l'échelle nanométrique et confirmez l'absence de défauts cristallins.

ARD : Détectez la structure cristalline et confirmez que la poudre de molybdène est une structure cubique centrée sur le corps (BCC).

Normes et spécifications :

Il est conforme aux normes ASTM B386 (norme sur le molybdène et les alliages de molybdène) et GB / T 3462 (norme chinoise sur les matériaux en molybdène).

Copyright and Legal Liability Statement

Des laboratoires certifiés ISO 17025 garantissent la fiabilité des tests.

5.2 Procédé métallurgique

Le processus métallurgique convertit la poudre de molybdène en billettes à haute densité pour former la structure initiale du creuset en molybdène, couvrant des technologies telles que le pressage et le frittage, le forgeage et le laminage, le filage et l'étirement.

5.2.1 Pressage et frittage

Ébauches de creusets en molybdène par moulage en poudre et densification à haute température.

5.2.1.1 Pressage isostatique

Présentation du processus :

Le pressage isostatique à froid (CIP) utilise un liquide à haute pression (huile ou eau) pour appliquer une pression isotrope à la poudre de molybdène afin de préparer des billettes à haute densité.

Pression : 100-300 MPa, de préférence 200 MPa.

Temps de maintien : 5 à 10 minutes, selon la taille de l'ébauche.

Densité du corps vert : 6,0-7,0 g/cm³ (60-70 % de densité théorique), offrant une structure uniforme pour le frittage.

équipement:

Presse isostatique : plage de pression 50-400 MPa, équipée d'une pompe haute pression (puissance 50-200 kW).

Moule : Moule flexible (comme le caoutchouc ou le polyuréthane), résistance à la pression >300 MPa, forme selon la conception du creuset (cylindrique ou conique).

La conception du moule prend en compte le retrait de frittage (15-20 %) pour assurer la précision dimensionnelle finale ($\pm 0,5$ mm).

Optimisation des processus :

Prétraitement de la poudre de molybdène : dégazage sous vide (200-300°C, degré de vide $< 10^{-2}$ Pa) pour éliminer le gaz adsorbé et réduire la teneur en oxygène $< 0,005$ %.

Liant : L'ajout d'alcool polyvinylique (PVA, 0,5-1 % en poids) ou de polyéthylène glycol (PEG, 0,3-0,8 % en poids) peut améliorer la résistance de l'ébauche et doit se volatiliser avant le frittage (400-600°C).

Remplissage du moule : Le remplissage par vibration (fréquence 50-100 Hz) assure une distribution uniforme de la poudre de molybdène avec un écart de densité de < 2 %.

Cas : Le processus de pressage isostatique de China Tungsten Online améliore l'uniformité de la densité de la billette de 15 % grâce à un remplissage par vibration bidirectionnel.

Contrôle qualité:

Contrôle par ultrasons : Confirmez que l'ébauche n'a pas de fissures internes ou de délaminage.

Mesure de la masse volumique : La méthode de flottabilité est utilisée pour tester la masse volumique du blank, avec une précision de $\pm 0,01$ g/cm³.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

5.2.1.2 Four de frittage et atmosphère

Procédé de frittage :

Température : 1800-2200°C, chauffage pas à pas :

Basse température (<1200°C) : éliminer l'humidité, le liant et le gaz, vitesse de chauffage 5-10°C/min.

Température moyenne (1200-1600°C) : activation de surface des particules, formation du cou, vitesse de chauffage 3-5°C/min.

Haute température (1600-2200°C) : croissance des grains, densification et conservation de la chaleur pendant 4 à 8 heures.

Densité finale : 9,8-10,2 g/cm³ (>95 % de densité théorique), porosité <1 %.

Taux de retrait : 15-20 %, l'écart dimensionnel ($\pm 0,2$ mm) doit être contrôlé par la conception du moule et l'optimisation du processus.

Atmosphère de frittage :

Frittage sous vide :

Degré de vide : <10⁻³ Pa, de préférence <10⁻⁴ Pa.

Avantages : Prévenir l'oxydation, réduire la contamination par les impuretés, adapté aux creusets de haute pureté.

Équipement : Équipé d'un condenseur pour collecter les impuretés volatiles (telles que S, P).

Frittage d'hydrogène :

Pureté de l'hydrogène : 99,999 %, débit 0,5-2 m³/h.

Avantages : Réduit les oxydes à l'état de traces, la teneur en oxygène tombe à <0,003 %.

Remarque : La teneur en carbone dans le four doit être contrôlée à <0,01 % pour éviter la carbonatation.

Surveillance de l'atmosphère : Utilisez un spectromètre de masse pour détecter les teneurs en O₂, N₂ et CO en temps réel afin de garantir < 10 ppm.

Équipement:

Four de frittage sous vide :

Élément chauffant : fil de molybdène ou de tungstène, puissance 100-500 kW.

Four : doublé de molybdène ou de tungstène, taille 0,5-2 m de diamètre.

Précision du contrôle de la température : $\pm 5^\circ\text{C}$, équipé d'un thermomètre infrarouge.

Four de frittage d'hydrogène :

Équipé d'un système de purification des gaz (tamis moléculaire + catalyseur au palladium), point de rosée de l'hydrogène <-70°C.

Système de sécurité : soupape antidéflagrante et détecteur de fuite d'hydrogène.

Contrôle qualité:

Test de densité : La méthode d'Archimède est utilisée pour mesurer la masse volumique des

Copyright and Legal Liability Statement

ébauches frittées avec une précision de $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Analyse de la microstructure : observation MEB de la taille des grains (20-50 μm) et de la distribution des pores.

Essais non destructifs : Les rayons X confirment qu'il n'y a pas de fissures ou d'inclusions internes.

5.2.2 Forgeage et laminage

Le forgeage et le laminage éliminent les pores, affinent les grains et améliorent la densité des billettes et les propriétés mécaniques grâce à la déformation plastique à haute température.

5.2.2.1 Forgeage à chaud et forgeage à froid

Forgeage à chaud :

Température : 1200-1600°C, de préférence 1400°C, réalisée en atmosphère hydrogène (99,999 %) ou argon.

Processus:

Équipement : forgeuse hydraulique (pression 1000-5000 tonnes) ou forgeuse à percussion (fréquence 50-100 fois/min).

Déformation : 10-20 % par passe, déformation totale 30-50 %.

Moule : Molybdène ou alliage haute température, surface recouverte de lubrifiant MoS_2 (www.tungsten-disulfide.com).

Avantages:

Augmentation de la densité à $>99,5 \%$ de la densité théorique.

La granulométrie est affinée à $<50 \mu\text{m}$ et la résistance à la traction est de $>800 \text{ MPa}$.

Texture induisante (telle que l'orientation $\langle 110 \rangle$) pour améliorer la résistance aux chocs thermiques.

Note:

Contrôlez la vitesse de forgeage ($<0,1 \text{ m/s}$) pour éviter les fissures.

Cantonner

Forgeage à froid :

Température : Température ambiante ou $<400^\circ\text{C}$, utilisée pour le forgeage de précision de petits creusets ou de pièces à paroi mince.

Processus:

Équipement : Machine à forger de haute précision (pression 500-2000 tonnes).

Déformation : $<10 \%$, $<2 \%$ par passage.

Limits : Le molybdène est cassant à température ambiante et nécessite une vitesse de déformation contrôlée ($<0,01 \text{ s}^{-1}$) pour éviter les fissures.

Application : Production de petits creusets avec une épaisseur de paroi $<2 \text{ mm}$ et une rugosité de surface $\text{Ra} < 0,8 \mu\text{m}$.

Contrôle qualité:

Contrôle par ultrasons : Confirmez qu'il n'y a pas de fissures internes ou de délaminage.

Test de dureté : dureté Vickers (HV) 200-300, confirmant l'effet de renforcement du traitement.

Copyright and Legal Liability Statement

5.2.2.2 Processus de laminage

Présentation du processus :

Le laminage transforme les billettes frittées ou forgées en plaques ou en feuilles de molybdène pour le soudage ou le filage de creusets.

Équipement : Broyeur à quatre rouleaux ou multi-rouleaux, le matériau de surface du rouleau est en alliage de céramique ou de tungstène, résistance à l'usure > 1000 heures.

Laminé à chaud :

Température : 1000-1400°C, de préférence 1200°C, en environnement hydrogène ou sous vide.

Paramètres du processus :

Déformation par passe : 10-20 %, déformation totale >80 %.

Vitesse de roulement : 0,5-1 m/s, pression de surface du rouleau 100-500 MPa.

Lubrifiant : Revêtement graphite ou MoS₂, coefficient de frottement <0,1.

Avantages:

La densité est proche de la valeur théorique (>99,8 %).

Formage <110> texture, résistance à la traction >900 MPa.

Note:

Recuit intermédiaire (800-1000°C, 1-2 heures) pour soulager le stress.

Contrôlez la température de surface du rouleau (<200°C) pour éviter l'adhérence.

Laminage à froid :

Température : Température ambiante ou <200°C, utilisée pour produire des feuilles minces de molybdène (épaisseur 0,1-1 mm).

Paramètres du processus :

Déformation par passe : 5-10 %, déformation totale <50 %.

Vitesse de roulement : 1-2 m/s, rugosité de surface Ra <0,8 µm.

Note:

Un recuit multiple (600-800°C, 30 minutes) est nécessaire pour éliminer l'écrouissage.

Le nettoyage des surfaces élimine les résidus de lubrifiant.

Contrôle qualité:

Inspection de surface : Rugosité mesurée au microscope laser, Ra <0,5 µm.

Mesure de l'épaisseur : mesureur d'épaisseur à ultrasons, précision ±0,01 mm.

Analyse de texture: La diffraction par rétrodiffusion des électrons (EBSD) confirme l'orientation du grain.

5.2.3 Filature et étirement

Le formage par filage et étirement est utilisé pour préparer des creusets en molybdène à parois minces ou de forme complexe par déformation plastique, qui conviennent à la production en série de creusets de petite et moyenne taille.

Copyright and Legal Liability Statement

5.2.3.1 Spinning Die

Présentation du processus :

La filature se fait en faisant tourner une plaque de molybdène et en appliquant une pression locale pour former le creuset à une température de 800-1200°C.

Équipement : machine à filer CNC, puissance 50-200 kW, vitesse de rotation 100-600 tr/min.

Moule:

Matériau : alliage haute température (tel que l'Inconel) ou céramique (SiC), durée de vie >1000 fois.

Conception : Rayon d'angle > 2 mm pour éviter la concentration des contraintes ; épaisseur de paroi 1-5 mm, tolérance dimensionnelle $\pm 0,1$ mm.

Traitement de surface: Revêtement avec MoS₂ ou ZrO₂ pour réduire les frottements.

Paramètres du processus :

Vitesse d'avance : 0,5-2 mm/s, de préférence 1 mm/s.

Pression : 10-50 kN, ajustée en fonction de l'épaisseur de la paroi.

Lubrifiant : Suspension graphite ou revêtement MoS₂, coefficient de frottement < 0,1.

Méthode de chauffage : chauffage par induction ou chauffage à la flamme, précision du contrôle de la température $\pm 10^\circ\text{C}$.

Avantages:

Uniformité de l'épaisseur de la paroi $\pm 0,1$ mm, rugosité de surface Ra < 0,8 μm .

Efficacité de production élevée, temps de moulage d'une seule pièce < 10 minutes.

Contrôle qualité:

Télémètre laser : suivi en temps réel de l'épaisseur de la paroi, précision $\pm 0,05$ mm.

Inspection de surface : Le microscope optique confirme qu'il n'y a pas de rayures ou de fissures.

5.2.3.2 Température d'étirement et lubrification

Processus d'étirement :

La plaque de molybdène est étirée en forme de creuset à travers une matrice à une température de 600-1000°C, de préférence 800°C.

Équipement : Machine d'étirement hydraulique, pression 100-500 tonnes.

Paramètres du processus :

Taux de traction : 0,1-0,5 mm/s, déformation < 30 %.

Rayon d'angle du moule : > 3 mm, pour réduire la concentration des contraintes.

Moule : alliage haute température ou céramique, poli en surface à Ra < 0,5 μm .

Lubrification:

Lubrifiant: suspension de graphite (concentration 5-10 %) ou poudre MoS₂, épaisseur du revêtement 10-50 μm .

Méthode d'application : spray ou pinceau, coefficient de frottement < 0,1.

Nettoyage : Après l'étirement, utilisez un nettoyage par ultrasons (40 kHz) pour éliminer les lubrifiants et éviter la contamination.

Copyright and Legal Liability Statement

Contrôle qualité:

Mesure de l'épaisseur de la paroi : mesureur d'épaisseur à ultrasons, précision $\pm 0,01$ mm.

Inspection de surface : le MEB analyse les défauts de surface et confirme qu'il n'y a pas de microfissures.

5.3 Traitement et finition

Les processus d'usinage et de finition garantissent la précision dimensionnelle, la qualité de surface et les performances à haute température des creusets en molybdène, y compris le tournage, le fraisage, le soudage, le traitement de surface et le traitement thermique.

5.3.1 Tournage et fraisage

Le tournage et le fraisage sont utilisés pour traiter les surfaces intérieures et extérieures des creusets en molybdène afin de répondre à des exigences de haute précision et de qualité de surface élevées.

5.3.1.1 Usinage CNC

Présentation du processus :

Tour CNC : pour l'usinage de surfaces cylindriques intérieures et extérieures, adapté aux creusets d'un diamètre de 50 à 500 mm.

Fraiseuses CNC : pour l'usinage de géométries complexes telles que des fonds de creusets ou des brides.

Couteau:

Carbure cémenté (WC-Co) : dureté >90 HRA, adapté à l'usinage grossier.

Outils diamantés : dureté >5000 HV, adaptés à la finition.

Données de coupe :

Usinage grossier : vitesse de coupe 20-30 m/min, vitesse d'avance 0,1-0,2 mm/r, profondeur de coupe 0,5-2 mm.

Finition : vitesse de coupe 40-50 m/min, vitesse d'avance 0,05-0,1 mm/r, profondeur de coupe 0,1-0,5 mm.

Refroidissement et lubrification :

Coupe à sec : éviter la contamination liquide, convient aux creusets de haute pureté.

Lubrification minimale (MQL) : Utilisez de l'air comprimé + du brouillard d'huile trace ($<0,1$ mL/min) pour réduire l'usure de l'outil.

Durée de vie de l'outil : Outils en carbure >100 minutes, outils diamantés >500 minutes.

Équipement:

Tour CNC à cinq axes : précision d'usinage $\pm 0,005$ mm, équipé d'un système de réglage d'outil laser.

Centre d'usinage : fonctions de tournage et de fraisage intégrées, adaptées aux creusets aux formes complexes.

Contrôle qualité:

Machine à mesurer tridimensionnelle (CMM) : mesure les tolérances dimensionnelles avec une

Copyright and Legal Liability Statement

précision de $\pm 0,002$ mm.

Scanner laser : Vérifiez la circularité et la coaxialité, l'écart $< 0,01$ mm.

5.3.1.2 Précision et rugosité

Exigences de précision :

Tolérance de diamètre : grand creuset $\pm 0,05$ mm, petit creuset $\pm 0,01$ mm.

Uniformité de l'épaisseur de la paroi : $\pm 0,1$ mm, assurant un champ thermique uniforme.

Circularité : $< 0,02$ mm, pour éviter la concentration des contraintes thermiques.

Coaxialité : $< 0,01$ mm, répondant aux exigences de croissance cristalline.

Rugosité:

Surface intérieure : $Ra < 0,8$ μm , réduisant l'adhérence à l'état fondu.

Surface externe : $Ra < 1,6$ μm , réduisant le risque de fissures.

Méthode de détection :

Rugosimètre de surface : précision $\pm 0,01$ μm .

Microscope laser : analyse morphologique 3D, grossissement 1000 fois.

5.3.2 Technologie de soudage

Le soudage est utilisé pour préparer des creusets en molybdène de grande taille ou de forme complexe, et la résistance de la soudure, l'étanchéité et les performances à haute température doivent être assurées.

5.3.2.1 Soudage par faisceau d'électrons

Présentation du processus :

Le soudage par faisceau d'électrons (EBW) est effectué dans une chambre à vide avec un degré de vide de $< 10^{-4}$ Pa, à l'aide d'un faisceau d'électrons de haute énergie (énergie 10^{-15} J) pour faire fondre la feuille de molybdène.

Paramètres de soudage :

Tension : 60-100 kV, de préférence 80 kV.

Courant : 50-200 mA, ajusté en fonction de l'épaisseur de la carte.

Vitesse de soudage : 0,5-2 m/min, de préférence 1 m/min.

Profondeur du cordon de soudure : 5-10 mm, adapté aux creusets d'une épaisseur de paroi de 3 à 8 mm.

Avantages:

La soudure est pure, exempte de contamination par l'oxygène et la teneur en oxygène est de $< 0,002$ %.

La zone affectée par la chaleur (ZAT) est de $< 0,5$ mm et la croissance des grains est de < 10 μm .

La résistance de la soudure atteint 90-95 % du matériau de base.

Optimisation des processus :

Prétraitement de surface : décapage (solution HNO_3 à 10 %) + nettoyage par ultrasons (40 kHz)

Copyright and Legal Liability Statement

pour éliminer les oxydes, rugosité de surface $Ra < 0,5 \mu\text{m}$.

Précision de positionnement : système d'alignement laser, déviation $< 0,05 \text{ mm}$.

Post-traitement : polissage de la soudure ($Ra < 0,8 \mu\text{m}$) pour éliminer la concentration des contraintes.

Contrôle qualité:

Détection des défauts par rayons X : détection des pores et des fissures, avec une taille de défaut inférieure à $0,1 \text{ mm}$.

Essai de traction : résistance à la traction de la soudure $> 600 \text{ MPa}$.

Détection de fuite par spectromètre de masse à l'hélium : confirmer l'étanchéité, le taux de fuite est de $< 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$.

5.3.2.2 Soudage et brasage au laser

Soudage au laser :

Équipement : Laser à fibre (puissance 2-5 kW) ou laser Nd :YAG (énergie d'impulsion 0,1-1 J).

Paramètres du processus :

Largeur d'impulsion : 0,5-2 ms, fréquence 10-50 Hz.

Vitesse de soudage : 1-3 m/min, largeur de soudure 0,5-2 mm.

Gaz de protection : argon (99,999 %), débit 10-20 L/min.

Avantages:

Haute précision, adapté aux creusets d'une épaisseur de paroi $< 2 \text{ mm}$.

Zone affectée par la chaleur $< 0,3 \text{ mm}$, réduisant la croissance des grains.

Note:

La surface est nettoyée à $Ra < 0,5 \mu\text{m}$ pour éliminer l'huile, la saleté et les oxydes.

Le contrôle de la focalisation laser (déviation $< 0,1 \text{ mm}$) garantit une soudure uniforme.

Brasage:

Soudure : Soudure à base d'argent (Ag-Cu, point de fusion $780-850^\circ\text{C}$) ou soudure à base de molybdène (Mo-Ni, point de fusion 1200°C).

Paramètres du processus :

Température de brasage : $800-1200^\circ\text{C}$, temps de maintien 5-10 minutes.

Atmosphère : vide ($< 10^{-3} \text{ Pa}$) ou hydrogène (99,999 %).

Avantages : Convient aux creusets aux formes complexes, résistance des joints $> 400 \text{ MPa}$.

Remarque : La soudure doit être appliquée uniformément (épaisseur 0,1-0,3 mm) pour éviter une pénétration excessive.

Contrôle qualité:

Contrôle par ultrasons : Confirmez que la soudure n'a pas de porosité ou d'absence de fusion.

Test de microdureté : Dureté de la soudure 200-250 HV.

Analyse MEB : Observez la microstructure de la soudure, la taille des grains $< 20 \mu\text{m}$.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

5.3.3 Traitement de surface

Le traitement de surface améliore la résistance à l'oxydation, la résistance à la corrosion et la qualité de surface des creusets en molybdène et prolonge leur durée de vie.

5.3.3.1 Nettoyage et polissage

Nettoyage:

Nettoyage par ultrasons :

Fréquence : 40-80 kHz, puissance 1-5 kW.

Solution de nettoyage : eau déminéralisée + détergent neutre (pH 6-8), température 50-70°C.

Durée : 10-20 minutes, selon le degré de pollution.

Saumurage:

Solution : 10 % HNO₃ ou 5 % HCl, tremper pendant 5 à 10 minutes.

Post-traitement : rinçage à l'eau déminéralisée + séchage sous vide (100°C, 10^{-2} Pa).

Contrôle qualité:

Analyse de surface : La spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS) a confirmé l'absence d'oxydes résiduels.

Test de propreté : Compteur de particules, particules <math><100</math> particules/cm² (>0,5 μm).

Polissage:

Polissage mécanique :

Abratif : Alumine (taille des particules 0,5-5 μm) ou suspension diamantée (taille des particules 0,1-1 μm).

Équipement : Machine à polir automatique, vitesse 500-1000 tr/min, pression 10-50 kPa.

Rugosité de surface : Ra <math><0,5</math> μm, de préférence <math><0,3</math> μm.

Polissage électrochimique :

Électrolyte : acide phosphorique (50 %) + acide sulfurique (30 %) + eau, température 40-60°C.

Densité de courant : 0,5-2 A/cm², durée 5-15 minutes.

Avantages : Éliminer les défauts microscopiques et améliorer la résistance à la corrosion.

Contrôle qualité:

Rugosimètre de surface : mesure Ra, précision ±0,01 μm.

Microscope laser : Analysez la morphologie de la surface et confirmez qu'il n'y a pas de rayures.

5.3.3.2 Revêtement anti-oxydation

Type de revêtement :

Siliciure de molybdène (MoSi₂) :

Épaisseur : 50-200 μm, force d'adhérence >50 MPa.

Une couche protectrice SiO₂ se forme à 1700°C et la durée de vie anti-oxydation est de >1000 heures.

Zircone (ZrO₂) :

Copyright and Legal Liability Statement

Épaisseur : 100-300 μm , réflectivité thermique $>80\%$.

Améliore la résistance à l'oxydation et l'efficacité thermique, adapté à la croissance des cristaux.

Alumine (Al_2O_3) :

Épaisseur : 50-150 μm , excellente résistance à la corrosion, adapté à la fusion des terres rares.

Procédé de revêtement :

Dépôt chimique en phase vapeur (CVD) :

Température: 1000-1200°C, atmosphère : $\text{SiCl}_4 + \text{H}_2$.

Taux de dépôt : 0,5-2 $\mu\text{m/h}$, uniformité du revêtement $\pm 5\%$.

Pulvérisation plasma :

Puissance : 30-100 kW, vitesse de pulvérisation 100-400 m/s.

Gaz: $\text{Ar} + \text{H}_2$, débit 50-100 L/min.

Porosité du revêtement : $<2\%$, force d'adhérence $>60\text{ MPa}$.

Dépôt physique en phase vapeur (PVD) :

Température: 400-600 °C, degré de vide $<10^{-3}\text{ Pa}$.

Taux de dépôt : 0,1-0,5 $\mu\text{m/min}$, adapté aux revêtements minces ($<50\text{ }\mu\text{m}$).

Contrôle qualité:

Épaisseur du revêtement : mesureur d'épaisseur à ultrasons, précision $\pm 1\text{ }\mu\text{m}$.

Force d'adhérence : essai de traction, conformément à la norme ASTM C633.

Microstructure : analyse SEM+EDS de la composition et de l'interface du revêtement.

5.3.4 Traitement thermique et recuit

Le traitement thermique et le recuit sont utilisés pour contrôler la structure des grains, soulager les contraintes de traitement et améliorer les propriétés à haute température.

5.3.4.1 Contrôle des grains

Présentation du processus :

Température : 1200-1600°C, de préférence 1400°C.

Temps d'isolation : 1 à 4 heures, selon la taille du creuset.

Atmosphère : Hydrogène (99,999 %) ou vide ($<10^{-3}\text{ Pa}$).

Cible : Granulométrie 20-50 μm , résistance et résistance au fluage optimisées.

Optimisation des processus :

Vitesse de chauffage : 5-10 °C / min, éviter le stress thermique.

Vitesse de refroidissement : $>50\text{ }^\circ\text{C/min}$, inhibant la croissance des grains.

Dopage : joints de grains des broches CeO_2 ou La_2O_3 , écart granulométrique $<10\text{ }\mu\text{m}$.

Contrôle qualité:

Microscope optique : mesure de la taille des grains avec une précision de $\pm 1\text{ }\mu\text{m}$.

Copyright and Legal Liability Statement

LITIÈRES : Analysez l'orientation du grain et confirmez que le rapport de texture <110> est de >60 %.

5.3.4.2 Soulagement du stress

Présentation du processus :

Température : 800-1000°C, de préférence 900°C.

Temps d'isolation : 2 à 6 heures, selon l'épaisseur de la paroi.

Atmosphère : vide ($<10^{-3}$ Pa) ou argon (99,999 %).

Objectif : Contrainte résiduelle <50 MPa, réduire le risque de fissure.

Optimisation des processus :

Refroidissement lent ($<5^{\circ}\text{C}/\text{min}$) à 500°C pour éviter les contraintes secondaires.

Recuit multi-étapes : 800°C (2 heures) + 600°C (1 heure) pour optimiser la répartition des contraintes.

Contrôle qualité:

Analyseur de contraintes à rayons X : mesure les contraintes résiduelles avec une précision de ± 5 MPa.

Contrôle par ultrasons : Confirmez qu'il n'y a pas de fissures internes et que la taille du défaut est de <0,1 mm.

5.4 Équipement de production et automatisation

Les équipements de production avancés et la technologie d'automatisation améliorent l'efficacité de fabrication, la cohérence de la qualité et la sécurité de la production des creusets en molybdène.

5.4.1 Équipement clé

5.4.1.1 Four de frittage sous vide

Spécification:

Température maximale : 2300°C, précision du contrôle de la température $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Degré de vide : $<10^{-4}$ Pa, équipé d'une pompe moléculaire et d'une pompe mécanique.

Puissance : 100-500 kW, taille du four 0,5-2 m de diamètre.

Élément chauffant : fil de molybdène ou de tungstène, durée de vie >5000 heures.

Fonction:

Contrôle de température en plusieurs étapes : prend en charge le frittage à basse température ($<1200^{\circ}\text{C}$), à température moyenne (1200-1600°C) et à haute température (1600-2200°C).

Contrôle de l'atmosphère : spectromètre de masse intégré, teneur en O_2 <10 ppm.

Enregistrement des données : surveillance en temps réel de la température, de la pression et du débit de gaz.

Système de sécurité :

Protection contre la surchauffe : mise hors tension automatique, seuil 2350°C.

Détection de fuite de vide : seuil d'alarme $>10^{-3}$ Pa.

Copyright and Legal Liability Statement

5.4.1.2 Machines à filer et tours

Machine à filer :

Puissance : 50-200 kW, vitesse de rotation 100-600 tr/min.

Système de contrôle : CNC, précision d'usinage $\pm 0,05$ mm.

Moule : alliage haute température ou céramique, durée de vie résistante à l'usure > 1000 fois.

Fonction : Prend en charge le moulage de creusets à paroi mince (épaisseur de paroi 1-5 mm) et le temps de moulage est de <10 minutes.

Tour CNC :

Type : attelage à cinq axes, diamètre d'usinage 0,1-1 m.

Outil : Revêtement diamanté, vitesse de coupe 30-60 m/min.

Précision : tolérance dimensionnelle $\pm 0,005$ mm, circularité <0,01 mm.

Fonction : Prend en charge la finition de surface interne et externe, rugosité de surface $Ra < 0,5$ μm .

5.4.1.3 Équipement de traitement de surface

Machine de nettoyage à ultrasons :

Fréquence : 40-80 kHz, puissance 1-5 kW.

Réservoir de nettoyage : conception multi-réservoirs (nettoyage, rinçage, séchage), capacité 50-200 L.

Fonction : Éliminer les oxydes, l'huile et les particules, propreté <100 particules/cm².

Équipement de pulvérisation plasma :

Puissance : 30-100 kW, vitesse de pulvérisation 100-400 m/s.

Gaz: Ar+H₂, débit 50-100 L/min.

Bras du robot: liaison à six axes, uniformité de l'épaisseur du revêtement ± 5 μm .

Fonction : Produire des revêtements MoSi₂ et ZrO₂ avec une force de liaison de >60 MPa.

Équipement de polissage électrochimique :

Électrolyte : acide phosphorique + acide sulfurique, densité de courant 0,5-2 A/cm².

Fonction : Améliorer la finition de surface ($Ra < 0,3$ μm) et la résistance à la corrosion.

5.4.2 Automatisation et intelligence

Technique d'automatisation :

Système robotique :

Robot de chargement et de déchargement : utilisé pour le remplissage de poudre de molybdène, la manutention de flans et l'emballage de produits finis, avec une charge de 50 à 200 kg.

Robot de soudage : équipé d'un système de reconnaissance visuelle, précision de soudage $\pm 0,05$ mm.

Système CNC :

Le logiciel CAD/CAM intégré optimise les trajectoires d'usinage et réduit le temps d'usinage de 10 à 15 %.

Prise en charge de la programmation en code G et compatible avec les creusets de formes complexes.

Surveillance en ligne :

Copyright and Legal Liability Statement

Thermomètre infrarouge : surveillance de la température de frittage, précision $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Capteur de pression : détecte la pression de pression isostatique avec une précision de $\pm 0,1$ MPa.

Scanner laser : mesure en temps réel des dimensions du creuset avec une précision de $\pm 0,01$ mm.

Intelligent:

Industrie 4.0 :

Internet des objets (IoT) : les appareils sont connectés et téléchargent les données de température, de pression et de production en temps réel.

Analyse du Big Data : optimisez les paramètres du processus et réduisez le taux de rebut à $< 1,5$ %.

Intelligence artificielle (IA) :

Maintenance prédictive : prédiiez les pannes d'équipement en fonction des données de vibration et de température, ce qui réduit les temps d'arrêt de 20 %.

Optimisation du processus : Le modèle d'IA a ajusté la température et la pression de frittage, augmentant la densité de 0,5 %.

Jumeau numérique :

Modélisez virtuellement le processus de production du creuset et simulez le frittage, le forgeage et l'usinage.

Optimisez la conception des moules et obtenez une précision de prédiction de retrait de $\pm 0,1$ %.

5.4.3 Exigences relatives aux salles blanches

La salle blanche garantit que le processus de fabrication du creuset en molybdène est exempt de pollution et répond aux besoins des applications de haute pureté.

Niveau de propreté :

ISO 5 (classe 100) : Concentration des particules < 100 particules/m³ (taille des particules $\geq 0,5$ μm).

ISO 7 (10 000) : Pour les procédés non critiques, concentration de particules $< 10\ 000$ particules/m³.

Contrôle de l'environnement :

Température : $20-25^{\circ}\text{C}$, fluctuation $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Humidité : $40-60$ %, fluctuation ± 5 %.

Pression positive : > 10 Pa, pour empêcher les particules extérieures de pénétrer.

Equipement et mesures :

Filtre à haute efficacité (HEPA) : efficacité de filtration $> 99,97$ %, cycle de remplacement 6 à 12 mois.

Douche d'air : Vitesse du vent d'entrée > 20 m/s, élimine les particules à la surface des personnes.

Sol sans poussière : Revêtement en résine époxy, résistance de surface $10^6 - 10^9 \Omega$.

Protection du personnel :

Portez des vêtements de salle blanche (polyester), un masque, des gants et des couvre-chaussures.

Formation : Spécifications de fonctionnement des salles blanches ISO 14644.

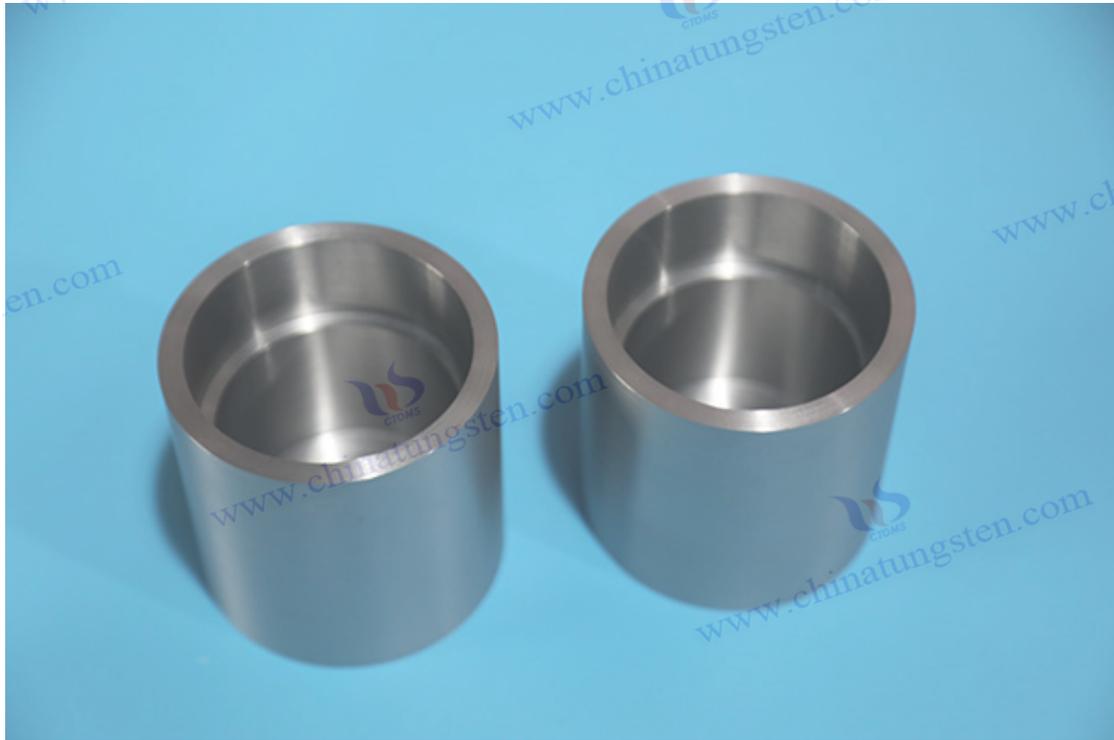
Copyright and Legal Liability Statement

Méthode de détection :

Compteur de particules : suivi en temps réel des particules, précision ± 10 particules/m³.

Échantillonnage microbiologique : tests hebdomadaires, comptage des colonies < 1 UFC/m³.

Propreté de surface : Test de particules de contact, particules < 50 particules/cm².



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

Chapitre 6 Contrôle de la qualité et inspection du creuset en molybdène

Les creusets en molybdène sont des maillons clés pour garantir leurs performances stables et leur fiabilité dans des environnements à haute température et à haute corrosion (tels que la croissance du cristal de saphir, la fusion des terres rares et la fabrication de semi-conducteurs). Les creusets en molybdène doivent répondre aux exigences d'une grande pureté, d'une haute densité, d'excellentes propriétés mécaniques et d'une résistance à la corrosion. Tout défaut mineur peut entraîner des défaillances majeures. Ce chapitre traite en détail de la technologie de contrôle de la qualité et d'inspection des creusets en molybdène, couvrant l'inspection en ligne, les tests de performance et l'analyse des défaillances, et fournit des détails techniques et une méthodologie complets en référence aux pratiques des principales entreprises mondiales, aux normes de l'industrie et à la recherche universitaire.

6.1 Détection en ligne

L'inspection en ligne surveille la qualité du produit en temps réel pendant le processus de fabrication du creuset en molybdène pour garantir la précision dimensionnelle, la qualité de surface et la conformité microstructurale. Ces technologies minimisent les interruptions de production et améliorent l'efficacité grâce à des méthodes d'inspection sans contact ou rapides.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

6.1.1 Dimensions et précision

Le creuset en molybdène affecte directement l'uniformité de son champ thermique et sa stabilité mécanique dans un environnement à haute température. La détection dimensionnelle en ligne garantit que la géométrie, l'épaisseur de la paroi et la circularité du creuset répondent aux exigences de conception.

Méthode de détection :

Télémétrie laser et balayage :

Utilisez un télémètre laser de haute précision ou un scanner laser 3D pour mesurer le diamètre extérieur, le diamètre intérieur, l'épaisseur de la paroi et la hauteur du creuset en temps réel.

Le système de balayage laser génère un modèle 3D du creuset à partir des données du nuage de points et détecte la circularité, la coaxialité et la planéité de la surface.

Avantages : sans contact, mesure rapide, adapté aux grands creusets (diamètre > 300 mm).

Mesure d'épaisseur par ultrasons :

Les mesureurs d'épaisseur à ultrasons mesurent l'épaisseur de paroi du creuset en émettant des ondes sonores à haute fréquence (5-10 MHz) et sont particulièrement adaptés aux creusets à paroi mince (<5 mm).

L'intégration en ligne dans les tours CNC ou les machines à filer fournit un retour d'information en temps réel sur les données d'épaisseur de paroi et guide les ajustements d'usinage.

Avantages : Haute précision, adapté aux géométries complexes.

Machine à mesurer tridimensionnelle (CMM) :

La MMT en ligne mesure les dimensions critiques du creuset (telles que le diamètre de la bride, le rayon inférieur) à l'aide d'une sonde de contact.

Équipé d'un système de changement d'outil automatique, prend en charge la mesure multipoint, adapté à la production de masse.

Avantages : Haute répétabilité, adapté aux creusets de haute précision (tolérance < 0,01 mm).

Paramètres de détection :

Tolérance de diamètre : Les grands creusets nécessitent des tolérances au micron ; Les petits creusets nécessitent des tolérances inférieures au micron.

Uniformité de l'épaisseur de la paroi : les écarts doivent être contrôlés dans une très petite plage pour assurer un champ thermique uniforme.

Circularité et coaxialité : L'écart de circularité doit être extrêmement faible et la coaxialité doit répondre aux exigences strictes de l'équipement de croissance cristalline.

Hauteur et planéité : La tolérance de hauteur est au niveau du micron et la planéité du fond doit éviter la concentration de stress thermique.

Intégration des processus :

Le système de détection en ligne est connecté à l'équipement d'usinage CNC via l'Internet industriel des objets (IoT), et les données dimensionnelles sont téléchargées sur le système de contrôle central en temps réel.

Copyright and Legal Liability Statement

Mécanisme de retour d'information : si des écarts dimensionnels sont détectés, le système ajuste automatiquement les paramètres d'usinage (tels que la profondeur de coupe, la pression d'essorage). Surveillez les tendances dimensionnelles et prédiiez les défauts potentiels grâce au contrôle statistique des processus (SPC).

Normes de qualité :

Conforme aux normes ASTM B386 (norme sur le molybdène et les alliages de molybdène) et GB/T 3462 (norme chinoise sur les matériaux en molybdène).

Le système de gestion de la qualité ISO 9001 exige que les équipements de test en ligne soient étalonnés régulièrement avec un écart de précision de <1 %.

Application pratique :

Dans la croissance du cristal saphir, la précision dimensionnelle du creuset en molybdène affecte directement la qualité du cristal. Le système de balayage laser en ligne de HC Starck Solutions garantit que la tolérance de diamètre du creuset est extrêmement faible, répondant ainsi aux exigences de la méthode Czochralski.

6.1.2 Défauts de surface

Les défauts de surface (tels que les rayures, les fissures, les couches d'oxyde) peuvent devenir le point de départ de la propagation des fissures à des températures élevées ou provoquer une contamination par fusion. L'inspection de surface en ligne garantit l'état de surface et l'intégrité du creuset.

Méthode de détection :

Microscopie optique et analyse d'images :

Un microscope optique haute résolution (grossissement 50-1000x) équipé d'une caméra CCD capture des images de la surface du creuset en temps réel.

Le logiciel de traitement d'images identifie les rayures, les piqûres et les microfissures grâce à la détection des bords et à l'analyse des niveaux de gris.

Avantages : Haute sensibilité, adapté à la détection de surface intérieure.

Détection de diffusion laser :

Le faisceau laser (longueur d'onde 532 nm) irradie la surface du creuset, et le signal lumineux diffusé reflète les défauts de surface (tels que la rugosité et les fissures).

Équipé d'un tube photomultiplicateur (PMT) pour collecter la lumière diffusée et générer une carte de distribution des défauts.

Avantages : Sans contact, adapté au balayage rapide de grands creusets (>500 mm).

Essais par courants de Foucault :

La surface du creuset est balayée par une sonde à courants de Foucault (fréquence 1-10 MHz) pour détecter les fissures et les inclusions près de la surface.

Convient pour souder des creusets dans la zone de soudure afin d'identifier les microfissures et les pores.

Copyright and Legal Liability Statement

Avantages : Haute sensibilité, adapté aux défauts internes des métaux.

Paramètres de détection :

Rugosité de surface : La surface intérieure doit avoir une très faible rugosité ($Ra < 0,8 \mu\text{m}$) et la surface extérieure est légèrement lâche ($Ra < 1,6 \mu\text{m}$).

Fissures et rayures : La longueur des fissures doit être contrôlée en dessous du niveau du micron et la profondeur des rayures doit être extrêmement peu profonde.

Couche d'oxyde et contamination : Il ne doit pas y avoir de résidu d'oxyde à la surface et la contamination par les particules doit être très faible (< 100 particules/cm², taille des particules $> 0,5 \mu\text{m}$).

Intégration des processus :

Le système d'inspection de surface en ligne est relié à l'équipement de polissage, de nettoyage et de revêtement pour fournir un retour d'information en temps réel sur les données relatives aux défauts.

Tri automatique : les creusets non qualifiés sont envoyés dans la zone de retraitement par un bras robotisé, et les creusets qualifiés entrent dans le processus suivant.

Traçabilité des données : Les données d'inspection de surface de chaque creuset sont stockées dans le cloud pour soutenir la traçabilité de la qualité.

Normes de qualité :

Conforme aux normes ISO 4287 (norme de rugosité de surface) et ASTM E407 (norme d'essai de surface métallique).

L'industrie des semi-conducteurs exige une propreté de surface conforme aux normes SEMI (telles que SEMI F21).

Application pratique :

Dans la production de monocristaux de silicium semi-conducteurs, les défauts de surface des creusets en molybdène peuvent contaminer le silicium fondu. Le système de diffusion laser en ligne de Chinatungsten Online garantit qu'il n'y a pas de microfissures sur la surface intérieure pour répondre aux exigences de pureté élevées.

6.2 Essais de performance

Les tests de performance évaluent la résistance à haute température, la résistance à la corrosion et la stabilité à long terme des creusets en molybdène dans des conditions d'utilisation réelles afin de s'assurer qu'ils répondent aux besoins d'applications spécifiques (telles que les environnements à haute température de 1700 à 2050 °C).

6.2.1 Résistance à haute température

La résistance à haute température est la performance clé du creuset en molybdène pour maintenir l'intégrité structurelle et la capacité anti-déformation dans un environnement à haute température (comme la croissance du cristal de saphir, la fusion des terres rares).

Méthode d'essai :

Copyright and Legal Liability Statement

Essai de traction à haute température :

Il est réalisé dans un four sous vide ou sous atmosphère inerte (argon ou hydrogène) à une plage de température de 1400-1800°C.

Mesurez la résistance à la traction, la limite d'élasticité et l'allongement en appliquant une contrainte constante à l'aide d'une machine de traction à haute température équipée de poignées en molybdène ou en tungstène.

Norme d'essai : ASTM E21 (spécification d'essai de traction à haute température).

Avantages : Simulez l'environnement réel de contrainte à haute température et évaluez les propriétés mécaniques du creuset.

Essai de fluage à haute température :

Une contrainte constante (50-200 MPa) a été appliquée à 1700-2000°C, et le taux de fluage et la déformation ont été mesurés.

Équipement : Machine d'essai de fluage à haute température équipée d'un capteur de déplacement laser (précision $\pm 0,001$ mm).

Norme d'essai : ASTM E139 (spécification d'essai de fluage).

Avantages : Évaluer la stabilité des creusets lors d'un fonctionnement à haute température à long terme.

Essai de dureté :

La dureté du creuset à température ambiante et à haute température (1000-1500°C) a été mesurée à l'aide d'un duromètre Vickers haute température (charge 1-10 kg).

Norme d'essai : ASTM E92 (spécification d'essai de dureté Vickers).

Avantages : Évaluation rapide des effets de renforcement des matériaux (par exemple, dopage ou traitement thermique).

Paramètres de test :

Résistance à la traction : Une résistance suffisante doit être maintenue à des températures élevées (>100 MPa à 1700°C), et les creusets dopés ont une résistance plus élevée.

Taux de fluage : doit être extrêmement faible pour éviter toute déformation significative lors d'un fonctionnement à long terme.

Dureté : La dureté à haute température doit être maintenue à un niveau élevé (>150 HV), ce qui reflète la capacité du matériau à résister à l'usure.

Retour d'information sur le processus :

Les résultats des tests guident la sélection des matières premières (par exemple, les éléments de dopage) et l'optimisation des processus (par exemple, la température du traitement thermique).

Si la résistance est insuffisante, la température de frittage, la déformation de forgeage ou le taux de dopage peuvent être ajustés.

Les données sont stockées dans le système de gestion de la qualité pour soutenir la traçabilité des performances.

Normes de qualité :

Copyright and Legal Liability Statement

Conforme aux normes ISO 6892-2 (essai de traction métallique à haute température) et ASTM E139 (essai de fluage).

L'industrie de la croissance du cristal de saphir exige que le creuset reste exempt de déformation à 2050°C, et la fusion des terres rares nécessite une stabilité à long terme à 1700°C.

Application pratique :

Lors de la croissance des glaces saphir, le creuset en molybdène doit résister à des températures élevées de 2050°C et à des contraintes mécaniques. Le test de traction à haute température de China Tungsten Online garantit que le creuset est exempt de fissures dans des conditions extrêmes.

6.2.2 Résistance à la corrosion

La résistance à la corrosion détermine la durabilité des creusets en molybdène dans les métaux en fusion (tels que les métaux des terres rares), les oxydes ou les atmosphères à haute température, en particulier dans la fusion des terres rares et la purification des métaux précieux.

Méthode d'essai :

Essai de corrosion statique :

Immergez l'échantillon du creuset en molybdène dans un milieu fondu (tel que du néodyme fondu, de l'alumine) à une température de 1400-1800°C et maintenez-le au chaud pendant plusieurs heures à plusieurs jours.

Mesurez la perte d'épaisseur de paroi, la profondeur d'érosion de surface et la perte de masse.

Norme d'essai : ASTM G31 (spécification d'essai de corrosion).

Avantages : Simulez l'environnement d'utilisation réel et évaluez la résistance à la corrosion du creuset.

Essais de corrosion dynamique :

Le contact dynamique (tel que l'agitation ou l'écoulement) entre le creuset et la masse fondue est simulé dans un four à haute température à une température de 1500-1700°C.

Le mouvement relatif entre l'échantillon et la masse fondue est contrôlé à l'aide d'un dispositif d'immersion rotatif pour mesurer la vitesse de corrosion.

Avantages : Plus proche des conditions de travail réelles de la fusion des terres rares.

Essai de corrosion électrochimique :

Mesurer le comportement électrochimique des creusets (par exemple, potentiel de corrosion, résistance à la polarisation) dans des solutions de sel fondu ou d'acide à haute température.

Équipement : Poste de travail électrochimique haute température, température 800-1200°C.

Avantages : Quantification des mécanismes de corrosion, adapté au revêtement des creusets.

Paramètres de test :

Perte d'épaisseur de paroi : doit être extrêmement faible (niveau micrométrique/100 heures) pour assurer la durée de vie du creuset.

Érosion de surface : La surface doit être maintenue lisse sans piqûres ou écaillage évidents.

Perte de masse : doit être extrêmement faible, ce qui reflète la stabilité chimique du creuset.

Copyright and Legal Liability Statement

Performance du revêtement : Les revêtements anticorrosion (tels que MoSi₂) ne doivent pas se décoller et ont une force d'adhérence élevée.

Retour d'information sur le processus :

Les résultats des tests de corrosion guident le choix des éléments de dopage (tels que CeO₂, La₂O₃) et l'optimisation du processus de revêtement.

Si le taux de corrosion est trop élevé, l'épaisseur du revêtement peut être augmentée ou le processus de frittage peut être ajusté pour augmenter la densité du creuset.

Les données sont utilisées pour construire une base de données sur la corrosion afin de prédire la durée de vie des creusets dans différents environnements.

Normes de qualité :

Conforme aux normes ASTM G31 (essais de corrosion) et ISO 11846 (essais de corrosion à haute température).

La fusion des terres rares exige que le creuset ait une durée de vie de >1000 heures dans le néodyme fondu à 1700°C, et l'industrie des semi-conducteurs n'exige aucune pollution.

Application pratique :

Dans la production d'aimants NdFeB, les creusets en molybdène doivent résister à la corrosion du néodyme fondu. Le test de corrosion statique de Chinatungsten Online garantit la résistance à la corrosion des creusets dopés et prolonge leur durée de vie.

6.3 Analyse des défaillances

L'analyse des défaillances identifie les causes de défaillance et optimise le processus de fabrication et les conditions d'utilisation en étudiant les fissures, la déformation, la fatigue et l'atténuation de la durée de vie des creusets en molybdène.

6.3.1 Fissures et déformations

Les fissures et la déformation sont des modes de défaillance courants des creusets en molybdène à des températures élevées ou à des cycles thermiques, qui peuvent être causés par des contraintes thermiques, des contraintes mécaniques ou des défauts de matériaux.

Méthodes d'analyse :

Observation macroscopique :

L'emplacement, la longueur et la morphologie de la fissure (fissure de surface ou fissure traversante) sont enregistrés à l'aide d'une caméra haute résolution ou d'un stéréomicroscope.

Les mesures de déformation (par exemple, changement de diamètre du creuset, amincissement de l'épaisseur de la paroi) sont effectuées à l'aide d'un scanner laser.

Analyse microscopique :

La microscopie électronique à balayage (MEB) a été utilisée pour observer la morphologie de la fissure (fracture intergranulaire ou fracture ductile) à un grossissement de 1000 à 10 000 fois.

La spectrométrie à dispersion d'énergie (EDS) détecte la composition chimique de la zone de fissure

Copyright and Legal Liability Statement

pour confirmer si la fragilisation est causée par des impuretés (telles que O, C).

Analyse par éléments finis (FEA) :

Un modèle de couplage thermo-mécanique du creuset a été établi pour simuler la distribution des contraintes et le comportement de déformation à haute température.

Paramètres d'entrée : coefficient de dilatation thermique du molybdène ($4,8 \times 10^{-6}$ /K), conductivité thermique (138 W/(m·K)) et résistance à la traction.

Avantages : Prévoir les points d'initiation des fissures et optimiser la conception du creuset.

Raison de l'échec :

Stress thermique : L'élévation et la baisse rapides de la température (par exemple $>10^{\circ}\text{C}/\text{min}$) provoquent une concentration de stress thermique et induisent des fissures.

Contrainte mécanique : Les forces d'impact lors du chargement ou du déchargement dépassent la résistance du creuset.

Défauts de matériaux : les pores de frittage, les impuretés des joints de grains ou les pores de soudure réduisent la ténacité du creuset.

Problèmes de processus : Épaisseur de paroi inégale ou traitement thermique inadéquat entraînant une concentration des contraintes.

Mesures d'amélioration :

Optimiser le cycle thermique : contrôler les vitesses de chauffage et de refroidissement ($<5^{\circ}\text{C}/\text{min}$) pour réduire les contraintes thermiques.

Améliorez la qualité des matériaux : utilisez de la poudre de molybdène de haute pureté ($>99,95\%$) et des éléments dopants (tels que le CeO_2) pour affiner les grains.

Amélioration de l'usinage : garantie de l'uniformité de l'épaisseur de la paroi (écart $<0,1\text{ mm}$) et de la rugosité de surface ($R_a < 0,8\ \mu\text{m}$).

Application pratique :

Lors de la croissance du cristal saphir, des fissures dans le creuset en molybdène peuvent entraîner des fuites de fusion.

6.3.2 Fatigue et durée de vie

La défaillance par fatigue et l'atténuation de la durée de vie sont les principaux problèmes des creusets en molybdène lors de cycles thermiques répétés ou d'un fonctionnement à haute température à long terme, affectant leur capacité de recyclage et leur économie.

Méthodes d'analyse :

Test de cycle thermique :

Simulez les conditions d'utilisation réelles (telles que $1500\text{-}1700^{\circ}\text{C}$, 100-500 cycles thermiques) pour observer la formation et la croissance des fissures de fatigue.

Équipement : Four à cycle thermique haute température équipé de capteurs de déplacement laser pour enregistrer les déformations.

Norme d'essai : ISO 1893 (essai de choc thermique pour les matériaux réfractaires).

Copyright and Legal Liability Statement

Analyse de rupture par fatigue :

La morphologie de la fracture a été observée à l'aide d'un MEB pour distinguer les fissures de fatigue (stries lisses) des zones de fracture transitoires (fossettes).

L'analyse par diffraction par rétrodiffusion d'électrons (EBSD) des chemins de propagation des fissures a confirmé l'effet de l'orientation des grains sur la fatigue.

Modèle de prédiction de la durée de vie :

La durée de vie de l'Épreuve est prédite sur la base de la théorie des dégâts cumulatifs de Miner combinée aux données du cycle thermique et du fluage.

Paramètres d'entrée : nombre de cycles thermiques, gradient de température, niveau de contrainte.

Avantage : Guide les cycles d'entretien et de remplacement des creusets.

Raison de l'échec :

Fatigue thermique : Des cycles thermiques répétés entraînent la croissance de microfissures, qui finissent par former des macrofissures.

Fluage : Les contraintes à haute température à long terme provoquent une déformation lente, réduisant la résistance du creuset.

Détérioration de la surface : L'oxydation ou la corrosion provoque des défauts de surface qui accélèrent les fissures de fatigue.

Défauts de conception : épaisseur de paroi inégale ou angles géométriques vifs provoquant une concentration des contraintes.

Mesures d'amélioration :

Propriétés améliorées du matériau : Le dopage avec des oxydes (tels que La_2O_3) améliore la ténacité et la résistance à la fatigue.

Optimiser la conception : augmenter le rayon d'angle (>2 mm) pour réduire la concentration des contraintes.

Protection de surface : Appliquez un revêtement anti-oxydation (tel que MoSi_2) pour prolonger la durée de vie en fatigue.

Amélioration du processus : Contrôlez la taille des grains (<50 μm) et les paramètres de traitement thermique pour réduire le taux de fluage.

Copyright and Legal Liability Statement



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

Chapitre 8 Transport et stockage du creuset en molybdène

En tant que composant industriel de grande valeur et résistant aux hautes températures, le transport et le stockage des creusets en molybdène sont essentiels au maintien de leur intégrité physique et de leur stabilité chimique. Un emballage, un transport ou un stockage inappropriés peuvent provoquer des rayures de surface, de l'oxydation, de la contamination ou de la déformation, affectant ainsi leurs performances dans des applications haut de gamme telles que la croissance des cristaux, la fusion des terres rares et la fabrication de semi-conducteurs. Ce chapitre traite en détail des spécifications de transport et de stockage des creusets en molybdène, couvrant les exigences d'emballage, les mesures d'étanchéité aux chocs et à l'humidité, l'environnement et les conditions de stockage, la gestion des stocks et le suivi de la qualité, et fournit des conseils techniques complets en référence aux normes et aux meilleures pratiques mondiales de l'industrie.

8.1 Exigences en matière d'emballage

Les creusets en molybdène doivent garantir qu'ils sont protégés des dommages mécaniques, de la contamination chimique et de l'impact environnemental pendant le transport et le stockage, tout en étant faciles à manipuler et à identifier.

Matériaux d'emballage :

Emballage intérieur :

Utilisez un film de polyéthylène (PE) ou de polypropylène (PP) de haute pureté pour envelopper le creuset afin d'empêcher la surface d'entrer en contact avec l'air ou les particules et de le garder propre.

Copyright and Legal Liability Statement

Doublé de mousse haute densité ou d'un film à bulles, il offre une protection amortissante et réduit l'impact des vibrations et des chocs.

Il est recommandé d'utiliser des sacs scellés sous vide pour éliminer l'air interne afin d'éviter l'oxydation et l'absorption d'humidité, en particulier pour le stockage à long terme.

Emballage extérieur :

Utilisez des boîtes en bois dur (conformes aux normes phytosanitaires internationales NIMP 15) ou des boîtes en alliage d'aluminium, suffisamment solides pour résister à l'empilage et à la pression du transport.

L'intérieur de la boîte en bois est rempli de matériaux absorbant les chocs (tels que la mousse de polyuréthane ou le coton perlé) pour garantir que le creuset est fixé sans secousse.

La surface de l'emballage extérieur est pulvérisée d'une peinture imperméable ou recouverte d'un film résistant à l'humidité pour empêcher l'humidité de pénétrer.

Matériaux supplémentaires :

Utilisez des joints en céramique ou en polytétrafluoroéthylène (PTFE) pour isoler le creuset du matériau d'emballage afin d'éviter les rayures causées par le contact avec le métal.

Équipé d'un déshydratant (tel que du gel de silice ou un tamis moléculaire) et placé dans l'emballage intérieur pour contrôler l'humidité afin d'éviter la corrosion.

Utilisez des étiquettes sans poussière et du ruban adhésif pour éviter toute contamination supplémentaire pendant le processus d'emballage.

Conception de l'emballage :

Adaptation de la taille : La taille de la boîte d'emballage est personnalisée en fonction des spécifications du creuset, et l'espace interne s'adapte étroitement à la forme du creuset pour s'assurer qu'il est fixé et n'a pas d'espace pour bouger.

Capacité de charge : La conception de la boîte d'emballage doit prendre en charge l'empilage multicouche et être adaptée aux besoins de transport et d'entreposage sur de longues distances.

Logo et étiquette :

L'emballage extérieur est marqué de panneaux d'avertissement tels que « fragile », « résistant à l'humidité » et « à manipuler avec soin ». Les polices sont claires et visibles et sont conformes à la norme ISO 780 (norme de marquage des emballages).

Livré avec une étiquette de produit contenant le modèle du creuset, la taille, le numéro de lot, la date de production, le poids net et les informations sur le fournisseur, à l'aide d'une étiquette imperméable et résistante à l'usure (telle que le PVC ou le PET).

Fournissez une liste de colisage et un certificat de qualité, scellez-les dans un sac en plastique transparent et collez-les à l'extérieur de la boîte d'emballage.

Traçabilité : La boîte d'emballage est imprimée avec un code QR ou est livrée avec une étiquette RFID, qui est liée aux données de production et de qualité du creuset et prend en charge le suivi numérique.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Processus d'emballage:

Nettoyage : Avant l'emballage, essuyez le creuset avec un chiffon sans poussière imbibé d'éthanol de haute pureté pour confirmer qu'il n'y a pas de particules, de taches d'huile ou d'empreintes digitales, et que la propreté de la surface répond aux exigences de l'industrie des semi-conducteurs.

Emballage : L'emballage intérieur est effectué dans une salle blanche, à l'aide de gants sans poussière et d'outils non métalliques.

Fixation : Le creuset est placé dans un moule en mousse personnalisé, rempli d'un matériau absorbant les chocs, et s'assure qu'il n'y a pas d'espaces. La boîte d'emballage extérieure est scellée à l'aide de boulons en acier inoxydable ou de ruban adhésif à haute résistance.

Inspection : Inspection visuelle après l'emballage pour confirmer qu'il n'y a pas de desserrage ou de dommage. Test de vibration si nécessaire pour simuler les conditions de transport afin d'assurer la sécurité du creuset.

Normes de qualité :

L'emballage doit être conforme aux normes ISO 3394 (dimensions de l'emballage de transport) et ASTM D4169 (test de performance de l'emballage de transport).

L'industrie des semi-conducteurs exige que les matériaux d'emballage soient exempts de composés organiques volatils (COV) et conformes à la norme SEMI E170 (norme d'emballage propre).

Le processus d'emballage doit être effectué selon le système de gestion de la qualité ISO 9001 pour garantir la cohérence et la fiabilité.

Application pratique :

Dans l'industrie de la croissance du verre saphir, l'emballage sous vide des creusets en molybdène empêche l'oxydation pendant le transport et garantit que la surface est exempte de contamination.

Dans les fonderies de terres rares, les boîtes en bois dur et les doublures en mousse protègent les grands creusets et réduisent le risque de déformation pendant le transport.

8.2 Résistance aux chocs et à l'humidité

Les mesures antivibratoires et résistantes à l'humidité sont les principales exigences pour le transport et le stockage des creusets en molybdène, visant à prévenir les dommages mécaniques et la détérioration chimique et à garantir que les performances du creuset ne sont pas affectées.

Mesures anti-chocs :

Matériau de rembourrage :

Utilisez de la mousse de polyuréthane haute densité ou du coton perlé pour remplir l'intérieur de la boîte d'emballage afin de fournir une capacité d'absorption des chocs suffisante pour absorber les vibrations et les impacts pendant le transport.

Pour les petits creusets, un film à coussin d'air peut être utilisé pour fournir une protection supplémentaire, adapté aux emballages légers.

Les grands creusets nécessitent des moules en mousse personnalisés qui s'adaptent précisément à la forme du creuset pour assurer un ajustement serré et empêcher tout mouvement.

Conception de la boîte d'emballage :

Copyright and Legal Liability Statement

La boîte d'emballage extérieure est en contreplaqué multicouche ou en alliage d'aluminium, qui a une résistance élevée aux chocs et convient au transport longue distance.

Des ressorts absorbant les chocs ou des patins en caoutchouc sont installés à l'intérieur pour réduire la transmission des vibrations et protéger le creuset des chocs extérieurs.

Le fond de la boîte d'emballage est équipé d'un coussin antidérapant pour augmenter la friction et éviter les glissements pendant le transport.

Protection du transport :

Les véhicules de transport sont équipés d'une suspension à airbag ou d'un système hydraulique d'absorption des chocs pour réduire l'impact des vibrations de la route sur le creuset.

La boîte d'emballage du creuset est fixée sur une palette de transport standard et renforcée par des sangles en nylon ou en acier à haute résistance pour assurer la stabilité.

Évitez les accélérations brusques, les freinages brusques ou les chocs violents pendant le transport.

Il est recommandé de faire appel à une entreprise de logistique professionnelle qui connaît bien la réglementation en matière de transport des marchandises fragiles.

Mesures d'étanchéité à l'humidité :

Emballage scellé :

L'emballage intérieur utilise un sac scellé sous vide ou un film à haute barrière (tel qu'un film composite aluminium-plastique) pour empêcher l'humidité de pénétrer et garder la surface du creuset sèche.

L'intérieur de la boîte d'emballage extérieure est recouvert d'un agent résistant à l'humidité ou recouvert d'un film résistant à l'humidité pour améliorer les performances d'étanchéité.

Desséchant:

Placez du gel de silice ou un dessiccant à tamis moléculaire dans l'emballage intérieur pour absorber l'humidité résiduelle et maintenir l'humidité relative extrêmement basse.

Le déshydratant doit être vérifié et remplacé régulièrement, en particulier lors d'un stockage à long terme ou dans des zones très humides.

Environnement de transport :

Les véhicules de transport sont équipés d'installations étanches à l'humidité (telles que des cales scellées ou des équipements de déshumidification) pour éviter la pluie ou les environnements très humides.

Le transport à température contrôlée (température 20-25°C, humidité <40 %) est recommandé, en particulier lors du transport interrégional ou maritime.

Inspection et surveillance :

Après l'emballage, utilisez une carte indicatrice d'humidité (précision $\pm 5\%$) pour vérifier l'humidité de l'emballage intérieur afin de confirmer qu'aucune humidité n'a pénétré.

Pendant le transport, un enregistreur de température et d'humidité est installé pour surveiller les conditions environnementales en temps réel et déclencher une alarme en cas d'anomalies.

Copyright and Legal Liability Statement

Normes de qualité :

Les mesures anti-vibrations doivent passer les tests de vibration et de choc ASTM D4169 pour s'assurer que le creuset n'est pas endommagé pendant le transport.

La performance d'étanchéité à l'humidité est conforme à la norme ISO 2233 (test d'étanchéité à l'humidité de l'emballage), et la boîte d'emballage reste sèche même dans un environnement très humide.

Le processus de transport doit être conforme aux normes IATA (International Air Transport Association) ou IMDG (International Maritime Dangerous Goods) pour garantir la sécurité.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, l'emballage antichoc des creusets en molybdène garantit qu'il n'y a pas de microfissures pendant le transport et maintient des exigences de précision élevées.

Dans la purification des métaux précieux, un emballage résistant à l'humidité empêche l'oxydation de la surface du creuset et assure la propreté avant utilisation.

8.3 Environnement et conditions de stockage

Les creusets en molybdène doivent contrôler strictement la température, l'humidité, la propreté et la stabilité chimique pour éviter l'oxydation, la contamination ou la dégradation des performances.

Température et humidité :

Contrôle de la température :

L'environnement de stockage doit maintenir une température constante (20-25 °C) pour éviter les fluctuations de température qui peuvent provoquer des contraintes thermiques ou de la condensation. Utilisez un équipement de climatisation ou de contrôle de la température pour contrôler l'écart de température dans une très petite plage.

Contrôle de l'humidité :

L'humidité relative est maintenue <40 %, de préférence <20 %, pour éviter que la surface du creuset en molybdène n'absorbe l'humidité ou l'oxydation.

Équipé d'un déshumidificateur industriel ou d'une armoire de séchage, la précision de la surveillance de l'humidité est de ± 2 %.

Dans les zones très humides, il est recommandé d'utiliser une boîte de stockage scellée avec un déshydratant à l'intérieur.

Moniteur:

Installez un enregistreur de température et d'humidité pour enregistrer les données environnementales en temps réel et déclencher une alarme lorsqu'une anomalie se produit.

Vérifiez régulièrement les zones d'entreposage pour vous assurer qu'il n'y a pas de fuites d'eau ou de condensation.

Propreté:

Exigences environnementales :

La zone de stockage doit atteindre un niveau de propreté ISO 7 ou supérieur avec une concentration

Copyright and Legal Liability Statement

de particules extrêmement faible pour éviter que la poussière ne contamine la surface du creuset.
Le sol est recouvert de résine époxy, qui a une résistance de surface appropriée et réduit l'adsorption statique des particules.

Mesures de protection:

Le creuset doit être stocké dans une boîte d'emballage scellée ou une armoire anti-poussière et équipée d'un couvercle anti-poussière ou d'un couvercle de protection.

Lorsque vous entrez dans la zone de stockage, vous devez porter des vêtements sans poussière, des masques et des gants et vous conformer aux spécifications de fonctionnement des salles blanches ISO 14644.

Nettoyage et entretien :

Nettoyez régulièrement les zones de stockage, à l'aide d'un aspirateur sans poussière ou d'un chiffon humide pour enlever les particules des sols et des étagères.

Évitez d'utiliser des produits chimiques volatils dans les zones de stockage pour éviter la contamination par les gaz.

Stabilité chimique :

Évitez les gaz corrosifs :

L'environnement de stockage doit être exempt de gaz acides (tels que HCl, SO₂) ou de gaz oxydants (tels que O₃), et la teneur en oxygène doit être contrôlée à un niveau extrêmement faible.

Utilisez un purificateur d'air ou un filtre à charbon actif pour éliminer les polluants potentiels.

Isolation du matériau :

Le creuset est isolé des étagères métalliques ou des outils. Il est recommandé d'utiliser des plateaux en céramique ou en plastique pour éviter la corrosion de contact.

Il est interdit de stocker les creusets avec d'autres matériaux chimiquement actifs (tels que les acides et les alcalis) pour éviter la contamination croisée.

Disposition du stockage :

Conception de l'étagère :

Utilisez des étagères en acier inoxydable ou en plastique sans poussière, à surface plane et résistantes à la corrosion.

Les étagères sont de hauteur modérée (<2 m), faciles à charger et à décharger, et sont équipées de dispositifs anti-basculement.

Spécification d'empilage :

Les boîtes d'emballage doivent être empilées en une seule couche pour éviter la déformation due à une forte pression, et la hauteur d'empilage ne doit pas dépasser la capacité de charge des boîtes d'emballage.

Il doit y avoir suffisamment d'espace (>10 cm) entre chaque boîte pour faciliter la ventilation et l'inspection.

Copyright and Legal Liability Statement

Gestion des identités :

La zone de stockage est divisée en sections par lot et par modèle, et les spécifications du creuset et la date de stockage sont marquées.

Utilisez des codes-barres ou des étiquettes RFID pour identifier rapidement les informations du creuset.

Normes de qualité :

L'environnement de stockage doit être conforme aux normes ISO 14644 (norme de salle blanche) et ASTM E2352 (spécification de stockage des matériaux à haute température).

L'industrie des semi-conducteurs nécessite des concentrations de particules extrêmement faibles dans les zones de stockage et des contaminants chimiques < 1 ppb.

Application pratique :

Dans la production de monocristaux de silicium, l'environnement de stockage propre du creuset en molybdène empêche la contamination de surface et répond à des exigences de pureté élevées.

Dans la fusion des alliages haute température de l'aérospatiale, le stockage à température constante et à faible humidité prolonge la durée de vie du creuset et réduit le risque d'oxydation.

8.4 Gestion des stocks et suivi de la qualité

Une gestion efficace des stocks et un suivi de la qualité garantissent que l'état de stockage des creusets en molybdène est contrôlable et que la qualité est traçable, répondant ainsi aux besoins de production et aux exigences des clients.

Gestion des stocks :

Stockage par catégorie :

Les creusets sont stockés dans différentes zones en fonction de leur modèle, de leur taille, de leur matériau (comme le molybdène pur, le molybdène dopé) et de leur objectif (comme la croissance cristalline, la fusion des terres rares).

Utilisez un système électronique de gestion des stocks pour enregistrer le numéro de lot, le temps de stockage et le lieu de stockage de chaque creuset.

Premier entré, premier sorti (FIFO) :

Suivez le principe du premier entré, premier sorti et donnez la priorité aux creusets qui ont été stockés précédemment pour éviter la dégradation des performances due au stockage à long terme.

Effectuez des vérifications régulières de l'inventaire (tous les 3 à 6 mois) pour mettre à jour l'état de l'inventaire et retirer les creusets expirés ou endommagés.

Contrôle de la quantité :

Fixez des niveaux de stock raisonnables en fonction des plans de production et des prévisions de la demande pour éviter les arriérés ou les pénuries.

Équipé d'un système d'inventaire automatisé pour mettre à jour rapidement les données d'inventaire par lecture de code-barres ou RFID.

Copyright and Legal Liability Statement

Suivi de la qualité :

Enregistrement des données :

Chaque creuset est accompagné d'un dossier de qualité, qui enregistre les paramètres du processus de production (tels que la température de frittage, le taux de dopage), les résultats des tests (tels que la pureté, la densité) et les informations sur l'emballage.

Utilisez des plateformes de cloud computing pour stocker des données de qualité, en prenant en charge l'accès à distance et le partage multipartite.

Inspection régulière :

Prélever des échantillons dans les creusets stockés tous les 6 à 12 mois pour vérifier l'état de surface (rayures, oxydation), l'intégrité de l'emballage et les niveaux d'humidité.

Utilisez un microscope optique (grossissement de 50 à 200 fois) pour détecter les défauts de surface, et XPS pour analyser la composition chimique afin de confirmer qu'il n'y a pas de contamination.

Traçabilité:

Chaque creuset se voit attribuer un code d'identification unique (code QR ou RFID) qui est lié à l'ensemble des données de processus de production, de transport et de stockage.

Lorsque des problèmes de qualité surviennent, ils peuvent être retracés jusqu'à des lots spécifiques et des liens de processus pour en localiser rapidement les causes.

Mécanisme de rétroaction :

Recueillez les commentaires des clients et enregistrez les performances des creusets dans des applications réelles (telles que la durée de vie et la résistance à la corrosion).

Analysez les données de rétroaction, optimisez les conditions de stockage et la conception de l'emballage, et améliorez la qualité des produits.

Gestion numérique :

Système de gestion des stocks :

Intégrez-le à l'ERP (Enterprise Resource Planning) ou au WMS (Warehouse Management System) pour surveiller l'état des stocks en temps réel et générer automatiquement des rapports entrants, sortants et d'inventaire.

Prend en charge le fonctionnement mobile, ce qui permet aux gestionnaires sur site d'interroger et de mettre à jour rapidement les données.

Internet des objets (IoT) :

La zone de stockage est équipée de capteurs de température et d'humidité et de lecteurs RFID pour télécharger des données environnementales sur le cloud en temps réel.

Lorsqu'une anomalie se produit (comme une humidité excessive ou une fluctuation de température), le système déclenche automatiquement une alarme et incite le personnel de direction à prendre des mesures.

Analyse des données :

Utilisez l'analyse du Big Data pour prédire la durée de vie du creuset et optimiser la rotation des

Copyright and Legal Liability Statement

stocks.

Établissez une base de données de qualité pour analyser l'impact du stockage à long terme sur les performances du creuset et fournir des conseils pour des améliorations.

Normes de qualité :

La gestion des stocks doit être conforme aux normes ISO 9001 (système de management de la qualité) et ISO 28000 (management de la sécurité de la chaîne d'approvisionnement).

Le suivi de la qualité doit être conforme aux normes ASTM B386 (norme sur les matériaux en molybdène) et SEMI E170 (norme sur les emballages propres).

La traçabilité est conforme à la norme ISO 8000 (norme de qualité des données), garantissant l'intégrité et la précision des données.

Application pratique :

Dans l'industrie de la fusion des terres rares, la gestion numérique des stocks garantit un approvisionnement rapide en creusets en molybdène et réduit les interruptions de production.

Dans l'industrie des semi-conducteurs, le système de suivi de la qualité garantit que le creuset est exempt de contaminants, du stockage à l'utilisation, répondant ainsi à des exigences de pureté élevées.



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Chapitre 9 Durabilité et recyclage des creusets en molybdène

Les creusets en molybdène sont indispensables dans les industries haut de gamme telles que la croissance des cristaux, la fusion des terres rares et la fabrication de semi-conducteurs, mais leur production et leur utilisation impliquent une consommation d'énergie élevée, une consommation de ressources et des impacts environnementaux potentiels. Avec l'accent mis à l'échelle mondiale sur le développement durable, la fabrication, la récupération et le recyclage des creusets en molybdène sont devenus le centre d'attention de l'industrie. Ce chapitre traite en détail de la durabilité et du recyclage des creusets en molybdène, couvrant la conservation de l'énergie et la réduction des émissions, la technologie de recyclage des déchets, les avantages économiques et environnementaux du recyclage, les tendances et les pratiques de fabrication écologique, et fournit des conseils techniques et stratégiques complets en référence aux normes industrielles mondiales, à la recherche universitaire et aux meilleures pratiques.

9.1 Économie d'énergie et réduction des émissions

Les creusets en molybdène impliquent des processus à forte consommation d'énergie (tels que le grillage, le frittage, le forgeage), ce qui impose des exigences plus élevées en matière d'efficacité énergétique et de contrôle des émissions. Les économies d'énergie et la réduction des émissions sont la clé d'une production durable.

Mesures d'économie d'énergie :

Optimisation des processus :

Utilisez des équipements de torréfaction à haut rendement (tels que des fours à plusieurs chambres ou des fours rotatifs) pour améliorer l'utilisation de l'énergie grâce à des systèmes précis de contrôle de la température et de récupération de chaleur.

Utilisez un four de frittage sous vide à haute température équipé de caloducs ou d'un blindage contre les radiations pour réduire les pertes de chaleur.

Optimisez les processus de forgeage et de filage, réduisez les étapes répétées de chauffage et de traitement et raccourcissez les cycles de production.

Mise à niveau de l'équipement :

Introduisez des moteurs à fréquence variable et des systèmes de contrôle intelligents pour ajuster dynamiquement la puissance de l'équipement et réduire la consommation d'énergie en veille.

Utilisez le chauffage par induction au lieu du chauffage par résistance pour améliorer l'efficacité du chauffage et réduire la consommation d'énergie.

Équipé d'un système de gestion de l'énergie permettant de suivre la consommation d'énergie de production en temps réel, d'identifier et d'éliminer le gaspillage d'énergie.

Énergie renouvelable:

Intégrer l'énergie solaire, éolienne ou géothermique dans les installations de production afin de réduire la dépendance aux énergies fossiles.

Privilégier les fournisseurs d'électricité verte et veiller à ce que les sources d'énergie répondent à des normes bas carbone.

Copyright and Legal Liability Statement

Stratégies de réduction des émissions :

Traitement des gaz résiduels : produits pendant le processus de torréfaction sont traités par désulfuration humide et convertis en sous-produit de sulfate de calcium.

Les composés organiques volatils (COV) provenant du frittage et du traitement thermique sont éliminés par adsorption sur charbon actif ou par combustion catalytique.

Équipé de dépoussiéreurs à haut rendement (tels que des filtres à manches ou des dépoussiéreurs électrostatiques) pour capturer les particules de poussière et prévenir la pollution de l'air.

Gestion des eaux usées :

Les eaux usées acides générées par l'épuration chimique et le traitement de surface sont traitées par neutralisation, précipitation et filtration pour récupérer des substances utiles telles que le molybdate d'ammonium.

Utilisez un système d'eau en boucle fermée pour réduire la consommation d'eau et les rejets d'eaux usées.

Contrôle de l'empreinte carbone :

Les creusets en molybdène, de l'extraction des matières premières à la fabrication, sont analysés par le biais d'une analyse du cycle de vie (ACV) afin d'identifier les principaux points de réduction des émissions.

Optimisez les chaînes d'approvisionnement et choisissez des méthodes de transport à faible émission de carbone (comme le train ou les camions électriques) pour réduire les émissions logistiques.

Mettre en œuvre des programmes de neutralité carbone, tels que la compensation carbone ou la reforestation, pour compenser les émissions de carbone dans la production.

Surveillance et rapports :

Installer un système de surveillance de la consommation d'énergie pour enregistrer la consommation d'énergie de chaque processus et générer des rapports d'économie d'énergie.

Équipé d'un équipement de surveillance des émissions pour détecter les concentrations de SO₂, de NO_x et de particules en temps réel afin d'assurer le respect des normes d'émission.

Soumettez régulièrement des rapports environnementaux et respectez la norme ISO 14001 (système de gestion environnementale) et les réglementations environnementales locales.

Normes de qualité :

Les mesures d'économie d'énergie doivent être conformes à la norme ISO 50001 (système de gestion de l'énergie) afin de garantir une amélioration continue de l'efficacité énergétique.

Les réductions d'émissions doivent être conformes à la réglementation REACH de l'UE et à la norme GB 28662 de la Chine (normes d'émission de l'industrie des métaux non ferreux).

L'évaluation de l'empreinte carbone fait référence à la norme ISO 14067 (norme sur l'empreinte carbone des produits).

Application pratique :

Dans l'industrie de la croissance du verre saphir, les systèmes de récupération de chaleur dans les fours de frittage à haut rendement réduisent considérablement la consommation d'énergie et

Copyright and Legal Liability Statement

améliorent la durabilité de la production.

Dans les fusions de terres rares, la technologie de traitement des gaz résiduels réduit les émissions de SO₂ et améliore la qualité environnementale autour de l'usine.

9.2 Technologie de recyclage des déchets

Les déchets (tels que les déchets, les creusets de déchets et la poudre) générés lors de la production et de l'utilisation des creusets en molybdène sont des ressources précieuses. Des technologies de recyclage avancées peuvent être utilisées pour recycler les ressources et réduire les coûts et les impacts environnementaux.

Classification des déchets :

Déchets de production :

Il s'agit notamment de poudre de molybdène, de résidus de frittage, de déchets de forgeage et de copeaux d'usinage, qui proviennent de produits non qualifiés ou de déchets dans le processus de production.

Caractéristiques : haute pureté, faible teneur en impuretés, adapté à la récupération directe.

Déchets post-consommation :

Comprend les creusets mis au rebut, les flocons de revêtement de surface et les résidus de fusion, qui proviennent de creusets usagés.

Caractéristiques : Peut contenir des contaminants fondus (tels que l'alumine, les métaux des terres rares) et nécessiter un prétraitement.

Gestion des catégories :

Entreposer les déchets en fonction de leur source, de leur composition et de leur degré de contamination, à l'aide de contenants scellés et d'étiquettes transparentes.

Équipé de zones de recyclage dédiées pour éviter la contamination croisée des déchets avec l'environnement de production.

Technologie de recyclage :

Recyclage physique :

Séparation mécanique : Utilisez des concasseurs et des tamis vibrants pour séparer la matrice de molybdène et le revêtement de surface (tel que MoSi₂) dans le creuset usé et récupérer les fragments de molybdène de haute pureté.

Séparation magnétique et flottation : Élimine les impuretés telles que le fer et le silicium des déchets et améliore le taux de récupération du molybdène.

Criblage et broyage : Broyez les fragments de molybdène récupérés en poudre dont la taille des particules est contrôlée au niveau du micron, ce qui convient au frittage.

Recyclage chimique :

Le molybdène se compose dans les déchets pour produire une solution de molybdate d'ammonium, qui est filtrée pour éliminer les impuretés insolubles (telles que le SiO₂).

Dissolution de l'ammoniac : L'oxyde de molybdène (MoO₃) réagit avec l'eau d'ammoniac pour

Copyright and Legal Liability Statement

générer du molybdate d'ammonium de haute pureté, qui est ensuite cristallisé et calciné pour récupérer la poudre de molybdène.

Le molybdène est extrait des déchets liquides par électrolyse, ce qui convient à la récupération d'une solution de molybdène à faible concentration.

Récupération métallurgique :

Matériaux en molybdène sous vide ou sous atmosphère d'hydrogène pour éliminer les impuretés volatiles et produire des lingots de molybdène de haute pureté.

Raffinage au plasma : L'utilisation d'un arc plasma pour faire fondre les déchets purifiés davantage le molybdène pour produire un molybdène métal extrêmement pur.

Fusion régionale : Grâce à une température locale élevée et à une purification multiple, elle convient à la production de matériaux en molybdène de qualité semi-conducteur.

Optimisation du processus de recyclage :

Prétraitement : Nettoyage à haute température (1000-1200°C, sous vide ou sous atmosphère d'hydrogène) des déchets usagés pour éliminer les résidus de matière fondue et les revêtements.

Automatisation : Mettre en place des équipements de tri automatisés (tels que des trieurs à rayons X) pour améliorer l'efficacité et la pureté du tri des déchets.

Système en boucle fermée : Le processus de recyclage est intégré au processus de production, et la poudre de molybdène récupérée est directement utilisée dans la fabrication de nouveaux creusets, réduisant ainsi le gaspillage de ressources.

Contrôle qualité:

La poudre de molybdène recyclée doit être testée pour sa pureté (>99,95 %), sa taille de particules (niveau micron) et sa teneur en impuretés (C, O, N <0,01 %).

Utilisation de l'ICP-MS (spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif).

Les matériaux recyclés doivent réussir des tests de performance (tels que la densité et la dureté) pour s'assurer qu'ils répondent aux normes ASTM B386.

Normes de qualité :

Les technologies de recyclage doivent être conformes aux normes ISO 14040 (analyse du cycle de vie) et ISO 14044 (management environnemental).

L'élimination des déchets doit être conforme à la directive européenne DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques) et à la loi chinoise sur la prévention et le contrôle de la pollution de l'environnement par les déchets solides.

L'objectif de taux de recyclage atteint un niveau élevé pour réduire le gaspillage des ressources.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, la technologie de recyclage chimique des creusets de molybdène usagé produit de la poudre de molybdène de haute pureté pour répondre aux besoins de la production de monocristaux de silicium.

Dans la purification des métaux précieux, la technologie de recyclage métallurgique convertit les creusets de déchets en lingots de molybdène, réduisant ainsi les coûts de production.

Copyright and Legal Liability Statement

9.3 Avantages économiques et environnementaux du recyclage

Le recyclage des déchets de creusets en molybdène permet non seulement de réduire la consommation de ressources et les coûts de production, mais aussi d'apporter des avantages environnementaux et sociaux significatifs et de favoriser le développement de l'économie circulaire.

Avantages économiques :

Économies:

Le recyclage des déchets de molybdène est beaucoup plus faible que l'extraction du nouveau molybdène à partir de la molybdénite, ce qui permet d'économiser le coût d'achat des matières premières.

Les systèmes de recyclage en boucle fermée réduisent les coûts de traitement et d'élimination des déchets et optimisent l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement.

Efficacité des ressources :

Le recyclage réduit la demande d'extraction de minerai de molybdène et prolonge la durée de vie des ressources en métaux rares.

La poudre de molybdène recyclée peut être utilisée directement dans la production, ce qui raccourcit le cycle de fabrication et augmente la capacité de production.

Compétitivité du marché :

Proposer des produits durables attire des clients soucieux de l'environnement et renforce votre image de marque.

Se conformer aux normes d'approvisionnement écologique et ouvrir des marchés haut de gamme (tels que les semi-conducteurs et l'aérospatiale).

Avantages environnementaux :

Protection des ressources :

Réduire l'exploitation minière du molybdène, réduire la destruction des terres, l'accumulation de résidus et l'impact écologique.

Le recyclage réduit la dépendance aux métaux rares et protège les ressources non renouvelables.

Réduction de la pollution :

Le processus de recyclage consomme moins d'énergie que la production primaire de molybdène et réduit les émissions de CO₂, de SO₂ et d'autres polluants.

Une bonne élimination des déchets permet d'éviter la pollution des sols et de l'eau et d'améliorer la qualité de l'environnement.

Économie d'énergie :

Le molybdène recyclé est beaucoup plus faible que celui du raffinage primaire du molybdène, ce qui réduit l'empreinte carbone de la production.

Des technologies de récupération efficaces telles que le raffinage du plasma réduisent encore la consommation d'énergie.

Copyright and Legal Liability Statement

Avantages sociaux :

Opportunités de carrière :

L'industrie de la récupération et du recyclage crée des emplois et couvre la collecte, le tri et le traitement des déchets.

Promouvoir la recherche et le développement de technologies vertes et attirer des talents hautement qualifiés.

Impact sur la communauté :

Réduire l'interférence de l'exploitation minière sur les communautés locales et améliorer la qualité de vie des résidents.

La production verte améliore l'image de la responsabilité sociale des entreprises (RSE) et gagne l'appui de la communauté.

Modèle d'économie circulaire :

Chaîne d'approvisionnement en boucle fermée :

Mettre en place un système en boucle fermée de la production au recyclage et à la réutilisation afin de maximiser la valeur des ressources.

Collaborer avec les fournisseurs et les clients pour construire un réseau de recyclage des déchets afin d'assurer un approvisionnement stable.

Soutien aux politiques :

Utilisez des subventions gouvernementales et des incitatifs fiscaux pour encourager les entreprises à investir dans les technologies de recyclage et la fabrication écologique.

Participez à des projets pilotes d'économie circulaire et partagez les meilleures pratiques.

Gestion numérique :

Utilisez la technologie blockchain pour suivre le cycle de vie des creusets en molybdène afin de garantir la transparence et la traçabilité du processus de recyclage.

Mettre en œuvre l'analyse des données pour optimiser l'efficacité du recyclage et l'allocation des ressources.

Normes de qualité :

Le recyclage doit être conforme aux normes ISO 14021 (étiquetage et déclarations environnementales) et ISO 14064 (comptabilité des gaz à effet de serre).

L'évaluation des avantages économiques se réfère aux lignes directrices du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) sur l'économie circulaire.

Les bénéfices environnementaux doivent être quantifiés par l'ACV (Analyse du Cycle de Vie) conformément aux normes ISO 14040.

Application pratique :

Dans l'industrie des fonderies de terres rares, le recyclage des creusets de molybdène réduit les coûts de production tout en réduisant les émissions de résidus.

Dans la fabrication d'alliages aérospatiaux à haute température, le recyclage des creusets en

Copyright and Legal Liability Statement

molybdène soutient une chaîne d'approvisionnement verte et répond aux objectifs de durabilité de l'industrie.

9.4 Tendances et pratiques de fabrication écologique

La fabrication verte est l'orientation future de l'industrie des creusets en molybdène pour atteindre le développement durable, couvrant l'innovation technologique, la production intelligente et la conception écologique, et promouvant la transformation de l'industrie vers une économie à faible émission de carbone et respectueuse de l'environnement.

Innovation technologique :

Procédé à faible consommation d'énergie :

Développer une technologie d'atomisation plasma pour produire de la poudre de molybdène de haute pureté et réduire la consommation d'énergie de la réduction et du broyage.

Utilisez le traitement assisté par laser au lieu de la découpe traditionnelle pour réduire la consommation d'énergie et la production de déchets.

Production propre :

Utilisez des technologies de traitement de surface sans solvant (telles que la pulvérisation de plasma) pour réduire l'utilisation de produits chimiques et le rejet de déchets.

Développer des agents de nettoyage à base d'eau pour remplacer les solutions de nettoyage acides et réduire les risques environnementaux.

Matériaux verts :

Rechercher et développer des matériaux composites à base de molybdène (tels que l'alliage Mo-Re) pour améliorer la durabilité des creusets et prolonger leur durée de vie.

Utilisez des matériaux d'emballage recyclables, tels que des plastiques biodégradables, pour réduire les déchets d'emballage.

Production intelligente :

Industrie 4.0 :

L'Internet des objets (IoT) et des capteurs permettent de surveiller en temps réel la consommation d'énergie, les émissions et la production de déchets pendant la production.

Utilisez l'intelligence artificielle (IDEALIZED AI) pour optimiser les paramètres du processus et réduire le gaspillage de ressources.

Jumeau numérique :

Établissez un modèle virtuel du processus de production du creuset en molybdène, simulez les effets d'économie d'énergie et de réduction des émissions, et guidez les améliorations du processus.

Prévoyez les besoins de maintenance des équipements pour réduire les temps d'arrêt et le gaspillage d'énergie.

automatisation:

Déployez des robots et des lignes d'assemblage automatisées pour améliorer l'efficacité de la

Copyright and Legal Liability Statement

production et réduire le gaspillage dans les opérations manuelles.

Utiliser des équipements de tri intelligents pour optimiser le processus de recyclage des déchets et améliorer le taux de recyclage.

Eco-conception :

Conception du produit :

La conception modulaire du creuset en molybdène est facile à démonter et à recycler, ce qui réduit les déchets.

Optimisez la géométrie du creuset pour réduire l'utilisation de matériaux tout en maintenant les performances.

Gestion du cycle de vie :

L'impact environnemental des creusets, de la production au recyclage, est évalué par l'ACV, et les procédés à faible émission de carbone sont privilégiés.

Concevoir des creusets recyclables pour soutenir le recyclage et la remise à neuf multiples.

Certification verte :

Demandez la certification ISO 14001 pour prouver que le processus de production est conforme aux normes de gestion environnementale.

Obtenez une EPD (Environmental Product Declaration) pour montrer aux clients la performance environnementale du creuset.

Pratique de l'industrie :

Collaboration et partage :

Coopérer avec les entreprises en amont et en aval pour établir un réseau de recyclage des déchets de molybdène et partager les installations et les données de recyclage.

Participer à des alliances industrielles, telles que l'International Molybdenum Association, pour promouvoir les meilleures pratiques de fabrication écologique.

Facteurs de politique :

En réponse aux objectifs mondiaux de neutralité carbone (tels que le plan de neutralité carbone de l'UE pour 2050), élaborer une feuille de route de réduction des émissions de carbone de l'entreprise.

Profitez des subventions gouvernementales à la fabrication verte et investissez dans de l'équipement économe en énergie et des technologies de recyclage.

Éducation du consommateur:

Acceptation des creusets en molybdène durables en promouvant les avantages des produits écologiques .

Fournissez des instructions de recyclage pour encourager les clients à retourner les creusets usagés au fournisseur.

Normes de qualité :

La fabrication verte doit être conforme aux normes ISO 14001 (système de management

Copyright and Legal Liability Statement

environnemental) et ISO 50001 (système de management de l'énergie).

L'innovation technologique fait référence à la norme CEI 62474 (norme de déclaration des matériaux) pour garantir que les matériaux sont respectueux de l'environnement.

L'écoconception doit être conforme à la norme ISO 14006 (Lignes directrices en matière d'écoconception).

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, la production intelligente et l'éco-conception réduisent l'empreinte carbone de la fabrication de creusets en molybdène et répondent aux exigences de la chaîne d'approvisionnement verte.

Dans la croissance du verre saphir, les processus à faible consommation d'énergie et les technologies de recyclage des déchets réduisent les coûts de production et améliorent les avantages environnementaux.



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

Chapitre 10 : Défis techniques et développement futur du creuset en molybdène

Les creusets en molybdène jouent un rôle irremplaçable dans des domaines haut de gamme tels que la croissance du cristal de saphir, la fusion des terres rares, la fabrication de semi-conducteurs, l'aérospatiale, etc. en raison de leur point de fusion élevé (2623°C), de leur excellente résistance aux hautes températures et de leur résistance à la corrosion. Cependant, avec la complexité des scénarios d'application et l'amélioration des exigences de performance, la fabrication et l'utilisation des creusets en molybdène sont confrontées à de multiples défis techniques, notamment les performances anti-oxydation, la fabrication de formes complexes et le contrôle des coûts. Dans le

Copyright and Legal Liability Statement

même temps, le développement rapide de nouveaux matériaux, de nouvelles technologies, d'une production intelligente et d'une fabrication verte a ouvert de larges perspectives pour l'avenir des creusets en molybdène. Ce chapitre traite en détail des défis techniques et des orientations de développement futures des creusets en molybdène, en couvrant les défis techniques, les nouveaux matériaux et technologies, la fabrication intelligente et verte et les tendances futures. Il fait référence à la recherche universitaire mondiale, aux normes de l'industrie et aux pratiques de pointe pour fournir une analyse technique complète et des perspectives stratégiques.

10.1 Défis techniques

Les creusets en molybdène doivent faire face aux défis posés par les températures élevées, la corrosion et l'environnement de processus complexe. L'analyse suivante est réalisée sous trois aspects : les performances anti-oxydation, la fabrication de formes complexes et le contrôle des coûts.

10.1.1 Propriétés antioxydantes

Le molybdène réagit facilement avec l'oxygène à des températures élevées (>600°C) pour former de l'oxyde de molybdène volatil (MoO_3), ce qui entraîne une dégradation de la surface du creuset, une perte d'épaisseur de paroi et une dégradation des performances. Ce problème est particulièrement important dans les environnements sans vide ou sous atmosphère non inerte.

Description du défi :

Mécanisme d'oxydation : Le molybdène forme du MoO_3 dans un environnement oxydant à haute température, qui se volatilise et laisse des pores, entraînant une rugosité de surface et une résistance réduite. Lors de la croissance des cristaux saphir, des traces d'oxygène peuvent provoquer le décollement de la surface du creuset et contaminer la masse fondue.

Difficulté du contrôle de l'atmosphère : Même sous vide ($<10^{-3}$ Pa) ou sous atmosphère inerte de haute pureté (argon, teneur en oxygène <10 ppm), l'infiltration d'oxygène à l'état de traces est encore difficile à éviter complètement, en particulier dans les grands fours ou en fonctionnement à long terme.

Limites du revêtement : Les revêtements anti-oxydation actuels (tels que MoSi_2 et ZrO_2) peuvent se décoller ou se fissurer à des températures extrêmement élevées (>1800°C), réduisant ainsi l'effet protecteur. La force d'adhérence et le coefficient de dilatation thermique correspondant entre le revêtement et le substrat doivent être encore optimisés.

Scénarios d'application : Dans la fusion des terres rares ou la purification des métaux précieux, le creuset peut être exposé à des atmosphères complexes (telles que celles contenant des traces de gaz oxydants), et des performances anti-oxydantes plus élevées sont requises.

Difficultés techniques :

Développer un revêtement résistant à l'oxydation qui peut résister à des températures ultra-élevées (>2000°C) tout en maintenant une bonne adhérence entre le revêtement et le substrat de molybdène.

Copyright and Legal Liability Statement

Améliorer la résistance intrinsèque à l'oxydation des matériaux en molybdène et réduire la sensibilité à l'oxydation par dopage ou alliage.

Concevez des systèmes de contrôle d'atmosphère efficaces pour contrôler avec précision la teneur en oxygène et le débit de gaz afin de s'adapter aux environnements de production dynamiques.

Équilibrez les performances antioxydantes et le coût pour vous assurer que les solutions sont adaptées à la production à grande échelle.

Stratégies:

Modification de surface : utilisez la pulvérisation plasma ou le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) pour préparer des revêtements composites multicouches (tels que $\text{MoSi}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) afin d'améliorer la résistance à l'oxydation et la stabilité thermique.

Technologie de dopage : Le dopage avec des oxydes de terres rares (tels que La_2O_3 et CeO_2) peut affiner les grains de molybdène, améliorer la stabilité des joints de grains et ralentir le taux d'oxydation.

Optimisation de l'atmosphère : Développez un système intelligent de contrôle de l'atmosphère qui intègre un spectromètre de masse et un capteur d'oxygène pour ajuster la composition du gaz en temps réel afin de maintenir la teneur en oxygène extrêmement faible.

Vérification des tests : Mettre en place une plateforme d'essai d'oxydation à haute température pour simuler les conditions réelles d'utilisation (1700-2050°C, atmosphère contenant de l'oxygène) et évaluer la durée de vie anti-oxydation des revêtements et des matériaux.

Application pratique :

Dans la croissance des glaces saphir, le creuset en molybdène revêtu de composite peut résister efficacement à l'érosion de l'oxygène à l'état de traces et prolonger sa durée de vie.

Dans les fonderies d'alliages à haute température, les creusets dopés au molybdène réduisent les pertes par oxydation et diminuent le risque de contamination par fusion.

10.1.2 Fabrication de formes complexes

L'industrie moderne a des exigences de plus en plus élevées en matière de forme géométrique et de précision dimensionnelle des creusets en molybdène, telles que des parois minces, de grands diamètres et des structures de forme spéciale. La fabrication de creusets aux formes complexes se heurte à de multiples obstacles techniques.

Description du défi :

Propriétés du matériau : La dureté élevée et la faible ductilité du molybdène (grande fragilité à température ambiante) le rendent difficile à traiter, en particulier lors de la fabrication de creusets à paroi mince (<5 mm) ou de forme complexe (comme les cônes, les trapézoïdaux), qui sont sujets aux fissures ou à la déformation.

Technologie de formage : Les procédés traditionnels de filage, de forgeage et de soudage sont

Copyright and Legal Liability Statement

difficiles à répondre à des exigences de haute précision et de géométrie complexe, et il est difficile d'assurer l'uniformité de l'épaisseur de la paroi et de la finition de surface.

Précision dimensionnelle : Les grands creusets (diamètre > 500 mm) nécessitent des tolérances au micron qui sont difficiles à atteindre de manière fiable avec les équipements de traitement et les conceptions de moules existants.

Exigences de l'application : L'industrie des semi-conducteurs nécessite des creusets à paroi ultra-mince (<3 mm) pour optimiser l'uniformité du champ thermique, et l'industrie aéronautique a besoin de creusets de forme spéciale pour s'adapter à des processus de fusion spécifiques.

Difficultés techniques :

Améliorez l'usinabilité des matériaux en molybdène et réduisez la tendance à la fissuration lors du traitement à haute température.

Développez une technologie de moulage de haute précision pour répondre aux besoins de fabrication de formes complexes et de structures à parois minces.

Optimisez la conception des moules et les chemins de traitement pour assurer une épaisseur de paroi et une qualité de surface uniformes.

Équilibrez la précision de fabrication et l'efficacité de la production pour répondre aux besoins de production de masse.

Stratégies:

Fabrication additive : Explorez les technologies d'impression 3D telles que la fusion laser sur lit de poudre (LPBF) ou la fusion par faisceau d'électrons (EBM) pour former directement des formes complexes de creusets et réduire le traitement ultérieur.

Pressage isostatique à chaud (HIP) : La technologie HIP est utilisée pour améliorer la densité et l'uniformité du creuset, réduire les défauts de moulage et convient aux structures à paroi mince.

Filature de précision : Développez des équipements de filature CNC équipés d'un système de surveillance en temps réel pour contrôler l'écart d'épaisseur de paroi et la rugosité de surface.

Optimisation du moule : concevez des moules progressifs à plusieurs étages et combinez l'analyse par éléments finis (FEA) pour simuler le processus de moulage et optimiser la distribution des contraintes et le flux de matériaux.

Application pratique :

Dans la méthode Czochralski monocristalline en silicium, les creusets en molybdène imprimés en 3D permettent d'obtenir une conception complexe de champ thermique et d'améliorer la qualité des cristaux.

Dans la fusion d'alliages à haute température pour l'aérospatiale, la technologie de filage de précision est utilisée pour fabriquer des creusets de forme spéciale afin de répondre à des besoins personnalisés.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

10.1.3 Contrôle des coûts

Les creusets en molybdène maintiennent leurs coûts de production élevés, limitant leur application généralisée dans certains domaines. Surtout sur un marché hautement concurrentiel, le contrôle des coûts devient un défi majeur.

Description du défi :

Coût des matières premières : Le molybdène de haute pureté (>99,95 %) est cher, et les éléments dopants (tels que CeO_2 , La_2O_3) et les revêtements anti-oxydation augmentent encore le coût.

Coûts de fabrication : Les processus à forte consommation d'énergie (tels que le frittage sous vide, la pulvérisation plasma) et les traitements complexes (tels que la filature de précision) entraînent des coûts de production élevés.

Coût de recyclage : Le recyclage des creusets de déchets implique un traitement chimique et une épuration métallurgique, qui est un processus complexe à forte consommation d'énergie.

Concurrence sur le marché : Les matériaux alternatifs à faible coût (tels que le graphite, la céramique) présentent des avantages de prix dans certaines applications, réduisant la part de marché des creusets en molybdène.

Difficultés techniques :

Réduire les coûts d'approvisionnement en molybdène de haute pureté et en matériaux dopants tout en maintenant les performances.

Optimisez les processus de production, réduisez la consommation d'énergie et les déchets, et améliorez l'utilisation des ressources.

Développer des technologies de recyclage efficaces pour réduire les coûts d'élimination des déchets et augmenter les taux de recyclage.

Des produits de creuset en molybdène adaptés aux marchés de milieu et bas de gamme.

Stratégies:

Optimisation des matières premières : explorez des sources de molybdène à faible coût (telles que les déchets de molybdène recyclés) ou des éléments dopants alternatifs (tels que le ZrO_2 au lieu des oxydes de terres rares) pour réduire les coûts des matières premières.

Amélioration des processus : Utilisez une technologie de frittage efficace (comme le frittage par micro-ondes) pour raccourcir le temps de chauffage et réduire la consommation d'énergie. Optimisez les parcours de traitement et réduisez la production de déchets.

Production à grande échelle : Construisez des lignes de production automatisées pour améliorer l'efficacité de la production et répartir les coûts unitaires.

Recyclage et intégration : Mettre en place un système de recyclage en boucle fermée pour convertir directement les creusets de déchets en poudre de molybdène de haute pureté, réduisant ainsi les

Copyright and Legal Liability Statement

coûts de recyclage.

Application pratique :

Dans le secteur de la fusion des terres rares, les lignes de production automatisées et le recyclage des déchets réduisent le coût de production des creusets en molybdène et améliorent la compétitivité du marché.

Dans l'épuration des métaux précieux, l'optimisation des procédés permet de réduire la consommation d'énergie et de répondre aux besoins en matière de coûts des petites et moyennes entreprises.

10.2 Nouveaux matériaux et technologies

L'introduction de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies a permis d'améliorer les performances et d'élargir l'application des creusets en molybdène. Les éléments suivants seront abordés sous trois aspects : les matériaux composites à base de molybdène, les nanostructures et les matériaux alternatifs.

10.2.1 Matériaux composites à base de molybdène

Les matériaux composites à base de molybdène améliorent les propriétés mécaniques, la résistance à la corrosion et la résistance à l'oxydation des creusets en ajoutant des phases de renforcement ou des phases fonctionnelles.

Conception matérielle :

Matériaux composites molybdène-terres rares : dopés à La_2O_3 , CeO_2 ou Y_2O_3 , grains raffinés ($<50 \mu\text{m}$), résistance améliorée à haute température et résistance au fluage, adaptés à la croissance du cristal de saphir (2050°C).

Composites molybdène - céramique : L'ajout de particules de SiC , Al_2O_3 ou ZrO_2 améliore la dureté et la résistance à l'usure et prolonge la durée de vie du creuset dans les matières fondues corrosives (telles que les métaux des terres rares).

Composites molybdène-métal : alliés avec du tungstène (Mo-W) ou du rhénium (Mo-Re) pour améliorer la ténacité et la résistance aux chocs thermiques, adaptés à la fusion à haute température dans l'aérospatiale.

Technologie de fabrication :

Métallurgie des poudres : Les creusets composites sont préparés par frittage à haute température et pressage à chaud pour assurer une distribution uniforme de la phase.

Projection plasma : Préparation de revêtements composites (tels que $\text{MoSi}_2/\text{ZrO}_2$) pour améliorer la résistance à l'oxydation de surface et la résistance à la corrosion.

Alliage mécanique : Utilisez le broyage à billes à haute énergie pour doper les phases de renforcement et optimiser la microstructure du matériau.

Copyright and Legal Liability Statement

Avantages en termes de performances :

La résistance à haute température est améliorée et la résistance au fluage est meilleure que celle du molybdène pur.

La résistance à l'oxydation est améliorée et la durée de vie du revêtement est prolongée.

Résistance à la corrosion améliorée, adaptée à une variété d'environnements de fusion.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les creusets composites Mo-Re améliorent la stabilité du cycle thermique et répondent aux besoins de production de monocristaux de silicium.

Dans les fonderies de terres rares, les creusets composites Mo-SiC peuvent résister à l'érosion du néodyme fondu et prolonger leur durée de vie.

10.2.2 Nanostructures

Les matériaux en molybdène nanostructuré améliorent considérablement les propriétés mécaniques et la stabilité à haute température des creusets en contrôlant la taille des grains et les caractéristiques d'interface.

Molybdène nanocristallin :

Méthode de préparation : La poudre de molybdène à l'échelle nanométrique (taille des particules <100 nm) est produite par atomisation plasma ou dépôt chimique en phase vapeur (CVD) et frittée dans des creusets par pressage à chaud.

Performances améliorées : La structure nanocristalline (grains <100 nm) augmente la densité des limites de grains, améliore la résistance et la ténacité et réduit le fluage à haute température.

Défi : Les matériaux nanocristallins peuvent connaître une croissance de grains à des températures ultra-élevées (>2000°C), et les joints de grains doivent être stabilisés par dopage.

Nano-revêtement :

Technologie : Les revêtements anti-oxydation à l'échelle nanométrique (tels que Al_2O_3 , Si_3N_4 , épaisseur 10-100 nm) sont préparés par dépôt de couche atomique (ALD) ou pulvérisation magnétron.

Avantages : Le nano-revêtement est dense et uniforme, le coefficient de dilatation thermique correspond à celui du substrat de molybdène et améliore considérablement la résistance à l'oxydation et à la corrosion.

Application : Pour prolonger la durée de vie des creusets dans des atmosphères contenant de l'oxygène et réduire la contamination par fusion.

Nanocomposites :

Conception: Introduire des nanoparticules (telles que ZrO_2 , SiC) comme deuxième phase pour améliorer les propriétés mécaniques et la stabilité thermique de la matrice Mo.

Copyright and Legal Liability Statement

Fabrication : Préparé par alliage mécanique et pressage isostatique à chaud (HIP) pour obtenir une dispersion uniforme des nanoparticules.

Performance : Améliore la résistance à la croissance des fissures et prolonge la durée de vie en fatigue du creuset.

Application pratique :

Dans la croissance des cristaux de saphir, les creusets en molybdène nanocristallin réduisent les fissures de contrainte thermique et améliorent la qualité des cristaux.

Dans l'aérospatiale, les creusets nano-revêtus résistent à l'oxydation à haute température et répondent aux besoins des environnements extrêmes.

10.2.3 Matériaux alternatifs

Bien que les creusets en molybdène offrent d'excellentes performances, dans certaines applications, d'autres matériaux peuvent offrir de meilleures performances en termes de coûts ou des avantages spécifiques en termes de performances.

Tungstène (W) :

Caractéristiques: Point de fusion plus élevé (3422 °C), meilleure résistance à la corrosion que le molybdène, adapté à un environnement à ultra-haute température (>2200 °C).

Limites: Haute densité (19,25 g / cm³), difficile à traiter, plus cher que le molybdène.

Application : Fusion d'alliage à haute température aérospatiale, remplacement partiel du creuset en molybdène.

Matériaux céramiques :

Types: Alumine (Al₂O₃), Oxyde de zirconium (ZrO₂), Nitrure de bore (BN).

Caractéristiques : Haute stabilité chimique, forte résistance à la corrosion, faible coût, mais résistance limitée à haute température (<2000°C).

Application : Fusion de terres rares de bas à moyen terme ou purification de métaux précieux, remplaçant certains creusets en molybdène.

graphite:

Caractéristiques : faible coût, traitement facile, conductivité thermique élevée, mais facile à oxyder et doit être utilisé sous vide ou en atmosphère inerte.

Application : Fusion de silicium à faible coût, remplacement partiel du creuset en molybdène.

Amélioration : Le graphite est recouvert d'une couche de SiC ou BN pour améliorer la résistance à l'oxydation et la résistance à la corrosion.

Matériaux composites :

Conception : Composite tungstène-céramique ou composite graphite-molybdène, combinant les avantages des deux.

Avantages : Équilibre les performances à haute température et le coût pour s'adapter à des applications spécifiques.

Copyright and Legal Liability Statement

Applications : Fabrication d'alliages à haute température et croissance de cristaux.

Application pratique :

Dans la purification des métaux précieux, les creusets en zircone constituent une alternative peu coûteuse pour répondre aux besoins des petites et moyennes entreprises.

Dans l'aérospatiale, les creusets en tungstène sont utilisés pour la fusion à ultra-haute température afin de compenser la limitation de température des creusets en molybdène.

10.3 Fabrication intelligente et écologique

La fabrication intelligente et verte sont les orientations clés de l'industrie des creusets en molybdène pour faire face aux défis technologiques et au développement durable. Trois aspects seront abordés : la surveillance intelligente, les économies d'énergie et la protection de l'environnement, ainsi que le recyclage des déchets.

10.3.1 Surveillance intelligente

Production et utilisation de creusets en molybdène grâce à des capteurs, à l'Internet des objets (IoT) et à l'intelligence artificielle (IA).

Suivi de production :

Réseau de capteurs : déployez des capteurs de température, de pression et de vibrations dans les fours de frittage, les machines de filature et les équipements de revêtement pour collecter les paramètres de processus en temps réel.

Analyse des données : utilisez des algorithmes d'IA pour analyser les données des capteurs, prédire les défaillances des équipements et optimiser les paramètres du processus (tels que la température de frittage et la vitesse d'essorage).

Jumeau numérique : créez un modèle virtuel du processus de production du creuset pour simuler les champs thermiques, la distribution des contraintes et le flux de matériaux afin de guider les améliorations du processus.

Suivi de l'utilisation :

Surveillance à haute température : Installez des thermomètres infrarouges et des thermocouples dans le four de croissance des cristaux ou de fusion pour surveiller la distribution de la température du creuset en temps réel et contrôler l'écart dans une très petite plage.

Contrôle de l'atmosphère : Utilisez un spectromètre de masse et un capteur d'oxygène pour surveiller la composition du gaz dans le four et ajustez automatiquement le débit d'argon ou d'hydrogène pour maintenir la teneur en oxygène extrêmement faible.

Prédiction de la durée de vie : analysez les données du cycle thermique du creuset grâce à l'apprentissage automatique pour prédire l'apparition des fissures et l'atténuation de la durée de vie, et optimiser les cycles de maintenance.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Traçabilité de la qualité :

Technologie blockchain : enregistre l'ensemble des données du cycle de vie du creuset de la production à l'utilisation pour assurer une traçabilité de qualité.

QR code /RFID : Chaque creuset est équipé d'une identification unique, qui est liée aux registres de production, de test et d'utilisation pour faciliter l'analyse des défauts.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les systèmes de surveillance intelligents garantissent des champs thermiques uniformes dans les creusets en molybdène lors de la production de monocristaux de silicium, réduisant ainsi les défauts.

Dans le domaine de la fusion des terres rares, la technologie des jumeaux numériques optimise la conception des creusets et prolonge leur durée de vie.

10.3.2 Économie d'énergie et protection de l'environnement

Production de creusets en molybdène grâce à des technologies d'économie d'énergie et à des mesures de protection de l'environnement .

Technologie d'économie d'énergie :

Chauffage efficace : Utilisez le frittage par micro-ondes ou le chauffage par induction au lieu du chauffage par résistance traditionnel pour améliorer l'utilisation de l'énergie.

Récupération de chaleur : Des caloducs ou des échangeurs de chaleur sont installés dans le four de frittage pour récupérer la chaleur résiduelle pour le préchauffage ou le chauffage de l'installation.

Contrôle intelligent : déployez des moteurs à fréquence variable et des systèmes de gestion de l'énergie pour ajuster dynamiquement la puissance de l'équipement et réduire la consommation d'énergie en veille.

Mesures de protection de l'environnement :

Le SO₂ produit par la torréfaction est converti en sous-produits par désulfuration humide, et les composés organiques volatils (COV) sont éliminés par combustion catalytique.

Recyclé après neutralisation et filtration, réduisant la consommation de ressources en eau.

Énergie bas carbone : Intégrer l'énergie solaire ou éolienne pour réduire l'empreinte carbone de la production et privilégier les fournisseurs d'électricité verte.

Gestion du cycle de vie :

Analyse ACV : Évaluer l'impact environnemental des creusets, de l'extraction des matières premières au recyclage, et optimiser les procédés bas carbone.

Certification verte : Demandez la certification ISO 14001 (système de gestion environnementale) et ISO 50001 (système de gestion de l'énergie) pour démontrer votre engagement environnemental.

Neutralité carbone : Atteindre la neutralité carbone dans la production grâce à la compensation carbone ou au reboisement, en réponse à l'objectif mondial de neutralité carbone 2050.

Application pratique :

Dans la croissance du verre saphir, le système de récupération de chaleur réduit la consommation

Copyright and Legal Liability Statement

d'énergie du four de frittage et améliore la durabilité de la production.

Dans la fabrication d'alliages haute température pour l'aérospatiale, la technologie de traitement des gaz d'échappement réduit les émissions de SO₂ et améliore la qualité de l'environnement.

10.3.3 Recyclage des déchets

Une technologie efficace de recyclage des déchets est au cœur de la fabrication écologique, car elle favorise le recyclage des ressources et les économies de coûts.

Procédé de recyclage :

Classification : Stocker séparément les déchets de production (déchets, poudre) et les déchets post-utilisation (creusets de déchets, résidus de revêtement) pour éviter la contamination croisée.

Récupération physique : Utilisez le broyage, le criblage et la séparation magnétique pour séparer la matrice de molybdène et les impuretés, et récupérer des fragments de molybdène de haute pureté.

Récupération chimique : Le molybdate d'ammonium est extrait des déchets par lixiviation acide et dissolution de l'ammoniac, puis calciné pour produire de la poudre de molybdène de haute pureté.

Récupération métallurgique : Utilisez la fusion sous vide ou le raffinage au plasma pour purifier les déchets de molybdène et produire des lingots de molybdène de haute pureté.

Innovation technologique :

Tri automatisé : introduction de trieurs à rayons X et de robots pour améliorer l'efficacité et la pureté du tri des déchets.

Système en boucle fermée : La poudre de molybdène recyclée est directement utilisée dans la production de nouveaux creusets, réduisant ainsi le gaspillage de ressources.

Recyclage à faible consommation d'énergie : Développer une technologie de recyclage électrochimique pour réduire la consommation d'énergie et la pollution dans le traitement des déchets liquides.

Contrôle qualité:

La poudre de molybdène recyclée doit être testée pour sa pureté et sa teneur en impuretés, ce qui doit être conforme aux normes ASTM B386.

L'utilisation de l'ICP-MS garantit que le matériau recyclé est adapté aux applications haut de gamme, l'équivalence du matériau recyclé avec le molybdène vierge.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les creusets usagés sont recyclés pour produire de la poudre de molybdène de haute pureté afin de répondre aux besoins de la production de monocristaux de silicium.

Dans les fonderies de terres rares, les systèmes de recyclage en boucle fermée réduisent les coûts d'élimination des déchets et améliorent l'efficacité des ressources.

10.4 Tendances futures

Les creusets en molybdène s'articuleront autour d'une conception haute performance, d'applications inter-champs et d'une adaptabilité aux environnements extrêmes, stimulant l'innovation

Copyright and Legal Liability Statement

technologique de l'industrie et l'expansion du marché.

10.4.1 Conception haute performance

Les creusets en molybdène haute performance répondront aux exigences des applications les plus exigeantes grâce à l'innovation des matériaux, à l'optimisation structurelle et à la conception intelligente.

Mise à niveau matérielle :

Développer du molybdène de très haute pureté (>99,999 %) et de nouveaux matériaux composites (tels que Mo-W-Re) pour améliorer la résistance aux hautes températures et la résistance à la corrosion.

L'introduction de revêtements auto-cicatrisants (tels que les revêtements nanocomposites contenant du ZrO₂) pour réparer automatiquement les microfissures à haute température et prolonger la durée de vie.

Optimisation structurelle :

Concevoir des creusets à paroi mince (<2 mm) et de grand diamètre (>600 mm) pour optimiser l'uniformité du champ thermique et réduire la consommation de matériaux.

Développer des creusets modulaires qui peuvent être facilement démontés et recyclés, soutenant ainsi une économie circulaire.

Conception intelligente :

Intégrez des capteurs (tels que des capteurs de température et de stress) dans la paroi du creuset pour surveiller l'état de fonctionnement en temps réel et prévoir les risques de défaillance.

Utilisez la technologie du jumeau numérique pour optimiser la géométrie du creuset et équilibrer la conductivité thermique et les propriétés mécaniques.

Application pratique :

Dans la fabrication de semi-conducteurs de nouvelle génération, les creusets en molybdène de très haute pureté prennent en charge des processus de production de plaquettes plus avancés.

Dans la fabrication d'alliages à haute température, les creusets à revêtement auto-cicatrisant prolongent la durée de vie et réduisent les coûts de maintenance.

10.4.2 Applications interdomaines

Les creusets en molybdène passeront des domaines traditionnels aux industries émergentes pour répondre à des besoins diversifiés.

Nouvelles énergies :

Dans la fabrication de cellules solaires en pérovskite, les creusets en molybdène sont utilisés dans les processus d'évaporation ou de fusion à haute température pour favoriser une production efficace de cellules.

Dans les réacteurs à fusion nucléaire, les creusets en molybdène sont utilisés pour fondre les matériaux de confinement au plasma à haute température.

Copyright and Legal Liability Statement

Produits biopharmaceutiques :

Dans la fabrication de dispositifs médicaux haut de gamme, les creusets en molybdène sont utilisés pour purifier les métaux biocompatibles tels que les alliages de titane.

Dans la synthèse pharmaceutique, les creusets en molybdène prennent en charge les réactions chimiques à haute température et garantissent une grande pureté.

Impression 3D :

Dans l'impression 3D métal, les creusets en molybdène sont utilisés pour fondre des poudres d'alliage à point de fusion élevé afin de répondre aux besoins des industries aérospatiale et automobile.

Développer des creusets spéciaux en molybdène pour soutenir l'impression continue et la production à grande échelle.

Application pratique :

Dans la recherche sur la fusion nucléaire, les creusets en molybdène soutiennent les essais de matériaux à haute température et contribuent au développement de l'énergie propre.

Dans l'industrie de l'impression 3D, les creusets en molybdène améliorent la qualité des poudres d'alliage et répondent aux besoins de fabrication de précision.

10.4.3 Environnements extrêmes

Les creusets en molybdène s'adapteront à des environnements de travail plus extrêmes, tels que l'ultra-haute température, la forte corrosion et les atmosphères complexes.

Ultra-haute température :

Creusets composites à base de molybdène avec une résistance à la température de $>2500^{\circ}\text{C}$ pour répondre aux besoins de fusion des alliages à ultra-haute température dans l'aérospatiale.

Utilisez des nano-revêtements multicouches (tels que Si_3N_4 / ZrO_2) pour améliorer la résistance à l'oxydation et la stabilité thermique.

Forte corrosion :

Concevoir des creusets résistants à la corrosion par les métaux des terres rares et les sels fondus pour une utilisation dans les batteries à énergie nouvelle et l'industrie chimique.

L'introduction de matériaux composites molybdène-céramique améliore la stabilité chimique et prolonge la durée de vie.

Atmosphère complexe :

Développer des creusets adaptés aux atmosphères contenant de l'oxygène, du soufre ou des halogènes pour répondre aux besoins particuliers des fonderies.

Utilisez un système intelligent de contrôle de l'atmosphère pour ajuster dynamiquement la composition du gaz et protéger la surface du creuset.

Application pratique :

Dans l'aérospatiale, les creusets en molybdène résistants aux ultra-hautes températures soutiennent

Copyright and Legal Liability Statement

la recherche et le développement de nouveaux matériaux de propulsion.

Dans l'industrie chimique, les creusets résistants à la corrosion améliorent l'efficacité des réactions des sels fondus et réduisent les risques de production.



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

Chapitre 11 Normes et spécifications des creusets en molybdène

Les creusets en molybdène s'appuient sur des normes et des spécifications strictes pour garantir l'uniformité des matériaux, la précision de fabrication et la sécurité d'utilisation. Ce chapitre traite en détail des normes nationales (GB), des normes internationales (ISO), des normes américaines (ANSI) et d'autres normes internationales et industrielles liées aux creusets en molybdène, et analyse les exigences de mise en œuvre et de certification des normes, couvrant la production, les essais, la certification de la qualité et la conformité à l'exportation, en se référant aux normes faisant autorité à l'échelle mondiale et aux pratiques de l'industrie, et en fournissant des conseils techniques complets.

11.1 Normes nationales (GB)

La norme nationale chinoise (GB/T) fournit des spécifications détaillées pour les matériaux, les tests et l'équipement des creusets en molybdène et est largement utilisée dans la production et les applications nationales.

11.1.1 GB/T Norme de matériau en molybdène

La norme GB/T spécifie la composition chimique, les propriétés mécaniques, les propriétés de traitement et les exigences d'application du molybdène et des alliages de molybdène, et constitue la

Copyright and Legal Liability Statement

base de la fabrication des creusets en molybdène.

Critères principaux :

GB/T 3462-2017 Barres et tiges en molybdène :

Contenu : Spécifie la composition chimique (par exemple $Mo \geq 99,95\%$), la tolérance dimensionnelle, la qualité de surface et les propriétés mécaniques des barres et des tiges de molybdène.

Aptitude : Matières premières utilisées pour la fabrication des creusets, assurant une pureté et une consistance élevées.

Exigences : La surface de la barre de molybdène doit être exempte de fissures, de tartre d'oxyde ou d'inclusions, la tolérance doit être contrôlée au niveau du micron et elle doit convenir à la filature ou au forgeage.

GB/T 3876-2017 Plaques, bandes et feuilles de molybdène et d'alliage de molybdène :

Contenu : Normaliser l'épaisseur, la largeur, la rugosité de surface et les propriétés mécaniques (telles que la résistance à la traction et l'allongement) des plaques de molybdène.

Applicabilité : Utilisé pour les creusets de soudage ou de rotation, particulièrement adapté aux creusets à paroi mince.

Exigences : La rugosité de surface de la plaque $Ra < 1,6 \mu m$, l'écart d'épaisseur est extrêmement faible, répondant aux exigences de haute précision.

GB/T 4182-2017 Poudre de molybdène :

Contenu : Spécifie la taille des particules, la pureté, la densité apparente et les propriétés d'écoulement de la poudre de molybdène.

Applicabilité : Utilisé pour la préparation d'ébauches de creusets par métallurgie des poudres afin d'assurer une densité élevée de creusets frittés.

Exigences : Pureté de la poudre de molybdène $> 99,95\%$, teneur en oxygène extrêmement faible, taille de particule uniforme.

Principales exigences :

Composition chimique : Les matériaux des creusets en molybdène doivent être d'une grande pureté et la teneur en impuretés (telles que Fe, Ni, C, O) doit être strictement contrôlée pour éviter la dégradation des performances à haute température.

Propriétés mécaniques : La résistance à la traction et la ductilité à haute température doivent répondre aux exigences de la croissance cristalline ou de l'environnement de fusion.

Qualité de surface : Les surfaces intérieures et extérieures du creuset doivent être lisses et exemptes de défauts (tels que des rayures et des pores) pour éviter la contamination de la masse fondue.

Application pratique :

Dans la croissance du verre saphir, GB/T 3462 garantit la haute pureté des tiges de molybdène et répond aux exigences de température élevée de $2050^{\circ}C$.

Dans la fusion des terres rares, des plaques de molybdène conformes à la norme GB/T 3876 sont utilisées pour souder les creusets afin d'assurer la qualité de la soudure.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

11.1.2 Essais et évaluation

La norme GB/T fournit des méthodes détaillées pour les tests de performance et l'évaluation de la qualité des creusets en molybdène afin de s'assurer que les produits répondent aux exigences de conception et d'application.

Méthode d'essai :

Analyse de la composition chimique : La spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) ou la spectroscopie de fluorescence X (XRF) est utilisée pour détecter la pureté du molybdène et la teneur en impuretés avec une précision extrêmement élevée.

Test des propriétés mécaniques :

Essai de traction (GB/T 228.1) : Mesure la résistance à la traction, la limite d'élasticité et l'allongement à température ambiante et à haute température (1000-1500°C).

Essai de dureté (GB/T 231.1) : Utilisez l'appareil d'essai de dureté Vickers pour évaluer la dureté du matériau du creuset, en reflétant l'effet de raffinement du grain.

Analyse de la microstructure : Utilisez la microscopie électronique à balayage (MEB) et la diffraction par rétrodiffusion d'électrons (EBSD) pour examiner la taille des grains et les défauts (par exemple, les pores, les inclusions).

Inspection de la qualité de surface : Utilisez un microscope optique ou un instrument de diffusion laser pour inspecter la rugosité de surface (Ra) et les défauts (tels que les rayures et les fissures).

Critères d'évaluation :

Précision dimensionnelle : Les tolérances de diamètre, de hauteur et d'épaisseur de paroi du creuset doivent répondre aux exigences de conception, et l'écart doit être contrôlé au niveau du micron.

Cohérence des performances : Les propriétés mécaniques et la composition chimique des lots de creusets doivent être très constantes, avec des différences de lot minimales.

Stabilité à haute température : La résistance au fluage et à la corrosion du creuset est testée à 1700-2050°C pour garantir une utilisation à long terme sans défaillance.

Contrôle qualité:

Mettre en œuvre un contrôle statistique du processus (SPC) pour surveiller les paramètres clés du processus de production (tels que la température de frittage et la pression de rotation).

Chaque lot de creusets doit être accompagné d'un rapport d'essai enregistrant la composition chimique, les propriétés mécaniques et les données relatives à la qualité de surface.

Les produits défectueux doivent être isolés et analysés pour éviter qu'ils n'entrent sur le marché.

Application pratique :

Dans la production de monocristaux de silicium semi-conducteurs, la méthode d'essai GB/T garantit que la surface du creuset est exempte de défauts et répond à des exigences de pureté élevées.

Dans la fusion d'alliages aérospatiaux à haute température, des essais de traction à haute température vérifient la résistance au fluage des creusets.

Copyright and Legal Liability Statement

11.1.3 Spécifications de l'équipement

La norme GB/T définit des exigences claires pour la fabrication et l'équipement d'essai de creusets en molybdène afin de garantir la fiabilité et la cohérence du processus de production.

Équipement de fabrication :

Four de frittage : Le four de frittage sous vide doit avoir des capacités de haute température (>2000°C) et de basse pression (<10⁻³ Pa) et être équipé d'un système de contrôle précis de la température (±5°C).

Machine à filer : La machine à filer CNC doit prendre en charge un traitement de précision au micron et être équipée d'un système de surveillance en temps réel pour contrôler l'uniformité de l'épaisseur de la paroi.

Équipement de soudage : Un équipement de soudage TIG ou de soudage par faisceau d'électrons est nécessaire pour s'assurer que la soudure est exempte de pores et a une force de liaison élevée.

Équipement d'essai :

Contrôle dimensionnel : À l'aide d'un télémètre laser ou d'une machine à mesurer tridimensionnelle (CMM), le diamètre, la hauteur et l'épaisseur de la paroi du creuset sont mesurés avec une précision extrêmement élevée.

Inspection de surface : Équipé d'un microscope optique haute résolution et d'un instrument de diffusion laser pour détecter la rugosité de surface et les microfissures.

Essais non destructifs : Utilisez un instrument de contrôle par ultrasons ou un appareil de recherche de défauts par courants de Foucault pour vérifier les défauts internes du creuset (tels que les inclusions, les pores).

Entretien de l'équipement :

L'équipement est étalonné régulièrement pour répondre aux exigences de la norme GB/T 10067 (Electrical Equipment Specifications) avec des écarts de précision extrêmement faibles.

Équipé de systèmes de contrôle de l'environnement (tels que des salles blanches, grade ISO 7) pour prévenir la contamination pendant le fonctionnement de l'équipement.

Enregistrez les journaux de fonctionnement de l'équipement, analysez les causes des pannes et optimisez les cycles de maintenance.

Application pratique :

Dans la production de creusets de fusion de terres rares, les machines de filature CNC assurent une épaisseur de paroi uniforme et répondent aux normes GB/T.

Dans les équipements de croissance cristalline, le contrôle par ultrasons vérifie que le creuset ne présente pas de défauts internes, améliorant ainsi la fiabilité.

11.2 Normes internationales (ISO)

Les normes ISO fournissent des spécifications uniformes à l'échelle mondiale pour les essais de performance, la gestion de l'environnement et le contrôle de la qualité des creusets en molybdène, et sont largement utilisées dans le commerce international et les applications haut de gamme.

Copyright and Legal Liability Statement

11.2.1 Essai de traction ISO 6892

La série de normes ISO 6892 spécifie les méthodes d'essai de traction pour les matériaux métalliques et s'applique à l'évaluation des propriétés mécaniques des creusets en molybdène.

Contenu standard :

L'ISO 6892-1 : Essai de traction à température ambiante, spécifie les méthodes de préparation de l'éprouvette, de vitesse d'essai et d'enregistrement des données.

ISO 6892-2 : Essai de traction à haute température (1000-1500°C), adapté à l'essai de performance du creuset en molybdène dans un environnement à haute température.

ISO 6892-3 : Essai de traction à basse température pour évaluer la ténacité du molybdène dans des conditions spécifiques.

Exigences de test :

Préparation de l'échantillon : Le matériau du creuset en molybdène est transformé en un échantillon standard (tel qu'un cylindre ou une plaque) sans défaut de surface.

Conditions d'essai : Les essais à haute température doivent être effectués sous vide ou sous atmosphère inerte pour éviter l'oxydation, avec une précision de contrôle de la température de $\pm 5^\circ\text{C}$.

Paramètres de mesure : résistance à la traction, limite d'élasticité, allongement et réduction de surface avec une répétabilité des données élevée.

Applicabilité:

Utilisé pour vérifier la stabilité mécanique des creusets en molybdène lors de la fusion à haute température (par exemple 2050°C).

Assurez-vous que les propriétés mécaniques des creusets en molybdène dopé (tels que Mo-La₂O₃) sont meilleures que celles du molybdène pur.

Application pratique :

Dans la croissance du verre saphir, le test ISO 6892-2 garantit que le creuset ne se déforme pas à haute température.

Dans la fusion d'alliages aérospatiaux à haute température, des essais de traction vérifient la résistance au fluage des creusets.

11.2.2 ISO 14001 Management environnemental

ISO 14001 fournit un cadre de système de management environnemental pour la production de creusets en molybdène, visant à réduire l'impact environnemental et à promouvoir le développement durable.

Contenu standard :

Définir des politiques, des objectifs et des plans environnementaux, et identifier les impacts environnementaux de la production (tels que la consommation d'énergie, les gaz résiduels, les eaux usées).

Il est tenu d'établir des indicateurs de performance environnementale et de revoir et d'améliorer régulièrement le système de gestion.

Copyright and Legal Liability Statement

Mettre l'accent sur la conformité et le respect des réglementations environnementales locales et internationales.

Exigences de mise en œuvre :

Gestion de l'énergie : optimisez les processus de frittage et de forgeage, réduisez la consommation d'énergie et utilisez des énergies renouvelables (telles que l'énergie solaire).

Traitement des déchets : Recyclage des déchets de molybdène, traitement des gaz résiduels de grillage (tels que le SO₂) et des déchets chimiques liquides pour garantir un rejet zéro pollution.

Surveillance de l'environnement : Installez des équipements de surveillance des gaz d'échappement et des eaux usées pour enregistrer les données d'émission en temps réel et respecter les normes d'émission.

Formation du personnel : Améliorer la sensibilisation du personnel à l'environnement et s'assurer que les opérations sont conformes aux exigences de la norme ISO 14001.

Applicabilité:

Améliorer l'image verte des fabricants de creusets en molybdène et répondre aux exigences de protection de l'environnement des clients haut de gamme (tels que l'industrie des semi-conducteurs). Soutenez le marché de l'exportation et respectez les réglementations européennes REACH et RoHS.

Application pratique :

Dans le domaine de la fusion des terres rares, l'ISO 14001 guide le traitement des gaz résiduels afin de réduire les émissions de SO₂.

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les systèmes de gestion environnementale garantissent que le processus de production est exempt de pollution et répond aux exigences des salles blanches.

11.2.3 ISO 3452 Essais non destructifs

L'ISO 3452 spécifie la méthode d'essai par ressuage (PT) pour la détection des microfissures et des défauts à la surface des creusets en molybdène.

Contenu standard :

Spécifiez le choix des pénétrants, des révélateurs et des agents de nettoyage, ainsi que les procédures d'essai et les conditions environnementales.

Y compris les niveaux de sensibilité (1-4), adaptés aux creusets avec des exigences de précision différentes.

Il est exigé que les inspecteurs suivent une formation professionnelle et se conforment à la norme ISO 9712 (certification du personnel des essais non destructifs).

Processus de test :

Préparation de la surface : La surface du creuset est nettoyée pour être exempte d'huile, de tartre et de rugosité Ra < 0,8 µm.

Application par ressuage : Appliquer un pénétrant à haute sensibilité, avec un temps de pénétration de 5 à 30 minutes pour couvrir les microfissures.

Imagerie et observation : Utilisez un révélateur pour montrer les défauts et combinez-le avec de la

Copyright and Legal Liability Statement

lumière ultraviolette ou de la lumière blanche pour vérifier l'emplacement et la morphologie des fissures.

Évaluation des résultats : Le creuset est qualifié en fonction de la taille et de la distribution du défaut. Si la longueur de la fissure est extrêmement petite, elle doit être réparée.

Applicabilité:

Utilisé pour détecter la qualité de la soudure des creusets de soudage et empêcher la propagation des fissures à haute température.

Assurez-vous qu'il n'y a pas de microfissures à la surface du creuset en rotation pour répondre aux exigences de propreté de l'industrie des semi-conducteurs.

Application pratique :

Dans la production de monocristaux de silicium, les tests ISO 3452 garantissent que la surface du creuset est exempte de défauts afin d'éviter la contamination du silicium fondu.

Dans l'aérospatiale, le ressuage permet de vérifier l'intégrité des soudures sur de grands creusets.

11.3 Norme américaine (norme américaine)

Les normes américaines (ASTM, ASME) fournissent des spécifications de haute précision pour les matériaux, les tests et les équipements pour les creusets en molybdène et sont largement utilisées sur le marché international.

11.3.1 Alliage de molybdène ASTM B386

La norme ASTM B386 est la norme internationale faisant autorité pour le molybdène et les alliages de molybdène, couvrant les exigences en matière de matériaux pour la fabrication de creusets.

Contenu standard :

Spécifie la composition chimique, les propriétés mécaniques et les propriétés de traitement du molybdène et des alliages de molybdène (Mo, Mo-La₂O₃, Mo-W).

Comprend des spécifications pour les plaques, les barres, les feuilles et les pièces forgées adaptées au filage, au soudage et au forgeage de creusets.

La pureté du molybdène doit être de >99,95 % et la teneur en impuretés (telles que Fe, Ni et C) est extrêmement faible.

Principales exigences :

Composition chimique : La pureté des matériaux en molybdène doit être vérifiée par une analyse spectrale pour garantir une stabilité à haute température.

Propriétés mécaniques : Résistance à la traction, limite d'élasticité et allongement spécifiés pour répondre aux exigences de haute température (1700-2050°C).

Qualité de surface : La surface du matériau ne présente pas de fissures, d'inclusions ou de couches d'oxyde, ce qui convient à un traitement de haute précision.

Tolérance dimensionnelle : Les tolérances d'épaisseur et de diamètre des plaques et des barres sont contrôlées au niveau du micron.

Copyright and Legal Liability Statement

Applicabilité:

Utilisé pour fabriquer des creusets en molybdène haute performance qui répondent aux exigences strictes des industries de la croissance du verre saphir et des semi-conducteurs.

Sélection du matériau de guidage et optimisation des performances des creusets en molybdène dopé (tels que Mo-CeO₂).

Application pratique :

Dans la croissance du verre saphir, la norme ASTM B386 garantit la haute pureté et les propriétés mécaniques des plaques de molybdène.

Dans la fusion des terres rares, des tiges de molybdène de spécification standard sont utilisées pour forger des creusets afin d'assurer la résistance à la corrosion.

11.3.2 Essai de dureté ASTM E384

La norme ASTM E384 spécifie les méthodes d'essai de dureté Vickers et Knoop pour évaluer la dureté et la microstructure des matériaux de creuset en molybdène.

Contenu standard :

Spécifie la charge (0,1-10 kg), le type de pénétrateur (pyramide de diamants) et la méthode de mesure pour l'essai de dureté.

Comprend des conditions d'essai à température ambiante et à haute température (1000 °C), adaptées à l'évaluation des performances des creusets en molybdène.

La surface d'essai doit être plane, avec une rugosité Ra<0,5 µm et une répétabilité de mesure extrêmement élevée.

Processus de test :

Préparation de l'échantillon : Le matériau du creuset en molybdène est poli jusqu'à ce qu'il soit poli jusqu'à ce qu'il devienne miroir et nettoyé pour éliminer l'huile et les particules.

Mesure de la dureté : utilisez un duromètre Vickers pour appliquer une charge constante, mesurer la longueur diagonale de l'indentation et calculer la valeur de dureté.

Analyse des résultats : comparez les valeurs de dureté dans différentes zones pour évaluer l'effet d'affinement du grain et l'homogénéité du matériau.

Applicabilité:

Utilisé pour vérifier l'effet du dopage ou du traitement thermique sur la dureté du creuset en molybdène et refléter la résistance à l'usure.

Guidez l'optimisation du processus de fabrication du creuset, comme la température de frittage et la déformation de forgeage.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les tests ASTM E384 garantissent la dureté élevée des creusets en molybdène pour répondre aux exigences d'utilisation à long terme.

Dans la fusion d'alliages à haute température, l'essai de dureté vérifie les performances anti-déformation du creuset.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model

Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

11.3.3 Récipients à haute température de l'ASME

Les normes ASME fournissent des spécifications pour la conception, la fabrication et les essais de récipients à haute température (tels que les creusets) et conviennent à une utilisation dans des creusets en molybdène sous pression ou dans des environnements à haute température.

Contenu standard :

ASME BPVC Section VIII : Conception et fabrication des récipients sous pression, spécifie la sélection des matériaux, l'analyse des contraintes et les facteurs de sécurité.

ASME B31.3 : Spécification de tuyauterie de traitement applicable aux systèmes de fours où se trouvent des creusets.

ASME PTC 19.3 : Test de performance à haute température pour évaluer la stabilité des creusets dans des conditions extrêmes.

Principales exigences :

Sélection du matériau: Le creuset en molybdène doit être conforme à la norme ASTM B386, résistance aux hautes températures et résistance à la corrosion.

Vérification de la conception : L'analyse par éléments finis (FEA) a été utilisée pour simuler la distribution des contraintes du creuset à haute température (>2000°C) et à des cycles thermiques.

Test de sécurité : Un test de pression et un test de choc thermique sont effectués pour s'assurer que le creuset ne présente pas de fissures ou de déformations.

Applicabilité:

Les creusets en molybdène utilisés dans les industries aéronautique et nucléaire garantissent la sécurité et la fiabilité.

Fournir des conseils pour la conception de grands creusets (diamètre > 500 mm) afin de répondre à des exigences complexes en matière de champs thermiques.

Application pratique :

Dans le domaine de la fusion des alliages à haute température dans l'aérospatiale, les normes ASME garantissent le fonctionnement en toute sécurité des creusets.

Dans la recherche sur la fusion nucléaire, les conceptions standard de creusets prennent en charge les essais de matériaux à haute température.

11.4 Autres normes internationales et industrielles

En plus de la norme nationale, de l'ISO et de la norme américaine, d'autres normes internationales et industrielles fournissent des spécifications supplémentaires pour les creusets en molybdène, qui conviennent à des marchés et des applications spécifiques.

11.4.1 JIS G 0571

La norme industrielle japonaise (JIS G 0571) spécifie les méthodes d'essai de corrosion pour l'acier inoxydable et les alliages résistants à la chaleur, qui s'applique partiellement à l'évaluation de la résistance à la corrosion des creusets en molybdène.

Copyright and Legal Liability Statement

Contenu standard :

Spécifie les méthodes d'essais d'immersion et d'essais électrochimiques pour évaluer les performances des matériaux dans des environnements corrosifs.

Il s'agit notamment des solutions acides (telles que le HNO_3), des métaux en fusion (tels que le néodyme) et des tests d'atmosphère à haute température.

Applicabilité:

Utilisé pour tester la résistance à la corrosion des creusets en molybdène dans la fusion des terres rares, en particulier dans les environnements de métaux de terres rares en fusion.

la vérification des performances des revêtements anticorrosion tels que le MoSi_2 .

Exigences de mise en œuvre :

L'environnement de test doit simuler des conditions d'utilisation réelles (telles que 1700°C , néodyme fondu).

Mesurez la perte d'épaisseur de paroi, la profondeur d'érosion de surface et la perte de masse pour évaluer la durée de vie du creuset.

Application pratique :

Dans la production d'aimants NdFeB, le test JIS G 0571 garantit la résistance à la corrosion des creusets en molybdène.

Dans la purification des métaux précieux, l'étalon vérifie la stabilité du creuset dans un environnement acide.

11.4.2 NORME DIN EN 10228

La norme allemande DIN EN 10228 régit le contrôle non destructif des produits métalliques et s'applique au contrôle de la qualité interne et de surface des creusets en molybdène.

Contenu standard :

Y compris les méthodes de contrôle par ultrasons (UT), de magnétoscopie (MT) et de contrôle par courants de Foucault (ET).

Spécifiez les critères d'acceptation des défauts tels que la longueur de la fissure et la taille des pores.

Exigences en matière de tests :

Contrôle par ultrasons : Utilisez une sonde haute fréquence (5-10 MHz) pour vérifier la présence d'inclusions et de pores à l'intérieur du creuset avec une sensibilité extrêmement élevée.

Test par courants de Foucault : Détecte les fissures de surface et souterraines, adapté aux creusets de soudage.

Magnétoscopie : Pour détecter les microfissures de surface, il doit être effectué dans des conditions aimantées.

Applicabilité:

Pour le contrôle de la qualité de grands creusets en molybdène (diamètre > 300 mm) afin de s'assurer qu'il n'y a pas de défauts internes.

Copyright and Legal Liability Statement

Répond aux exigences élevées de fiabilité des industries aérospatiale et nucléaire.

Application pratique :

Dans la fusion d'alliages aérospatiaux à haute température, la norme DIN EN 10228 garantit que les creusets sont exempts de défauts internes.

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les tests par courants de Foucault vérifient la qualité de surface du creuset et empêchent la contamination par fusion.

11.4.3 GOST 17431

La norme russe GOST 17431 spécifie les propriétés et les méthodes d'essai des alliages résistants à la chaleur et convient à l'application de creusets en molybdène dans des environnements à haute température.

Contenu standard :

Spécifie la composition chimique, les propriétés mécaniques et la stabilité à haute température des alliages résistants à la chaleur.

Comprend des méthodes d'essai de traction, de fluage et de fatigue à haute température.

Exigences de test :

Traction à haute température : Testez la résistance à la traction et l'allongement à 1400-1800°C.

Essai de fluage : Mesure la vitesse de déformation d'un creuset à haute température (1700°C) et à contrainte constante.

Essais de fatigue : Simule les conditions de cyclage thermique pour évaluer la durée de vie en fatigue des creusets.

Applicabilité:

creusets en molybdène pour le marché russe, répondant aux besoins des industries aérospatiale et énergétique.

Guider l'optimisation des performances des creusets en molybdène dopé.

Application pratique :

Dans la recherche sur la fusion nucléaire, l'essai GOST 17431 garantit la résistance au fluage des creusets en molybdène.

Dans la fusion d'alliages à haute température, la norme vérifie la durée de vie en fatigue du creuset.

11.5 Mise en œuvre et certification de la norme

La mise en œuvre et la certification des normes sont essentielles pour garantir la qualité et la compétitivité sur le marché des creusets en molybdène, couvrant la production, les essais, la certification de la qualité et la conformité à l'exportation.

11.5.1 Production et essais

La mise en œuvre des normes exige que les spécifications soient intégrées dans les processus de production et d'essai afin d'assurer l'uniformité et la fiabilité du produit.

Copyright and Legal Liability Statement

Mise en œuvre de la production :

Contrôle du processus: Sélectionnez des matériaux en molybdène de haute pureté selon GB / T 3462 et ASTM B386, et contrôlez strictement la température de frittage (>2000°C) et la pression de rotation.

Étalonnage des équipements : Les équipements de fabrication (tels que les fours de frittage, les machines à filer) doivent être étalonnés régulièrement conformément aux normes GB/T 10067 ou ISO 10012 (système de gestion des mesures).

Contrôle de l'environnement : La production est réalisée en salle blanche (ISO 7) pour éviter la contamination par les particules et être conforme à la norme SEMI E170.

Mise en œuvre des tests :

Essais de performance : Des essais de traction et de dureté sont effectués conformément aux normes ISO 6892 et ASTM E384 pour vérifier les propriétés mécaniques du creuset.

Contrôle non destructif : Le ressuage et les ultrasons selon les normes ISO 3452 et DIN EN 10228 garantissent l'absence de défauts de surface et internes.

Enregistrements de données : Chaque lot de creusets est accompagné d'un rapport de test enregistrant la composition chimique, la précision dimensionnelle et les données de performance pour soutenir la traçabilité de la qualité.

Gestion de la qualité :

Mettre en œuvre le système de gestion de la qualité ISO 9001 pour assurer la normalisation des processus de production et d'essai.

Utilisez le contrôle statistique des processus (SPC) pour surveiller les paramètres clés et réduire les taux de non-conformité.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs, la production et les tests standardisés garantissent la pureté et la cohérence élevées des creusets en molybdène.

Dans l'aérospatiale, les contrôles non destructifs garantissent la fiabilité des creusets et répondent à des exigences strictes.

11.5.2 Certification de la qualité

La certification de la qualité est une étape clé pour prouver que les creusets en molybdène répondent aux normes et renforcent la confiance du marché.

Type de certification :

ISO 9001 : Certification de gestion de la qualité qui prouve les capacités de production et de service de l'entreprise.

ISO 14001 : Certification de gestion environnementale, démontrant l'engagement en faveur d'une production verte.

AS 9100 : Certification de gestion de la qualité aérospatiale pour les creusets en molybdène utilisés dans les applications aérospatiales.

Nadcap : Certification de processus spécialisés couvrant les contrôles non destructifs et le traitement

Copyright and Legal Liability Statement

thermique.

Processus de certification :

Préparation des documents : Préparer des manuels de qualité, des documents de procédures et des procédures opérationnelles normalisées (PON) conformément aux exigences de certification.

Audit interne : Effectuer des audits internes pour identifier et corriger les non-conformités.

Audit par un tiers : Des audits sur site sont effectués par des organismes de certification (tels que SGS et TÜV) pour vérifier la mise en œuvre des normes.

Amélioration continue : Examiner et mettre à jour régulièrement le système de gestion de la qualité pour assurer une conformité continue.

Application pratique :

Dans la croissance du verre saphir, la certification ISO 9001 augmente la confiance des clients dans la qualité des creusets.

Dans le secteur de l'aérospatiale, la certification AS9100 garantit que les creusets répondent aux normes industrielles les plus strictes.

11.5.3 Conformité à l'exportation

L'exportation de creusets en molybdène doit être conforme aux normes et réglementations du marché cible pour garantir que les produits entrent sur le marché international en douceur.

Exigences de conformité :

Marché de l'UE : Respectez les directives REACH (enregistrement, évaluation et autorisation des substances chimiques) et RoHS (restriction des substances dangereuses) pour garantir que les matériaux sont exempts de substances dangereuses.

Marché américain : Se conformer aux normes ASTM B386 et ASME, fournir des certificats de qualité et des rapports de test.

Marché japonais : Conforme à la norme JIS G 0571 pour assurer la résistance à la corrosion du creuset.

Marché russe : Conforme à la norme GOST 17431 et fournit des données de performance à haute température.

Certification et documentation :

Fournir un certificat de qualité conforme à la norme ISO 8000 (qualité des données) contenant la composition chimique, les données de performance et les résultats des tests.

Demandez le marquage CE (UE) ou la certification UL (États-Unis) pour prouver la sécurité et la conformité du produit.

Préparer les manifestes d'exportation, les factures commerciales et les certificats d'origine pour répondre aux exigences du commerce international.

Gestion du risque:

Surveiller les mises à jour des normes internationales et ajuster les processus de production et d'essai en temps opportun.

Copyright and Legal Liability Statement

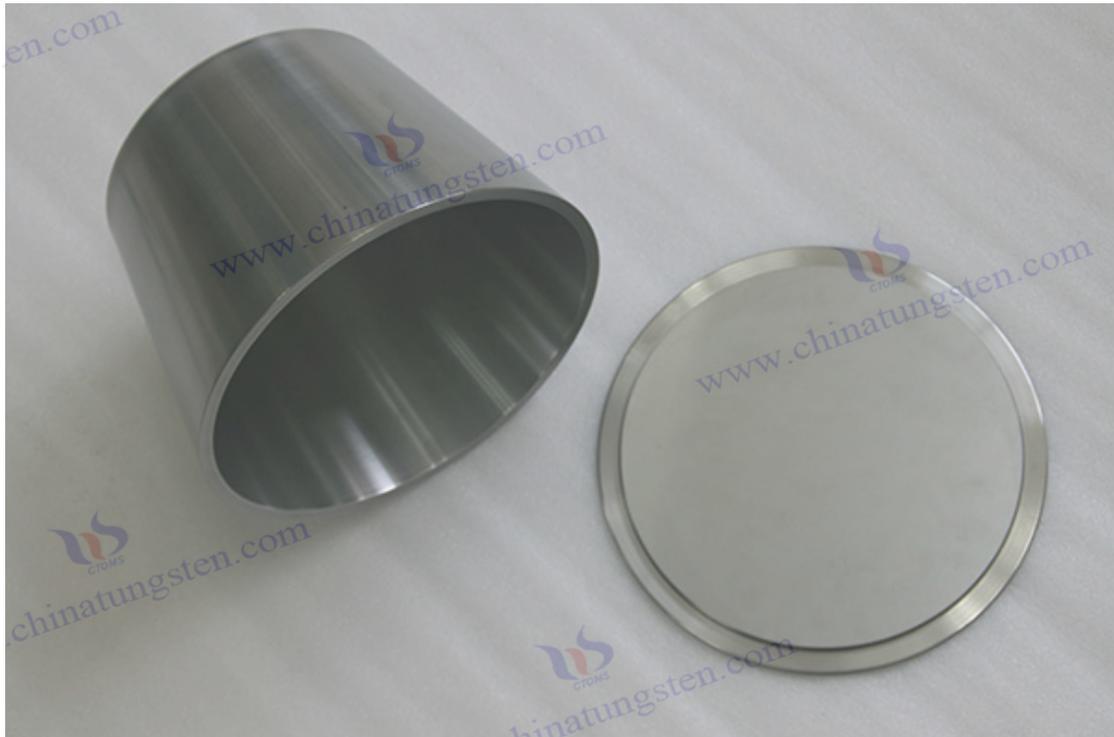
Travailler avec des agents locaux ou des organismes de certification pour s'assurer que les produits répondent aux exigences du marché cible.

Mettre sur pied une équipe de conformité à l'exportation pour gérer les questions douanières et réglementaires.

Application pratique :

Dans l'industrie des semi-conducteurs exportés vers l'Europe, la conformité REACH garantit que les creusets en molybdène sont exempts de substances nocives et peuvent entrer sur le marché en douceur.

Sur le marché de l'aérospatiale exporté vers les États-Unis, la certification ASTM B386 améliore la compétitivité des produits.



CTIA GROUP LTD Creuset en molybdène

Appendice

A. Glossaire

Revêtement anti-oxydation : Une couche protectrice appliquée à la surface du creuset en molybdène pour empêcher l'oxydation à haute température et prolonger la durée de vie du creuset.

Recyclage en boucle fermée : Le processus de recyclage consistant à recycler les creusets en molybdène et à les convertir en nouveaux matériaux de creuset afin de réduire les déchets de ressources.

Méthode Czochralski : Une méthode de croissance de monocristaux (tels que le silicium et le saphir) par la technologie de tirage de cristal, qui nécessite l'utilisation d'un creuset en molybdène de haute pureté pour maintenir la masse fondue.

Pulvérisation plasma : Une technologie de modification de surface qui utilise du plasma à haute température pour pulvériser des matériaux résistants à l'oxydation ou à la corrosion sur la surface d'un creuset en molybdène.

Fluage à haute température : La déformation lente des creusets en molybdène à haute température (>1500°C) et sous contrainte peut entraîner une dégradation des performances.

Salle blanche : Environnement contrôlé qui contrôle les particules et la contamination, utilisé pour l'emballage et le stockage des creusets en molybdène, conformément aux normes ISO 14644.

Raffinement des grains : Réduire la taille des grains des matériaux en molybdène par dopage ou traitement thermique pour améliorer la résistance et la ténacité.

Propriétés mécaniques : Les propriétés d'un matériau soumis à des contraintes, telles que la résistance à la traction, la dureté et l'allongement, affectent la stabilité à haute température du creuset en molybdène.

Nanostructure : Les matériaux en molybdène dont la taille du grain ou du revêtement est à l'échelle nanométrique (<100 nm) ont d'excellentes propriétés mécaniques et une résistance à l'oxydation.

Pressage isostatique à chaud (HIP) : Une technique de moulage de creusets en molybdène à haute température et pression pour améliorer la densité et l'uniformité et réduire les défauts internes.

Uniformité du champ thermique : La constance de la distribution de la température du creuset dans un four à haute température affecte la qualité de la croissance des cristaux.

Frittage : Le processus de solidification de la poudre de molybdène en ébauches de creuset par chauffage à haute température, généralement effectué dans une atmosphère de vide ou d'hydrogène.

Contrôle non destructif (CND) : Méthode de détection des défauts sans détruire la structure du creuset, comme le contrôle par ultrasons et le ressuage.

Économie circulaire : Un modèle économique qui maximise la valeur des ressources grâce au recyclage et à la réutilisation, appliqué à la gestion des déchets de creusets en molybdène.

Filage : Technique de transformation de plaques de molybdène en creusets par moules rotatifs et pression, qui convient aux creusets à paroi mince et de forme complexe.

Four de frittage : Équipement qui chauffe la poudre de molybdène à basse pression ($<10^{-3}$ Pa) pour fabriquer des creusets à haute densité.

Dopage : Ajout d'oligo-éléments au molybdène pour améliorer les propriétés mécaniques ou la résistance à l'oxydation.

Traçabilité de la qualité : Une méthode de suivi de la qualité des creusets en molybdène en enregistrant les données de production, d'inspection et d'utilisation pour soutenir l'analyse des

Copyright and Legal Liability Statement

défaillances.

B. Références

- [1] Chinetungsten en ligne. Performance et application du creuset en molybdène. news.chinatungsten.com 2020.
- [2] Wikipédia. Propriétés thermodynamiques du molybdène. zh.wikipedia.org 2020.
- [3] Association chinoise de l'industrie du tungstène. Analyse de la microstructure du creuset en molybdène. ctia.com.cn 2021.
- [4] ASM International. Métaux et alliages réfractaires. asm.org 2019.
- [5] Thermo Fisher Scientific. Propriétés physiques et chimiques du molybdène. thermofisher.com 2022.
- [6] Chinetungsten en ligne. Avantages techniques des creusets en molybdène dopé. www.molybdenum.com.cn 2021.
- [7] Association chinoise de l'industrie du tungstène. Inspection du creuset en molybdène et analyse des défaillances. ctia.com.cn 2023.
- [8] Wikipédia. Analyse des défaillances matérielles. zh.wikipedia.org 2021.
- [9] Chinetungsten en ligne. Technologie de contrôle de la qualité du creuset en molybdène. news.chinatungsten.com 2022.
- [10] ASM International. Analyse des défaillances des métaux réfractaires. asm.org 2021.
- [11] Thermo Fisher Scientific. Contrôle non destructif du molybdène. thermofisher.com 2023.
- [12] Journal de la science des matériaux. Mécanismes de défaillance du creuset en molybdène, 2023.