

Encyclopédie de la tige de molybdène TZM

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

PRÉSENTATION DE CTIA GROUP

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

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

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

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



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

Répertoire

1. Introduction à la tige de molybdène TZM

- 1.1 Définition et importance de la tige de molybdène TZM
- 1.2 Développement historique et évolution technologique de la tige de molybdène TZM
- 1.3 Le rôle de la tige de molybdène TZM dans l'industrie moderne et la recherche scientifique

2. Principe de base de la tige de molybdène TZM

- 2.1 Composition chimique et caractéristiques de l'alliage de la tige de molybdène TZM
- 2.2 Propriétés physiques et mécaniques de la tige de molybdène TZM
- 2.3 Comparaison de la tige de molybdène TZM avec du molybdène pur et d'autres superalliages
- 2.4 Mécanisme de fonctionnement de la tige de molybdène TZM dans des environnements à haute température

3. Performance de la tige de molybdène TZM

- 3.1 Propriétés physiques et chimiques
 - 3.1.1 Point de fusion et stabilité thermique
 - 3.1.2 Masse volumique et conductivité thermique
 - 3.1.3 Résistance à l'oxydation et à la corrosion
 - 3.1.4 Résistance mécanique et ténacité
- 3.2 Propriétés thermiques et mécaniques
 - 3.2.1 Dilatation thermique et déformation à haute température
 - 3.2.2 Résistance aux chocs thermiques
 - 3.2.3 Performances de fluage et stabilité à long terme
 - 3.2.4 Performance en fatigue et capacité de recyclage
- 3.3 Relation entre la microstructure et les propriétés
 - 3.3.1 Structure et orientation des grains
 - 3.3.2 Le rôle du titane, du zirconium et du carbone
 - 3.3.3 Morphologie de la surface et propriétés à haute température
- 3.4 Durée de vie et fiabilité
 - 3.4.1 Facteurs influant sur la durée de vie
 - 3.4.2 Analyse des modes de défaillance (p. ex., fracture, corrosion)
 - 3.4.3 Méthodes d'essai de fiabilité
- 3.5 CTIA GROUP LTD TZM Tige en molybdène MSDS

4. Processus de préparation et technologie

- 4.1 Sélection et préparation des matières premières
 - 4.1.1 Purification de la poudre de molybdène et exigences de qualité
 - 4.1.2 Sélection des additifs pour le titane, le zirconium et le carbone
 - 4.1.3 Optimisation du rapport d'alliage
 - 4.1.4 Analyse des matières premières et contrôle de la qualité
- 4.2 Procédés métallurgiques
 - 4.2.1 Mélange et pressage de la poudre

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 4.2.1.1 Alliage mécanique
- 4.2.1.2 Pressage isostatique
- 4.2.2 Processus de frittage
 - 4.2.2.1 Frittage sous vide
 - 4.2.2.2 Frittage sous atmosphère et contrôle de la température
- 4.2.3 Forgeage et laminage
 - 4.2.3.1 Forgeage à chaud et à froid
 - 4.2.3.2 Équipement et paramètres de roulement
- 4.2.4 Extrusion et emboutissage
 - 4.2.4.1 Extrusion à haute température
 - 4.2.4.2 Matrices d'emboutissage et lubrification
- 4.3 Usinage et finition
 - 4.3.1 Tournage et fraisage
 - 4.3.1.1 Usinage CNC
 - 4.3.1.2 Précision d'usinage et rugosité de surface
 - 4.3.2 Meulage et polissage
 - 4.3.2.1 Polissage mécanique
 - 4.3.2.2 Polissage chimique et électropolissage
 - 4.3.3 Traitement thermique et recuit
 - 4.3.3.1 Recuit et contrôle des grains
 - 4.3.3.2 Techniques de soulagement du stress
 - 4.3.4 Traitement de surface
 - 4.3.4.1 Technologie de revêtement anti-oxydation
 - 4.3.4.2 Carburation et nitruration de surface
- 4.4 Équipement et automatisation
 - 4.4.1 Équipement de production clé
 - 4.4.1.1 Fours de frittage sous vide
 - 4.4.1.2 Équipement de forgeage et de laminage
 - 4.4.1.3 Centres d'usinage CNC
 - 4.4.2 Automatisation et intelligence de la chaîne de production
 - 4.4.3 Contrôles des salles blanches et de l'environnement

5. Contrôle de la qualité et tests

- 5.1 Technologies de détection en ligne
 - 5.1.1 Essais de précision dimensionnelle et géométrique
 - 5.1.2 Inspection des défauts de surface et des fissures
- 5.2 Essais de performance
 - 5.2.1 Résistance et dureté à haute température
 - 5.2.2 Résistance à la corrosion et à l'oxydation
 - 5.2.3 Dilatation thermique et conductivité
- 5.3 Analyse et amélioration des défaillances
 - 5.3.1 Analyse des fissures et des fractures
 - 5.3.2 Fatigue à haute température et fluage

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

5.3.3 Mesures d'amélioration de la qualité

6. Applications de la tige de molybdène TZM

6.1 Composants de four à haute température

6.1.1 Éléments chauffants

6.1.2 Applications du four de frittage sous vide

6.1.3 Applications des fours de traitement thermique

6.2 Industrie aérospatiale

6.2.1 Applications de la buse de fusée

6.2.2 Pièces structurelles à haute température

6.2.3 Protection thermique de l'engin spatial

6.3 Industrie nucléaire

6.3.1 Composants des réacteurs nucléaires

6.3.2 Dispositifs de fusion nucléaire

6.3.3 Manutention des matières radioactives

6.4 Industrie de l'électronique et des semi-conducteurs

6.4.1 Équipement d'implantation ionique

6.4.2 Dépôt de couches minces

6.4.3 Fabrication d'appareils électroniques

6.5 Autres domaines industriels et de recherche

6.5.1 Équipement expérimental à haute température

6.5.2 Moules et outils à haute température

6.5.3 Applications de la fabrication additive

7. Défis techniques et développement futur

7.1 Défis techniques

7.1.1 Amélioration de la résistance à l'oxydation à haute température

7.1.2 Géométrie complexe et fabrication à l'échelle

7.1.3 Contrôle des coûts

7.2 Nouveaux matériaux et nouvelles technologies

7.2.1 Conception modifiée de l'alliage

7.2.2 Nanostructures et composites

7.2.3 Matériaux à haute température concurrents

7.3 Fabrication intelligente et écologique

7.3.1 Surveillance intelligente de la production

7.3.2 Techniques d'économie d'énergie et écologiques

7.3.3 Recyclage efficace des déchets

7.4 Tendances futures

7.4.1 Optimisation du rendement

7.4.2 Applications intersectorielles

7.4.3 Applications en environnement extrême

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

8. Normes et spécifications de la tige en molybdène TZM

8.1 Normes nationales (GB)

8.1.1 Normes GB/T pour le molybdène et les alliages

8.1.2 Normes d'essai et d'évaluation des superalliages

8.1.3 Normes d'exécution des procédés et de l'équipement

8.2 Normes internationales (ISO)

8.2.1 ISO 6892 - Essais de traction des métaux

8.2.2 ISO 14001 - Management environnemental

8.2.3 ISO 3452 - Essais non destructifs

8.3 Normes américaines (É.-U.)

8.3.1 ASTM B387 - Barres en alliage de molybdène

8.3.2 ASTM E384 - Essai de microdureté

8.3.3 ASME - Normes sur l'équipement à haute température

8.4 Autres normes internationales et de l'industrie

8.4.1 JIS G 0571 - Essai au molybdène

8.4.2 DIN EN 10228 - Contrôle non destructif

8.4.3 GOST 17431 - Alliages de molybdène

8.5 Mise en œuvre et certification des normes

8.5.1 Application des normes dans la production et les essais

8.5.2 Certification du système de gestion de la qualité (p. ex., ISO 9001)

8.5.3 Conformité à l'exportation et certifications internationales

Appendice

A. Glossaire des termes

B. Références

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

1. Introduction

1.1 Définition et importance de la tige de molybdène TZM

La tige de molybdène TZM est un matériau d'alliage haute performance composé de molybdène (molybdène) sous forme de matrice et additionnant du titane (Ti), du zirconium (Zr) et du carbone (C) et d'autres éléments, et son nom vient de l'abréviation de « Titanium-Zirconium-Molybdène ». La tige de molybdène TZM occupe une position irremplaçable et importante dans l'aérospatiale, l'industrie nucléaire, la fabrication de fours à haute température, l'industrie des semi-conducteurs et d'autres domaines de haute technologie en raison de son excellente résistance à haute température, de son excellente résistance au fluage et de sa bonne résistance à la corrosion. Par rapport au molybdène pur, l'alliage TZM améliore considérablement les propriétés mécaniques grâce au dopage des oligo-éléments, en particulier la stabilité et la durabilité dans des environnements à haute température, ce qui en fait un choix de matériau idéal dans des conditions de travail extrêmes.

La composition chimique des barres de molybdène TZM se compose généralement d'environ 0,5 % de titane, 0,08 % de zirconium et 0,01 à 0,04 % de carbone, le reste étant du molybdène. Ce rapport d'alliage spécifique permet aux barres de molybdène TZM d'avoir une température de recristallisation plus élevée à des températures élevées (environ 1400°C, beaucoup plus élevée que les 1000°C du molybdène pur), ce qui leur permet de maintenir l'intégrité structurale dans des environnements extrêmes. De plus, la résistance à l'oxydation et la conductivité thermique des tiges de molybdène TZM sont également supérieures à celles de nombreux superalliages traditionnels, ce qui les rend excellentes dans les scénarios nécessitant des charges thermiques élevées et une résistance mécanique.

Dans les applications industrielles, les barres de molybdène TZM sont largement utilisées dans la fabrication d'éléments chauffants pour les fours à haute température, les matériaux de moule, les composants aérospatiaux tels que les tuyères de fusée et les aubes de turbine, les composants structurels pour les réacteurs nucléaires et les composants pour les équipements à semi-conducteurs. Son importance ne réside pas seulement dans ses propriétés physiques, mais aussi dans sa capacité à répondre à la demande croissante de matériaux haute performance dans l'industrie moderne. Par exemple, dans le secteur aérospatial, les tiges de molybdène TZM sont le matériau de choix pour la fabrication de composants de systèmes de propulsion à haute température en raison de leur point de fusion élevé (environ 2623°C) et de leur faible coefficient de dilatation thermique. Dans l'industrie nucléaire, les barres de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de composants clés des réacteurs nucléaires en raison de leur tolérance au rayonnement neutronique et de leur faible section efficace d'absorption thermique des neutrons.

En outre, les tiges de molybdène TZM jouent également un rôle important dans le domaine de la recherche scientifique. Par exemple, dans les essais de matériaux à haute température, la recherche en physique des plasmas et le développement de technologies de fabrication avancées, les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme composants de base des équipements expérimentaux en raison de leurs propriétés stables. L'étude montre que le processus de production et la technologie de contrôle de la qualité de la tige de molybdène TZM ont été continuellement améliorés ces

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

dernières années, ce qui a favorisé sa large application sur le marché mondial. De l'aérospatiale à l'industrie de l'énergie, les tiges de molybdène TZM sont devenues un élément indispensable de l'industrie moderne de haute technologie, et leur importance ne cesse de croître avec les progrès technologiques et l'expansion des domaines d'application.

1.2 Développement historique et évolution technologique de la tige de molybdène TZM

Le développement des barres de molybdène TZM remonte au milieu du 20^e siècle, lorsque la demande de matériaux à haute température a considérablement augmenté avec le développement rapide des industries aérospatiale et nucléaire. Bien que le molybdène pur ait un point de fusion élevé et une bonne conductivité électrique et thermique, son manque de résistance à haute température, son fluage, sa recristallisation et sa fragilisation limitent son application dans des environnements extrêmes. Pour pallier ces lacunes, les scientifiques des matériaux ont commencé à explorer l'alliage pour améliorer les propriétés du molybdène.

Dans les années 50 du 20^e siècle, les institutions de recherche scientifique et l'industrie aux États-Unis ont pris la tête du développement des alliages TZM. En ajoutant des traces de titane, de zirconium et de carbone à la matrice de molybdène, les alliages TZM améliorent considérablement leur résistance à haute température et leur résistance au fluage. L'ajout de titane et de zirconium améliore la structure cristalline du molybdène grâce à des mécanismes de renforcement de la solution et de renforcement de la deuxième phase, tandis que l'ajout de carbone améliore encore la résistance et la résistance à l'usure de l'alliage grâce à la formation de particules de carbure. À la fin des années 1950, les alliages TZM ont commencé à être utilisés dans le secteur aérospatial, par exemple dans la fabrication de tuyères de moteurs de fusée et de composants structurels à haute température.

Dans les années 60 du 20^e siècle, avec les progrès de la technologie de la métallurgie des poudres, le processus de production de la tige de molybdène TZM a été considérablement amélioré. La méthode de métallurgie des poudres rend la microstructure de l'alliage TZM plus uniforme et les performances plus stables en contrôlant avec précision la taille des particules et le rapport de mélange de la poudre brute. Au cours de cette période, les barres de molybdène TZM ont commencé à être largement utilisées dans la fabrication de fours à haute température et dans l'industrie nucléaire. Par exemple, les barres de contrôle et les pièces structurelles des réacteurs nucléaires ont commencé à utiliser des alliages TZM pour faire face à des températures élevées et à des environnements à fort rayonnement.

Des années 70 aux années 80 du 20^e siècle, avec l'essor de l'industrie des semi-conducteurs, le champ d'application de la tige de molybdène TZM s'est encore élargi. En raison de leur conductivité thermique élevée et de leur faible coefficient de dilatation thermique, les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de luminaires à haute température et de cibles de pulvérisation dans les dispositifs à semi-conducteurs. Au cours de la même période, la demande dans le secteur aérospatial a entraîné une optimisation supplémentaire des barres de molybdène TZM, par exemple en améliorant le processus de traitement thermique et la technologie de traitement de surface pour augmenter leur résistance à l'oxydation.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Au 21^e siècle, la technologie de production et d'application de la tige de molybdène TZM est entrée dans une nouvelle étape. Des études ont montré que le processus de production des tiges de molybdène TZM modernes a atteint un haut degré d'automatisation et de précision. Par exemple, grâce à la technologie avancée de frittage par plasma et au processus de traitement thermique sous vide, la taille des grains et la consistance des performances des tiges de molybdène TZM ont été considérablement améliorées. De plus, l'introduction de la nanotechnologie a permis d'optimiser davantage la microstructure des alliages TZM, améliorant ainsi leur durabilité dans des environnements extrêmes.

Ces dernières années, avec le développement de la technologie de fabrication additive (impression 3D), le potentiel d'application de la tige de molybdène TZM a été davantage exploré. Les chercheurs ont commencé à explorer la fabrication directe de pièces complexes en alliage TZM grâce à des technologies telles que la fusion sélective par laser (SLM), qui ont non seulement réduit les coûts de production, mais ont également élargi les perspectives d'application des tiges de molybdène TZM dans l'aérospatiale et les dispositifs médicaux. Par exemple, les pièces en alliage TZM imprimées en 3D peuvent être utilisées pour fabriquer des tuyères de fusée ou des moules à haute température avec des géométries complexes.

1.3 Le rôle de la tige de molybdène TZM dans l'industrie moderne et la recherche scientifique

Dans l'industrie moderne et la recherche scientifique, les tiges de molybdène TZM jouent de multiples rôles en raison de leur combinaison unique de propriétés. Tout d'abord, dans le domaine aérospatial, les barres de molybdène TZM sont largement utilisées dans la fabrication de tuyères de moteurs de fusées, d'aubes de turbine et de pièces structurales à haute température. Par exemple, des entreprises telles que SpaceX ont adopté des alliages TZM dans la conception de leurs moteurs de fusée pour faire face à l'environnement à haute température et à haute pression au niveau de la chambre de combustion et des tuyères. Les données techniques de Chinatungsten Online montrent que les excellentes performances des tiges de molybdène TZM dans ces applications sont dues à leur point de fusion élevé et à leur faible coefficient de dilatation thermique, qui peuvent maintenir la stabilité structurelle sous des charges thermiques extrêmes.

Dans l'industrie nucléaire, les barres de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de composants structurels et de barres de contrôle des réacteurs nucléaires en raison de leur excellente résistance aux radiations et de leur stabilité à haute température. La température élevée et l'environnement de rayonnement intense à l'intérieur d'un réacteur nucléaire imposent des exigences extrêmement élevées au matériau, et la faible section efficace d'absorption thermique des neutrons et la haute résistance des barres de molybdène TZM en font un choix idéal. De plus, les barres de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de matériaux faisant face au plasma (PFM) pour les réacteurs à fusion nucléaire afin de faire face à une chaleur extrême et à un bombardement de particules.

Dans le domaine de la fabrication de fours à haute température, les tiges de molybdène TZM sont largement utilisées comme éléments chauffants, supports et matériaux de creuset. En raison de leur température de recristallisation élevée et de leur excellente résistance au fluage, les barres de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

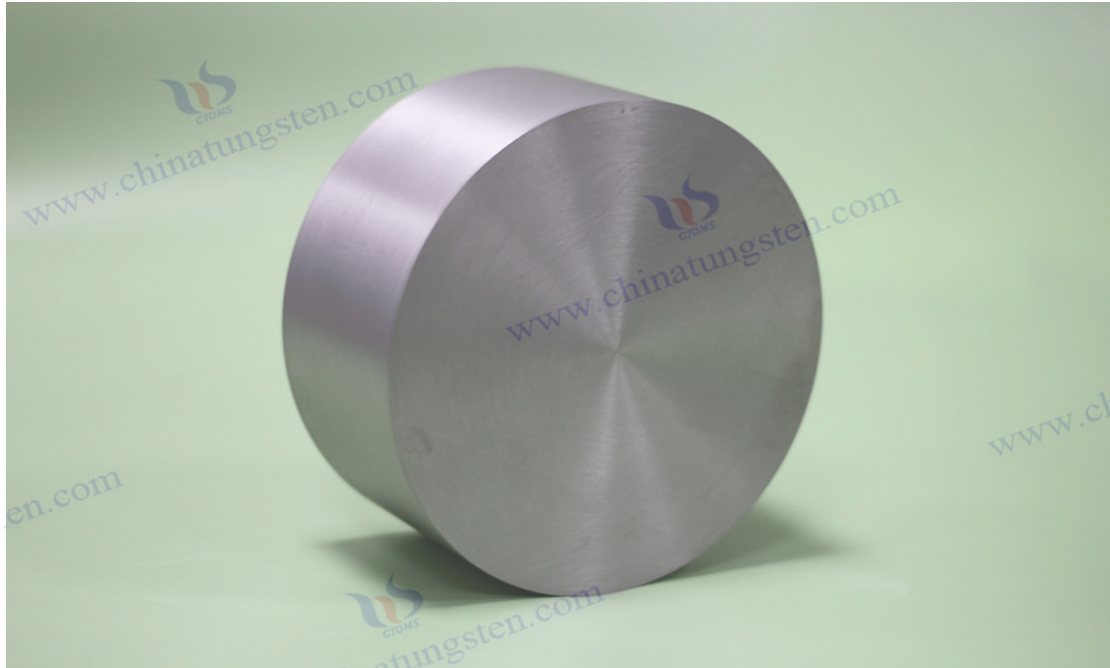
molybdène TZM sont capables de fonctionner de manière stable pendant une longue période dans des environnements à haute température au-dessus de 1600°C. Par exemple, dans les fours à vide et les fours de protection de l'atmosphère, les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication d'éléments chauffants et de manchons de protection de thermocouple pour assurer la fiabilité et la durabilité des équipements à haute température.

Dans l'industrie des semi-conducteurs, les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme cibles de pulvérisation et luminaires à haute température en raison de leur conductivité thermique élevée et de leur faible coefficient de dilatation thermique. Par exemple, dans le procédé de dépôt physique en phase vapeur (PVD), les barres de molybdène TZM sont utilisées comme cibles pour le dépôt de films minces haute performance. De plus, les tiges de molybdène TZM sont également utilisées dans la fabrication de composants clés dans les dispositifs d'implantation ionique pour répondre aux exigences de haute précision et de stabilité dans la fabrication de semi-conducteurs.

Dans le domaine de la recherche scientifique, les tiges de molybdène TZM sont largement utilisées dans les essais de matériaux à haute température, la recherche en physique des plasmas et le développement de technologies de fabrication avancées. Par exemple, dans les essais de matériaux à haute température, les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme mâchoires et éléments chauffants pour simuler les propriétés des matériaux dans des conditions de fonctionnement extrêmes. Dans la recherche en physique des plasmas, les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme matériaux structurels pour les installations expérimentales en raison de leur excellente résistance à l'érosion par plasma. En outre, les tiges de molybdène TZM présentent également un grand potentiel dans le domaine de la fabrication additive, et les chercheurs explorent l'utilisation de la technologie d'impression 3D pour fabriquer des pièces en alliage TZM aux formes complexes afin de répondre aux besoins particuliers des domaines aérospatial et médical.

Le compte officiel WeChat de Chinatungsten Online « Chinatungsten Online » a indiqué que la demande du marché mondial pour les tiges de molybdène TZM a continué de croître ces dernières années, en particulier dans la région Asie-Pacifique. Avec le développement rapide de la Chine, de l'Inde et d'autres pays dans le domaine de l'aérospatiale et de l'industrie nucléaire, les perspectives d'application de la tige de molybdène TZM sont plus larges. À l'avenir, avec l'avancement de la technologie des nouveaux matériaux, les tiges de molybdène TZM devraient jouer un rôle important dans davantage de domaines, tels que les équipements d'énergie renouvelable (tels que les capteurs solaires à haute température) et les domaines biomédicaux (tels que les équipements de stérilisation à haute température).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD TZM Tige de molybdène

2. Principe de base de la tige de molybdène TZM

2.1 Composition chimique et caractéristiques de l'alliage de la tige de molybdène TZM

La composition chimique des barres de molybdène TZM comprend généralement environ 99,38 à 99,5 % de molybdène, 0,4 à 0,55 % de titane, 0,06 à 0,12 % de zirconium et 0,01 à 0,04 % de carbone. Ce rapport d'alliage précis améliore considérablement les propriétés du molybdène grâce à des mécanismes tels que le renforcement en solution, le renforcement par précipitation et le renforcement de la deuxième phase, ce qui se traduit par une excellente stabilité dans les environnements à haute température, à forte contrainte et corrosifs.

Détails et rôle de la composition chimique

Le molybdène est un matériau matriciel avec un point de fusion élevé (2623°C), une excellente conductivité thermique (environ 139 W/m·K) et un faible coefficient de dilatation thermique (environ $5,3 \times 10^{-6}/K$), ce qui le rend idéal pour les applications à haute température. Cependant, le molybdène pur a une faible résistance à des températures élevées et est sujet au fluage et à la fragilisation par recristallisation, ce qui limite son application dans des environnements extrêmes. Les alliages TZM pallier ces lacunes en ajoutant des oligo-éléments :

Titane (Ti) : L'ajout de titane améliore la structure cristalline du molybdène grâce à un mécanisme de renforcement de solution. La solution solide d'atomes de titane dans le réseau de molybdène provoque une distorsion du réseau et entrave le mouvement de dislocation, améliorant ainsi la résistance à haute température et la résistance au fluage du matériau. De plus, le titane réagit avec le carbone pour former des particules de carbure de titane (TiC), qui sont encore améliorées par le renforcement par précipitation pour améliorer encore la dureté et la résistance à l'usure de l'alliage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Zirconium (Zr) : Le zirconium agit de la même manière que le titane, augmentant la résistance du molybdène par renforcement en solution. Les atomes de zirconium réagissent également avec le carbone pour former des particules de carbure de zirconium (ZrC), qui sont uniformément réparties dans la matrice de molybdène, améliorant la résistance au fluage et la stabilité à haute température du matériau. L'ajout de zirconium améliore également la résistance à l'oxydation de l'alliage TZM, ce qui le rend plus durable dans les environnements d'oxydation à haute température.

Carbone (C) : L'ajout de carbone est la clé de l'amélioration des performances des alliages TZM. Les particules de carbure (telles que le TiC et le ZrC) formées par la réaction du carbone avec le titane et le zirconium améliorent considérablement la résistance et la dureté de l'alliage grâce au mécanisme de renforcement par précipitation. À des températures élevées, ces particules peuvent empêcher efficacement la croissance des grains et maintenir la structure des grains fins du matériau, améliorant ainsi sa température de recristallisation et sa résistance au fluage.

La relation entre la microstructure et la performance

La microstructure de la tige de molybdène TZM a un impact important sur ses propriétés. Les alliages TZM préparés par le procédé de métallurgie des poudres ont des granulométries fines (généralement entre 3,0 et 5,0 microns), ce qui contribue à améliorer la résistance et la ténacité du matériau. La métallurgie des poudres assure la distribution uniforme du titane, du zirconium et du carbone dans la matrice de molybdène en contrôlant avec précision la taille des particules et le rapport de mélange de la poudre brute. Les processus de traitement thermique tels que le recuit et le vieillissement optimisent encore la microstructure des barres de molybdène TZM. Par exemple, le recuit à haute température peut éliminer les contraintes résiduelles pendant le traitement, tandis que le vieillissement favorise la précipitation des particules de carbure, améliorant ainsi les propriétés mécaniques du matériau.

Résistance à la corrosion et à l'oxydation

Les tiges de molybdène TZM présentent une excellente résistance à la corrosion dans une variété d'environnements chimiques, en particulier dans des atmosphères non oxydantes à haute température telles que le vide ou les gaz inertes. Sa résistance à la corrosion est due à la stabilité chimique de la matrice de molybdène et à l'effet protecteur des particules de carbure. Dans un environnement oxydant à haute température, une couche protectrice d'oxyde dense (par exemple, MoO₂) peut se former à la surface de la tige de molybdène TZM, ce qui ralentit les réactions d'oxydation. En revanche, le molybdène pur est sujet à la formation de trioxyde de molybdène volatil (MoO₃) à des températures élevées, ce qui entraîne une perte rapide de matière. Selon les données techniques de Chinatungsten Online, les tiges de molybdène TZM peuvent fonctionner de manière stable dans un environnement oxydant inférieur à 1000°C, et à des températures plus élevées, des revêtements anti-oxydation (tels que les revêtements de siliciure) sont nécessaires pour prolonger la durée de vie.

L'influence du processus de production sur les propriétés de l'alliage

La production de tiges de molybdène TZM est généralement réalisée à l'aide d'un processus de métallurgie des poudres qui comprend des étapes telles que le mélange de matières premières, le

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

pressage, le frittage et le traitement thermique. Selon les données de Chinatungsten Online, le processus de production moderne a considérablement amélioré la constance des performances des tiges de molybdène TZM grâce à une technologie de frittage plasma avancée et à un processus de traitement thermique sous vide. Par exemple, la technologie de frittage par plasma permet un frittage à haute densité à des températures plus basses, réduisant ainsi la croissance des grains et maintenant ainsi la structure à grains fins du matériau. De plus, les techniques de traitement de surface, telles que les revêtements chimiques par dépôt en phase vapeur, améliorent encore la résistance à l'oxydation et à l'usure des barres de molybdène TZM, ce qui les rend adaptées à un plus large éventail de scénarios industriels.

Adaptation des scénarios d'application aux compositions chimiques

La composition chimique de la tige de molybdène TZM la rend largement utilisée dans l'aérospatiale, l'industrie nucléaire, la fabrication de semi-conducteurs et d'autres domaines. Par exemple, dans le secteur aérospatial, la résistance à haute température et la résistance au fluage des barres de molybdène TZM en font des matériaux idéaux pour les tuyères de fusées et les pales de turbine. Dans l'industrie nucléaire, la faible section efficace d'absorption thermique des neutrons et la résistance aux radiations des barres de molybdène TZM les rendent adaptées à la fabrication de composants structurels de réacteurs nucléaires. Dans l'industrie des semi-conducteurs, le faible coefficient de dilatation thermique et la conductivité thermique élevée des tiges de molybdène TZM en font le matériau de choix pour les cibles de pulvérisation et les luminaires à haute température.

2.2 Propriétés physiques et mécaniques de la tige de molybdène TZM

Les propriétés physiques et mécaniques de la tige de molybdène TZM sont à la base de sa large application dans des environnements à haute température et à forte contrainte. Ce qui suit est une analyse détaillée de ses principales propriétés, couvrant la résistance aux hautes températures, la résistance au fluage, la conductivité thermique, le coefficient de dilatation thermique, la dureté, la résistance à l'usure et la résistance à la corrosion.

Intensité de température élevée

La résistance à la traction et la limite d'élasticité de la tige de molybdène TZM à haute température sont nettement supérieures à celles du molybdène pur. Par exemple, à 1200°C, la résistance à la traction des tiges de molybdène TZM peut atteindre 400-500 MPa, tandis que le molybdène pur n'est que de 200-300 MPa. Cette excellente résistance à haute température est due au renforcement du titane, du zirconium et du carbone. Le titane et le zirconium améliorent la résistance du réseau de la matrice de molybdène grâce au renforcement de la solution, tandis que la précipitation de particules de carbure telles que le TiC et le ZrC entrave davantage le mouvement des dislocations, améliorant ainsi la résistance à la déformation du matériau. L'augmentation de la résistance à haute température donne aux barres de molybdène TZM un avantage significatif dans l'aérospatiale (par exemple, les tuyères de fusée) et la fabrication de fours à haute température.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

Résistance au fluage

Le fluage est l'un des principaux modes de défaillance des matériaux à haute température soumis à des contraintes à long terme. La résistance au fluage de la tige de molybdène TZM est bien meilleure que celle du molybdène pur. Dans des conditions de contrainte de 1400°C et 20 MPa, le taux de fluage de la tige de molybdène TZM n'est que de 1/10 de celui du molybdène pur. Cette excellente résistance au fluage est due à l'action d'épinglage des particules de carbure, qui empêchent efficacement le glissement des joints de grains et l'escalade de la dislocation. De plus, la structure à grain fin des barres de molybdène TZM améliore encore leur résistance au fluage, ce qui les rend excellentes dans les scénarios qui nécessitent un fonctionnement stable à long terme, tels que les fours à haute température et les réacteurs nucléaires.

Température de recristallisation élevée

La température de recristallisation de la tige de molybdène TZM est d'environ 1400 °C, ce qui est beaucoup plus élevé que les 1000 °C du molybdène pur. Cela signifie que la tige de molybdène TZM est capable de maintenir sa structure de grain fin à des températures élevées, évitant ainsi la croissance des grains et la dégradation des performances. L'augmentation de la température de recristallisation est due à l'effet synergique du titane, du zirconium et du carbone. Le renforcement en solution du titane et du zirconium améliore la stabilité du réseau cristallin, tandis que la précipitation des particules de carbure empêche la migration des joints de grains. Cette performance permet aux barres de molybdène TZM de fonctionner de manière stable pendant une longue période dans des environnements à haute température au-dessus de 1600°C, ce qui les rend adaptées aux fours à haute température et aux composants aérospatiaux.

Conductivité thermique et coefficient de dilatation thermique

La tige de molybdène TZM a une excellente conductivité thermique (environ 139 W/m·K) et un faible coefficient de dilatation thermique (environ $5,3 \times 10^{-6}/K$). Sa conductivité thermique élevée lui permet de dissiper rapidement la chaleur et d'éviter la dégradation des performances causée par une surchauffe locale, ce qui le rend particulièrement adapté à une utilisation dans des luminaires à haute température et des cibles de pulvérisation dans les dispositifs à semi-conducteurs. Le faible coefficient de dilatation thermique assure la stabilité dimensionnelle du matériau à des températures élevées, réduisant les fissures et les déformations causées par les contraintes thermiques. Cette combinaison de propriétés confère aux barres de molybdène TZM un avantage dans les applications qui nécessitent des charges thermiques élevées et une précision dimensionnelle, comme dans les fours à vide et les installations expérimentales de physique des plasmas.

Dureté et résistance à l'abrasion

La dureté des barres de molybdène TZM (dureté Vickers d'environ 250-300 HV) est supérieure à celle du molybdène pur (environ 200 HV), grâce à l'effet de renforcement des particules de carbure. La répartition uniforme des particules de carbure de titane et de carbure de zirconium améliore la dureté de surface et la résistance à l'usure du matériau, ce qui le rend adapté à la fabrication de moules, d'outils de coupe et de pièces résistantes à l'usure. Par exemple, dans la fabrication de moules à haute température, les tiges de molybdène TZM sont capables de résister à des contraintes et à une usure élevées, prolongeant ainsi la durée de vie du moule.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Résistance à la corrosion

Les tiges de molybdène TZM présentent une bonne résistance à la corrosion dans une variété d'environnements chimiques, en particulier dans des atmosphères non oxydantes à haute température telles que le vide, l'argon ou l'azote. Sa résistance à la corrosion est due à la stabilité chimique de la matrice de molybdène et à l'effet protecteur des particules de carbure. Dans l'environnement d'oxydation à haute température, la tige de molybdène TZM peut former une couche protectrice dense MoO_2 pour ralentir la réaction d'oxydation. Des études ont montré que les tiges de molybdène TZM peuvent fonctionner de manière stable dans un environnement oxydant inférieur à 1000°C , et à des températures plus élevées, des revêtements anti-oxydation sont nécessaires pour améliorer encore la durabilité.

Autres propriétés physiques

Densité : La densité des tiges de molybdène TZM est d'environ $10,2 \text{ g/cm}^3$, ce qui est inférieur à celui de l'alliage de tungstène (environ $19,3 \text{ g/cm}^3$), ce qui lui confère un avantage dans les applications sensibles au poids telles que l'aérospatiale.

Conductivité : Les tiges de molybdène TZM ont une bonne conductivité (environ 18 % IACS) et conviennent à la fabrication d'électrodes à haute température et de pièces conductrices.

Résistance aux radiations : Dans l'industrie nucléaire, les barres de molybdène TZM peuvent résister à l'irradiation des neutrons et des rayons gamma à haute énergie en raison de leur faible section efficace d'absorption des neutrons thermiques et de leur haute résistance.

2.3 Comparaison avec le molybdène pur et d'autres superalliages

Par rapport au molybdène pur et à d'autres superalliages (tels que les alliages de tungstène, les alliages à base de nickel, les matériaux céramiques), les tiges de molybdène TZM présentent des avantages de performance uniques. Vous trouverez ci-dessous une comparaison détaillée de leurs propriétés, couvrant des aspects tels que la résistance à haute température, la résistance au fluage, la résistance à l'oxydation, la facilité de traitement et les scénarios d'application.

Comparaison avec le molybdène pur

Le molybdène pur (tungstène) a un point de fusion élevé (2623°C), une bonne conductivité électrique et thermique et un faible coefficient de dilatation thermique, mais sa résistance à haute température est faible et il est sujet au fluage et à la fragilisation par recristallisation. Les barres de molybdène TZM améliorent considérablement les performances à haute température en ajoutant du titane, du zirconium et du carbone :

Résistance à haute température : à 1200°C , la résistance à la traction de la tige de molybdène TZM est de 400 à 500 MPa, tandis que le molybdène pur n'est que de 200 à 300 MPa. Les mécanismes de renforcement de la solution et de renforcement des précipitations du TZM le rendent plus résistant à la déformation à haute température.

Résistance au fluage : Le taux de fluage de la tige de molybdène TZM est d'environ 1/10 de celui du molybdène pur, qui convient aux environnements de stress à haute température à long terme.

Température de recristallisation : La température de recristallisation du TZM (1400°C) est beaucoup plus élevée que celle du molybdène pur (1000°C), ce qui le rend structuellement stable

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

à des températures plus élevées.

Résistance à l'oxydation : la tige de molybdène TZM peut former une couche protectrice d'oxyde dense en dessous de 800°C, tandis que le molybdène pur est sujet à des MoO₃ volatils, entraînant une perte rapide.

Aptitude au traitement : La facilité de traitement de la tige de molybdène TZM est légèrement inférieure à celle du molybdène pur, mais des formes complexes peuvent être traitées en optimisant le processus de traitement thermique.

Comparaison avec l'alliage de tungstène

L'alliage de tungstène a un point de fusion (3422°C) et une densité (19,3 g/cm³) plus élevés, mais il est difficile à traiter et coûteux. Les avantages comparatifs des tiges de molybdène TZM comprennent :

Densité : La densité des tiges de molybdène TZM (10,2 g/cm³) est bien inférieure à celle des alliages de tungstène, ce qui les rend adaptées aux applications sensibles au poids telles que l'aérospatiale.

Aptitude au traitement : La ductilité et l'usinabilité de la tige de molybdène TZM sont meilleures que celles de l'alliage de tungstène, ce qui facilite la fabrication de pièces de formes complexes.

Résistance à l'oxydation : la tige de molybdène TZM est plus durable que l'alliage de tungstène dans un environnement d'oxydation à haute température, en particulier en dessous de 1000°C.

Coût : La tige de molybdène TZM est moins chère à produire que l'alliage de tungstène, ce qui la rend plus économique dans de nombreuses applications.

Comparaison avec les alliages à base de nickel

Les alliages à base de nickel (par exemple l'Inconel 718) ont une bonne résistance et une bonne résistance à la corrosion à haute température, mais leur point de fusion (environ 1350°C) est beaucoup plus bas que celui des barres de molybdène TZM, et un ramollissement sévère se produit au-dessus de 1600°C. Les avantages comparatifs des tiges de molybdène TZM comprennent :

Stabilité à haute température : la tige de molybdène TZM peut toujours maintenir une stabilité structurelle supérieure à 1600 °C, tandis que les alliages à base de nickel ont échoué à cette température.

Coefficient de dilatation thermique : Le coefficient de dilatation thermique du TZM ($5,3 \times 10^{-6}/K$) est inférieur à celui des alliages à base de nickel (environ $13 \times 10^{-6}/K$), ce qui le rend plus adapté aux applications nécessitant une stabilité dimensionnelle.

Résistance aux radiations : La faible section efficace d'absorption thermique des neutrons des barres de molybdène TZM les rend supérieures aux alliages à base de nickel dans l'industrie nucléaire.

Comparaison avec les matériaux céramiques

Les matériaux céramiques, tels que la zircone, sont extrêmement résistants à la chaleur, mais ils sont cassants et difficiles à usiner dans des formes complexes. Les avantages comparatifs des tiges de molybdène TZM comprennent :

Ténacité : La tige de molybdène TZM a à la fois la ténacité du métal et la stabilité de haute

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

température, ce qui convient aux scénarios nécessitant une résistance et une ténacité élevées.

Aptitude au traitement : Les tiges de molybdène TZM peuvent être forgées, laminées et usinées pour créer des composants complexes, tandis que les matériaux céramiques nécessitent souvent un processus de frittage coûteux.

Conductivité thermique : La conductivité thermique du TZM ($139 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) est beaucoup plus élevée que celle des matériaux céramiques (environ $2\text{-}30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), ce qui le rend adapté aux applications qui nécessitent une dissipation rapide de la chaleur.

Comparaison complète des applications

Les barres de molybdène TZM sont largement utilisées dans l'aérospatiale, l'industrie nucléaire, la fabrication de semi-conducteurs et la fabrication de fours à haute température. Par rapport au molybdène pur, ses performances à haute température sont meilleures ; Comparé à l'alliage de tungstène, il est léger et peu coûteux ; Par rapport aux alliages à base de nickel, il présente une stabilité à haute température et une résistance aux radiations plus fortes ; Par rapport aux matériaux céramiques, il a une meilleure ténacité et une meilleure aptitude au traitement. Cette combinaison de propriétés rend les barres de molybdène TZM idéales pour les applications à haute température dans un large éventail de domaines.

2.4 Mécanisme de fonctionnement dans un environnement à haute température

Le mécanisme de fonctionnement de la tige de molybdène TZM dans un environnement à haute température est au cœur de ses excellentes performances, qui impliquent de nombreux aspects tels que le renforcement de la solution, le renforcement des précipitations, le mécanisme antioxydant, le mécanisme de conductivité thermique et de dilatation thermique, et le mécanisme de résistance aux rayonnements. Voici une analyse détaillée de ces mécanismes.

Renforcement de la solution

La solution solide d'atomes de titane et de zirconium dans des cristaux de molybdène entrave le mouvement des dislocations par distorsion du réseau, améliorant ainsi la résistance à haute température du matériau. Ce mécanisme est particulièrement efficace à haute température, où le mouvement des dislocations est la principale cause de fluage à haute température. Le rayon atomique du titane et du zirconium est légèrement différent de celui du molybdène, ce qui entraîne une légère déformation du réseau cristallin, ce qui augmente la résistance au mouvement de dislocation, améliorant ainsi la résistance à la traction et la résistance au fluage de la tige de molybdène TZM.

Amélioration des précipitations

Les particules de carbure (par exemple, TiC et ZrC) formées par la réaction du carbone avec le titane et le zirconium sont uniformément réparties dans la matrice de molybdène, et ces particules améliorent la résistance et la résistance au fluage du matériau en épinglant les dislocations et les joints de grains. À des températures élevées, les particules de carbure peuvent empêcher efficacement la croissance des grains, maintenir la structure à grains fins du matériau et ainsi augmenter sa température de recristallisation. Des études ont montré que la taille des particules de carbure des tiges de molybdène TZM est généralement comprise entre $0,1$ et 1 micron, et que

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'uniformité de leur distribution est essentielle aux performances.

Mécanisme antioxydant

Dans un environnement oxydant à haute température, une couche protectrice dense de MoO_2 se formera à la surface de la tige de molybdène TZM pour ralentir les réactions d'oxydation ultérieures. En revanche, le molybdène pur est sujet à la formation de MoO_3 volatils, ce qui entraîne une perte rapide de matière. La résistance à l'oxydation des tiges de molybdène TZM est due à l'ajout de titane et de zirconium, qui favorisent la formation d'une couche d'oxyde dense. En dessous de 1000°C , les tiges de molybdène TZM peuvent fonctionner de manière stable dans un environnement oxydant, tandis qu'à des températures plus élevées, des revêtements anti-oxydation tels que le siliciure de molybdène ou les revêtements d'alumine sont nécessaires pour prolonger leur durée de vie.

Conductivité thermique et mécanismes de dilatation thermique

La conductivité thermique élevée des barres de molybdène TZM ($139 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) leur permet de dissiper rapidement la chaleur et d'éviter la dégradation des performances causée par une surchauffe locale. Cette performance est particulièrement importante dans la fabrication d'équipements de semi-conducteurs et de fours à haute température. Le faible coefficient de dilatation thermique de TZM ($5,3 \times 10^{-6}/\text{K}$) assure la stabilité dimensionnelle du matériau à haute température, réduisant les fissures et les déformations causées par les contraintes thermiques. Par exemple, dans les fours à vide, les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme éléments chauffants pour résister aux cycles de chauffage et de refroidissement rapides tout en restant structurellement intacts.

Mécanisme de durcissement par rayonnement

Dans l'industrie nucléaire, les barres de molybdène TZM résistent à l'irradiation des neutrons et des rayons gamma de haute énergie en raison de leur faible section efficace d'absorption thermique des neutrons et de leur haute résistance. Cette propriété en fait un matériau idéal pour les réacteurs nucléaires et les dispositifs de fusion. Par exemple, dans le matériau face au plasma (PFM) d'un réacteur à fusion nucléaire, les barres de molybdène TZM sont capables de résister au bombardement de particules de haute énergie tout en maintenant la stabilité structurelle. De plus, la résistance aux radiations du TZM est également due à sa structure à grain fin et à l'effet de renforcement des particules de carbure, qui réduisent les défauts cristallins induits par les rayonnements.

Performances complètes dans les environnements à haute température

Les performances globales de la tige de molybdène TZM dans un environnement à haute température bénéficient de l'effet synergique de ses multiples mécanismes de renforcement. Le renforcement de la solution et le renforcement par précipitation améliorent la résistance à haute température et la résistance au fluage, le mécanisme antioxydant prolonge la durée de vie du matériau dans l'environnement oxydant, la conductivité thermique élevée et le faible coefficient de dilatation thermique assurent la stabilité thermique, et la résistance aux radiations lui confère des avantages uniques dans l'industrie nucléaire. Ensemble, ces mécanismes permettent aux barres de molybdène TZM de fonctionner de manière stable dans des environnements extrêmes au-dessus de 1600°C , répondant ainsi aux exigences élevées de l'aérospatiale, de l'industrie nucléaire et de la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

fabrication de semi-conducteurs.

3.5 CTIA GROUP LTD TZM Tige en molybdène MSDS

Section 1 : Identification des produits chimiques

Nom chimique : Tige de molybdène TZM

Nom anglais : TZM Molybdène Rod

Numéros CAS : Molybdène (7439-98-7), Titane (7440-32-6), Zirconium (7440-67-7), Carbone (7440-44-0)

Section 2 : Composition/informations sur les ingrédients

Composition chimique:

Molybdène (Mo) $\geq 99,38 \%$

Titane (Ti) 0,4 à 0,55 %

Zirconium (Zr) 0,06 à 0,12 %

Carbone (C) 0,01 à 0,04 %

Section 3 : Identification des dangers

Risques pour la santé : Ce produit n'est pas irritant pour les yeux et la peau.

Risques d'incendie et d'explosion : Ininflammable et non irritant.

Section 4 : Premiers secours

Contact avec la peau : Retirez les vêtements contaminés et rincez abondamment à l'eau courante.

Contact avec les yeux : Soulevez les paupières et rincez-les à l'eau courante ou avec une solution saline. Consultez un médecin.

Inhalation : Déplacer la personne affectée à l'air frais. Si la respiration est difficile, administrez de l'oxygène. Consultez un médecin.

Ingestion : Buvez beaucoup d'eau tiède et faites vomir. Consultez un médecin.

Section 5 : Mesures de lutte contre l'incendie

Produits de combustion dangereux : Produits de décomposition inconnus.

Méthode d'extinction : Les pompiers doivent porter des masques à gaz et des combinaisons de protection complètes, et éteindre les incendies au vent.

Moyens extincteurs : Sable sec, poudre.

Section 6 : Mesures de rejet accidentel

Intervention d'urgence :

Isolez la zone contaminée et limitez l'accès.

Éliminez les sources d'inflammation.

Le personnel d'urgence doit porter des masques anti-poussière (intégraux) et des combinaisons de protection.

Évitez de soulever la poussière ; Balayez soigneusement le matériau et placez-le dans des sacs pour le transférer dans un endroit sûr.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

Pour les déversements importants, couvrez d'une bâche en plastique ou d'une bâche.
Collecte pour recyclage ou élimination dans une installation de traitement des déchets.

Section 7 : Manutention et entreposage

Manutention:

Les opérateurs doivent être spécialement formés et suivre strictement les procédures opérationnelles.

Les EPI recommandés comprennent des masques anti-poussière à filtre auto-amorçant, des lunettes de sécurité chimique, des vêtements de travail résistants à la perméation et des gants en caoutchouc.

Tenir à l'écart du feu et des sources de chaleur. Il est strictement interdit de fumer sur le lieu de travail.

Utilisez des systèmes et des équipements de ventilation antidéflagrants.

Évitez la production de poussière et le contact avec des oxydants et des halogènes.

Manipulez avec soin pour éviter d'endommager l'emballage et les contenants.

Fournir de l'équipement approprié d'extinction d'incendie et d'intervention en cas de déversement.

Les contenants vides peuvent contenir des résidus dangereux.

Stockage:

Stocker dans un entrepôt frais et ventilé, à l'abri du feu et des sources de chaleur.

Conserver séparément des oxydants et des halogènes ; Évitez le stockage mixte.

Fournir de l'équipement de lutte contre l'incendie approprié et des matériaux de confinement des fuites.

Section 8 : Contrôle de l'exposition/protection individuelle

CMA Chine (mg/m³) : 6

CMA ex-URSS (mg/m³) : 6

TLVTN (ACGIH) : 1 mg/m³

TLVWN (ACGIH) : 3 mg/m³

Méthode de surveillance : Colorimétrie thiocyanate-titane potassique

Contrôles techniques : Production sans poussière et ventilation générale.

Protection respiratoire : Lorsque les niveaux de poussière dépassent les limites, utilisez des masques anti-poussière de type filtre auto-amorçant. En cas d'urgence et d'évacuation, utilisez un respirateur à adduction d'air.

Protection oculaire : Portez des lunettes de sécurité chimique.

Protection corporelle : Vêtements de travail de protection résistants à l'usure et résistants à la perméation.

Protection des mains : Portez des gants en caoutchouc.

Section 9 : Propriétés physiques et chimiques

Ingrédient principal : Substance pure

Apparence : Solide, métallique blanc brillant (usiné) ; surface noire (matière première)

Point de fusion (°C) : 2620

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Point d'ébullition (°C) : 5560
Densité relative (eau = 1) : 9,4 à 10,2 (20 °C)
Densité de vapeur (air = 1) : Aucune donnée
Pression de vapeur saturée (kPa) : Aucune donnée
Chaleur de combustion (kJ/mol) : Aucune donnée
Température critique (°C) : Aucune donnée
Pression critique (MPa) : Aucune donnée
Coefficient de partage logarithmique (n-octanol/eau) : Aucune donnée
Point d'éclair (°C) : Pas de données
Température d'auto-inflammation (°C) : Aucune donnée
Limite d'explosion – Supérieure (% V/V) : Aucune donnée
Limite d'explosion – inférieure (% V/V) : Aucune donnée
Solubilité : Soluble dans l'acide nitrique et l'acide fluorhydrique
Utilisations principales : Utilisé dans la production de moules, de fils de molybdène, de composants électroniques, etc.

Section 10 : Stabilité et réactivité

Matériaux incompatibles : Acides et bases forts.

Section 11 : Renseignements toxicologiques

Toxicité aiguë : Aucune donnée disponible

CL50 : Aucune donnée disponible

Section 12 : Information écologique

Données écologiques : Non disponible

Article 13 : Considérations relatives à l'aliénation

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

Article 14 : Renseignements sur le transport

Code des marchandises dangereuses : Non disponible

Catégorie d'emballage : Z01

Précautions de transport :

L'emballage doit être intact et correctement sécurisé avant le transport.

Assurez-vous qu'il n'y a pas de fuite, d'effondrement, de chute ou de dommage pendant le transport.

Ne pas mélanger avec des oxydants, des halogènes ou des produits chimiques comestibles.

Protégez-vous de la lumière du soleil, de la pluie et des températures élevées pendant le transport.

Nettoyez soigneusement les véhicules après le transport.

Article 15 : Renseignements réglementaires

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

Règlementations pertinentes :

Règlement sur la gestion de la sécurité des produits chimiques dangereux (Conseil des Affaires d'État, 17 février 1987)

Détails de la mise en œuvre du Règlement sur la gestion de la sécurité des produits chimiques dangereux (Hua Lao Fa [1992] n° 677)

Règlement sur l'utilisation sans danger des produits chimiques sur le lieu de travail ([1996] Lao Bu Fa n° 423)

Normes d'hygiène pour le tungstène dans l'air du lieu de travail (GB 16229-1996), qui spécifie la concentration maximale autorisée et les méthodes de détection.

Article 16 : Renseignements sur le fournisseur

Fournisseur : CTIA GROUP LTD

Téléphone : 0592-5129696 / 5129595



CTIA GROUP LTD TZM Tige de molybdène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

- High Melting Point:** Suitable for extreme high-temperature environments.
- Excellent High-Temperature Strength:** Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.
- Good Thermal Stability and Creep Resistance:** Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.
- Superior Corrosion and Oxidation Resistance:** Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.
- Excellent Machinability:** Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

- High-Temperature Furnace Components:** Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.
- Aerospace Industry:** Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.
- Nuclear Industry:** Used in reactor support structures and control rod guide systems.
- Electronics Industry:** Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.
- Mold Manufacturing:** Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

3. Performance de la tige de molybdène TZM

3.1 Propriétés physiques et chimiques de la tige de molybdène TZM

En tant que matériau d'alliage haute performance à base de molybdène, la tige de molybdène TZM présente d'excellentes propriétés physiques et chimiques en ajoutant du titane (Ti), du zirconium (Zr) et du carbone (C). Ces propriétés le rendent prometteur pour un large éventail d'applications dans des environnements à haute température, à forte contrainte et corrosifs. Ce qui suit est une analyse détaillée des propriétés physiques et chimiques de la tige de molybdène TZM sous quatre aspects : point de fusion et stabilité thermique, densité et conductivité thermique, résistance à l'oxydation et à la corrosion, résistance mécanique et ténacité.

3.1.1 Point de fusion et stabilité thermique de la tige de molybdène TZM

Le point de fusion de la tige de molybdène TZM est proche de 2623 °C (environ 2896 K) de molybdène pur, et c'est l'un des superalliages couramment utilisés dans l'industrie. Son point de fusion élevé est dû à la structure cristalline BCC (body-centered cubic) de la matrice de molybdène, qui présente une grande stabilité à des températures élevées et est capable de résister à des charges thermiques extrêmes. Par rapport au molybdène pur, la tige de molybdène TZM augmente considérablement la température de recristallisation en ajoutant du titane, du zirconium et du carbone, d'environ 1000°C pour le molybdène pur à plus de 1400°C. Cette température de recristallisation élevée signifie que les tiges de molybdène TZM sont capables de maintenir une structure de grain fin à des températures élevées, évitant ainsi la dégradation des performances due à la croissance des grains.

La stabilité thermique est un avantage clé des barres de molybdène TZM dans les applications à haute température. Dans le secteur aérospatial, comme les tuyères de moteurs de fusée et les composants de chambre de combustion, les barres de molybdène TZM doivent résister à des charges thermiques instantanées dans des environnements supérieurs à 2000°C. Les résultats montrent que les tiges de molybdène TZM peuvent toujours maintenir une résistance et une intégrité structurelle élevées à 1800°C, tandis que le molybdène pur a subi un ramollissement et un fluage significatifs dans les mêmes conditions. Les résultats montrent que la stabilité thermique des barres de molybdène TZM est due au renforcement en solution du titane et du zirconium et au renforcement par précipitation des particules de carbure telles que le TiC et le ZrC, qui améliorent ensemble la résistance du matériau à la déformation à haute température.

De plus, la stabilité thermique de la tige de molybdène TZM est étroitement liée à son processus de production. Les tiges de molybdène TZM préparées par le procédé de métallurgie des poudres ont une microstructure uniforme, qui peut réduire efficacement le glissement des joints de grains et l'escalade de la dislocation à haute température. Les processus de traitement thermique, tels que le recuit et le vieillissement, optimisent encore la stabilité thermique du matériau. Par exemple, le recuit à haute température peut éliminer les contraintes résiduelles pendant le traitement, tandis que le vieillissement favorise la précipitation des particules de carbure et améliore la stabilité du matériau à haute température.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

3.1.2 Masse volumique et conductivité thermique de la tige de molybdène TZM

La densité de la tige de molybdène TZM est d'environ $10,2 \text{ g/cm}^3$, ce qui est inférieur à celui de l'alliage de tungstène ($19,3 \text{ g/cm}^3$) mais supérieur à celui des alliages à base de nickel (environ $8,5 \text{ g/cm}^3$). Cette densité moyenne lui confère des avantages significatifs dans les applications sensibles au poids telles que l'aérospatiale et les composants de satellites. Par rapport à l'alliage de tungstène, la densité plus faible de la tige de molybdène TZM réduit le poids structurel tout en maintenant une résistance élevée et une stabilité à haute température.

La conductivité thermique de la tige de molybdène TZM est de $139 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, ce qui est beaucoup plus élevé que celle des matériaux céramiques (environ $2\text{-}30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et des alliages à base de nickel (environ $10\text{-}20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). La conductivité thermique élevée lui permet de dissiper rapidement la chaleur et d'éviter la dégradation des performances causée par une surchauffe localisée. Par exemple, dans la fabrication d'équipements à semi-conducteurs, les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme cibles de pulvérisation et luminaires à haute température, et leur conductivité thermique élevée assure une distribution uniforme de la chaleur et réduit les fissures causées par les contraintes thermiques. De plus, dans la fabrication de fours à haute température, la tige de molybdène TZM peut être utilisée comme élément chauffant pour transférer rapidement la chaleur et améliorer l'uniformité de la température dans le four.

La conductivité thermique est étroitement liée à la microstructure des tiges de molybdène TZM. Le procédé de métallurgie des poudres assure la continuité du chemin de conductivité thermique en contrôlant la taille des grains et la distribution des particules de carbure. Des études ont montré que la conductivité thermique des tiges de molybdène TZM ne diminue que d'environ 10 à 15 % à des températures élevées (par exemple, 1200°C), ce qui est bien mieux que le taux de déclin de 20 à 25 % du molybdène pur. Cette conductivité thermique stable permet d'excellentes performances dans les environnements de cyclage à haute température.

3.1.3 Résistance à l'oxydation et à la corrosion de la tige de molybdène TZM

Les tiges de molybdène TZM présentent une excellente résistance à la corrosion dans des atmosphères non oxydantes à haute température telles que le vide, l'argon ou l'azote. Sa stabilité chimique est due à l'inertie de la matrice de molybdène et au renforcement du titane, du zirconium et du carbone. Dans un environnement oxydant à haute température, les tiges de molybdène TZM sont capables de former une couche dense de couche protectrice d'oxyde de MoO_2 pour ralentir les réactions d'oxydation. En revanche, le molybdène pur est sujet à des propriétés volatiles à haute température [de l'oxyde de tungstène](#), ce qui entraîne une détérioration rapide du matériau. Des études ont montré que les tiges de molybdène TZM peuvent fonctionner de manière stable dans un environnement oxydant inférieur à 1000°C , et à des températures plus élevées, des revêtements anti-oxydant (tels que les revêtements de siliciure de molybdène ou d'alumine) sont nécessaires pour prolonger leur durée de vie.

Dans les environnements corrosifs, les tiges de molybdène TZM ont une bonne résistance aux acides, aux alcalis et aux solutions salines. Par exemple, dans les environnements d'acide sulfurique dilué et d'acide chlorhydrique, les barres de molybdène TZM ont un taux de corrosion beaucoup plus

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

faible que l'acier inoxydable et les alliages à base de nickel. Cette résistance à la corrosion le rend largement utilisé dans les industries chimiques et nucléaires. Par exemple, dans l'environnement de refroidissement d'un réacteur nucléaire, les barres de molybdène TZM sont capables de résister à des températures élevées et à la corrosion chimique, tout en maintenant l'intégrité structurelle.

L'amélioration de la résistance à l'oxydation et à la corrosion est également étroitement liée à la technologie de traitement de surface. Par exemple, le dépôt d'un revêtement anti-oxydant à la surface d'une tige de molybdène TZM par des procédés de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou de dépôt physique en phase vapeur (PVD) peut améliorer considérablement sa durabilité dans des environnements oxydants à haute température. De plus, les technologies de polissage de surface et de pulvérisation plasma peuvent réduire les défauts de surface et améliorer la résistance à la corrosion.

3.1.4 Résistance mécanique et ténacité de la tige de molybdène TZM

La résistance mécanique de la tige de molybdène TZM dépasse de loin celle du molybdène pur à haute température. Par exemple, à 1200°C, la résistance à la traction de la tige de molybdène TZM est de 400-500 MPa, tandis que le molybdène pur n'est que de 200-300 MPa. Cette résistance élevée est due au renforcement en solution du titane et du zirconium et au renforcement par précipitation des particules de carbure. Les particules de carbure de titane (TiC) et de carbure de zirconium (ZrC) sont uniformément réparties dans la matrice de molybdène, ce qui améliore la dureté et la résistance du matériau en épinglant les dislocations et les joints de grains. La dureté Vickers des tiges de molybdène TZM est d'environ 250-300 HV, ce qui est supérieur aux 200 HV du molybdène pur, ce qui les rend aptes à être utilisées dans la fabrication de moules et d'outils de coupe résistants à l'usure.

En termes de ténacité, les tiges de molybdène TZM présentent une bonne résistance à la rupture à température ambiante et à haute température. Par rapport aux matériaux céramiques, les tiges de molybdène TZM ont la ductilité et la ténacité du métal et peuvent résister à certains chocs et déformations sans rupture fragile. Les résultats montrent que la résistance à la rupture (K_{IC}) de la tige de molybdène TZM est d'environ 15-20 MPa·m^{1/2} à température ambiante, ce qui est supérieur à celui du molybdène pur (10-12 MPa·m^{1/2}). Cette excellente ténacité lui permet de résister à des environnements de stress complexes dans les industries aérospatiale et nucléaire.

L'amélioration de la résistance mécanique et de la ténacité est également liée au processus de production. En contrôlant la température et la pression de frittage dans le processus de métallurgie des poudres, la taille des grains et la distribution du carbure de la tige de molybdène TZM peuvent être optimisées, équilibrant ainsi la résistance et la ténacité. Par exemple, une température de frittage plus basse (environ 1800°C) permet d'obtenir des grains plus fins et d'améliorer la ténacité ; La température de frittage plus élevée (environ 2000°C) augmente la résistance.

3.2 Propriétés thermiques et mécaniques de la tige de molybdène TZM

Les propriétés thermiques et mécaniques de la tige de molybdène TZM sont à la base de sa large application dans des environnements à haute température et à forte contrainte. Ce qui suit est une analyse détaillée de quatre aspects : coefficient de dilatation thermique et déformation à haute

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

température, résistance aux chocs thermiques, performance de fluage et stabilité à long terme, performance en fatigue et capacité de recyclage.

3.2.1 Coefficient de dilatation thermique et déformation à haute température de la tige de molybdène TZM

Le coefficient de dilatation thermique de la tige de molybdène TZM est d'environ $5,3 \times 10^{-6}/K$, ce qui est beaucoup plus bas que celui des alliages à base de nickel (environ $13 \times 10^{-6}/K$) et de l'acier inoxydable (environ $16 \times 10^{-6}/K$). Le faible coefficient de dilatation thermique assure la stabilité dimensionnelle des tiges de molybdène TZM à haute température, réduisant ainsi les fissures et les déformations causées par les contraintes thermiques. Par exemple, dans les fours à vide, les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme éléments chauffants pour maintenir la stabilité géométrique pendant les cycles de chauffage et de refroidissement rapides.

La déformation à haute température est un enjeu clé dans la conception des matériaux à haute température. La tige de molybdène TZM est renforcée par le renforcement en solution solide du titane et du zirconium et le renforcement par précipitation des particules de carbure, ce qui réduit considérablement le taux de déformation à haute température. Dans des conditions de contrainte de $1400^{\circ}C$ et 20 MPa, le taux de déformation de la tige de molybdène TZM n'est que de 1/5 de celui du molybdène pur. Des études ont montré que les particules de carbure sont capables de fixer les joints de grains à des températures élevées, empêchant ainsi les joints de grains de glisser, réduisant ainsi la déformation. Des études ont montré que le taux de déformation de la tige de molybdène TZM en dessous de $1600^{\circ}C$ peut être contrôlé à 0,1 %, ce qui convient aux moules à haute température et aux pièces aérospatiales.

La stabilité du coefficient de dilatation thermique est également liée à la microstructure de la tige de molybdène TZM. La granulométrie fine (10-50 microns) et la distribution uniforme du carbure réduisent la migration des joints de grain à haute température, assurant ainsi la stabilité dimensionnelle. De plus, les techniques de traitement de surface, telles que le polissage et le revêtement, peuvent réduire davantage les concentrations de contraintes thermiques et améliorer la résistance à la déformation.

3.2.2 Résistance aux chocs thermiques de la tige de molybdène TZM

La résistance aux chocs thermiques est un indicateur important de la stabilité des matériaux à haute température dans un environnement en évolution rapide. La tige de molybdène TZM présente une excellente résistance aux chocs thermiques en raison de sa conductivité thermique élevée ($139 W/m \cdot K$), de son faible coefficient de dilatation thermique ($5,3 \times 10^{-6}/K$) et de sa résistance mécanique élevée. Dans les tests de choc thermique, les tiges de molybdène TZM sont capables de résister à des centaines de cycles sans fissures évidentes dans un cycle rapide de $1000^{\circ}C$ à température ambiante, tandis que le molybdène pur présente généralement des microfissures après 50 cycles dans les mêmes conditions.

L'amélioration de la résistance aux chocs thermiques est due à la microstructure et aux propriétés d'alliage des tiges de molybdène TZM. Le renforcement par précipitation des particules de carbure améliore la résistance et la ténacité du matériau et réduit la propagation des fissures causée par le

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

stress thermique. De plus, la conductivité thermique élevée permet à la tige de molybdène TZM de dissiper rapidement la chaleur, réduisant ainsi les contraintes internes causées par les gradients de température. Dans le secteur aérospatial, les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme matériaux de tuyère de fusée capables de résister aux changements rapides de température dans la chambre de combustion tout en préservant l'intégrité structurelle.

Selon les données techniques publiées, la résistance aux chocs thermiques de la tige de molybdène TZM peut être encore améliorée en optimisant le processus de production. Par exemple, en contrôlant la vitesse de refroidissement pendant le processus de frittage, les défauts microscopiques peuvent être réduits et la résistance du matériau aux chocs thermiques peut être améliorée. De plus, les revêtements de surface, tels que les revêtements en zircone, peuvent encore améliorer la résistance aux chocs thermiques et prolonger la durée de vie du matériau.

3.2.3 Performance de fluage et stabilité à long terme de la tige de molybdène TZM

Le fluage est l'un des principaux modes de défaillance des matériaux à haute température soumis à des contraintes à long terme. La résistance au fluage de la tige de molybdène TZM est bien meilleure que celle du molybdène pur. Dans des conditions de contrainte de 1400°C et 20 MPa, le taux de fluage de la tige de molybdène TZM n'est que de 1/10 de celui du molybdène pur. Cette excellente résistance au fluage est due au renforcement en solution du titane et du zirconium et à l'empoissage des particules de carbure. Les particules de carbure peuvent empêcher efficacement le glissement des joints de grain et l'escalade de la dislocation, ralentissant ainsi le processus de fluage.

La stabilité à long terme est un avantage clé des barres de molybdène TZM dans les applications à haute température. Dans les réacteurs nucléaires, les barres de molybdène TZM sont des composants structurels qui doivent fonctionner pendant plusieurs années dans un environnement à haute température et à fort rayonnement pour maintenir des performances stables. Des études ont montré que les tiges de molybdène TZM peuvent maintenir des performances stables jusqu'à 5000 heures en dessous de 1600 °C, tandis que le molybdène pur subit généralement un fluage significatif en 1000 heures dans les mêmes conditions. Les résultats montrent que la stabilité à long terme des barres de molybdène TZM est étroitement liée à sa structure à grain fin et à sa distribution uniforme du carbure.

L'influence du processus de production sur les propriétés de fluage ne peut être ignorée. En optimisant la température et la pression de frittage dans le processus de métallurgie des poudres, la taille des grains et la distribution du carbure peuvent être contrôlées, ce qui améliore la résistance au fluage. Par exemple, une température de frittage plus basse (environ 1800°C) permet d'obtenir des grains plus fins et une meilleure résistance au fluage. De plus, les processus de traitement thermique, tels que le vieillissement, peuvent favoriser la précipitation des particules de carbure, améliorant ainsi la stabilité à long terme.

3.2.4 Résistance à la fatigue et capacité de recyclage de la tige de molybdène TZM

Les performances de fatigue de la tige de molybdène TZM sous contrainte cyclique à haute température sont meilleures que celles du molybdène pur. Dans des conditions de contrainte

cyclique de 1200°C et ± 200 MPa, la durée de vie en fatigue de la tige de molybdène TZM peut atteindre 10^5 cycles, tandis que celle du molybdène pur n'est que de 10^4 cycles. Cette excellente résistance à la fatigue est due à sa résistance et à sa ténacité élevées, ainsi qu'à l'inhibition de la propagation des fissures par les particules de carbure. Les résultats montrent que le taux de croissance des fissures de fatigue de la tige de molybdène TZM est d'environ 1/3 de celui du molybdène pur, montrant une plus grande résistance à la fatigue.

La capacité de recyclage est une caractéristique importante de la tige de molybdène TZM dans un environnement cycliste à haute température. Par exemple, dans les fours à haute température, les barres de molybdène TZM sont utilisées comme éléments chauffants pour maintenir des performances stables pendant les cycles de chauffage et de refroidissement répétés. Des tests ont montré que les tiges de molybdène TZM sont capables de résister à des milliers de cycles de 1000°C à température ambiante sans dégradation significative des performances. Cette circularité le rend largement utilisé dans les fours à haute température et la fabrication d'équipements à semi-conducteurs.

L'amélioration des performances en fatigue et de la capacité de recyclage est également liée à la qualité de surface et à la microstructure. Le polissage de surface peut réduire les défauts de surface et réduire la probabilité d'initiation de fissures de fatigue. Les processus de traitement thermique, tels que le recuit, peuvent éliminer les contraintes d'usinage et augmenter la durée de vie en fatigue. De plus, l'ajout d'un revêtement anti-oxydation peut réduire les pertes d'oxydation lors des cycles à haute température et prolonger la durée de vie du cycle.

3.3 Relation entre la microstructure et les propriétés de la tige de molybdène TZM

Les propriétés des barres de molybdène TZM sont étroitement liées à leur microstructure, notamment la structure et l'orientation des grains, le rôle du titane, du zirconium et du carbone, ainsi que la morphologie de surface et les propriétés à haute température. Voici une analyse détaillée de ces trois aspects.

3.3.1 Structure et orientation des grains des tiges de molybdène TZM

La structure des grains des tiges de molybdène TZM est généralement contrôlée par un processus de métallurgie des poudres avec une taille de grain comprise entre 10 et 50 microns. La granulométrie fine augmente la résistance et la ténacité du matériau, réduisant le glissement et le fluage des joints de grain à haute température. Des études ont montré que les tiges de molybdène TZM ont une taille de grain plus petite que le molybdène pur (environ 50-100 microns), grâce à l'ajout de titane, de zirconium et de carbone, qui inhibent la croissance des grains en formant des particules de carbure.

L'orientation du grain a également un impact important sur les performances des barres en molybdène TZM. Au cours du processus de laminage ou de forgeage, les grains de la tige de molybdène TZM formeront une certaine orientation le long de la direction de traitement, montrant une anisotropie. La résistance à la traction dans le sens du roulement est généralement d'environ 10 à 15 % plus élevée que dans le sens vertical. Les résultats montrent qu'en contrôlant la température

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de laminage et la déformation, l'orientation du grain peut être optimisée et les propriétés mécaniques du matériau peuvent être améliorées. Par exemple, le laminage à chaud (environ 1400°C) peut obtenir une orientation plus uniforme du grain et améliorer la résistance à haute température.

L'optimisation de la structure du grain est également liée au processus de traitement thermique. Le recuit peut soulager le stress de traitement et ajuster la taille des grains ; Le traitement de vieillissement favorise la précipitation des particules de carbure et améliore la résistance de l'enveloppe de grain. Ensemble, ces processus garantissent la stabilité des performances des barres de molybdène TZM à haute température.

3.3.2 Le rôle du titane, du zirconium et du carbone

Le titane, le zirconium et le carbone sont les éléments clés pour améliorer les performances des barres de molybdène TZM, et leurs rôles se reflètent principalement dans les aspects suivants :

Titane (Ti) : Le titane améliore la résistance du réseau de la matrice de molybdène grâce au renforcement de la solution. La solution solide des atomes de titane dans le réseau de molybdène provoque une distorsion du réseau et entrave le mouvement des dislocations, améliorant ainsi la résistance à haute température et la résistance au fluage. De plus, le titane réagit avec le carbone pour former des particules de carbure de titane (TiC), qui améliorent la dureté et la résistance à l'usure du matériau grâce au renforcement par précipitation.

Zirconium (Zr) : Le zirconium agit de la même manière que le titane, améliorant la résistance et la stabilité du matériau grâce au renforcement de la solution et à la précipitation. Le zirconium réagit avec le carbone pour former des particules de carbure de zirconium (ZrC), capables de fixer les joints de grains à des températures élevées, empêchant ainsi la croissance des grains et augmentant les températures de recristallisation. Le zirconium améliore également la résistance à l'oxydation des barres de molybdène TZM.

Carbone (C) : L'ajout de carbone est au cœur de l'amélioration des performances des alliages TZM. Les particules de carbure générées par la réaction du carbone avec le titane et le zirconium sont uniformément réparties dans la matrice de molybdène, et la résistance, la résistance au fluage et la température de recristallisation du matériau sont améliorées par les dislocations d'épinglage et les joints de grains. Des études ont montré que la taille et la distribution des particules de carbure atteignent un état optimal lorsque la teneur en carbone est de 0,01 à 0,04 %.

Selon les informations accessibles au public, l'effet synergique du titane, du zirconium et du carbone rend les barres de molybdène TZM beaucoup plus efficaces que le molybdène pur. Par exemple, à 1400°C, la résistance à la traction des tiges de molybdène TZM est environ 2 fois supérieure à celle du molybdène pur, et le taux de fluage est réduit d'environ 90 %.

3.3.3 Morphologie de surface et propriétés à haute température des tiges de molybdène TZM

La morphologie de surface de la tige de molybdène TZM a une influence importante sur ses performances à haute température. Les défauts de surface (par exemple, microfissures, porosité) peuvent devenir des points de concentration de contraintes, entraînant la propagation des fissures à des températures élevées. La topographie de surface peut être considérablement améliorée grâce au

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

polissage de surface, à la pulvérisation plasma ou aux techniques de revêtement pour améliorer les performances à haute température.

Dans l'environnement d'oxydation à haute température, la morphologie de surface de la tige de molybdène TZM changera pour former une couche protectrice dense MoO_2 . La formation de cette couche protectrice est étroitement liée à la qualité de la surface. Des études ont montré que les tiges de molybdène TZM avec une finition de surface élevée peuvent former une couche d'oxyde plus uniforme, améliorant ainsi la résistance à l'oxydation. De plus, les revêtements anti-oxydation, tels que les revêtements en siliciure de molybdène, peuvent encore améliorer la topographie de surface et prolonger la durée de vie des matériaux dans des environnements oxydants à haute température.

La topographie de surface affecte également la résistance aux chocs thermiques des tiges de molybdène TZM. La surface lisse réduit les concentrations de contraintes thermiques et améliore la résistance aux chocs thermiques. Dans le secteur aérospatial, la surface des tiges de molybdène TZM doit souvent être usinée avec précision pour répondre aux exigences des environnements cycliques à haute température.

3.4 Durée de vie et fiabilité de la tige de molybdène TZM

La longévité et la fiabilité de la tige de molybdène TZM sont les indicateurs clés de son application dans des environnements à haute température et à forte contrainte. Ce qui suit est une analyse détaillée de trois aspects : les facteurs influençant la durée de vie, l'analyse des modes de défaillance et le test de fiabilité.

3.4.1 Facteurs influençant la durée de vie des tiges de molybdène TZM

La durée de vie des tiges de molybdène TZM est affectée par divers facteurs, notamment la température de fonctionnement, le niveau de contrainte, l'atmosphère ambiante, le processus de production et le traitement de surface, etc.

Température de fonctionnement : La température est le principal facteur affectant la durée de vie des tiges de molybdène TZM. En dessous de 1600°C , la tige de molybdène TZM peut maintenir une stabilité à long terme ; Cependant, au-dessus de 1800°C , les taux d'oxydation et de fluage augmentent considérablement, raccourcissant la durée de vie.

Niveau de contrainte : Des contraintes élevées peuvent accélérer le fluage et la défaillance par fatigue. Par exemple, à une contrainte de 1400°C et 50 MPa, la durée de vie d'une tige de molybdène TZM est d'environ 1/3 de celle du molybdène pur.

Atmosphère ambiante : Dans le vide ou dans un gaz inerte, la durée de vie de la tige de molybdène TZM peut atteindre des milliers d'heures ; Dans un environnement oxydant, un revêtement anti-oxydation est nécessaire pour prolonger la durée de vie.

Processus de production : La température de frittage, la pression et le processus de traitement thermique dans le processus de métallurgie des poudres affectent directement la taille des grains et la distribution du carbure, ce qui affecte à son tour la durée de vie. L'optimisation du processus peut augmenter la durée de vie de 20 à 30 %.

Traitement de surface : Le revêtement anti-oxydation et le polissage de surface peuvent réduire

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'oxydation et l'initiation des fissures et prolonger la durée de vie. Par exemple, un revêtement en siliciure molybdène peut prolonger la durée de vie des tiges de molybdène TZM dans un environnement oxydant à 1200°C d'un facteur 2-3.

3.4.2 Analyse des modes de défaillance des barres de molybdène TZM (p. ex. rupture, corrosion)

Les modes de défaillance de la tige de molybdène TZM comprennent principalement la rupture, la corrosion et la défaillance par fluage :

Fracture : La fracture est généralement causée par la fatigue ou le stress thermique. Dans les cycles à haute température, les défauts de surface peuvent déclencher la propagation des fissures, entraînant des fractures cassantes ou ductiles. Les résultats montrent que la résistance à la rupture de la tige de molybdène TZM (15-20 Mpa·m^{1/2}) est supérieure à celle du molybdène pur, mais la qualité de surface doit encore être optimisée pour réduire le risque de fracture.

Corrosion : Dans un environnement oxydant à haute température, les tiges de molybdène TZM peuvent tomber en panne en raison de l'écaillage de la couche d'oxyde. La formation de MoO₃ volatils accélère la perte de matière. Le revêtement anti-oxydation peut ralentir efficacement la corrosion.

Défaillance par fluage : Les contraintes à long terme à haute température peuvent entraîner une défaillance par fluage, qui se manifeste par une déformation lente du matériau et une perte de résistance. L'action d'ancrage des particules de carbure réduit considérablement le taux de fluage, mais la contrainte élevée peut toujours conduire à une défaillance.

L'analyse des modes de défaillance montre que l'optimisation de la qualité de surface et de la technologie de revêtement est la clé pour améliorer la durée de vie des barres de molybdène TZM. Par exemple, les revêtements d'alumine déposés par CVD peuvent réduire considérablement la corrosion oxydative.

3.4.3 Essai de fiabilité de la tige de molybdène TZM

Le test de fiabilité de la tige de molybdène TZM comprend généralement un test de résistance à haute température, un test de fluage, un test de choc thermique et un test de fatigue :

Essai de résistance à haute température : La résistance à la traction et la limite d'élasticité sont testées à 1200-1600 °C par une machine d'essai de traction pour s'assurer que le matériau répond aux exigences de conception.

Test de fluage : Testez le taux de fluage à 1400°C et une contrainte de 20-50 Mpa pour évaluer la stabilité à long terme. Les résultats des tests montrent que la durée de vie fluante des tiges de molybdène TZM dépasse de loin celle du molybdène pur.

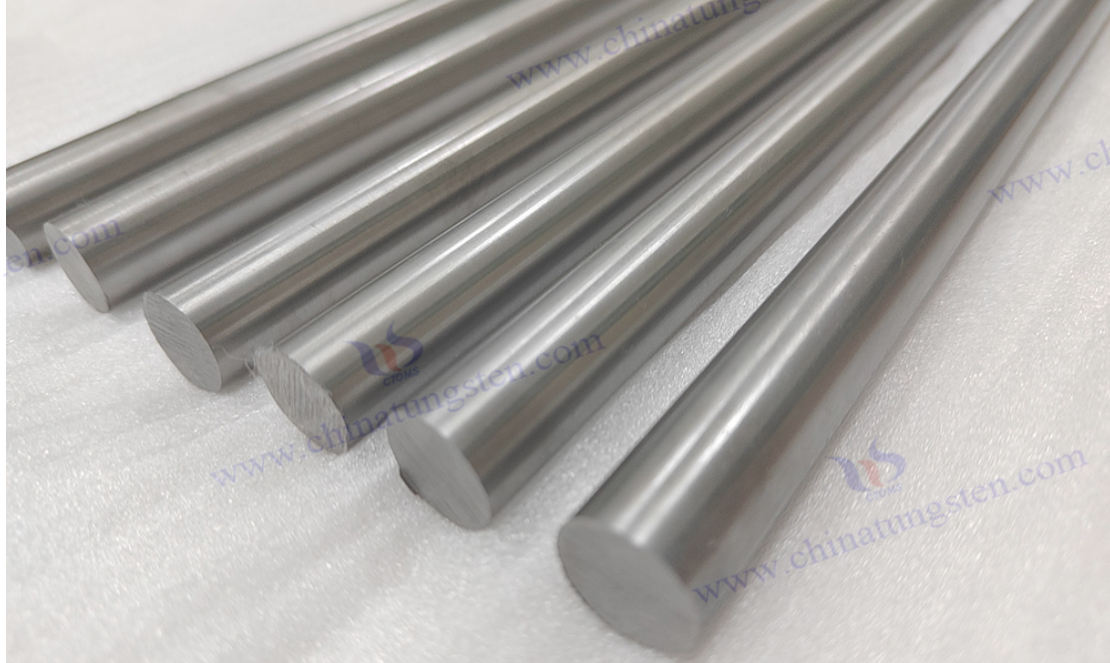
Test de choc thermique : La résistance aux chocs thermiques est testée par des cycles de chauffage et de refroidissement rapides (1000°C à température ambiante). Les tiges de molybdène TZM peuvent généralement résister à des centaines de cycles sans se fissurer.

Essai de fatigue : Testez la durée de vie en fatigue sous une contrainte cyclique de 1200°C et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

±200 Mpa pour évaluer la capacité cyclique.

Les résultats des tests de fiabilité montrent que la tige de molybdène TZM a une excellente fiabilité dans un environnement à haute température et à forte contrainte, et qu'elle convient à une utilisation dans l'aérospatiale, l'industrie nucléaire et la fabrication de semi-conducteurs. Grâce à un contrôle de qualité et à des tests stricts, la fiabilité de la tige de molybdène TZM peut atteindre plus de 99,9 %.



CTIA GROUP LTD TZM Tige de molybdène

4. Processus de préparation et technologie de la tige de molybdène TZM

4.1 Sélection et préparation des matières premières pour les tiges de molybdène TZM

En tant que matériau d'alliage haute performance, les performances de la tige de molybdène TZM dépendent fortement de la qualité et du rapport des matières premières. La sélection et la préparation des matières premières sont à la base de la préparation des tiges de molybdène TZM, ce qui affecte directement la microstructure et les propriétés du produit final. Ce qui suit est une analyse détaillée sous quatre aspects : purification de la poudre de molybdène, sélection des additifs carbone titane zirconium, optimisation du rapport d'alliage, test des matières premières et contrôle de la qualité.

4.1.1 Exigences de purification et de qualité de la poudre de molybdène

La poudre de molybdène est la principale matière première de la tige de molybdène TZM, et sa pureté et sa qualité sont cruciales pour les propriétés de l'alliage. La poudre de molybdène est généralement préparée en réduisant le paratungstate d'ammonium. Le processus de purification se compose principalement des étapes suivantes :

Purification du minerai : La poudre de molybdène est généralement extraite de concentrés de molybdène tels que le molybdène. La molybdénite subit une flottation et une torréfaction pour éliminer les impuretés telles que le soufre et le silicium afin d'obtenir du trioxyde de molybdène de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

haute pureté.

Réduction chimique : Le trioxyde de molybdène est réduit en poudre de molybdène par étapes sous une atmosphère d'hydrogène. Le processus de réduction est divisé en réduction à basse température (400-600 °C, MoO₃) et réduction à haute température (800-1000 °C, poudre de molybdène métallique). L'étude montre que le processus de réduction moderne adopte un four de réduction à plusieurs étages pour garantir que la pureté de la poudre de molybdène atteint plus de 99,95 %.

Contrôle de la taille des particules : La taille des particules de la poudre de molybdène est généralement contrôlée entre 1 et 5 microns, une taille de particule trop grande entraînera un frittage inégal et une taille de particule trop petite augmentera les coûts de production. La granulométrie fine et uniforme des particules contribue à améliorer la densité et les propriétés mécaniques des tiges de molybdène TZM.

Les exigences de qualité de la poudre de molybdène comprennent une pureté élevée ($\geq 99,95\%$), une faible teneur en oxygène ($\leq 0,005\%$), une faible teneur en impuretés (par exemple, fer, silicium, aluminium, etc. $\leq 0,01\%$) et une distribution granulométrique uniforme. Ces exigences garantissent la stabilité et la résistance à la corrosion des barres de molybdène TZM à des températures élevées.

4.1.2 Sélection des additifs pour le titane, le zirconium et le carbone

Les éléments d'alliage des barres de molybdène TZM comprennent le titane (Ti, 0,4-0,55 %), le zirconium (Zr, 0,06-0,12 %) et le carbone (C, 0,01-0,04 %), et la sélection de ces additifs est essentielle aux propriétés de l'alliage :

Titane (Ti) : Le titane est généralement ajouté sous forme de poudres de titane de haute pureté (pureté de $\geq 99,9\%$) ou de composés de titane (par exemple, TiH₂). La taille des particules de poudre de titane est contrôlée à 1-10 microns pour assurer un mélange uniforme avec la poudre de molybdène. L'ajout de titane améliore la résistance à haute température et la résistance au fluage de l'alliage grâce au renforcement de la solution et à la précipitation (génération de particules de TiC).

Zirconium (Zr) : Le zirconium est ajouté sous forme de poudre de zirconium de haute pureté (pureté $\geq 99,9\%$) ou de composé de zirconium (par exemple, ZrH₂), généralement avec une taille de particule de 1 à 5 microns. Le zirconium améliore la résistance à l'oxydation et la température de recristallisation de l'alliage grâce au renforcement de la solution et à la formation de particules de ZrC.

Carbone (C) : Le carbone est généralement ajouté sous forme de poudre de graphite ou de noir de carbone, la pureté doit atteindre plus de 99,99 % et la taille des particules est contrôlée à 0,5-2 microns. Le carbone réagit avec le titane et le zirconium pour former des particules de carbure (TiC et ZrC), qui sont renforcées par précipitation pour améliorer la dureté et la résistance au fluage de l'alliage.

Des études ont montré que les additifs sont sélectionnés en fonction de leur activité chimique, de la distribution granulométrique des particules et de leur compatibilité avec la poudre de molybdène. Par exemple, les hydrures de titane et de zirconium se décomposent pendant le processus de frittage pour libérer de l'hydrogène, ce qui contribue à réduire la teneur en oxygène et à améliorer la pureté de l'alliage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

4.1.3 Optimisation du rapport d'alliage

Le rapport d'alliage de la tige de molybdène TZM (Mo : 99,38-99,5 %, Ti : 0,4-0,55 %, Zr : 0,06-0,12 %, C : 0,01-0,04 %) doit être optimisé par des expériences et des simulations pour équilibrer la résistance, la ténacité et la résistance à l'oxydation. Les points clés de l'optimisation des ratios sont les suivants :

Rapport entre le titane et le zirconium : Le rapport entre le titane et le zirconium est généralement de 5:1 à 8:1 pour assurer l'effet synergique du renforcement de la solution. Une teneur trop élevée en titane peut entraîner une fragilité accrue, et une teneur trop élevée en zirconium peut augmenter les coûts.

Contrôle de la teneur en carbone : La teneur en carbone doit être contrôlée avec précision à 0,01-0,04 %, trop faible entraînera une insuffisance de particules de carbure et réduira l'effet de renforcement ; Une quantité trop élevée peut entraîner la formation d'une trop grande quantité de carbure et une ténacité réduite.

Homogénéité : La distribution uniforme du titane, du zirconium et du carbone dans la poudre de molybdène est assurée par un processus de mélange mécanique ou de broyage à billes pour éviter la ségrégation locale affectant les performances.

Les résultats montrent que le rapport optimal peut augmenter la résistance à la traction de la tige de molybdène TZM de 10 à 15 % et réduire le taux de fluage de 20 à 30 %.

4.1.4 Essais et contrôle de la qualité des matières premières

Le contrôle de la qualité des matières premières est un élément clé pour garantir la constance des performances des tiges de molybdène TZM. Les dosages comprennent :

Analyse de la composition chimique : La spectroscopie d'émission de plasma à couplage inductif (ICP-OES) ou la spectroscopie de fluorescence X (XRF) a été utilisée pour détecter la teneur en molybdène, en titane, en zirconium et en carbone afin de s'assurer que les exigences de rapport étaient respectées.

Analyse granulométrique : La distribution granulométrique de la poudre est mesurée par l'analyseur de taille de particules laser pour garantir l'uniformité de la taille des particules.

Détection d'impuretés : La spectrométrie de masse à décharge lumineuse (GDMS) est utilisée pour détecter la teneur en impuretés telles que l'oxygène, l'azote et le fer afin de s'assurer qu'elle est inférieure à la limite standard.

Analyse de la microstructure : La microscopie électronique à balayage (MEB) et la diffraction des rayons X (XRD) sont utilisées pour analyser la topographie et la structure cristalline des poudres afin de garantir l'absence de défaut et de ségrégation.

Des recherches montrent que le premier producteur mondial de barres de molybdène TZM utilise un système de gestion de la qualité ISO 9001 pour garantir la qualité des matières premières grâce à des tests à plusieurs niveaux. Le contrôle qualité comprend également des audits fournisseurs, le suivi des lots et le suivi des processus de production pour garantir la cohérence et la traçabilité des matières premières.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

4.2 Procédé métallurgique de la tige de molybdène TZM

Le processus métallurgique des tiges de molybdène TZM comprend des étapes telles que le mélange et le pressage de poudre, le frittage, le forgeage et le laminage, ainsi que l'extrusion et l'étréage. Ces processus déterminent directement la microstructure et les propriétés des tiges de molybdène TZM. Voici une analyse des détails et des points techniques de chaque sous-processus.

4.2.1 Mélange et pressage des poudres

4.2.1.1 Technologie d'alliage mécanique

L'alliage mécanique est une étape clé dans la préparation des barres de molybdène TZM, où la poudre de molybdène, la poudre de titane, la poudre de zirconium et la poudre de toner sont mélangées uniformément par broyage à billes à haute énergie. Les principaux paramètres de l'alliage mécanique sont les suivants :

Équipement de broyeur à boulets : broyeur à boulets planétaire ou broyeur à boulets vibrant, le support de broyage est généralement des billes de poudre de carbure de tungstène.

Rapport de granulés : généralement de 10:1 à 20:1 pour assurer un mélange et un broyage efficaces.

Temps de broyage : 6-12 heures, trop long peut introduire des impuretés, trop court ne mélangera pas uniformément.

Contrôle de l'atmosphère : effectué sous la protection de l'argon ou de l'azote pour éviter l'oxydation.

L'alliage mécanique permet non seulement d'obtenir un mélange uniforme des poudres, mais aussi d'améliorer l'effet de solution solide du titane, du zirconium et du molybdène grâce à des modifications microstructurelles induites par des collisions à haute énergie. Des études ont montré que l'alliage mécanique peut augmenter l'uniformité de mélange des poudres à plus de 99 %, améliorant considérablement la qualité du frittage ultérieur.

4.2.1.2 Procédé de pressage isostatique

Le moulage isostatique par presse (CIP) est un processus clé pour presser des poudres mélangées en ébauches. Le formage sous pression isostatique assure une densité uniforme de l'ébauche en appliquant une pression uniforme à un milieu liquide, tel que l'eau ou l'huile. Les principaux paramètres sont les suivants :

Pression : 150-300 MPa, trop élevée peut provoquer des fissures dans la billette, trop faible entraînera une densité insuffisante.

Matériau du moule : moule en caoutchouc ou en polyuréthane à haute résistance, résistance à la pression et bonne flexibilité.

Masse volumique : 60 à 70 % de la masse volumique théorique, qui constitue la base du frittage ultérieur.

L'avantage du pressage isostatique est la possibilité de préparer des ébauches de formes complexes, réduisant ainsi la quantité de traitement ultérieur. Des études ont montré que la combinaison du

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

pressage isostatique à froid (CIP) et du pressage isostatique à chaud (HIP) peut encore augmenter la densité de la billette à plus de 90 % de la densité théorique.

4.2.2 Procédé de frittage

4.2.2.1 Technologie de frittage sous vide

Le frittage sous vide est le processus de base dans la préparation des barres de molybdène TZM, qui solidifie l'ébauche en un alliage haute densité par frittage à haute température. Les principaux paramètres sont les suivants :

Température : 1800-2000 °C, inférieur au point de fusion du molybdène (2623 °C), éviter le frittage en phase liquide.

Vide : 10^{-3} - 10^{-5} Pa pour réduire la pollution par l'oxygène et l'azote.

Temps de maintien : 2 à 4 heures pour assurer la précipitation uniforme des particules de carbure.

Le frittage sous vide peut éliminer efficacement les pores de l'ébauche et augmenter la densité à plus de 98 % de la densité théorique. Le four de frittage sous vide leader au monde utilise des éléments chauffants en fil de tungstène pour assurer l'uniformité de la température.

4.2.2.2 Frittage d'atmosphère et contrôle de la température

Dans certains cas, les barres de molybdène TZM sont frittées dans une atmosphère (par exemple une atmosphère d'hydrogène ou d'argon) pour réduire les coûts. Les principaux paramètres du frittage sous atmosphère sont les suivants :

Atmosphère : Hydrogène de haute pureté (pureté $\geq 99,999$ %) ou argon, éviter l'oxydation.

Contrôle de la température : Des courbes de chauffage à plusieurs étages (telles que le pré-frittage 1000°C, le frittage principal 1800°C) sont utilisées pour éviter les fissures causées par une élévation rapide de la température.

Vitesse de refroidissement : contrôlée à 5-10°C/min pour éviter les fissures causées par le stress thermique.

L'avantage du frittage sous atmosphère est que le coût est inférieur, mais la pureté de l'atmosphère doit être strictement contrôlée pour éviter la contamination par des impuretés. Des études ont montré que la densité des barres de molybdène TZM frittées sous atmosphère peut atteindre 95 à 97 % de la densité théorique.

4.2.3 Forgeage et laminage

4.2.3.1 Procédés de forgeage à chaud et de forgeage à froid

Le forgeage est une étape importante dans la préparation des tiges de molybdène TZM pour améliorer la densité et les propriétés mécaniques de l'ébauche. Les processus de forgeage à chaud et de forgeage à froid sont les suivants :

Forgeage à chaud : Effectué à 1200-1600°C, en utilisant la ductilité du molybdène pour

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

améliorer la structure du grain. La pression de forgeage à chaud est généralement de 50 à 100 MPa et la déformation est contrôlée à 30-50 %.

Forgeage à froid : Effectué à température ambiante pour la finition et l'amélioration de la qualité de surface. Le forgeage à froid nécessite des pressions plus élevées (100-200 MPa), mais peut augmenter considérablement la résistance.

Le forgeage à chaud élimine les micropores dans l'ébauche frittée et augmente la densité à plus de 99 % de la densité théorique. Le forgeage à froid optimise encore l'orientation du grain et améliore la résistance à l'anisotropie.

4.2.3.2 Équipement de laminage et paramètres du procédé

Le laminage est un processus clé pour le traitement des ébauches forgées en barres. L'équipement de laminage comprend des laminoirs à quatre hauteurs et des laminoirs à plusieurs hauteurs, et les principaux paramètres comprennent :

Température de laminage : 1000-1400°C pour assurer la ductilité du matériau.

Déformation : La déformation d'un seul laminage est contrôlée à 10-20 % pour éviter les fissures.

Vitesse de roulement : 0,5-2 m / s, équilibrant efficacité et qualité.

Le processus de laminage peut améliorer considérablement la qualité de surface et la précision dimensionnelle des tiges de molybdène TZM. L'étude montre que les équipements roulants modernes adoptent un système d'asservissement pour assurer un contrôle précis des paramètres de roulement.

4.2.4 Extrusion et emboutissage

4.2.4.1 Technologie d'extrusion à haute température

L'extrusion à haute température est le processus de traitement des ébauches laminées en barres allongées, généralement à 1200-1600°C. Les principaux paramètres sont les suivants :

Rapport d'extrusion : 5:1 à 10:1 pour assurer une déformation uniforme.

Matériau du moule : carbure de tungstène ou alliage à haute température, résistant à l'usure et aux hautes températures.

Lubrifiant : Disulfure de graphite ou de molybdène pour réduire le frottement et l'usure de la matrice.

L'extrusion à haute température peut améliorer considérablement la densité et les propriétés mécaniques de la barre de molybdène TZM, qui convient à la préparation de barres de haute précision.

4.2.4.2 Matrices d'étirage et lubrifiants

L'emboutissage est le processus de finition des tiges de molybdène TZM pour obtenir une haute précision et des surfaces lisses. Les principaux paramètres sont les suivants :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Matériau du moule: carbure de tungstène ou moule diamanté, dureté élevée, résistance à l'usure.

Vitesse d'étirage : 0,1-0,5 m / s pour éviter les rayures sur la surface.

Lubrifiants : lubrification à sec (par exemple poudre de graphite) ou lubrification humide (par exemple lubrifiants à base d'huile).

Le processus d'étirage peut améliorer la rugosité de surface de la tige de molybdène TZM et améliorer la résistance à la fatigue.

4.3 Traitement et finition des tiges de molybdène TZM

Les processus d'usinage et de finition des tiges de molybdène TZM comprennent le tournage et le fraisage, le meulage et le polissage, le traitement thermique et le recuit, ainsi que le traitement de surface. Ces processus garantissent la précision dimensionnelle, la qualité de surface et la stabilité des performances des tiges de molybdène TZM.

4.3.1 Tournage et fraisage

4.3.1.1 Technologie d'usinage CNC

L'usinage à commande numérique (CNC) est la principale méthode de finition des tiges de molybdène TZM pour la fabrication de composants de forme complexe. Les principaux paramètres sont les suivants :

Matériau de l'outil : carbure de tungstène ou diamant polycristallin (PCD), dureté et résistance à l'usure élevées.

Vitesse de coupe : 50-100 m/min, éviter la surchauffe.

Avance : 0,05-0,2 mm/tr, équilibrant l'efficacité et la qualité de surface.

L'usinage CNC permet d'atteindre la précision dimensionnelle des tiges de molybdène TZM jusqu'à $\pm 0,05$ mm, ce qui répond aux exigences des équipements aérospatiaux et des semi-conducteurs. Des études ont montré que les centres d'usinage CNC modernes sont capables d'usiner des géométries complexes à l'aide de la technologie de liaison à cinq axes.

4.3.1.2 Précision d'usinage et rugosité de surface

La précision d'usinage et la rugosité de surface de la tige de molybdène TZM ont un impact important sur ses performances. L'augmentation de la rugosité de surface (R_a) réduira les concentrations de contraintes et l'initiation des fissures. Le contrôle de la précision d'usinage repose sur des machines-outils de haute précision et une optimisation stricte des paramètres du processus. Par exemple, l'utilisation d'un liquide de coupe et de refroidissement à basse vitesse peut réduire la zone affectée par la chaleur et améliorer la qualité de surface.

4.3.2 Meulage et polissage

4.3.2.1 Technologie de polissage mécanique

Le polissage mécanique élimine les minuscules défauts à la surface des tiges de molybdène TZM à l'aide d'une meule ou d'un chiffon de polissage pour améliorer la finition de surface. Les principaux paramètres sont les suivants :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Abrasif : diamant ou alumine, granulométrie 0,5-5 microns.

Vitesse de polissage : 1000-3000 tr/min, contrôle de la chaleur de friction.

Médium de polissage : boue de polissage à base d'eau ou d'huile.

Le polissage mécanique améliore la rugosité de surface et améliore considérablement la résistance à la fatigue.

4.3.2.2 Polissage chimique et électropolissage

Le polissage chimique et l'électropolissage sont utilisés pour améliorer encore la qualité de surface des tiges de molybdène TZM :

Polissage chimique : Corrosion des micro-défauts de surface avec des solutions acides (telles qu'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique) avec une rugosité de surface allant jusqu'à 0,02 micron.

Électropolissage : Enlèvement de matière de surface par dissolution anodique dans un électrolyte, adapté aux pièces de haute précision. La tension d'électropolissage est généralement de 10-20 V et la densité de courant est de 0,5-2 A/cm².

Le polissage chimique et l'électropolissage peuvent améliorer considérablement la résistance à la corrosion et la finition de surface des tiges de molybdène TZM.

4.3.3 Traitement thermique et recuit

4.3.3.1 Température de recuit et contrôle du grain

Le recuit est un processus clé pour soulager les contraintes de traitement et optimiser la structure du grain. Le recuit des barres de molybdène TZM est généralement effectué sous vide ou sous atmosphère inerte à une température de 1000-1400°C. Les principaux paramètres sont les suivants :

Température de recuit : 1200°C pour soulager la plupart des contraintes, 1400°C pour ajuster la taille des grains.

Temps de maintien : 1 à 2 heures pour assurer l'homogénéisation du grain.

Vitesse de refroidissement : 5-10°C/min pour éviter les contraintes thermiques.

Le recuit peut contrôler la taille des grains des tiges de molybdène TZM à 10-30 microns, améliorant ainsi la ténacité et la résistance au fluage.

4.3.3.2 Techniques de soulagement du stress

Les techniques de soulagement des contraintes comprennent le recuit à basse température (800-1000°C) et le soulagement des contraintes dues aux vibrations. Le recuit à basse température convient aux composants usinés, tandis que la réduction des contraintes vibratoires soulage les contraintes résiduelles grâce aux vibrations mécaniques. Ces technologies peuvent améliorer la résistance à la fatigue et la stabilité dimensionnelle des barres de molybdène TZM.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

4.3.4 Traitement de surface

4.3.4.1 Technologie d'enrobage antioxydant

Le revêtement anti-oxydation est une technologie clé pour prolonger la durée de vie des tiges de molybdène TZM dans des environnements oxydants à haute température. Les revêtements couramment utilisés comprennent :

Revêtement en siliciure de molybdène (MoSi_2) : Le dépôt par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou par dépôt par pulvérisation plasma protège le matériau à 1500°C .

Revêtement en alumine (Al_2O_3) : Résistant à l'oxydation à haute température et à la corrosion par dépôt physique en phase vapeur (PVD).

Le revêtement anti-oxydation peut prolonger la durée de vie des tiges de molybdène TZM dans un environnement oxydant à 1200°C de 2 à 3 fois.

4.3.4.2 Carburation et nitruration de surface

La cémentation et la nitruration de surface améliorent la dureté de surface et la résistance à l'usure en introduisant des atomes de carbone ou d'azote à la surface des tiges de molybdène TZM :

Carburation : Réalisée dans une atmosphère carbonée de $1000-1200^\circ\text{C}$ pour générer une couche de carbure d'une dureté allant jusqu'à 500 HV.

Nitruration : Réalisée dans une atmosphère d'azote de $800-1000^\circ\text{C}$ pour générer une couche de nitrure et améliorer la résistance à la corrosion.

Les processus de cémentation et de nitruration peuvent améliorer considérablement la résistance à l'usure et la résistance à la fatigue des tiges de molybdène TZM.

4.4 Équipement de production de tiges de molybdène TZM et automatisation

L'équipement de production et la technologie d'automatisation de la tige de molybdène TZM sont cruciaux pour l'efficacité de la production et la qualité du produit. Ce qui suit est analysé sous trois aspects : les principaux équipements de production, l'automatisation et l'intelligence de la ligne de production, la salle blanche et le contrôle de l'environnement.

4.4.1 Principaux équipements de production

4.4.1.1 Fours de frittage sous vide

Le four de frittage sous vide est l'équipement de base dans la production de barres de molybdène TZM, qui est utilisé pour fritter des flans de poudre en alliages à haute densité. Les principales caractéristiques sont les suivantes :

Élément chauffant : _Chauffage au tungstène, résistance aux hautes températures et conduction thermique uniforme.

Vide : $10^{-3}-10^{-5}$ Pa pour réduire la pollution oxydative.

Contrôle de la température : la précision $\pm 5^\circ\text{C}$ pour assurer l'uniformité du frittage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le premier four de frittage sous vide au monde adopte un système de contrôle PLC, qui peut réaliser un chauffage en plusieurs étapes et un contrôle précis de la température.

4.4.1.2 Matériel de forgeage et de laminage

L'équipement de forgeage et de laminage comprend une machine à forger hydraulique et un laminoir à quatre hauteurs, et les principales caractéristiques comprennent :

Machine à forger : pression 500-2000 tonnes, adaptée au forgeage à chaud et au forgeage à froid.

Lambacteur : système d'asservissement, vitesse de laminage 0,5-2 m/s, précision $\pm 0,05$ mm.

Ces machines sont capables d'usiner à haute densité et de haute précision les tiges de molybdène TZM.

4.4.1.3 Centres d'usinage CNC

Le centre d'usinage CNC est utilisé pour la finition des tiges de molybdène TZM et est équipé d'un système de liaison à cinq axes et d'outils en carbure de tungstène, qui peuvent réaliser l'usinage de formes complexes. La précision d'usinage peut atteindre $\pm 0,01$ mm et la rugosité de surface $Ra < 1,6$ micron.

4.4.2 Automatisation et intelligence des lignes de production

L'automatisation et l'intelligence de la ligne de production de tiges de molybdène TZM améliorent considérablement l'efficacité de la production et la constance de la qualité. Les technologies clés comprennent :

Contrôle automatique : les systèmes PLC et SCADA sont utilisés pour surveiller les paramètres de frittage, de forgeage et d'usinage en temps réel.

Inspection intelligente : surveillance en temps réel des flans et des produits finis pour les défauts grâce à l'inspection par rayons X en ligne et l'inspection par ultrasons.

Analyse des données : Tirez parti du big data et de l'intelligence artificielle pour optimiser les paramètres de processus et améliorer la cohérence des produits.

Des études ont montré que les lignes de production intelligentes peuvent augmenter l'efficacité de la production de 30 % et réduire le taux de défauts à moins de 1 %.

4.4.3 Salle blanche et contrôle de l'environnement en production

La production de tiges de molybdène TZM est exigeante sur le plan environnemental et doit être réalisée dans une salle blanche pour éviter la contamination par la poussière et les impuretés. Les principales mesures sont les suivantes :

Propreté : salle blanche de classe ISO 7, concentration de particules $< 10\,000$ particules/m³.

Contrôle de l'environnement : température 20-25 ° C, humidité 40-60 %, éviter l'absorption d'humidité de la poudre.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Protection de l'atmosphère : Le mélange et le frittage des poudres sont effectués sous la protection de l'argon ou de l'hydrogène avec une teneur en oxygène de < 10 ppm.

Les contrôles en salle blanche et environnementaux garantissent une pureté et une stabilité de performance élevées des barres de molybdène TZM, ce qui les rend particulièrement adaptées aux applications aérospatiales et de semi-conducteurs.



CTIA GROUP LTD TZM Tige de molybdène

5. Contrôle de la qualité et tests de la tige de molybdène TZM

En tant que matériau d'alliage haute performance, le contrôle de la qualité et l'inspection de la tige de molybdène TZM sont la clé pour assurer son fonctionnement stable dans des environnements à haute température, à forte contrainte et corrosifs. Le contrôle de la qualité s'étend à l'ensemble du processus de production, de la sélection des matières premières à l'inspection du produit fini, en impliquant de multiples aspects tels que la technologie de test en ligne, les tests de performance et l'analyse des défaillances. Ce qui suit est une analyse détaillée de la technologie de contrôle de la qualité et des tests de la tige de molybdène TZM à partir de trois sous-chapitres : technologie de test en ligne, tests de performance et analyse et amélioration des défaillances.

5.1 Technologie de détection en ligne de tige de molybdène TZM

La technologie d'inspection en ligne est une partie importante du processus de production des tiges de molybdène TZM, qui est utilisée pour surveiller la qualité du produit en temps réel et garantir la précision dimensionnelle, la qualité de surface et l'intégrité de la structure interne. Ce qui suit est une analyse détaillée sous deux aspects : l'inspection de la précision dimensionnelle et géométrique, et la détection des défauts de surface et des fissures.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

5.1.1 Essais de précision dimensionnelle et géométrique

La taille et la précision géométrique de la tige de molybdène TZM affectent directement son effet d'application dans l'aérospatiale, l'industrie nucléaire et les équipements à semi-conducteurs. Les essais de précision dimensionnelle et géométrique comprennent principalement les technologies suivantes :

Télémétrie laser et mesure à trois coordonnées : le télémètre laser peut réaliser une mesure de haute précision sans contact avec une précision de $\pm 0,01$ mm, ce qui convient à la détection du diamètre, de la longueur et de la circularité des tiges de molybdène TZM. Les machines à mesurer tridimensionnelles (MMT) mesurent la géométrie des barres à l'aide d'une sonde tactile et sont capables de détecter les écarts dimensionnels dans des formes complexes. Par exemple, dans l'industrie aérospatiale, les tiges de molybdène TZM doivent avoir des tolérances de diamètre inférieures à $\pm 0,02$ mm, et les MMT sont capables de répondre à cette exigence.

Profileur optique : Le profileur optique mesure le profil de surface et la géométrie des tiges de molybdène TZM par interférométrie en lumière blanche, ce qui convient à la détection de la cylindricité et de la rectitude des barres. Avec une résolution allant jusqu'à 0,1 micron, il convient aux applications de haute précision.

Système d'inspection visuelle en ligne : La ligne de production moderne adopte une caméra CCD et une technologie de traitement d'image pour surveiller la taille et la géométrie de la tige de molybdène TZM en temps réel. Le système utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour identifier les écarts dimensionnels, et la vitesse de détection peut atteindre 10 pièces par seconde, ce qui améliore considérablement l'efficacité de la production.

Des études ont montré que les inspections de précision dimensionnelle et géométrique sont souvent combinées à la norme ISO 1101 pour s'assurer que les tiges de molybdène TZM répondent aux exigences strictes de l'aérospatiale (par exemple, les tuyères de fusée) et des équipements à semi-conducteurs (par exemple, les cibles de pulvérisation). La température ambiante ($20-25^{\circ}\text{C}$) et l'humidité (40-60 %) doivent être contrôlées pendant le processus d'inspection pour éviter les erreurs de mesure causées par la dilatation thermique ou l'humidité.

5.1.2 Détection des défauts de surface et des fissures

Les défauts de surface (par ex. rayures, fissures, porosité) et les fissures internes peuvent réduire considérablement les propriétés mécaniques et la durée de vie des tiges en molybdène TZM. La détection des défauts de surface et des fissures utilise les techniques suivantes :

Contrôle par ultrasons (UT) : Le contrôle par ultrasons détecte les fissures, les pores et les inclusions à l'intérieur des tiges de molybdène TZM grâce à des ondes acoustiques à haute fréquence. La fréquence d'inspection est généralement de 5 à 10 MHz, le diamètre de la sonde est de 5 à 10 mm et il est capable de détecter des défauts supérieurs à 0,1 mm. Le contrôle par ultrasons est adapté à l'évaluation de l'intégrité de la structure interne des barres, en particulier dans l'industrie nucléaire.

Essai par courants de Foucault (ET) : L'essai par courants de Foucault détecte les fissures microscopiques et les changements de conductivité à la surface des tiges de molybdène TZM par induction électromagnétique. La sensibilité de détection peut atteindre 0,05 mm, ce qui convient à

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

la détection en ligne. L'avantage des contrôles par courants de Foucault est qu'ils sont rapides (jusqu'à 1 m/s) et qu'ils sont adaptés à la production de gros volumes.

Inspection par rayons X (RT) : L'inspection par rayons X est utilisée pour détecter les défauts profonds tels que la porosité et les inclusions à l'intérieur des tiges de molybdène TZM. Les systèmes modernes d'imagerie numérique par rayons X fournissent des images haute résolution (résolution < 0,1 mm) pour l'inspection de composants très fiables.

Inspection visuelle de surface : La caméra CCD haute résolution combinée à des algorithmes d'intelligence artificielle peut détecter les rayures, les piqûres et les couches d'oxyde à la surface des tiges de molybdène TZM avec une précision allant jusqu'à 0,01 mm. Des études ont montré que le système d'inspection visuelle peut réduire le taux de défauts à moins de 0,5 % dans la production de tiges de molybdène TZM.

Ces techniques d'inspection sont souvent utilisées en combinaison pour réaliser une inspection complète des défauts de surface et intérieurs. Par exemple, l'inspection par ultrasons et par rayons X est utilisée pour les défauts internes, et l'inspection par courants de Foucault et l'inspection visuelle sont utilisées pour les défauts de surface. Les résultats des tests sont soumis à des normes internationales telles que ASTM E1444 (test par courants de Foucault) et ASTM E1742 (test par rayons X).

5.2 Test de performance de la tige de molybdène TZM

Les tests de performance sont une étape critique dans l'évaluation des performances des barres de molybdène TZM dans des environnements à haute température, à forte contrainte et corrosifs. Ce qui suit est une analyse détaillée de trois aspects : essai de résistance et de dureté à haute température, essai de résistance à la corrosion et à l'oxydation, et essai de dilatation thermique et de conductivité thermique.

5.2.1 Essai de résistance et de dureté à haute température

La résistance à haute température et la dureté de la tige de molybdène TZM sont ses principaux indicateurs de performance dans les industries aérospatiale et nucléaire. Les méthodes d'essai comprennent :

Essais de traction à haute température : Effectués sous vide ou sous atmosphère inerte de 1200 à 1600 °C, à l'aide d'une machine d'essai de traction à haute température (telle que la série Instron 5980). Les résultats des tests montrent que la résistance à la traction de la tige de molybdène TZM à 1200°C est de 400-500 MPa, ce qui est beaucoup plus élevé que celle du molybdène pur à 200-300 MPa. Le test doit être conforme à la norme ASTM E21 pour garantir une précision de contrôle de la température $\pm 5^\circ\text{C}$.

Essai de compression à haute température : utilisé pour évaluer la résistance à la compression des barres de molybdène TZM à haute température, généralement effectué à 1400°C et 50 MPa. Les résultats des tests montrent que la limite d'élasticité de la tige de molybdène TZM est d'environ 300-400 MPa, ce qui convient aux applications de moules à haute température.

Essai de dureté : Le duromètre Vickers (HV) ou le duromètre Rockwell (HRC) est utilisé pour tester la dureté des tiges de molybdène TZM. La dureté Vickers de la tige de molybdène TZM à

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

température ambiante est de 250 à 300 HV, ce qui est supérieur à celui du molybdène pur à 200 HV. L'essai de dureté à haute température (1000°C) a montré que la dureté de la tige de molybdène TZM ne diminuait que de 10 à 15 %, montrant ainsi une excellente stabilité à haute température.

Test de microdureté : La dureté microscopique de la tige de molybdène TZM est mesurée par la technologie de nanoindentation pour évaluer l'effet de renforcement des particules de carbure (telles que TiC et ZrC). Les résultats des tests ont montré que la dureté de la surface des particules de carbure pouvait atteindre 500 HV.

Des études ont montré que les essais de résistance et de dureté à haute température sont combinés à une analyse microstructurale (par exemple, MEB, DRX) pour évaluer les effets de renforcement du titane, du zirconium et du carbone.

5.2.2 Essai de résistance à la corrosion et à l'oxydation

La résistance à la corrosion et à l'oxydation des tiges de molybdène TZM est la clé de leur application dans des environnements chimiques à haute température. Les méthodes d'essai comprennent :

Test antioxydant : Réalisé dans une atmosphère d'air ou d'oxygène de 1000-1200°C, le taux de gain de poids oxydatif et l'épaisseur de la couche d'oxyde de la tige de molybdène TZM ont été mesurés. Les résultats des tests montrent que la tige de molybdène TZM peut former une couche protectrice dense de MoO₂ en dessous de 1000°C, et que le taux de gain de poids oxydatif est inférieur à 0,1 mg/cm²·h, ce qui est bien meilleur que celui du molybdène pur (1-2 mg/cm²·h). Les revêtements anti-oxydation, tels que le siliciure de molybdène, peuvent augmenter la température de service jusqu'à 1500°C.

Test de résistance à la corrosion : Test de vitesse de corrosion dans de l'acide sulfurique dilué, de l'acide chlorhydrique et une solution alcaline. Les résultats des tests montrent que le taux de corrosion de la tige de molybdène TZM dans une solution d'acide sulfurique à 5 % est d'environ 0,01 mm/an, ce qui est bien inférieur à celui de l'acier inoxydable 0,1 mm/an.

Test électrochimique : Le potentiel de corrosion et la densité du courant de corrosion de la tige de molybdène TZM sont mesurés par une méthode de balayage potentiodynamique pour évaluer sa stabilité dans un environnement corrosif. Les résultats des tests montrent que le potentiel de corrosion de la tige de molybdène TZM est supérieur à celui du molybdène pur, et qu'il présente une meilleure résistance à la corrosion.

Des études ont montré que les essais de résistance à l'oxydation et à la corrosion doivent être combinés à des environnements d'application réels, tels que les caloporteurs de réacteurs nucléaires ou les atmosphères de fabrication de semi-conducteurs, afin de garantir la fiabilité des résultats des tests.

5.2.3 Essai de dilatation thermique et de conductivité thermique

La dilatation thermique et la conductivité thermique sont les paramètres de performance clés des barres de molybdène TZM dans les applications à haute température. Les méthodes d'essai comprennent :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Essai de dilatation thermique: Le coefficient de dilatation thermique des tiges de molybdène TZM est mesuré à température ambiante jusqu'à 1600°C à l'aide d'un dilatomètre (par ex. NETZSCH DIL 402). Les résultats des tests montrent que le coefficient de dilatation thermique de la tige de molybdène TZM est de $5,3 \times 10^{-6}/K$, ce qui est inférieur à celui des alliages à base de nickel de $13 \times 10^{-6}/K$, montrant une excellente stabilité dimensionnelle.

Test de conductivité thermique : La conductivité thermique des tiges de molybdène TZM est mesurée par la méthode du flash laser (LFA). Les résultats des tests montrent que la conductivité thermique de la tige de molybdène TZM est de 139 W/m·K, qui ne diminue que de 10 à 15 % à 1200 °C, ce qui convient aux applications de dissipation de chaleur à haute température.

Test de diffusivité thermique : La diffusivité thermique de la tige de molybdène TZM est calculée en combinant les données de densité et de chaleur spécifique par la méthode du flash laser, et son efficacité de conduction thermique est évaluée. Les résultats des tests montrent que la diffusivité thermique de la tige de molybdène TZM reste stable à haute température.

Ces tests doivent être conformes aux normes ASTM E228 (dilatation thermique) et ASTM E1461 (conductivité thermique) pour garantir l'exactitude et la répétabilité des données. L'atmosphère (par exemple l'argon ou le vide) doit être contrôlée pendant l'essai pour éviter que l'oxydation n'affecte les résultats de mesure.

5.3 Analyse de défaillance et amélioration de la tige de molybdène TZM

L'analyse des défaillances est un moyen important d'améliorer la qualité et la fiabilité des barres de molybdène TZM, et des mesures d'amélioration ciblées sont proposées en analysant les modes de défaillance tels que la fissuration, la rupture, la fatigue à haute température et le fluage. Voici une analyse détaillée sous trois aspects : l'analyse des fissures et des fractures, l'analyse de la fatigue à haute température et du fluage, et les mesures d'amélioration de la qualité.

5.3.1 Analyse des fissures et des fractures

La fissuration et la rupture sont les principaux modes de défaillance des barres de molybdène TZM dans des environnements à haute température et à forte contrainte. Les méthodes d'analyse comprennent :

Analyse des fractures : Observez la morphologie de la fracture de la tige de molybdène TZM au microscope électronique à balayage (MEB) pour déterminer le type de fracture (fracture ductile ou fracture fragile). Les résultats montrent que la résistance à la rupture de la tige de molybdène TZM est de 15-20 MPa·m^{1/2}, ce qui est supérieur à celui du molybdène pur 10-12 MPa·m^{1/2}, mais une contrainte cyclique à haute température peut provoquer des microfissures.

Analyse de la propagation des fissures : La diffraction par rétrodiffusion des électrons (EBSD) est utilisée pour analyser les chemins de propagation des fissures afin d'évaluer le rôle des joints de grains et des particules de carbure. Les résultats montrent que les particules de carbure peuvent entraver efficacement la propagation des fissures et améliorer la résistance à la rupture.

Analyse de la concentration des contraintes : La distribution des contraintes de la tige de molybdène TZM à haute température est simulée par l'analyse par éléments finis (FEA) pour identifier l'emplacement d'initiation de la fissure. Les défauts de surface (par exemple, rayures,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

porosité) sont des concentrations de contraintes majeures.

Des études ont montré que les fissures et les fractures sont souvent associées à la qualité de surface et aux défauts microstructuraux. Par exemple, les rayures de surface pendant l'usinage peuvent déclencher des fissures de fatigue, et les pores pendant le frittage peuvent provoquer des fractures cassantes.

5.3.2 Analyse de la fatigue à haute température et du fluage

La fatigue à haute température et le fluage sont les principaux modes de défaillance de la tige de molybdène TZM dans un environnement de stress à haute température à long terme. Les méthodes d'analyse comprennent :

Essai de fatigue à haute température : Un essai de fatigue a été effectué sous une contrainte cyclique de 1200°C et ± 200 MPa pour évaluer la durée de vie en fatigue de la tige de molybdène TZM. Les résultats des tests montrent que la durée de vie en fatigue de la tige de molybdène TZM est de 10^5 cycles, ce qui est beaucoup plus élevé que celle du molybdène pur 10^4 cycles. Les fissures de fatigue résultent généralement de défauts de surface ou de joints de grains, et les particules de carbure sont capables de ralentir la propagation des fissures.

Test de fluage : Le test de fluage a été effectué à 1400°C et 20 MPa pour mesurer le taux de fluage et la durée de vie de la tige de molybdène TZM. Les résultats des tests montrent que le taux de fluage de la tige de molybdène TZM est d'environ 1/10 de celui du molybdène pur, et que la durée de vie peut atteindre 5000 heures. La défaillance du fluage est principalement causée par le glissement des joints de grain et l'escalade de dislocation, et l'effet d'épinglage des particules de carbure réduit considérablement le taux de fluage.

Analyse de la microstructure : La microscopie électronique à transmission (MET) a été utilisée pour observer la dislocation et les modifications des limites de grains des tiges de molybdène TZM pendant les processus de fatigue à haute température et de fluage. Les résultats montrent que le renforcement en solution du titane et du zirconium et le renforcement par précipitation des particules de carbure peuvent améliorer efficacement la résistance à la fatigue et la résistance au fluage.

Des études ont montré que l'analyse de la fatigue et du fluage à haute température doit être combinée à des environnements d'application réels, tels que les cycles à haute température de l'aérospatiale ou le fonctionnement à long terme d'un réacteur nucléaire, afin d'évaluer avec précision les mécanismes de défaillance.

5.3.3 Mesures d'amélioration de la qualité

Sur la base des résultats de l'analyse des défaillances, les mesures d'amélioration de la qualité de la tige de molybdène TZM comprennent principalement les aspects suivants :

Qualité de surface optimisée : les revêtements mécaniques, chimiques et électropolissables réduisent la rugosité de surface à moins de 1,6 micron et réduisent les points d'initiation des fissures. Les revêtements anti-oxydation (par exemple, le siliciure de molybdène, l'alumine) peuvent encore améliorer la résistance à la corrosion.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

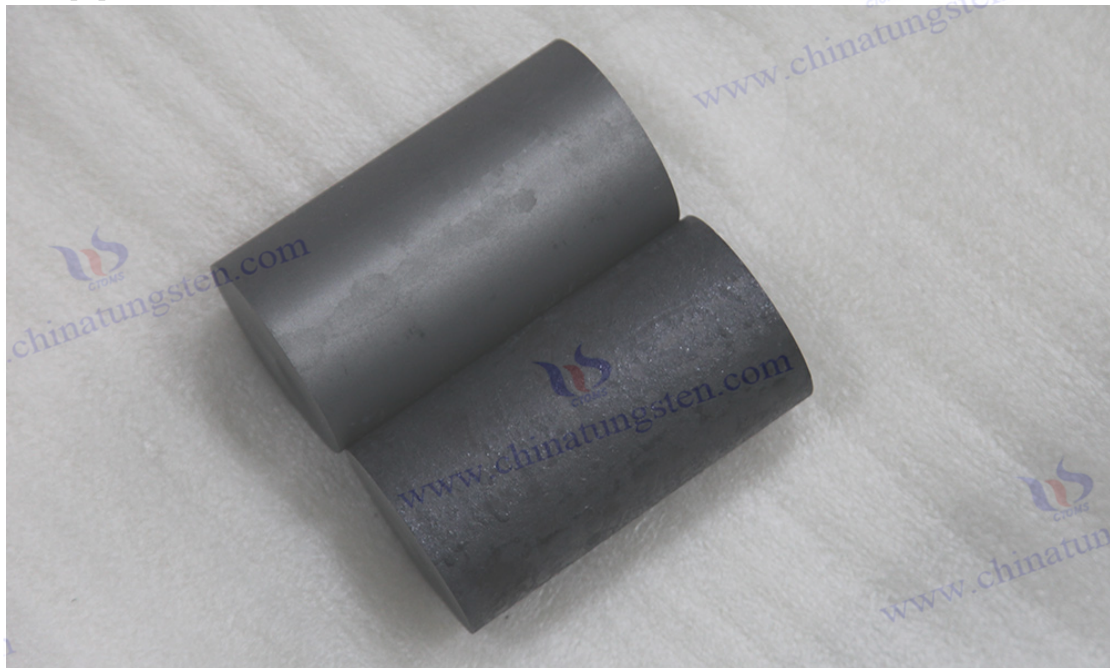
Microstructure améliorée : Des grains plus fins (3,0 ~ 5,0 microns) sont obtenus en optimisant le processus de métallurgie des poudres (par exemple, en réduisant la température de frittage à 1800 °C et en contrôlant la vitesse de refroidissement) pour améliorer la résistance à la fatigue et au fluage.

Contrôle amélioré du processus de production : Adoptez une technologie d'inspection en ligne (comme les ultrasons, les rayons X) et des lignes de production intelligentes pour surveiller les défauts et les paramètres de performance en temps réel afin d'assurer l'uniformité du produit.

Développement de nouveaux revêtements : Recherche sur de nouveaux revêtements anti-oxydation et anti-corrosion (tels que les revêtements nanocomposites) pour améliorer la durée de vie des tiges de molybdène TZM dans des environnements supérieurs à 1500°C.

Système de gestion de la qualité : Mettez en œuvre les systèmes de gestion de la qualité ISO 9001 et AS9100 (aérospatiale) pour assurer le contrôle de la qualité, des matières premières aux produits finis.

L'étude montre que grâce aux mesures d'amélioration ci-dessus, le taux de défauts de la tige de molybdène TZM peut être réduit à moins de 0,5 % et la durée de vie peut être augmentée de 20 à 30 %, ce qui répond aux exigences de fiabilité élevées de l'aérospatiale, de l'industrie nucléaire et des équipements à semi-conducteurs.



CTIA GROUP LTD TZM Tige de molybdène

6. Utilisation de la tige de molybdène TZM

En tant que matériau d'alliage haute performance, la tige de molybdène TZM a été largement utilisée dans de nombreux domaines de haute technologie en raison de son excellente résistance à haute température, de sa résistance au fluage, de son faible coefficient de dilatation thermique et de sa conductivité thermique élevée. L'ajout de titane (Ti), de zirconium (Zr) et de carbone (C) aux barres de molybdène TZM (molybdène) améliore considérablement les propriétés du molybdène, ce qui

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

les rend idéales pour les fours à haute température, l'aérospatiale, l'industrie nucléaire, les industries de l'électronique et des semi-conducteurs, ainsi que d'autres domaines industriels et scientifiques. Ce qui suit est une discussion détaillée de l'utilisation de la tige de molybdène TZM sous cinq aspects.

6.1 Applications dans les fours à haute température

Les tiges de molybdène TZM jouent un rôle clé dans la fabrication de fours à haute température, en raison de leur point de fusion élevé (environ 2623°C), de leur excellente résistance au fluage et à leur résistance à l'oxydation, et peuvent fonctionner de manière stable pendant une longue période dans des environnements à haute température au-dessus de 1600°C. Ce qui suit analyse son application sous trois aspects : élément chauffant, four de frittage sous vide et four de traitement thermique.

6.1.1 En tant qu'élément chauffant

La tige de molybdène TZM est largement utilisée comme élément chauffant dans les fours à haute température en raison de sa conductivité thermique élevée (139 W/m·K) et de son excellente résistance à la déformation à haute température. Par rapport au molybdène pur, les tiges de molybdène TZM ont une température de recristallisation allant jusqu'à 1400°C, ce qui permet de maintenir une structure de grain fine à haute température et d'éviter la dégradation des performances due à la croissance des grains. Dans les fours à résistance, les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme éléments chauffants pour résister aux cycles de chauffage et de refroidissement rapides, maintenant ainsi la stabilité à long terme.

Les applications spécifiques comprennent :

Four à vide : La tige de molybdène TZM agit comme un élément chauffant dans un environnement sous vide et est capable de fonctionner pendant des milliers d'heures à 1600-1800°C, adaptée au frittage de métaux et de céramiques. Par exemple, dans les fours de frittage d'alliages de titane et de zircon, les barres de molybdène TZM assurent l'uniformité et la stabilité de la température.

Four de protection de l'atmosphère : Dans l'atmosphère protectrice de l'argon ou de l'azote, la résistance à l'oxydation de la tige de molybdène TZM lui permet de résister aux contraintes d'oxydation à haute température et de prolonger sa durée de vie. Selon Chinatungsten Online, la durée de vie de l'élément chauffant de la tige de molybdène TZM est environ 50 % plus longue que celle du molybdène pur.

Four de recuit à haute température : La tige de molybdène TZM est utilisée pour fabriquer l'élément chauffant du four de recuit, qui peut fournir un champ thermique stable au-dessus de 1400°C, ce qui convient au traitement thermique des alliages haute performance.

La surface des tiges de molybdène TZM est généralement recouverte d'un revêtement anti-oxydation (par exemple, siliciure de molybdène, MoSi₂) pour améliorer encore la durabilité dans les atmosphères oxydantes. Les principaux fabricants mondiaux de poêles utilisent largement les tiges de molybdène TZM dans leurs conceptions de fours à haute température pour répondre aux

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

besoins industriels et scientifiques.

6.1.2 Applications dans les fours de frittage sous vide

Le four de frittage sous vide est un équipement important pour la fabrication de matériaux haute performance (tels que les céramiques, les alliages métalliques), et les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme supports, creusets et éléments chauffants pour les fours de frittage en raison de leur haute résistance et de leur résistance à la corrosion. Les principales applications sont les suivantes :

Supports et creusets : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des cadres de support et des creusets pour les fours de frittage, qui peuvent résister à la gravité et aux contraintes thermiques du matériau à des températures élevées. Par exemple, dans les fours de frittage de céramique d'alumine, les supports de tiges de molybdène TZM maintiennent la stabilité géométrique et évitent la déformation.

Dispositif à haute température : La tige de molybdène TZM est transformée en un dispositif utilisé pour fixer le matériau fritté et assurer la précision dimensionnelle pendant le processus de frittage. Son faible coefficient de dilatation thermique ($5,3 \times 10^{-6}/K$) assure la stabilité du luminaire à haute température.

Manchons de protection de thermocouple : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de manchons de protection de thermocouple capables de protéger les thermocouples de la corrosion et des dommages mécaniques dans un environnement sous vide supérieur à 1800°C.

6.1.3 Applications dans les fours de traitement thermique

Les fours de traitement thermique sont utilisés pour le recuit, la trempe et le revenu des métaux et des alliages, et les tiges de molybdène TZM sont largement utilisées dans les pièces structurales et les éléments chauffants des fours de traitement thermique en raison de leur excellente résistance au fluage et de leur conductivité thermique élevée. Les applications spécifiques comprennent :

Élément chauffant : La tige de molybdène TZM est utilisée comme élément chauffant dans le four de traitement thermique, qui est capable de fournir un champ thermique stable à 1400-1600°C, ce qui convient au traitement thermique de l'acier à haute résistance et des alliages de titane.

Internes du four : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de cadres de support, de plateaux et de cloisons de four, capables de résister au poids et aux contraintes thermiques du matériau à des températures élevées. Par exemple, dans les fours de traitement thermique des composants aérospatiaux, les supports de tiges en molybdène TZM maintiennent la stabilité à long terme.

Contrôle de l'atmosphère : Dans les fours de traitement thermique à atmosphère d'hydrogène ou d'argon, la résistance à la corrosion des barres de molybdène TZM leur permet de résister aux attaques chimiques et de prolonger la durée de vie du four.

Les résultats montrent que l'application de la tige de molybdène TZM dans le four de traitement thermique peut contrôler l'uniformité de la température dans le four à $\pm 5^\circ C$ et améliorer considérablement la qualité du traitement thermique. Les fabricants mondiaux de fours de traitement thermique préfèrent les tiges de molybdène TZM dans leurs équipements haut de gamme pour

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

répondre aux besoins des industries aérospatiale et automobile.

6.2 Domaine aérospatial

En raison de son point de fusion élevé, de son excellente résistance à haute température et de son faible coefficient de dilatation thermique, la tige de molybdène TZM joue un rôle irremplaçable dans le domaine aérospatial et est largement utilisée dans les tuyères de fusées, les pièces structurelles à haute température et les systèmes de protection thermique des engins spatiaux. Voici une analyse détaillée de ces trois aspects.

6.2.1 Applications dans les tuyères de fusée

Les tuyères de fusée sont l'une des applications les plus exigeantes de l'industrie aérospatiale, résistant à des températures élevées de plus de 2000°C et à de forts chocs thermiques. La tige de molybdène TZM est devenue le matériau de choix pour les tuyères de fusée en raison de son point de fusion élevé (2623°C) et de son excellente résistance aux chocs thermiques. Les applications spécifiques comprennent :

Gorge de la buse : La tige de molybdène TZM est utilisée pour fabriquer la gorge d'une tuyère de fusée, capable de résister à des températures élevées et à des flux de gaz à haute pression dans la chambre de combustion. Par exemple, les tuyères du moteur Raptor de SpaceX utilisent l'alliage TZM pour faire face à la charge thermique extrême de la combustion d'oxygène liquide/méthane.

Extension de la buse : La tige de molybdène TZM est utilisée pour l'extension de la buse, ce qui peut maintenir la stabilité géométrique et réduire la déformation causée par le stress thermique. Son faible coefficient de dilatation thermique ($5,3 \times 10^{-6}/K$) garantit que la buse ne se fissure pas lors des changements rapides de température.

Revêtement anti-oxydation : Pour améliorer la durabilité dans les environnements de combustion oxydants, les buses à tige de molybdène TZM sont généralement recouvertes d'un revêtement en siliciure de molybdène ou en zircone pour prolonger leur durée de vie.

6.2.2 Application dans des pièces structurelles à haute température

Les tiges de molybdène TZM sont largement utilisées dans les pièces structurelles aérospatiales à haute température telles que les aubes de turbine, les parois de la chambre de combustion et les composants du système de propulsion. Son excellente résistance à haute température (résistance à la traction 400-500 MPa à 1200°C) et sa résistance au fluage lui permettent de résister à des environnements de stress complexes. Les applications spécifiques comprennent :

Aubes de turbine : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer la structure de support des aubes de turbine de moteur d'avion, qui peuvent maintenir la résistance et la stabilité au-dessus de 1400°C.

Paroi de la chambre de combustion : La tige de molybdène TZM est utilisée pour fabriquer la paroi de la chambre de combustion, qui peut résister à l'affouillement et au choc thermique des gaz de combustion à haute température. Par exemple, la chambre de combustion de la navette spatiale X-33 de la NASA utilise des composants en alliage TZM.

Connecteurs : Les tiges de molybdène TZM sont transformées en boulons et connecteurs à

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

haute température, qui conviennent à l'assemblage à haute température d'équipements aérospatiaux.

6.2.3 Application dans la protection thermique des engins spatiaux

Les engins spatiaux sont soumis à des températures de milliers de degrés Celsius lors de la rentrée, et les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans les systèmes de protection thermique (TPS) en raison de leur conductivité thermique élevée et de leur résistance aux chocs thermiques. Les applications spécifiques comprennent :

Plaque de protection thermique : La tige de molybdène TZM est transformée en une plaque mince, qui est utilisée pour la couche de protection thermique à l'extérieur du vaisseau spatial, qui peut rapidement dissiper la chaleur et protéger la structure interne.

Boucliers thermiques : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des boucliers thermiques pour les engins spatiaux afin d'empêcher la conduction à haute température vers les composants sensibles. Par exemple, certains des boucliers thermiques de la Station spatiale internationale sont en alliage TZM.

Revêtement anti-ablation : La surface des tiges de molybdène TZM est généralement recouverte d'un matériau anti-ablatif (tel que les composites carbone/carbone) pour améliorer la durabilité dans des environnements thermiques extrêmes.

6.3 Industrie nucléaire

Les barres de molybdène TZM ont des applications importantes dans l'industrie nucléaire en raison de leur faible section efficace d'absorption thermique des neutrons, de leur résistance à haute température et de leur résistance aux radiations, couvrant les réacteurs nucléaires, les dispositifs de fusion nucléaire et la manipulation de matériaux radioactifs. Voici une analyse détaillée de ces trois aspects.

6.3.1 Applications dans les réacteurs nucléaires

Les barres de molybdène TZM sont utilisées dans les réacteurs nucléaires pour fabriquer des barres de contrôle, des pièces structurelles et des gaines de combustible, et sont capables de résister à des températures élevées et à des environnements à fort rayonnement. Les applications spécifiques comprennent :

Barres de contrôle : Les barres de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer la structure de support des barres de contrôle, qui sont capables de maintenir la stabilité à des températures élevées (800-1200°C) et à l'irradiation neutronique. Sa faible section efficace d'absorption thermique des neutrons (environ 2,6 granges) le rend supérieur à l'acier inoxydable.

Pièces structurelles : Les barres de molybdène TZM sont utilisées dans le cadre de support et la tuyauterie à l'intérieur du réacteur et sont capables de résister à la corrosion et aux contraintes mécaniques des caloporteurs à haute température. Par exemple, les réacteurs rapides, tels que le réacteur rapide expérimental de Chine, utilisent des pièces structurelles en alliage TZM.

Gainage de combustible : Les barres de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des gaines de combustible nucléaire, capables de maintenir l'étanchéité à des températures élevées et à des rayonnements élevés et d'empêcher les fuites de matières radioactives.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

- High Melting Point:** Suitable for extreme high-temperature environments.
- Excellent High-Temperature Strength:** Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.
- Good Thermal Stability and Creep Resistance:** Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.
- Superior Corrosion and Oxidation Resistance:** Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.
- Excellent Machinability:** Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

- High-Temperature Furnace Components:** Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.
- Aerospace Industry:** Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.
- Nuclear Industry:** Used in reactor support structures and control rod guide systems.
- Electronics Industry:** Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.
- Mold Manufacturing:** Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

6.3.2 Applications dans les dispositifs de fusion nucléaire

Les dispositifs de fusion nucléaire, tels que les tokamaks et les dispositifs de fusion par inertiel, sont extrêmement exigeants en matériaux, et les barres de molybdène TZM sont largement utilisées en raison de leur résistance à l'attaque du plasma et de leur conductivité thermique élevée. Les applications spécifiques comprennent :

Matériau de revêtement au plasma (PFM) : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des déflecteurs et des premières parois de dispositifs tokamaks, capables de résister à un bombardement de plasma à haute énergie et à des charges thermiques instantanées supérieures à 2000°C. Par exemple, le réacteur expérimental international de fusion thermonucléaire (ITER) utilise l'alliage TZM comme matériau déflecteur.

Matériau du dissipateur thermique : La conductivité thermique élevée de la tige de molybdène TZM en fait un matériau de dissipation thermique capable de dissiper rapidement la chaleur et de protéger les parties sensibles des dispositifs de fusion.

Support structurel : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer la structure de support des dispositifs de fusion, qui sont capables de maintenir la stabilité à des températures élevées et à des champs magnétiques puissants.

6.3.3 Applications dans la manipulation de matières radioactives

Les barres de molybdène TZM sont utilisées dans le traitement de matériaux radioactifs pour fabriquer des conteneurs, des matériaux de blindage et des outils d'opération, et résistent à des niveaux élevés de rayonnement et de corrosion chimique. Les applications spécifiques comprennent :

Conteneurs de déchets radioactifs : Les barres de molybdène TZM sont transformées en conteneurs pour le stockage de déchets hautement radioactifs, qui peuvent résister aux radiations et à la corrosion à long terme.

Matériaux de blindage : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de matériaux de protection contre les rayonnements, qui sont supérieurs aux matériaux de blindage au plomb traditionnels en raison de leur haute densité (10,2 g/cm³) et de leur faible section efficace d'absorption thermique des neutrons.

Outils d'utilisation : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des outils d'opération à haute température, tels que des manipulateurs et des gabarits, qui sont capables de fonctionner en toute sécurité dans des environnements à fort rayonnement.

6.4 Industrie de l'électronique et des semi-conducteurs

Les tiges de molybdène TZM sont largement utilisées dans les industries de l'électronique et des semi-conducteurs en raison de leur conductivité thermique élevée, de leur faible coefficient de dilatation thermique et de leur résistance à la corrosion, y compris les dispositifs d'implantation ionique, le dépôt de couches minces et la fabrication de dispositifs électroniques. Voici une analyse détaillée de ces trois aspects.

6.4.1 Applications dans les dispositifs d'implantation ionique

Les dispositifs d'implantation ionique sont utilisés dans la fabrication de puces à semi-conducteurs,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme composants clés en raison de leur résistance élevée et de leur résistance à l'attaque du plasma. Les applications spécifiques comprennent :

Composants de la source d'ions : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer les électrodes et les composants de guidage du faisceau de la source d'ions, qui peuvent résister au bombardement de faisceaux d'ions à haute énergie. Sa conductivité thermique élevée ($139 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) assure une dissipation rapide de la chaleur et évite la surchauffe locale.

Fixations et cibles : Les tiges de molybdène TZM sont transformées en fixations pour la fixation de plaquettes de silicium capables de maintenir une stabilité dimensionnelle dans des environnements à haute température et sous vide poussé. Par exemple, le dispositif d'implantation ionique de TSMC utilise un dispositif de tige en molybdène TZM.

Composants de blindage : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de plaques de blindage dans les dispositifs d'implantation ionique, qui résistent aux rayonnements et à la corrosion des particules à haute énergie.

6.4.2 Applications dans le dépôt de couches minces

Le dépôt de couches minces (par exemple, le dépôt physique en phase vapeur, PVD) est un processus clé dans la fabrication de semi-conducteurs et de dispositifs électroniques, et les tiges de molybdène TZM sont utilisées comme cibles et fixations de pulvérisation cathodique en raison de leur conductivité thermique élevée et de leur résistance à la corrosion. Les applications spécifiques comprennent :

Cibles de pulvérisation : Les tiges de molybdène TZM sont transformées en cibles de pulvérisation pour le dépôt de films minces haute performance tels que des couches métalliques conductrices et isolantes. Sa microstructure homogène assure l'homogénéité du film pulvérisé.

Gabarits et supports : Les tiges en molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des gabarits et des supports dans les équipements PVD, qui peuvent maintenir la stabilité à des températures élevées et sous vide poussé. Par exemple, dans la fabrication d'écrans OLED, les fixations à tige de molybdène TZM sont utilisées pour maintenir les substrats.

Élément chauffant : La tige de molybdène TZM est utilisée pour fabriquer des éléments chauffants pour les équipements PVD, capables de fournir un champ thermique stable à $800\text{-}1200^{\circ}\text{C}$.

6.4.3 Applications dans la fabrication d'appareils électroniques

Les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication d'appareils électroniques pour fabriquer des luminaires à haute température, des électrodes et des connecteurs. Les applications spécifiques comprennent :

Appareils à haute température : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des appareils dans le traitement des plaquettes et sont capables de maintenir la stabilité dans les processus de recuit et de diffusion à haute température. Par exemple, l'équipement de fabrication de puces d'Intel utilise des fixations à tige de molybdène TZM.

Électrodes : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication d'électrodes en molybdène dans les appareils électroniques, tels que les électrodes dans les tubes à vide et les

appareils à micro-ondes, qui peuvent résister à des températures élevées et à des courants élevés.

Connecteurs : Les tiges en molybdène TZM sont usinées en connecteurs haute température pour l'assemblage d'appareils électroniques, capables de résister aux cycles thermiques et aux contraintes mécaniques.

6.5 Autres domaines de recherche industrielle et scientifique

Les tiges de molybdène TZM sont également largement utilisées dans d'autres domaines industriels et scientifiques tels que les équipements expérimentaux à haute température, les moules et outils à haute température et la fabrication additive. Voici une analyse détaillée de ces trois aspects.

6.5.1 Application dans l'équipement expérimental à haute température

Les barres de molybdène TZM sont largement utilisées dans les équipements expérimentaux à haute température, tels que les fours d'essai de matériaux, les dispositifs expérimentaux de physique des plasmas et les réacteurs à haute température, en raison de leur stabilité à haute température et de leur résistance à la corrosion. Les applications spécifiques comprennent :

Fours d'essai des matériaux : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des luminaires et des éléments chauffants pour les fours d'essai de traction et de compression à haute température, capables de fournir un champ thermique stable au-dessus de 1600°C. Par exemple, l'équipement d'essai standard ASTM E21 utilise des fixations à tige en molybdène TZM.

Expérience de physique des plasmas : La tige de molybdène TZM est utilisée pour fabriquer des électrodes et des supports pour des dispositifs expérimentaux à plasma, qui peuvent résister à l'érosion du plasma à haute énergie. Par exemple, le dispositif expérimental de plasma laser utilise des électrodes en alliage TZM.

Réacteur à haute température : La barre de molybdène TZM est utilisée pour fabriquer des éléments chauffants et des structures de support pour les réacteurs chimiques, qui peuvent fonctionner de manière stable à des températures élevées et dans des atmosphères corrosives.

6.5.2 Applications dans les moules et les outils à haute température

Les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de moules et d'outils à haute température en raison de leur dureté élevée (250-300 HV) et de leurs propriétés anti-usure. Les applications spécifiques comprennent :

Moules de moulage sous pression : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des moules de moulage sous pression pour les alliages d'aluminium et les alliages de magnésium, qui sont capables de résister à des contraintes et à une usure élevées à 800-1000 °C.

Matrices de forgeage à chaud : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour fabriquer des matrices de forgeage à chaud pour les composants aérospatiaux, qui sont capables de maintenir la résistance et la stabilité dimensionnelle au-dessus de 1200°C.

Outils de coupe : Les tiges de molybdène TZM sont usinées en outils de coupe à haute température, qui conviennent à l'usinage d'alliages de tungstène et d'alliages à haute température.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

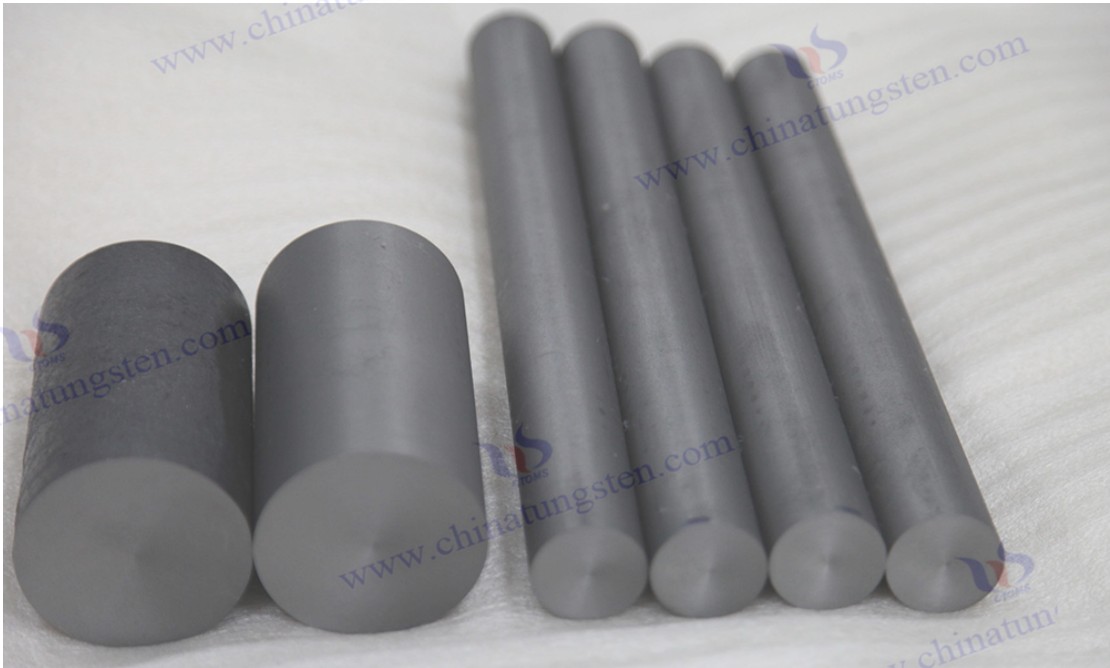
6.5.3 Applications dans la fabrication additive

La fabrication additive (impression 3D) est un domaine d'application émergent pour les barres de molybdène TZM, qui peuvent fabriquer des pièces en alliage TZM aux formes complexes par fusion sélective laser (SLM) ou par fusion par faisceau d'électrons (EBM). Les applications spécifiques comprennent :

Composants aérospatiaux : La poudre de tige de molybdène TZM est utilisée dans l'impression 3D de tuyères de fusées et d'aubes de turbine, permettant des géométries complexes et réduisant les coûts de traitement. Par exemple, les tuyères en alliage TZM imprimées en 3D de la NASA sont 30 % plus légères.

Dispositifs médicaux : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées pour imprimer en 3D des pièces d'équipement autoclavées capables de maintenir la stabilité à haute température et dans des environnements corrosifs.

Modèle de recherche scientifique : La poudre de tige de molybdène TZM est utilisée dans l'impression 3D de modèles expérimentaux à haute température pour répondre aux besoins des essais de matériaux et des expériences physiques.



CTIA GROUP LTD TZM Tige de molybdène

7. Défis techniques et développement futur de la tige de molybdène TZM

En tant que superalliage haute performance, la tige de molybdène TZM est largement utilisée dans l'aérospatiale, l'industrie nucléaire, la fabrication de semi-conducteurs et d'autres domaines en raison de son excellente résistance à haute température, de sa résistance au fluage et de son faible coefficient de dilatation thermique. Cependant, avec l'environnement d'application de plus en plus difficile et le développement rapide de la technologie industrielle, la préparation et l'application de la tige de molybdène TZM sont confrontées à de nombreux défis techniques, notamment la résistance à l'oxydation à haute température, la fabrication de formes complexes et le contrôle des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

coûts de production. Dans le même temps, de nouveaux matériaux, une fabrication intelligente et des technologies de production vertes offrent de nouvelles opportunités pour le développement futur des tiges de molybdène TZM. Ce chapitre traite de manière exhaustive de la situation actuelle et de l'avenir de la tige de molybdène TZM sous quatre aspects : les défis techniques, les nouveaux matériaux et technologies, la fabrication intelligente et verte et les tendances de développement futures.

7.1 Défis techniques

La préparation et l'application de la tige de molybdène TZM sont confrontées à de nombreux défis techniques, notamment l'amélioration de la résistance à l'oxydation à haute température, la difficulté de fabriquer des formes complexes et de grandes tailles, et la maîtrise des coûts de production. Ces défis ont un impact direct sur les performances et l'économie des tiges de molybdène TZM dans les applications haut de gamme. Voici une analyse détaillée sous trois aspects.

7.1.1 Amélioration de la résistance à l'oxydation à haute température

La résistance à l'oxydation de la tige de molybdène TZM dans un environnement à haute température ($>1000^{\circ}\text{C}$) est le principal goulot d'étranglement de son application. Bien que les barres de molybdène TZM améliorent la résistance à l'oxydation en ajoutant du titane (Ti), du zirconium (Zr) et du carbone (C), elles ne fonctionnent toujours pas aussi bien que les céramiques ou certains alliages à base de nickel dans les atmosphères oxydantes. Les défis spécifiques sont les suivants :

Volatilisation de l'oxyde : Dans un environnement oxydant supérieur à 1200°C , du trioxyde de molybdène volatil (MoO_3) se formera à la surface de la tige de molybdène TZM, entraînant une perte rapide de matière. Les résultats montrent que le taux de gain de poids oxydatif de la tige de molybdène TZM dans l'air à 1200°C est d'environ $0,5\text{--}1\text{ mg/cm}^2\cdot\text{h}$, ce qui est beaucoup plus élevé que celui des matériaux céramiques ($0,01\text{ mg/cm}^2\cdot\text{h}$).

Stabilité de la couche protectrice : Les tiges de molybdène TZM peuvent améliorer la résistance à l'oxydation grâce à des revêtements de siliciure de molybdène (MoSi_2) ou d'alumine (Al_2O_3), mais ces revêtements sont sujets à l'écaillage ou à la fissuration au-dessus de 1500°C ou lors de cycles thermiques à long terme. Par exemple, les revêtements MoSi_2 peuvent atteindre un taux de pelage de 20 à 30 % après 100 cycles thermiques à 1600°C .

Adaptabilité environnementale complexe : Dans l'aérospatiale (par exemple, les tuyères de fusée) et les dispositifs de fusion nucléaire, les barres de molybdène TZM doivent résister à des températures élevées, à l'oxydation et à l'attaque du plasma en même temps, et un seul revêtement anti-oxydation est difficile à répondre à plusieurs exigences environnementales.

Les améliorations comprennent :

Développement de nouveaux revêtements : Recherche sur des revêtements composites multicouches (tels que $\text{MoSi}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$) pour améliorer la force d'adhérence et la stabilité des cycles thermiques du revêtement et du substrat grâce à une structure dégradée. Des études récentes ont montré que les revêtements nanocomposites peuvent prolonger la durée de vie des tiges de molybdène TZM jusqu'à 50 % à 1500°C .

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Modification de surface : Des éléments antioxydants (tels que le silicium et l'aluminium) sont introduits à la surface des tiges de molybdène TZM par traitement de surface au laser ou technologie d'infiltration ionique pour former une couche protectrice in situ. Par exemple, le revêtement laser des couches de siliciure peut réduire le gain de poids oxydatif à $0,1 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$.

Optimisation des alliages : Optimiser la distribution et la taille des particules de carbure (TiC , ZrC) en ajustant la teneur en titane, zirconium et carbone, et améliorer la résistance à l'oxydation de la matrice. Des expériences ont montré qu'une augmentation de la teneur en zirconium à 0,15 % pouvait réduire considérablement le taux d'oxydation.

7.1.2 Formes complexes et fabrication à grande échelle

Les formes complexes et les grandes dimensions des barres de molybdène TZM se heurtent à des difficultés techniques, en particulier dans les industries aérospatiale et nucléaire, où des géométries complexes (par exemple, des tuyères incurvées) ou des composants à grande échelle (par exemple, des poutres de support de réacteur nucléaire) doivent être fabriqués. Les défis spécifiques sont les suivants :

Limites de la métallurgie des poudres : Les tiges de molybdène TZM sont généralement préparées par un procédé de métallurgie des poudres, mais ce processus est difficile à obtenir une forme quasi nette de formes complexes. Bien que le pressage isostatique (CIP) puisse préparer des ébauches complexes, la précision dimensionnelle n'est que de $\pm 0,5 \text{ mm}$, ce qui est difficile à atteindre le $\pm$ de $0,01 \text{ mm}$ requis par l'aérospatiale.

Difficulté d'usinage : La dureté élevée (250-300 HV) et la faible ténacité des barres de molybdène TZM les rendent sujettes aux fissures lors du tournage, du fraisage et du perçage. Par exemple, l'usinage de formes complexes, telles que des filetages intérieurs ou des micro-trous, peut entraîner une usure rapide de l'outil et une augmentation de 30 à 50 % des coûts d'usinage.

Uniformité à grande échelle : La fabrication de tiges de molybdène TZM de grande taille (diamètre $> 100 \text{ mm}$ et longueur $> 1 \text{ m}$) doit garantir l'uniformité de la microstructure et des propriétés. Les gradients de température et le retrait inégal pendant le processus de frittage peuvent entraîner une porosité interne ou des fissures, avec un taux de rejet allant jusqu'à 10-15 %.

Les améliorations comprennent :

Fabrication additive (impression 3D) : impression directe de pièces en tiges de molybdène TZM aux formes complexes à l'aide de la technologie de fusion sélective par laser (SLM) ou de fusion par faisceau d'électrons (EBM). La technologie SLM augmente la précision dimensionnelle à $\pm 0,05 \text{ mm}$ et réduit les taux de rebut à moins de 5 %. La dernière étude de la NASA montre que les tuyères TZM préparées par SLM sont 30 % plus légères et 20 % plus performantes.

Forgeage et laminage de précision : Optimisez l'orientation et la densité du grain des tiges de molybdène TZM de grande taille avec des équipements de forgeage et de laminage de précision multi-axes. Par exemple, le laminoir à quatre hauteurs du groupe allemand SMS augmente la densité des barres de grand format à 99,5 % de la densité théorique.

Pressage isostatique à chaud (HIP) : La technologie de pressage isostatique à chaud est utilisée après le frittage pour éliminer les micropores dans les flans de grande taille et améliorer l'uniformité.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le procédé HIP (2000°C, 200 MPa) réduit le taux de rejet à moins de 2 %.

7.1.3 Contrôle des coûts de production

Le coût de production élevé de la tige de molybdène TZM limite sa large application dans certains domaines. Les sources de coûts comprennent les matières premières, la complexité des processus et le contrôle de la qualité. Les défis spécifiques sont les suivants :

Coût des matières premières : Le prix de la poudre de molybdène de haute pureté (pureté $\geq 99,95\%$) et des additifs de titane et de zirconium est plus élevé, représentant 40 à 50 % du coût total. Par exemple, le rapport 2023 Chinatungsten Online montre que le prix de la poudre de molybdène de haute pureté est d'environ 50 à 70 \$ US/kg.

Complexité du processus : La métallurgie des poudres, le frittage sous vide et l'usinage à haute température des barres de molybdène TZM nécessitent des équipements coûteux (par exemple, des fours de frittage sous vide, des laminoirs de précision) avec un investissement en équipement unique pouvant atteindre des millions de dollars. De plus, l'usure des outils et les taux de rebut (environ 10 %) pendant l'usinage augmentent encore les coûts.

Coût du contrôle de la qualité : Les essais en ligne (ultrasons, rayons X) et les essais de performance (essais de traction et de fluage à haute température) nécessitent des instruments et des professionnels de haute précision, représentant 20 à 30 % du coût de production.

Les améliorations comprennent :

Optimisation des matières premières : En améliorant le processus de purification de la poudre de molybdène (par exemple, la réduction du plasma), la teneur en oxygène et les impuretés sont réduites, et la quantité d'additifs est réduite. Par exemple, la technologie de réduction du plasma de H.C. Starck peut réduire le coût de la poudre de molybdène de 15 %.

Simplification des processus : La technologie de forme quasi nette telle que SLM ou HIP réduit les étapes de traitement ultérieures, les taux de rebut et les coûts de traitement. Des études ont montré qu'une forme quasi nette peut réduire les coûts de traitement de 20 à 30 %.

Production automatisée : grâce à des lignes de production intelligentes (telles que le contrôle PLC et les systèmes de détection en ligne), améliorez l'efficacité de la production et réduisez les coûts de main-d'œuvre.

7.2 Nouveaux matériaux et technologies

Le développement de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies offre de nouvelles opportunités pour l'amélioration des performances des tiges de molybdène TZM et l'élargissement des domaines d'application. Ce qui suit est une analyse détaillée sous trois aspects : la conception d'alliages modifiés, les nanostructures et les matériaux composites, et la concurrence avec d'autres matériaux à haute température.

7.2.1 Conception modifiée de l'alliage

En modifiant la conception de l'alliage et en optimisant la composition et la microstructure des barres de molybdène TZM, ses propriétés peuvent être encore améliorées. Les méthodes

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

comprennent :

Ajouter de nouveaux éléments : Introduisez de petites quantités de terres rares (telles que le lanthane, le cérium) ou le rhénium (Re) dans l'alliage TZM pour améliorer la résistance à l'oxydation et la résistance aux hautes températures. Par exemple, l'ajout de 0,1 % de lanthane augmente la température de recristallisation des tiges de molybdène TZM à 1500 °C et la résistance à la traction de 10 à 15 %.

Optimisation du carbure : Optimisez la taille (0,5-2 microns) et la distribution des particules de carbure (TiC, ZrC) grâce à un contrôle précis de la teneur en carbone (0,02-0,05 %) et au processus de frittage pour améliorer l'intensification des précipitations. Des études ont montré que des carbures à l'échelle nanométrique uniformément répartis peuvent réduire les taux de fluage jusqu'à 20 %.

Renforcement de la solution : En augmentant la teneur en solution solide de titane et de zirconium (Ti : 0,6-0,8 %, Zr : 0,15-0,2 %), la distorsion du réseau de la matrice de molybdène est améliorée, et la résistance à haute température et la résistance à la corrosion sont améliorées.

7.2.2 Nanostructures et matériaux composites

La technologie des nanostructures et des matériaux composites offre une nouvelle direction pour l'optimisation des performances des tiges de molybdène TZM. Les méthodes comprennent :

Structure nanocristalline : La taille des grains de la tige de molybdène TZM est contrôlée à 50-100 nm grâce à un broyage à billes à haute énergie et à une technologie de frittage rapide. La structure nanocristalline améliore considérablement la résistance et la ténacité du matériau. Par exemple, la résistance à la rupture des tiges de molybdène nanocristallines TZM peut atteindre 25 MPa·m^{1/2}, ce qui est supérieur à celui des TZM conventionnels (15-20 MPa·m^{1/2}).

Composites : Les tiges de molybdène TZM sont mélangées à des matériaux céramiques (par exemple, SiC, Al₂O₃) ou à base de carbone (par exemple, le graphène) pour former des composites à matrice métallique (MMC). La résistance à l'oxydation des composites SiC/TZM est 2 fois plus élevée à 1500°C, ce qui convient aux déflecteurs de dispositifs de fusion nucléaire.

Nanorevêtements : Des revêtements anti-oxydation à l'échelle nanométrique (par exemple, Al₂O₃/ZrO₂) sont déposés à la surface des tiges de molybdène TZM par des techniques de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou de dépôt physique en phase vapeur (PVD). Le coefficient de dilatation thermique du nano-revêtement est plus compatible avec le substrat et le taux de pelage est réduit à moins de 5 %.

7.2.3 Concurrence avec d'autres matériaux à haute température

Les tiges de molybdène TZM sont concurrencées par d'autres matériaux à haute température tels que les alliages de tungstène, les alliages à base de nickel, les céramiques et les composites à base de carbone. Les comparaisons spécifiques incluent :

Alliages de tungstène : Les alliages de tungstène (densité 19,3 g/cm³) ont un point de fusion (3422°C) et une résistance plus élevées, mais une densité beaucoup plus élevée que les tiges de molybdène TZM (10,2 g/cm³), ce qui les limite dans les applications aérospatiales sensibles au poids.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La tige de molybdène TZM peut remplacer certaines applications d'alliage de tungstène en dessous de 1600°C en optimisant la résistance à l'oxydation.

Alliages à base de nickel : Les alliages à base de nickel (par exemple, Inconel 718) ont une excellente résistance à l'oxydation et une ténacité à 1000-1200°C, mais leur résistance à haute température (200-300 MPa) est inférieure à celle des barres de molybdène TZM (400-500 MPa). Les tiges de molybdène TZM sont en concurrence à des températures plus élevées grâce à la technologie de nano-revêtement.

Céramiques et composites à base de carbone : les céramiques (par exemple, SiC, ZrB₂) ont une excellente résistance à l'oxydation mais une grande fragilité ; Les composites carbone/carbone sont légers mais nécessitent une protection de revêtement complexe dans des environnements oxydants. Les tiges de molybdène TZM sont conçues avec des composites (par exemple, TZM/SiC) pour combiner la ténacité du métal avec la résistance à l'oxydation de la céramique.

Les améliorations comprennent le développement de composites matriciels TZM, l'optimisation de la technologie de revêtement et la réduction des coûts de production afin d'améliorer la compétitivité des tiges de molybdène TZM sur le marché des matériaux à haute température.

7.3 Fabrication intelligente et écologique

La technologie de fabrication intelligente et verte est la direction du développement de la production de tiges de molybdène TZM, qui peut améliorer l'efficacité de la production, réduire la consommation d'énergie et réduire la pollution de l'environnement. Voici une analyse détaillée de trois aspects : le suivi intelligent de la production, la production économe en énergie et respectueuse de l'environnement, et le recyclage des déchets.

7.3.1 Technologie intelligente de surveillance de la production

La technologie intelligente de surveillance de la production optimise le processus de production des tiges de molybdène TZM grâce à la collecte et à l'analyse des données en temps réel, améliorant ainsi la cohérence et l'efficacité de la qualité. Les technologies spécifiques comprennent :

Système d'inspection en ligne : Grâce à la technologie d'inspection par ultrasons, rayons X et visuelle, surveillance en temps réel de la taille, des défauts et de la microstructure des tiges de molybdène TZM. Par exemple, les systèmes d'imagerie par rayons X peuvent détecter des défauts internes de plus de 0,1 mm et réduire le taux de rejet à moins de 0,5 %.

Internet industriel des objets (IIoT) : Grâce à des capteurs et des systèmes API, la température de frittage, la pression de forgeage et les paramètres de traitement sont collectés en temps réel et transmis au cloud pour analyse. Les systèmes IIoT peuvent augmenter la productivité jusqu'à 20 % et réduire les taux de défaillance des équipements de 15 %.

Optimisation de l'IA : Utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour prédire l'impact des paramètres de processus sur les performances, en optimisant la température de frittage, la déformation par laminage et l'épaisseur du revêtement. Par exemple, l'optimisation de l'IA peut contrôler la taille des grains des tiges de molybdène TZM à 10-20 microns, améliorant ainsi la résistance au fluage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

7.3.2 Technique de production économe en énergie et respectueuse de l'environnement

Le processus de production des barres de molybdène TZM (par exemple, frittage sous vide, forgeage à chaud) est énergivore et nécessite des technologies économes en énergie et respectueuses de l'environnement pour réduire l'empreinte carbone. Les mesures spécifiques comprennent :

Four de frittage à haut rendement : Les fours de frittage sous vide à haut rendement (par exemple le réchauffeur de tungstène) sont utilisés pour réduire la consommation d'énergie de 15 à 20 % en optimisant la courbe de chauffage et le temps de maintien. Par exemple, le four de frittage d'ALD en Allemagne peut contrôler la consommation d'énergie d'un seul frittage à moins de 500 kWh.

Énergie renouvelable : Réduisez les émissions de carbone en basculant la source d'énergie de votre outil de production vers le solaire ou l'éolien. Par exemple, certains producteurs de tiges de molybdène TZM en Europe ont atteint un approvisionnement en énergie renouvelable de 50 %.

Traitement des gaz d'échappement : Dans le processus de métallurgie des poudres et de traitement de surface, des systèmes de filtration à haute efficacité (tels que les filtres HEPA) sont utilisés pour traiter les oxydes volatils et les gaz résiduels acides afin de s'assurer que les émissions sont conformes aux normes RoHS de l'UE.

Des études ont montré que les technologies économes en énergie et respectueuses de l'environnement peuvent réduire de 30 % les émissions de carbone de la production de tiges de molybdène TZM, ce qui est conforme à la tendance mondiale de la fabrication verte.

7.3.3 Recyclage efficace des déchets

Les déchets (par exemple, les copeaux de coupe, les résidus frittés) dans la production des barres de molybdène TZM contiennent du molybdène, du titane et du zirconium de grande valeur, et une technologie de recyclage efficace réduit les coûts et l'impact environnemental. Les méthodes comprennent :

Recyclage chimique : Le molybdène, le titane et le zirconium sont extraits des déchets par des techniques de dissolution acide et de séparation électrochimique. Le taux de récupération peut atteindre 95 % et le coût peut être réduit de 20 %. Par exemple, le processus de récupération chimique de H.C. Starck augmente la récupération du molybdène à 98 %.

Recyclage mécanique : Les déchets sont retraités en ébauches de barres de molybdène TZM par la technologie de broyage, de criblage et de frittage. Le recyclage mécanique convient aux déchets de grande taille avec un taux de recyclage d'environ 90 %.

Système de recyclage en boucle fermée : Établissez un système de recyclage en boucle fermée de la chaîne de production pour réutiliser directement les déchets dans le processus de métallurgie des poudres afin de réduire le gaspillage de ressources. Selon Chinatungsten Online, le recyclage en boucle fermée peut réduire le taux de rebut à moins de 5 %.

La technologie de recyclage des déchets permet non seulement de réduire les coûts de production, mais aussi de répondre aux exigences de l'économie circulaire et de promouvoir le développement durable de l'industrie des tiges de molybdène TZM.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

7.4 Tendances futures

Le développement futur des barres de molybdène TZM se concentrera sur la conception haute performance, l'expansion des applications interdomaines et les applications dans des environnements extrêmes pour répondre aux besoins de l'aérospatiale, de la fusion nucléaire, des nouvelles énergies et d'autres domaines. Voici une analyse détaillée sous trois aspects.

7.4.1 Conception et optimisation hautes performances

La conception haute performance améliore encore les performances des tiges de molybdène TZM grâce à l'optimisation des matériaux, des processus et des structures. Les tendances spécifiques incluent :

Simulation multi-échelle : La dynamique moléculaire et l'analyse par éléments finis sont utilisées pour simuler les performances des barres de molybdène TZM dans des environnements à haute température et à forte contrainte, et optimiser la composition et la microstructure de l'alliage. Par exemple, les simulations montrent que l'ajout de 0,1 % de rhénium augmente la résistance à la traction de 15 %.

Conception personnalisée : La composition, le revêtement et la forme de la tige de molybdène TZM peuvent être personnalisés en fonction des besoins de l'application (par exemple, tuyère de fusée ou déflecteur à fusion). Par exemple, les composants aérospatiaux peuvent être équipés d'une teneur élevée en titane (0,8 %) pour plus de résistance, et les dispositifs de fusion nucléaire peuvent être équipés d'une teneur élevée en zirconium (0,2 %) pour une meilleure résistance à l'oxydation.

Matériaux à gradation fonctionnelle (FGM) : Les matériaux à gradient fonctionnel à base de TZM sont développés pour améliorer leurs propriétés globales en formant des gradients de performance (par exemple, une couche d'oxydation de surface, une matrice interne à haute ténacité) à l'intérieur du matériau. Les MGF peuvent prolonger la durée de vie des tiges de molybdène TZM à 1600°C d'un facteur 2.

7.4.2 Extension d'application inter-domaines

Le champ d'application de la tige de molybdène TZM s'étend de l'industrie traditionnelle à haute température aux domaines des nouvelles énergies, de la médecine et de la défense nationale. Les tendances spécifiques incluent :

Nouvelle énergie : la tige de molybdène TZM est utilisée pour fabriquer des connecteurs et des électrodes pour les piles à combustible à oxyde solide (SOFC), qui peuvent fonctionner de manière stable à 800-1000°C. Par exemple, le SOFC de Bloom Energy utilise des connecteurs en alliage TZM.

Dispositifs médicaux : Les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de composants pour les équipements de stérilisation à haute température et les conteneurs de radio-isotopes, qui peuvent résister à des températures élevées et à des rayonnements élevés. Par exemple, les conteneurs médicaux en cobalt-60 ont une durée de vie allant jusqu'à 20 ans.

Industrie de la défense : les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de systèmes de protection thermique et de tuyères de missiles pour véhicules hypersoniques, capables de résister à des charges thermiques instantanées supérieures à 3000°C.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

L'expansion des applications intersectorielles stimulera la croissance du marché des tiges de molybdène TZM, qui devrait croître de 20 % d'ici 2030.

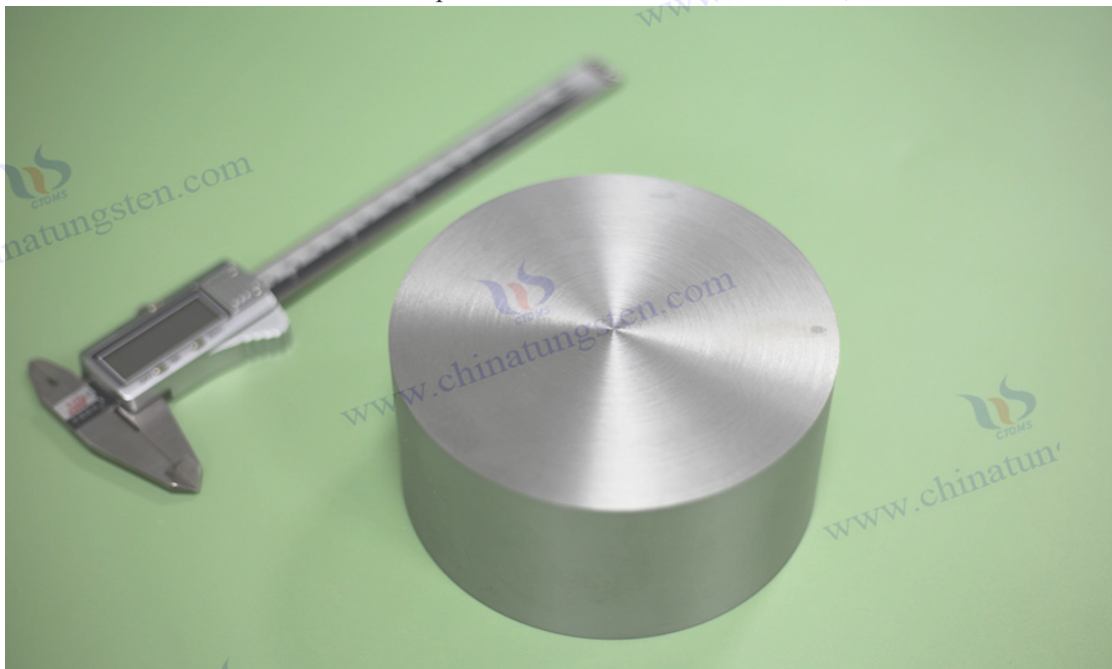
7.4.3 Applications dans des environnements extrêmes

L'application de la tige de molybdène TZM dans des environnements extrêmes (tels que l'ultra-haute température, le fort rayonnement et la forte corrosion) est au centre du développement futur. Les tendances spécifiques incluent :

Environnements à ultra-haute température : Grâce au développement de nouveaux revêtements anti-oxydation et de matériaux composites, les barres de molybdène TZM peuvent être appliquées à des environnements à ultra-haute température au-dessus de 2000°C, tels que les moteurs de fusée de nouvelle génération et les propulseurs à plasma.

Environnement à fort rayonnement : Dans le domaine de la fusion nucléaire et de l'exploration spatiale, les barres de molybdène TZM doivent être exposées à une irradiation de neutrons et de rayons gamma de haute énergie. L'ajout d'éléments de terres rares et l'optimisation de la microstructure peuvent améliorer la résistance aux radiations pour répondre aux besoins d'ITER et des bases lunaires.

Environnements hautement corrosifs : dans l'industrie offshore et chimique, les barres de molybdène TZM doivent être résistantes aux gaz acides et au brouillard salin. La technologie de nitruration de surface et de revêtement composite réduit le taux de corrosion à 0,005 mm/an.



CTIA GROUP LTD TZM Tige de molybdène

8. Normes et spécifications de la tige en molybdène TZM

En tant que superalliage haute performance, la tige de molybdène TZM est largement utilisée dans l'aérospatiale, l'industrie nucléaire, la fabrication de semi-conducteurs et d'autres domaines, et sa production, ses tests et son application doivent suivre des normes et des spécifications strictes. Ces

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

normes couvrent la composition des matériaux, les tests de performance, le processus de production, le contrôle de la qualité et la gestion de l'environnement afin de garantir la constance de la qualité, la sécurité et la compétitivité sur le marché international des tiges de molybdène TZM. Ce chapitre traite en détail des normes et des spécifications relatives à la tige de molybdène TZM sous cinq aspects : normes nationales (normes nationales), normes internationales (ISO), normes américaines (normes américaines), autres normes internationales et industrielles, et mise en œuvre et certification des normes.

8.1 Normes nationales (GB)

En tant que plus grand producteur mondial de ressources en molybdène et fabricant de barres de molybdène TZM, la Chine a formulé une série de normes nationales (GB/T) pour réglementer la production et l'application des barres de molybdène TZM. Ces normes couvrent les propriétés des matériaux, les méthodes d'essai et les processus d'équipement, et fournissent une base unifiée pour les entreprises nationales et le commerce international. Voici une analyse détaillée sous trois aspects.

8.1.1 Normes relatives aux matériaux en molybdène et en alliage de molybdène GB/T

Les normes nationales chinoises (GB/T) spécifient en détail la composition chimique, les propriétés physiques et les exigences de traitement du molybdène et des alliages de molybdène (tels que le TZM), et les principales normes comprennent :

GB/T 3462-2017 Barres de molybdène et d'alliage de molybdène : Cette norme spécifie la composition chimique des barres de molybdène TZM ($\text{Mo} \geq 99,38\%$, $\text{Ti} : 0,4-0,55\%$, $\text{Zr} : 0,06-0,12\%$, $\text{C} : 0,01-0,04\%$), tolérance dimensionnelle (diamètre $\pm 0,02$ mm, longueur ± 1 mm), qualité de surface ($\text{Ra} \leq 3,2$ microns) et propriétés mécaniques (résistance à la traction ≥ 400 MPa, 1200°C). La norme exige que les barres de molybdène TZM soient préparées par frittage sous vide ou par frittage sous atmosphère pour garantir que la densité atteigne plus de 98 % de la densité théorique.

GB/T 4194-2015 Méthodes d'analyse chimique du molybdène et des alliages de molybdène : Cette norme spécifie en détail les méthodes d'analyse du molybdène, du titane, du zirconium, du carbone et des impuretés dans les barres de molybdène TZM, y compris la spectroscopie d'émission de plasma à couplage inductif (ICP-OES) et la spectroscopie de fluorescence X (XRF). Par exemple, la teneur en oxygène doit être contrôlée à $\leq 0,005\%$ et les impuretés telles que le fer et le silicium doivent $\leq 0,01\%$.

GB/T 17792-2014 Conditions techniques générales pour les barres de molybdène et d'alliage de molybdène : Cette norme couvre les exigences de microstructure, la détection des défauts de surface et les exigences d'emballage et de transport des barres de molybdène TZM. La norme insiste sur le fait qu'il ne doit pas y avoir de tartre, de rayures ou de porosité à la surface de la barre.

8.1.2 Normes d'essai et d'évaluation des superalliages

La norme d'essai et d'évaluation des superalliages est utilisée pour évaluer les propriétés mécaniques, la résistance à l'oxydation et la résistance au fluage des barres de molybdène TZM dans un environnement à haute température. Les principaux critères sont les suivants :

GB/T 4338-2015 Méthode d'essai de traction à haute température pour les matériaux

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

métalliques : Cette norme spécifie la méthode d'essai de traction pour la tige de molybdène TZM à 1000-1600 °C, qui nécessite l'utilisation d'un vide ou d'une atmosphère inerte (comme l'argon) pour tester l'environnement, et la précision du contrôle de la température est ± 5 °C. Les résultats des tests montrent que la résistance à la traction de la tige de molybdène TZM à 1200°C est de 400-500 MPa et l'allongement est de 5-10 %.

GB/T 2039-2012 Méthodes d'essai de résistance au fluage et à l'endurance pour les matériaux métalliques : Cette norme est utilisée pour tester les performances de fluage des tiges de molybdène TZM à 1400°C et 20 MPa, nécessitant un taux de fluage inférieur à 10^{-6} /s et une durée de vie de ≥ 5000 heures. Les tests nécessitent un testeur de fluage à haute température (par exemple, la série Instron 5980).

GB/T 16878-1997 Méthode d'essai pour la dureté à haute température des matériaux métalliques : Cette norme spécifie la méthode d'essai de dureté Vickers (HV) pour la tige de molybdène TZM à 1000 °C, et la dureté doit être maintenue à 200-250 HV. Les résultats des tests montrent que la dureté à haute température de la tige de molybdène TZM est meilleure que celle du molybdène pur (150-200 HV).

Ces normes garantissent la fiabilité des barres de molybdène TZM dans les applications à haute température telles que les tuyères de fusée, les composants de réacteurs nucléaires. Selon le rapport technique de Chinatungsten Online, la mise en œuvre de GB/T 4338 et GB/T 2039 a considérablement amélioré la qualité d'application des tiges de molybdène TZM dans le domaine aérospatial.

8.1.3 Équipement d'exécution et spécifications du procédé

Les spécifications de l'équipement et du processus garantissent la standardisation et la sécurité du processus de production des tiges de molybdène TZM. Les principaux critères sont les suivants :

GB/T 15067-2016 Conditions techniques pour les équipements de traitement du molybdène et des alliages de molybdène : Cette norme spécifie les exigences de performance pour les fours de frittage sous vide, les machines à forger et les équipements de laminage. Par exemple, le four de frittage sous vide doit atteindre un degré de vide de 10^{-3} - 10^{-5} Pa et une uniformité de température de $\pm 5^\circ\text{C}$; La plage de pression de la machine à forger est de 500 à 2000 tonnes.

GB 50828-2012 Spécification de sécurité pour la production de superalliages : Cette norme exige que l'atelier de production de barres de molybdène TZM soit équipé de dispositifs antidéflagrants, de systèmes de traitement des gaz d'échappement (tels que les filtres HEPA) et de salles blanches (classe ISO 7, concentration de particules $< 10\,000$ particules/m³). La norme spécifie également les mesures visant à prévenir la poussière et l'oxydation dans les procédés de métallurgie des poudres.

GB/T 29490-2013 Exigences pour les systèmes de gestion de l'énergie d'entreprise : Cette norme guide les fabricants de barres de molybdène TZM pour optimiser la consommation d'énergie, par exemple en utilisant des fours de frittage à haut rendement (consommation d'énergie < 500 kWh/temps) et une alimentation en énergie renouvelable.

Ces spécifications garantissent la sécurité, l'efficacité et le respect de l'environnement de la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

production de tiges de molybdène TZM. Par exemple, un fabricant chinois de tiges de molybdène TZM a augmenté l'efficacité de sa production de 20 % et réduit son taux de rebut à moins de 5 % en mettant en œuvre la norme GB/T 15067.

8.2 Normes internationales (ISO)

La norme de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) fournit une spécification uniforme pour la production et l'application mondiales des tiges de molybdène TZM, couvrant les essais de matériaux, la gestion de l'environnement et les essais non destructifs. Voici une analyse détaillée sous trois aspects.

8.2.1 ISO 6892 Essais de traction des matériaux métalliques

La série de normes ISO 6892, y compris ISO 6892-1:2019 et ISO 6892-2:2018, spécifie la méthode d'essai de traction pour les barres de molybdène TZM à température ambiante et à haute température :

ISO 6892-1:2019 (Traction à température ambiante) : Exige des essais de résistance à la traction (600-700 MPa), de limite d'élasticité (500-600 MPa) et d'allongement (10-15 %) des barres de molybdène TZM à l'aide d'une machine d'essai universelle (par exemple, Instron 5982). L'essai est effectué à une vitesse de déformation constante (10^{-3} /s) avec une rugosité de surface de $Ra \leq 0,4$ microns.

ISO 6892-2:2018 (Traction à haute température) : Spécifie une méthode d'essai de traction à 1000-1600 °C, nécessitant l'utilisation d'un vide ou d'une atmosphère inerte (par exemple, argon, pureté $\geq 99,999$ %) et une précision de contrôle de la température de ± 5 °C. Les résultats des tests montrent que la résistance à la traction de la tige de molybdène TZM à 1200°C est de 400-500 MPa, ce qui est meilleur que celle du molybdène pur à 200-300 MPa.

8.2.2 Système de gestion environnementale ISO 14001

ISO 14001:2015 est une norme mondialement acceptée pour les systèmes de management environnemental qui guide les fabricants de tiges de molybdène TZM à réduire leur impact environnemental. Les exigences spécifiques comprennent :

Gestion de l'énergie : Il est nécessaire d'optimiser la consommation d'énergie des fours de frittage et des équipements de traitement, comme l'utilisation d'éléments chauffants à haut rendement (réchauffeurs au tungstène) et de sources d'énergie renouvelables. La consommation d'énergie des fabricants de tiges de molybdène TZM doit être inférieure à 500 kWh/tonne.

Gestion des déchets : Les déchets générés lors de la métallurgie des poudres et du traitement de surface (par exemple, la poussière de molybdène, les déchets acides) doivent être triés et recyclés. Par exemple, le recyclage chimique peut augmenter la récupération du molybdène à 98 %.

Contrôle des émissions : Nécessite l'installation de systèmes de traitement des gaz d'échappement à haut rendement (par exemple, des filtres HEPA) pour garantir que les émissions d'oxydes volatils (MoO_3) et de gaz acides sont conformes aux réglementations locales (par exemple, les normes RoHS de l'UE).

Les principaux producteurs mondiaux de barres de molybdène TZM, tels que Plansee, sont certifiés

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

ISO 14001, ce qui réduit les émissions de carbone de 30 %, conformément à la tendance de la fabrication verte.

8.2.3 Norme ISO 3452 pour les essais non destructifs

La série de normes ISO 3452, y compris l'ISO 3452-1:2021, spécifie une méthode d'essai par ressuage pour les barres de molybdène TZM pour la détection des fissures et des défauts de surface. Les exigences spécifiques comprennent :

Ressuage (PT) : Détecte les fissures, les pores et les rayures à la surface des tiges de molybdène TZM à l'aide d'un perméat de colorant fluorescent ou visible. Sensibilité de détection jusqu'à 0,05 mm pour les composants aérospatiaux tels que les tuyères de fusée.

Processus d'inspection : y compris le nettoyage de surface, l'application de perméat, l'application de révélateur et l'observation des défauts. La norme exige un éclairage ambiant de 500 à 1000 lx et une température de 20 à 25 °C.

Critères d'acceptation : longueur de fissure de surface $\leq 0,1$ mm, diamètre des pores $\leq 0,05$ mm. Les tiges de molybdène TZM doivent réussir un test de ressuage à 100 % pour les applications aérospatiales.

8.3 Normes américaines (norme américaine)

Les normes américaines (ASTM, ASME) ont une influence importante sur l'application mondiale des barres de molybdène TZM, en particulier dans les industries aérospatiale et nucléaire. Voici une analyse détaillée sous trois aspects.

8.3.1 Norme ASTM B387 pour les barres de molybdène et d'alliage de molybdène

La norme ASTM B387-18 est la norme de base pour les tiges de molybdène TZM, spécifiant la composition, les propriétés et les exigences de traitement des matériaux :

Composition chimique : Mo $\geq 99,38$ %, Ti : 0.4-0.55 %, Zr : 0.06-0.12 %, C : 0.01-0.04 %, impuretés (telles que Fe, Si) $\leq 0,01$ %.

Propriétés mécaniques : résistance à la traction 600-700 MPa à température ambiante, allongement 10-15 % ; Résistance à la traction à 1200°C 400-500 MPa. La norme exige des essais conformément aux normes ASTM E8 (traction à température ambiante) et ASTM E21 (traction à haute température).

Dimensions et surface : tolérance de diamètre $\pm 0,02$ mm, rugosité de surface $Ra \leq 0,4$ microns, pas de fissures, de tartre d'oxyde ou de porosité.

Microstructure : Granulométrie 10-30 microns, densité ≥ 98 % densité théorique.

8.3.2 Essai de microdureté ASTM E384

La norme ASTM E384-17 spécifie une méthode d'essai de microdureté pour les tiges de molybdène TZM afin d'évaluer la dureté du matériau et l'uniformité de la microstructure :

Méthode d'essai : Un testeur de dureté Vickers (HV) est utilisé, la force de charge est de 0,5 à 1 kg et le temps d'indentation est de 10 à 15 secondes. Les résultats des tests montrent que la dureté

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de la tige de molybdène TZM est de 250 à 300 HV et que la surface des particules de carbure peut atteindre 500 HV.

Dureté à haute température : testée à 1000°C, la dureté est maintenue à 200-250 HV, ce qui est mieux que les 150-200 HV de molybdène pur.

Analyse de la microstructure : La microscopie électronique à balayage (MEB) a été utilisée pour observer la microstructure autour de l'indentation afin d'évaluer la distribution et l'effet d'intensification des particules de carbure.

La norme ASTM E384 garantit la fiabilité des tiges de molybdène TZM dans les moules à haute température et les composants aérospatiaux. Par exemple, Boeing utilise la norme ASTM E384 pour tester la dureté des tiges de molybdène TZM afin de garantir les performances des supports d'aubes de turbine.

8.3.3 Norme de l'ASME pour la fabrication d'équipements à haute température

La norme ASME (American Society of Mechanical Engineers) régleme la fabrication et l'application des barres de molybdène TZM dans les équipements à haute température tels que les réacteurs nucléaires, les moteurs d'avion. Les principaux critères sont les suivants :

ASME BPVC Section II : Spécifie les propriétés des matériaux et les exigences de certification pour les tiges de molybdène TZM, telles que la résistance à la traction, les propriétés de fluage et la résistance à l'oxydation. La norme exige un taux de fluage inférieur à 10⁻⁶/s pour les barres de molybdène TZM à 1400°C.

ASME BPVC Section VIII : Spécifie les procédés de fabrication tels que le soudage, le traitement thermique et les essais non destructifs des tiges de molybdène TZM dans les récipients sous pression à haute température. La norme exige un contrôle par ultrasons (UT) et un test par rayons X (RT) à 100 %.

ASME Y14.5 Dimensions et tolérances : Spécifie les tolérances géométriques (par exemple, circularité, rectitude) des tiges de molybdène TZM pour garantir la précision de l'installation dans les équipements à haute température.

8.4 Autres normes internationales et industrielles

En plus des normes chinoises et américaines, les normes du Japon (JIS), de l'Allemagne (DIN) et de la Russie (GOST) fournissent également des spécifications pour la production et l'application des tiges de molybdène TZM. Voici une analyse détaillée sous trois aspects.

8.4.1 Norme d'essai JIS G 0571 pour les matériaux en molybdène

JIS G 0571:2012 est une norme industrielle japonaise qui spécifie les méthodes d'essai de la composition chimique et des propriétés du molybdène et des alliages de molybdène (y compris le TZM) :

Composition chimique : Mo ≥ 99,38 %, Ti : 0,4-0,55 %, Zr : 0,06-0,12 %, impuretés (telles que O, N) ≤ 0,005 % de la tige de molybdène TZM.

Essai des propriétés mécaniques : y compris la traction à température ambiante (résistance à la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

traction 600-700 MPa), la traction à haute température (1200°C, 400-500 MPa) et l'essai de dureté (HV 250-300).

Qualité de surface : La rugosité de surface doit être de $Ra \leq 3,2$ microns, sans fissures ni tartre d'oxyde. La norme spécifie également une méthode d'essai par ressuage des défauts de surface.

JIS G 0571 est largement utilisé dans les industries de fabrication de semi-conducteurs et de fours à haute température au Japon. Par exemple, la société japonaise Toshiba utilise la norme JIS G 0571 pour tester les tiges de molybdène TZM pour une utilisation dans les dispositifs d'implantation ionique.

8.4.2 Norme DIN EN 10228 sur les essais non destructifs

La série de normes DIN EN 10228, y compris la norme DIN EN 10228-3:2016, spécifie les méthodes de contrôle non destructif pour les barres de molybdène TZM, en mettant l'accent sur le contrôle par ultrasons (UT) :

Contrôle par ultrasons : Utilise une sonde de 5 à 10 MHz pour détecter les fissures, les pores et les inclusions à l'intérieur des tiges de molybdène TZM. Avec une sensibilité de détection allant jusqu'à 0,1 mm, il convient aux composants des industries aérospace et nucléaire.

Critères d'acceptation : taille du défaut interne $\leq 0,1$ mm, longueur de fissure superficielle $\leq 0,05$ mm. La norme exige l'inspection à 100 % des composants à haute fiabilité (par exemple, les barres de contrôle des réacteurs nucléaires).

Équipement d'essai : L'utilisation de détecteurs à ultrasons de haute précision (tels que Krautkramer, Allemagne) est nécessaire pour assurer la répétabilité des résultats d'essai.

8.4.3 GOST 17431 Norme d'alliage de molybdène

GOST 17431-72 est une norme russe pour les alliages de molybdène, qui convient à la production et aux tests de tiges de molybdène TZM :

Composition chimique : Mo $\geq 99,38$ %, Ti : 0.4-0.55 %, Zr : 0.06-0.12 %, C : 0.01-0.04 %, Impuretés $\leq 0,01$ %.

Propriétés mécaniques : résistance à la traction 600-700 MPa à température ambiante, résistance à la traction 400-500 MPa à 1200°C, durée de vie ≥ 5000 heures (1400°C, 20 MPa).

Exigences de traitement : Il doit être préparé par frittage sous vide ou frittage sous atmosphère, avec une densité de ≥ 98 % de densité théorique et une rugosité de surface de $Ra \leq 0,8$ micron.

GOST 17431 est largement utilisé dans l'industrie nucléaire russe et les secteurs aérospatial, par exemple, la société russe Rosatom utilise cette norme pour produire des barres de molybdène TZM pour les réacteurs nucléaires.

8.5 Mise en œuvre et certification des normes

La mise en œuvre des normes et la certification sont un élément clé pour garantir la qualité et la compétitivité des tiges de molybdène TZM sur le marché international, impliquant des tests de production, un système de gestion de la qualité et la conformité à l'exportation. Voici une analyse détaillée sous trois aspects.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

8.5.1 Applications normalisées en production et en essais

La production et les tests des tiges de molybdène TZM doivent respecter strictement les normes nationales, internationales et industrielles mentionnées ci-dessus. Les mises en œuvre spécifiques comprennent :

Contrôle des matières premières : Selon GB/T 4194 et ASTM B387, la composition de la poudre de molybdène, de la poudre de titane et de la poudre de zirconium a été analysée à l'aide de l'ICP-OES et de la XRF pour s'assurer que la teneur en impuretés était $\leq 0,01$ %.

Contrôle des processus : processus de frittage, de forgeage et d'usinage selon GB/T 15067 et ASME BPVC Section VIII. Par exemple, les fours de frittage sous vide doivent maintenir un niveau de vide de 10^{-3} - 10^{-5} Pa et une uniformité de température de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Test de performance : Testez la résistance à la traction, les propriétés de fluage et la dureté des tiges de molybdène TZM conformément aux normes ISO 6892, GB/T 4338 et ASTM E384. Par exemple, un essai de traction à haute température est effectué à 1200°C avec une résistance à la traction de ≥ 400 MPa.

Contrôle non destructif : inspection à 100 % des barres de molybdène TZM pour l'industrie aérospatiale et nucléaire selon les normes ISO 3452 et DIN EN 10228 à l'aide d'un ressuage et d'un contrôle par ultrasons pour s'assurer qu'il n'y a pas de fissures et de pores.

8.5.2 Certification du système de management de la qualité (e.g. ISO 9001)

ISO 9001:2015 est une norme de système de gestion de la qualité acceptée à l'échelle mondiale qui guide le contrôle de la qualité et l'amélioration continue chez les fabricants de tiges de molybdène TZM. Les exigences spécifiques comprennent :

Gestion des processus : Il est nécessaire d'enregistrer et de tracer l'ensemble du processus d'approvisionnement en matières premières, du processus de production, des tests et de l'emballage de la tige de molybdène TZM. Par exemple, un système de gestion des lots doit être mis en place pour s'assurer que chaque lot de tiges de molybdène TZM peut être retracé jusqu'à la matière première.

Satisfaction du client : L'amélioration continue des performances et de l'efficacité de la production de la tige de molybdène TZM est nécessaire grâce aux commentaires des clients et à l'audit de la qualité. Par exemple, les clients de l'aérospatiale ont besoin de tiges de molybdène TZM avec des tolérances dimensionnelles de $\leq \pm 0,01$ mm.

Amélioration continue : Réduire les rejets et les coûts de production grâce à l'analyse des données et à l'optimisation des processus. Par exemple, Plansee est certifié ISO 9001, ce qui réduit de 15 % le coût de production des tiges de molybdène TZM.

De plus, les fabricants de tiges de molybdène TZM dans le secteur aérospatial sont tenus d'être certifiés AS9100 pour s'assurer qu'ils répondent aux exigences particulières de l'industrie aérospatiale, telles que les contrôles non destructifs à 100 % et la transparence de la chaîne d'approvisionnement.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

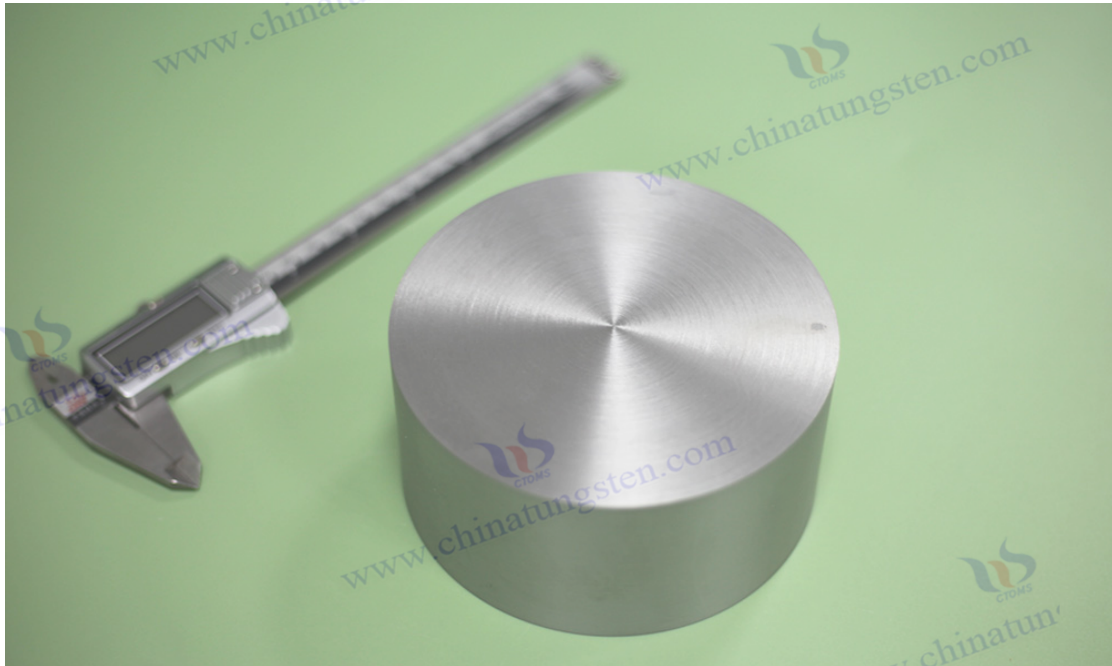
8.5.3 Exportation et conformité aux normes internationales

L'exportation de tiges de molybdène TZM est soumise aux normes et réglementations du marché cible, impliquant l'harmonisation et la certification des normes multinationales. Les exigences spécifiques comprennent :

Harmonisation des normes : les tiges en molybdène TZM doivent être conformes aux normes ASTM B387 et ASME pour l'exportation vers les États-Unis, aux normes DIN EN 10228 et ISO 14001 pour l'exportation vers l'Europe et à la norme JIS G 0571 pour l'exportation vers le Japon.

Exigences de certification : Les produits d'exportation doivent obtenir une certification pour le marché cible, telle que la certification CE dans l'Union européenne, la certification UL aux États-Unis ou la certification GOST-R en Russie. Le processus de certification comprend des tests de matériaux, des audits de processus et des contrôles de conformité environnementale.

Gestion de la conformité : Il est nécessaire d'établir un système de gestion de la conformité et d'accepter régulièrement des audits par des tiers. Par exemple, SGS et TÜV sont des organismes de certification communs pour l'exportation de tiges de molybdène TZM, garantissant que les produits sont conformes aux réglementations internationales (par exemple, RoHS, REACH).



CTIA GROUP LTD TZM Tige de molybdène

Appendice

A. Glossaire

1. Conditions connexes

Alliage TZM

Définition : Un superalliage avec du molybdène (Mo) comme matrice, ajoutant du titane (Ti, 0,4-0,55 %), du zirconium (Zr, 0,06-0,12 %) et du carbone (C, 0,01-0,04 %), avec une excellente résistance à haute température, une résistance au fluage et un faible coefficient de dilatation thermique.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

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

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

Alliage à base de molybdène

Définition : Alliage dont le composant principal est le molybdène et d'autres éléments (tels que le titane, le zirconium, le rhénium) ajoutés pour améliorer les propriétés. Le TZM est un représentant typique des alliages à base de molybdène.

Alliage haute température

Définition : Matériaux métalliques capables de résister longtemps aux contraintes mécaniques et à la corrosion chimique dans un environnement à haute température supérieure à 600 °C, y compris les alliages à base de nickel, les alliages à base de tungstène et les alliages à base de molybdène.

Revêtement anti-oxydation

Définition : Une couche protectrice (par exemple, siliciure de molybdène, Al_2O_3) appliquée à la surface de la tige de molybdène TZM pour réduire l'oxydation à haute température et la perte de matière.

Coefficient de dilatation thermique (CTE)

Définition : Le taux de dilatation par unité de longueur du matériau sous changement de température, le coefficient de dilatation thermique de la tige de molybdène TZM est de $5,3 \times 10^{-6}/K$.

Résistance au fluage

Définition : La capacité d'un matériau à résister à une déformation lente à des températures élevées et à des contraintes constantes. Le taux de fluage de la tige de molybdène TZM à 1400°C est d'environ 1/10 de celui du molybdène pur.

Résistance à la rupture

Définition : La capacité du matériau à résister à la propagation des fissures, la résistance à la rupture de la tige de molybdène TZM est de $15-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, ce qui est supérieur à celui du molybdène pur $10-12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

2. Terminologie de préparation et de traitement

Métallurgie des poudres

Définition : Méthode de préparation de matériaux métalliques par mélange de poudres métalliques, moulage par pressage et frittage à haute température. La tige de molybdène TZM est généralement fabriquée selon le processus de métallurgie des poudres et la température de frittage est de 1800-2000 °C.

Frittage sous vide

Définition : Le processus de chauffage d'un flan de poudre métallique dans le vide ($10^{-3}-10^{-5} \text{ Pa}$) pour le combiner en un matériau dense. Le frittage sous vide des barres de molybdène TZM peut augmenter la densité à plus de 98 % de la densité théorique.

Pressage isostatique à chaud

Définition : Compression isotrope de matériaux à haute température (1800-2000°C) et haute

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

pression (100-200 MPa) pour éliminer la porosité interne et les défauts.

Pressage isostatique à froid

Définition : La pression isotrope est appliquée à une poudre par un milieu liquide à température ambiante pour former une billette à haute densité. La pression CIP de la tige de molybdène TZM est généralement de 200 à 300 MPa.

Forgeage de précision

Définition : Déformation plastique de la tige de molybdène TZM par un équipement de forgeage multi-axes à haute température (1200-1400°C) pour améliorer la densité et les propriétés mécaniques.

Usinage

Définition : Usinage de formes de tiges de molybdène TZM par tournage, fraisage, perçage et autres procédés avec des tolérances allant jusqu'à $\pm 0,01$ mm.

Polissage de surface

Définition : Réduction de la rugosité de surface de la tige de molybdène TZM ($Ra \leq 0,05$ microns) par des méthodes mécaniques, chimiques ou électrochimiques pour réduire les points d'initiation des fissures.

Essais non destructifs

Définition : Inspection des défauts internes et de surface des barres de molybdène TZM par des méthodes d'essai par ultrasons, rayons X ou ressuage avec une sensibilité allant jusqu'à 0,05 mm.

Formage en forme quasi nette

Définition : Optimisation des processus de préparation (par exemple SLM ou HIP) pour former directement des pièces proches de la forme finale, réduisant ainsi le post-traitement.

3. Terminologie de l'application à haute température

Résistance à haute température

Définition : La capacité d'un matériau à résister à la traction, à la compression ou à la déformation par cisaillement à des températures élevées ($>1000^\circ\text{C}$). La résistance à la traction de la tige de molybdène TZM à 1200°C est de 400-500 MPa.

Résistance aux chocs thermiques

Définition : La capacité d'un matériau à résister aux fissures ou aux fractures sous des changements rapides de température. La tige en molybdène TZM a une excellente résistance aux chocs thermiques en raison de son faible coefficient de dilatation thermique ($5,3 \times 10^{-6}/\text{K}$).

Conductivité thermique

Définition : La capacité du matériau à conduire la chaleur, la conductivité thermique de la tige de molybdène TZM est de $139 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$, qui ne diminue que de 10 à 15 % à 1200°C .

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Résistance à l'oxydation

Définition : La capacité d'un matériau à résister à la formation et à la perte d'oxyde dans un environnement oxydant à haute température. Les bâtonnets de molybdène TZM ont formé une couche protectrice de MoO_2 à 1000°C , et le taux de gain de poids oxydatif était $< 0,1 \text{ mg/cm}^2\cdot\text{h}$.

Érosion plasmatique

Définition : Phénomène de perte de surface d'un matériau sous bombardement de plasma de haute énergie. Les tiges de molybdène TZM peuvent résister à des impacts de plasma de 10^6 , ce qui est mieux que le molybdène pur.

Système de protection thermique

Définition : Système utilisé pour protéger un vaisseau spatial contre les dommages thermiques à haute température, tels que la rentrée. Les tiges de molybdène TZM sont utilisées dans la fabrication de boucliers thermiques et de boucliers thermiques.

Fatigue à haute température

Définition : La capacité d'un matériau à résister à l'amorçage et à la propagation des fissures sous des contraintes cycliques à haute température. La durée de vie en fatigue de la tige de molybdène TZM à 1200°C est de 10^5 cycles.

Stabilité des cycles thermiques

Définition : La capacité d'un matériau à conserver ses propriétés et sa structure lors d'un chauffage et d'un refroidissement répétés. Les tiges de molybdène TZM peuvent résister à 1000 cycles thermiques (température ambiante - 1600°C).

4. Science des matériaux et terminologie métallurgique

Renforcement des solutions solides

Définition : En dissolvant les atomes de titane et de zirconium dans la matrice de molybdène, la distorsion du réseau est provoquée pour améliorer la résistance et la dureté du matériau.

Renforcement des précipitations

Définition : En formant des particules de carbure (par exemple, TiC , ZrC) dans la matrice de molybdène, le mouvement de dislocation est entravé et la résistance à haute température et la résistance au fluage sont améliorées.

Taille des grains

Définition : La taille moyenne des cristaux dans le matériau, la taille des grains des tiges de molybdène TZM est généralement de 10 à 30 microns, ce qui affecte la résistance et la ténacité.

Température de recristallisation

Définition : La température à laquelle les grains d'un matériau se réorganisent pour former de nouveaux grains à haute température. La température de recristallisation de la tige de molybdène TZM est de $1400-1500^\circ\text{C}$, ce qui est supérieur à celui du molybdène pur à 1100°C .

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Luxation

Définition : Défaut linéaire à l'intérieur d'un cristal qui affecte la déformation plastique et la résistance d'un matériau. Les tiges de molybdène TZM sont fixées aux dislocations par des particules de carbure pour améliorer la résistance au fluage.

Grain Boundary

Définition : L'interface entre les grains qui affecte la résistance, la ténacité et les propriétés de corrosion d'un matériau. Les joints de grains des barres de molybdène TZM sont renforcés avec du zirconium pour réduire le glissement à haute température.

Microscope électronique à balayage

Définition : Un microscope pour l'observation de la topographie de surface et des caractéristiques de rupture des tiges de molybdène TZM avec une résolution allant jusqu'à 1 nanomètre.

Microscope électronique à transmission

Définition : Un microscope pour l'observation de la microstructure interne (par exemple, dislocations, particules de carbure) des tiges de molybdène TZM avec une résolution allant jusqu'à 0,1 nm.

Diffraction des rayons X

Définition : Analyse par rayons X de la structure cristalline, de la composition de phase et de l'état de contrainte des bâtonnets de molybdène TZM.

Analyse par éléments finis

Définition : Prédire la distribution des contraintes et le risque de défaillance par simulation informatique des performances de la tige de molybdène TZM à haute température et à forte contrainte.

B. Références

- [1] Chinatungsten Online, « Processus de production et technologie de l'alliage de molybdène TZM », www.chinatungsten.com
- [2] Chinatungsten Online, Technologie de purification et d'alliage de poudre de molybdène, www.ctia.com.cn
- [3] Chinatungsten en ligne, compte officiel WeChat, « Optimisation du processus de production de tiges de molybdène TZM », 2023
- [4] 《Métallurgie des poudres : science, technologie et applications》, C. Suryanarayana
- [5] 《Avancées dans le traitement des métaux réfractaires》, Journal of Materials Processing Technology
- [6] 《Frittage sous vide des alliages TZM》, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials
- [7] Chinatungsten Online, « Technologie de production automatisée de la tige de molybdène TZM », news.chinatungsten.com
- [8] 《Ingénierie de surface des métaux réfractaires》, Technologie des surfaces et des revêtements

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- [9] Chinatungsten Online, « Équipement de production de tiges de molybdène TZM et contrôle de la qualité », baike.ctia.com.cn
- [10] 《Science et ingénierie des matériaux : une introduction》, William D. Callister Jr.
- [11] 《Avancées dans les métaux réfractaires et les alliages》, Journal of Materials Science
- [12] 《Métallurgie des poudres des alliages TZM》, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials
- [13] 《Alliage TZM dans les applications à haute température》, Matériaux et conception
- [14] 《Métallurgie des poudres des alliages TZM》, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials