

Encyclopédie des bagues en alliage de tungstène

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

PRÉSENTATION DU GROUPE CTIA

CTIA GROUP LTD, filiale à 100 % dotée d'une personnalité juridique indépendante et créée par CHINATUNGSTEN ONLINE, se consacre à la promotion de la conception et de la fabrication intelligentes, intégrées et flexibles de matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel. Fondée en 1997 avec www.chinatungsten.com comme point de départ – le premier site web chinois de produits en tungstène de premier plan –, CHINATUNGSTEN ONLINE est une entreprise pionnière du e-commerce en Chine, spécialisée dans les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares. Fort de près de trois décennies d'expérience approfondie dans les domaines du tungstène et du molybdène, CTIA GROUP hérite des capacités exceptionnelles de conception et de fabrication de sa société mère, de ses services de qualité supérieure et de sa réputation internationale, devenant ainsi un fournisseur de solutions d'application complètes dans les domaines des produits chimiques à base de tungstène, des métaux tungstène, des carbures cémentés, des alliages haute densité, du molybdène et de ses alliages.

Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a créé plus de 200 sites web professionnels multilingues sur le tungstène et le molybdène, couvrant plus de 20 langues, avec plus d'un million de pages d'actualités, de prix et d'analyses de marché liées au tungstène, au molybdène et aux terres rares. Depuis 2013, son compte officiel WeChat « CHINATUNGSTEN ONLINE » a publié plus de 40 000 informations, alimentant près de 100 000 abonnés et fournissant quotidiennement des informations gratuites à des centaines de milliers de professionnels du secteur dans le monde entier. Avec des milliards de visites cumulées sur son site web et son compte officiel, CHINATUNGSTEN ONLINE est devenu une plateforme d'information mondiale reconnue et faisant autorité pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares, fournissant 24 h/24 et 7 j/7 des informations multilingues, des informations sur les performances des produits, les prix et les tendances du marché.

S'appuyant sur la technologie et l'expérience de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP s'attache à répondre aux besoins personnalisés de ses clients. Grâce à l'IA, CTIA GROUP conçoit et fabrique en collaboration avec ses clients des produits en tungstène et en molybdène présentant des compositions chimiques et des propriétés physiques spécifiques (telles que la granulométrie, la densité, la dureté, la résistance, les dimensions et les tolérances). L'entreprise propose des services intégrés complets, allant de l'ouverture du moule à la production d'essai, en passant par la finition, l'emballage et la logistique. Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a fourni des services de R&D, de conception et de production pour plus de 500 000 types de produits en tungstène et en molybdène à plus de 130 000 clients dans le monde, posant ainsi les bases d'une fabrication personnalisée, flexible et intelligente. Fort de ce socle, CTIA GROUP approfondit la fabrication intelligente et l'innovation intégrée des matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel.

Forts de plus de 30 ans d'expérience dans le secteur, le Dr Hanns et son équipe du CTIA GROUP ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix et de tendances du marché du tungstène, du molybdène et des terres rares, qu'ils partagent librement avec l'industrie du tungstène. Fort de plus de 30 ans d'expérience depuis les années 1990 dans le commerce électronique et le commerce international de produits en tungstène et en molybdène, ainsi que dans la conception et la fabrication de carbures cémentés et d'alliages haute densité, le Dr Han est un expert reconnu des produits en tungstène et en molybdène, tant au niveau national qu'international. Fidèle à sa volonté de fournir des informations professionnelles et de qualité à l'industrie, l'équipe du CTIA GROUP rédige régulièrement des articles de recherche technique, des articles et des rapports sectoriels basés sur les pratiques de production et les besoins des clients, ce qui lui vaut une large reconnaissance au sein du secteur. Ces réalisations apportent un soutien solide à l'innovation technologique, à la promotion des produits et aux échanges industriels du CTIA GROUP, le propulsant pour devenir un leader mondial dans la fabrication de produits en tungstène et en molybdène et dans les services d'information.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

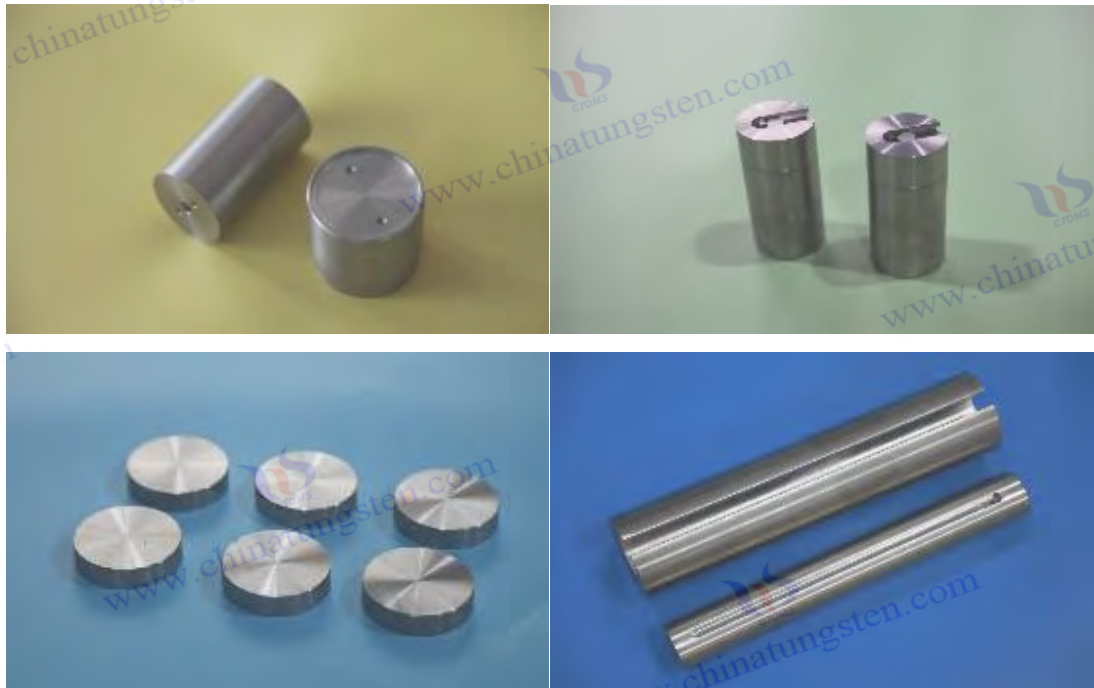
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Table des matières

Chapitre 1 : Présentation des bagues en alliage de tungstène

- 1.1 Définition et historique du développement des anneaux en alliage de tungstène
- 1.2 Classification et principales caractéristiques des bagues en alliage de tungstène
- 1.3 Aperçu des domaines d'application des bagues en alliage de tungstène

Chapitre 2 : Bases matérielles et propriétés des anneaux en alliage de tungstène

- 2.1 Composition chimique et microstructure des anneaux en alliage de tungstène
- 2.2 Propriétés physiques des anneaux en alliage de tungstène
- 2.3 Propriétés mécaniques des anneaux en alliage de tungstène
- 2.4 Résistance à la corrosion et aux hautes températures des bagues en alliage de tungstène

Chapitre 3 : Technologie de préparation des bagues en alliage de tungstène

- 3.1 Préparation des matières premières des bagues en alliage de tungstène et bases de la métallurgie des poudres
- 3.2 Technologie de formage des anneaux en alliage de tungstène (moulage, pressage isostatique, etc.)
- 3.3 Technologie de frittage des anneaux en alliage de tungstène
- 3.4 Usinage de précision des bagues en alliage de tungstène
- 3.5 Technologie de traitement de surface et d'amélioration des performances des bagues en alliage de tungstène

Chapitre 4 : Méthodes d'inspection et de caractérisation de la qualité des bagues en alliage de tungstène

- 4.1 Contrôle de la précision dimensionnelle et géométrique des bagues en alliage de tungstène
- 4.2 Méthodes d'analyse de la composition des anneaux en alliage de tungstène
- 4.3 Essais des propriétés mécaniques des bagues en alliage de tungstène
- 4.4 Microstructure et détection des défauts des anneaux en alliage de tungstène

Chapitre 5 : Technologie d'application et cas des bagues en alliage de tungstène

- 5.1 Application des anneaux en alliage de tungstène dans l'aérospatiale
- 5.2 Application des anneaux en alliage de tungstène dans les industries énergétiques et nucléaires
- 5.3 Application des bagues en alliage de tungstène dans la fabrication de machines et d'équipements militaires
- 5.4 Application des anneaux en alliage de tungstène dans les appareils électroniques et médicaux

Chapitre 6 : Normes internationales et spécifications industrielles pour les bagues en alliage de tungstène

- 6.1 Principales normes internationales pour les bagues en alliage de tungstène
- 6.2 Normes nationales et spécifications d'essai pour les bagues en alliage de tungstène
- 6.3 Normes de qualité pour les bagues en alliage de tungstène fabriquées par CTIA GROUP

Chapitre 7 : Analyse du marché et de l'économie des bagues en alliage de tungstène

- 7.1 Structure du marché mondial des bagues en alliage de tungstène
- 7.2 Analyse des principaux pays producteurs et de la chaîne d'approvisionnement des bagues en alliage de tungstène
- 7.3 Tendance des prix et structure des coûts des bagues en alliage de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chapitre 8 : Tendances de développement futures des bagues en alliage de tungstène

- 8.1 Nouveaux matériaux et systèmes d'alliages pour les bagues en alliage de tungstène
- 8.2 Technologies de fabrication avancées pour les bagues en alliage de tungstène (fabrication additive, etc.)
- 8.3 Technologies de recyclage et de réutilisation des bagues en alliage de tungstène
- 8.4 Applications potentielles des anneaux en alliage de tungstène dans les technologies de pointe

Appendice

- Annexe 1 : Données physiques et chimiques courantes des bagues en alliage de tungstène
- Annexe 2 : Tableau comparatif des normes internationales pour les bagues en alliage de tungstène
- Annexe 3 : Glossaire des termes et abréviations anglaises pour les bagues en alliage de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Chapitre 1 Présentation des anneaux en alliage de tungstène

1.1 Définition et historique du développement de la bague en alliage de tungstène

1. Définition d'une bague en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène sont des composants structuraux annulaires principalement composés de tungstène (W), auquel sont ajoutés certains pourcentages de nickel (Ni), de fer (Fe), de cuivre (Cu) et d'autres éléments métalliques par des procédés tels que la métallurgie des poudres, le frittage sous vide et le pressage isostatique à chaud. Les anneaux en alliage de tungstène contiennent généralement entre **85 % et 98 % de tungstène** en masse, ce qui leur confère une densité extrêmement élevée (16,5 à 19,3 g/cm³), une excellente résistance à la corrosion, une résistance aux hautes températures et une bonne usinabilité.

Par rapport au tungstène pur, les anneaux en alliage de tungstène ont une ténacité et une résistance aux chocs plus élevées grâce à l'alliage ; par rapport aux matériaux en acier traditionnels, leur densité est presque deux fois plus élevée, ils présentent donc des avantages irremplaçables dans **les contrepoids à haute densité, l'équilibre mécanique de précision, les pièces inertielles rotatives à grande vitesse, les systèmes de contrôle inertiel aérospatiaux et d'autres domaines.**

De plus, les anneaux en alliage de tungstène peuvent être divisés en types suivants en fonction des différents environnements d'application :

1. **Anneaux en alliage de tungstène lourd (W-Ni-Fe/W-Ni-Cu)** : utilisés pour le contrepoids, la réduction des vibrations et le contrôle de l'inertie.
2. **Bagues en alliage de tungstène résistant aux hautes températures** (série W-Re, série W-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HfC) : utilisées dans des environnements extrêmes tels que les moteurs aérospatiaux et les réacteurs nucléaires.

3. **Bagues en alliage de tungstène résistant à la corrosion** (système W-Cu) : utilisées dans l'étanchéité des équipements chimiques, des équipements d'exploration en haute mer et d'autres domaines.

2. Origine et développement précoce des anneaux en alliage de tungstène

L'apparition des matériaux en alliage de tungstène remonte **au début du XXe siècle**, mais les composants structuraux annulaires en alliage de tungstène ne sont véritablement apparus que dans les années **1940 et 1950**. Cela était principalement dû au développement rapide des industries militaire et aéronautique, en particulier pendant la Seconde Guerre mondiale et le début de la Guerre froide, qui a entraîné une forte augmentation de la demande de matériaux métalliques à haute densité et résistants aux températures élevées.

- **1940-1950 : les pays européens et américains ont été les premiers à utiliser des alliages de tungstène à haute densité** dans les freins de bouche d'artillerie, les volants rotatifs et les bagues d'équilibrage pour remplacer le plomb et l'acier.
- **1960 : la NASA et l'Agence spatiale soviétique ont introduit** des anneaux en alliage de tungstène dans les moteurs de fusée et les systèmes de contrôle d'attitude des satellites, en utilisant leur haute densité pour améliorer la capacité de stockage d'énergie cinétique des gyroscopes et des roues d'inertie.
- **Années 1970-1980** : Les pays industrialisés comme le Japon et l'Allemagne ont utilisé des anneaux en alliage de tungstène comme poids d'équilibrage pour les broches mécaniques de précision afin de réduire les vibrations et le bruit dans les équipements rotatifs à grande vitesse.

À cette époque, le procédé de fabrication des bagues en alliage de tungstène était encore relativement primitif, utilisant principalement **le moulage par compression et le frittage en phase liquide**. Les performances du produit étaient limitées par la granulométrie de la poudre et la densité de frittage.

3. Étapes de développement des bagues modernes en alliage de tungstène

De la fin du **20e siècle au début du 21e siècle**, avec la maturité de la technologie de la métallurgie des poudres, de la technologie des nanomatériaux, du frittage sous vide et des équipements de pressage isostatique à chaud (HIP), les anneaux en alliage de tungstène sont entrés dans une phase de développement rapide :

1. Haute purification et homogénéisation

- o La pureté de la poudre de tungstène a été augmentée de 99,8 % à plus de 99,95 %, réduisant efficacement la teneur en impuretés telles que l'oxygène, le carbone et l'azote, et améliorant considérablement la ductilité et la durée de vie en fatigue du matériau.
- o La taille des particules de poudre est contrôlée à 1~3 μm , ce qui rend la microstructure après frittage plus uniforme et plus dense.

2. Alliage composite

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o Des éléments de terres rares (La, Ce, Y) et des phases de renforcement (HfC, TiC) sont introduits pour améliorer les propriétés de fluage à haute température et la résistance à l'usure.
 - o Nous avons développé des bagues en alliage multi-composants tels que W-Ni-Fe-Co et W-Cu-Re pour répondre aux besoins des conditions de travail extrêmes.
3. **Usinage de précision et ingénierie de surface**
- o en utilisant le **tournage CNC, le meulage et l'usinage par décharge électrique (EDM)**, et la tolérance dimensionnelle peut être contrôlée à $\pm 0,01$ mm.
 - o **Le PVD, le CVD et le revêtement laser** sont introduits pour améliorer encore la résistance à la corrosion et à l'usure.
4. **Conception personnalisée et modulaire**
- o Les fabricants d'équipements aéronautiques, aérospatiaux et sous-marins peuvent personnaliser des anneaux en alliage de tungstène avec différentes densités, formes de section transversale et épaisseurs de paroi en fonction des exigences de charge pour obtenir une optimisation structurelle et une répartition du poids.

4. Tendances de développement futures des bagues en alliage de tungstène

Au cours des 10 à 20 prochaines années, les bagues en alliage de tungstène évolueront dans trois directions : **hautes performances, légèreté et intelligence** :

1. **Haute performance** : Grâce à des technologies telles que la poudre de nano-tungstène et le pressage isostatique à chaud sous vide et le frittage composite, la résistance à la flexion de l'anneau en alliage de tungstène dépasse 1200 MPa et la densité est proche de la valeur théorique de 19,3 g/cm³.
2. **Allègement et optimisation structurelle** : L'analyse par éléments finis (FEA) et l'optimisation topologique sont utilisées pour réduire la matière dans les zones non sollicitées et améliorer le rapport entre les performances inertielles et la résistance structurelle.
3. **Intégration fonctionnelle** : les capteurs et les éléments chauffants sont intégrés dans des anneaux en alliage de tungstène pour réaliser une surveillance en temps réel et une adaptation environnementale, ce qui est particulièrement adapté aux systèmes de contrôle d'attitude des engins spatiaux.

1.2 Classification et principales caractéristiques des bagues en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène sont largement utilisés comme composants structurels, matériaux fonctionnels et applications spécialisées. Leur classification et leurs caractéristiques déterminent directement leurs applications et leurs performances. Grâce à la densité élevée du tungstène, à son point de fusion élevé et à ses excellentes propriétés mécaniques, les anneaux en alliage de tungstène offrent non seulement une excellente performance dans des environnements extrêmes tels que les températures élevées, la corrosion sévère et les chocs violents, mais présentent également des propriétés variées selon le type d'alliage.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.2.1 Classification par système d'alliage

Les anneaux en alliage de tungstène peuvent être divisés dans les catégories suivantes selon les différents systèmes d'alliage :

1. Anneaux en alliage de tungstène lourd (système W-Ni-Fe / W-Ni-Cu)

- o formé en ajoutant du nickel, du fer ou du cuivre au tungstène comme matrice, avec une densité de 16,8 à 18,8 g/cm³.
- o Il se caractérise par une résistance élevée, une bonne ductilité et de meilleures performances d'usinage que le tungstène pur. Il est adapté à des applications telles que les contrepoids, les bagues d'équilibrage, les volants d'inertie, etc., qui nécessitent une forte inertie et une forte capacité d'absorption d'énergie.

2. Bague en alliage de cuivre et tungstène (système W-Cu)

- o par l'infiltration du squelette de tungstène et du cuivre, et a le point de fusion élevé du tungstène et la conductivité électrique et thermique élevée du cuivre.
- o Couramment utilisé dans les anneaux de contact électrique, les anneaux conducteurs résistants aux hautes températures et les composants de gestion thermique.

3. Bague en alliage tungstène-molybdène (système W-Mo)

- o L'ajout d'une quantité appropriée de molybdène au tungstène peut réduire la fragilité du matériau et améliorer sa plasticité à haute température.
- o Il est principalement utilisé pour les pièces à haute température telles que les anneaux chauffants de fours à vide et les supports résistants à la chaleur.

4. Bagues en alliage de carbure de tungstène (système WC-Co / WC-Ni)

- o Il s'agit d'une bague en carbure cémenté avec une dureté extrêmement élevée (HRA 85 et plus) et une excellente résistance à l'usure.
- o Couramment utilisé dans les bagues d'étanchéité, les bagues de revêtement résistantes à l'usure, les pièces de machines minières, etc.

1.2.2 Classification par procédé de fabrication

- **Bague en alliage de tungstène de métallurgie des poudres** : Fabriquée par pressage de poudre, frittage et usinage ultérieur, elle convient à la production de masse et possède une structure de matériau uniforme.
- **Bague en alliage de tungstène forgé** : Améliore la microstructure par déformation plastique à haute température pour obtenir une densité et des propriétés mécaniques plus élevées.
- **Anneau en alliage de tungstène composite de frittage-infiltration** : tel qu'un anneau W-Cu, W-Ag, frittez d'abord le squelette de tungstène, puis infiltrez le métal à bas point de fusion.

1.2.3 Principales caractéristiques de la bague en alliage de tungstène

1. Haute densité et gravité spécifique élevée

- o Le tungstène a une densité allant jusqu'à 19,3 g/cm³, ce qui permet à l'anneau en alliage de tungstène de fournir une plus grande inertie et un effet de contrepoids

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dans un petit volume.

2. Excellentes performances à haute température

- o Le tungstène a un point de fusion de 3 422 °C et maintient une stabilité structurelle dans les environnements à haute température, ce qui le rend moins susceptible de fluer ou de ramollir.

3. Bonne résistance à l'usure et à la corrosion

- o Il convient aux travaux de longue durée dans des environnements de friction, d'impact, acides et alcalins et a une longue durée de vie.

4. Performances personnalisables

- o En ajustant le rapport d'alliage et les paramètres du processus, des produits avec différentes résistances, duretés, conductivités thermiques et conductivités électriques peuvent être obtenus.

5. Résistance aux radiations et performances de protection

- o Son numéro atomique élevé et sa densité élevée le rendent important pour les applications dans le blindage contre les radiations nucléaires et les anneaux de protection.

influencent non seulement leurs propriétés physiques et mécaniques, mais déterminent également leur application dans des secteurs tels que l'aérospatiale, l'armée, l'énergie, la fabrication de machines et l'électronique. En ingénierie, il est généralement nécessaire de sélectionner le système d'alliage et le procédé de fabrication appropriés en fonction de la température, de la charge, des milieux corrosifs et des exigences de traitement de l'environnement de travail afin de maximiser les performances des bagues en alliage de tungstène.

1.3 Aperçu des applications des bagues en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène jouent un rôle essentiel dans l'industrie moderne grâce à leur densité élevée, leur dureté élevée, leur excellente résistance à l'usure et leurs performances exceptionnelles à haute température. Leurs propriétés physiques et chimiques uniques leur permettent d'être utilisés non seulement dans la fabrication de machines conventionnelles, mais aussi de maintenir des performances stables dans des environnements extrêmes. Par conséquent, ils sont largement utilisés dans divers secteurs, notamment l'aérospatiale, l'énergie, l'armée, le médical et l'électronique. Voici un aperçu des applications des anneaux en alliage de tungstène dans les secteurs clés.

(1) Aérospatiale

Dans les équipements aérospatiaux, les anneaux en alliage de tungstène sont souvent utilisés comme contrepoids de rotor de gyroscope, contrepoids de contrôle d'attitude d'avion et composants clés des systèmes de navigation inertielle. Grâce à leur densité extrêmement élevée (proche de 19 g/cm³), les anneaux en alliage de tungstène peuvent offrir un moment d'inertie plus important sous le même volume, ce qui contribue à réduire la taille des composants et à améliorer la sensibilité et la stabilité du système. De plus, leur bonne résistance à la fatigue et leur stabilité thermique leur permettent de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fonctionner de manière stable pendant longtemps dans des environnements à grande vitesse et à haute température.

(2)

Les anneaux en alliage de tungstène jouent également un rôle important dans les équipements militaires, tels que les gyrostabilisateurs des systèmes de conduite de tir, les composants inertiels des systèmes de contrôle des canons des chars et les anneaux de contrepoids des navires et des sous-marins. Dans la technologie des munitions et des missiles, les anneaux en alliage de tungstène peuvent être utilisés comme anneaux de stabilisation de projectiles ou de queue, ce qui non seulement améliore la précision de vol, mais préserve également l'intégrité structurelle lors de la pénétration du blindage et des impacts à forte énergie cinétique.

(3) Énergie et industrie nucléaire.

Dans le secteur de l'énergie nucléaire, les anneaux en alliage de tungstène sont souvent utilisés dans les composants de contrôle des réacteurs, les anneaux de radioprotection et les contrepoids des mécanismes d'orientation. Leur densité élevée et leur numéro atomique élevé leur confèrent d'excellentes propriétés de protection contre les rayons gamma et les rayons X, réduisant ainsi efficacement les fuites de rayonnement. Dans les éoliennes et les dispositifs d'énergie océanique, les anneaux en alliage de tungstène peuvent également servir de contrepoids pour les composants rotatifs à grande vitesse afin de réduire les vibrations et d'améliorer la stabilité.

(4) Protection médicale et radioprotection

Dans les équipements d'imagerie et de traitement médicaux, les anneaux en alliage de tungstène sont utilisés dans les rotors et les composants de blindage d'équipements tels que les scanners CT, les accélérateurs linéaires et les couteaux gamma. Leur densité élevée réduit non seulement les fuites de rayonnement, mais maintient également l'équilibre pendant la rotation, améliorant ainsi la qualité de l'imagerie et la précision du traitement. De plus, les anneaux en alliage de tungstène peuvent également être utilisés pour l'équilibrage des mouvements et le positionnement précis des équipements médicaux.

(5) Industrie des machines de précision et de l'électronique.

Dans les machines-outils de précision à grande vitesse, les équipements de fabrication de semi-conducteurs et les instruments de test haut de gamme, les anneaux en alliage de tungstène peuvent être utilisés comme volants d'inertie, anneaux d'inertie ou composants de contrepoids pour stabiliser les pièces à grande vitesse et réduire les vibrations. Dans l'industrie électronique, il peut également être utilisé comme composant stabilisateur pour les équipements haute fréquence et les systèmes micro-ondes, grâce à sa densité élevée et à sa bonne conductivité thermique pour garantir un fonctionnement fiable à long terme du système.

(6) Équipements de recherche industrielle et scientifique spéciaux.

Les anneaux en alliage de tungstène sont également utilisés dans des applications spécifiques telles que les détecteurs sous-marins, les équipements d'exploration géologique et les accélérateurs de particules. Par exemple, dans les submersibles sous-marins, les anneaux en alliage de tungstène peuvent servir de lest pour maintenir l'équilibre entre la plongée et la remontée en surface ; dans les accélérateurs de particules, ils peuvent être utilisés dans les dispositifs de contrôle des faisceaux ioniques pour ajuster avec précision la distribution du champ magnétique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Globalement, grâce à leurs performances exceptionnelles, les anneaux en alliage de tungstène sont devenus des composants clés indispensables des équipements haut de gamme de nombreux secteurs. Avec le développement continu de nouvelles technologies de fabrication et de nouvelles formulations d'alliages, leurs domaines d'application continueront de s'élargir, notamment dans les secteurs des nouvelles énergies, de la fabrication haut de gamme et des environnements extrêmes, où ils joueront un rôle encore plus important à l'avenir.

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

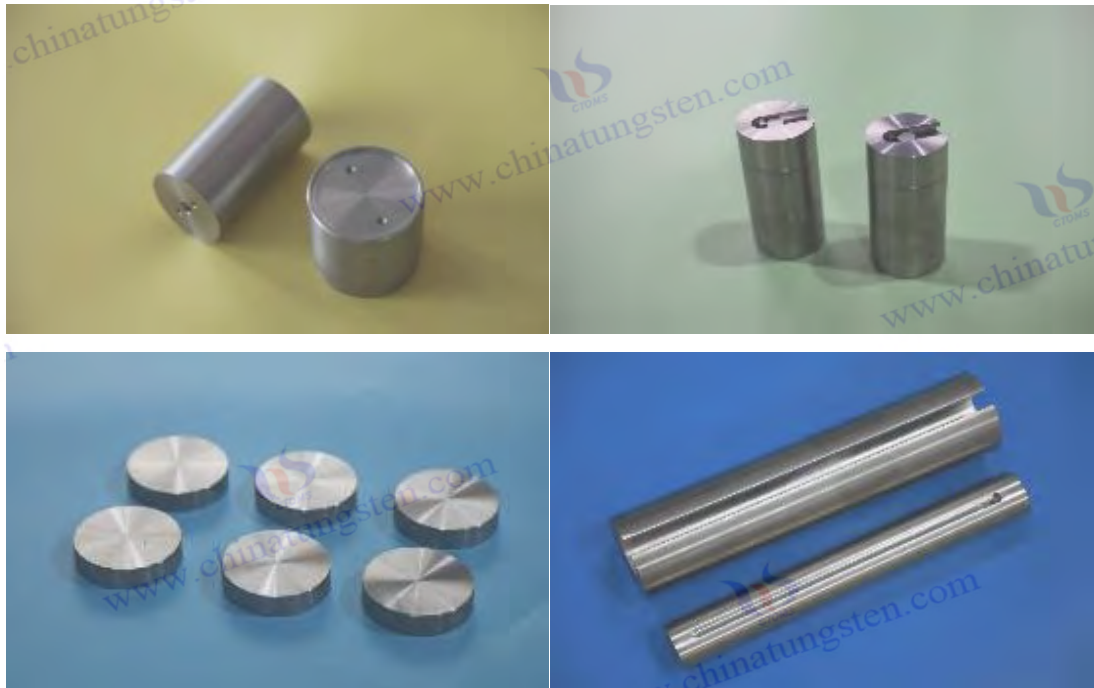
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

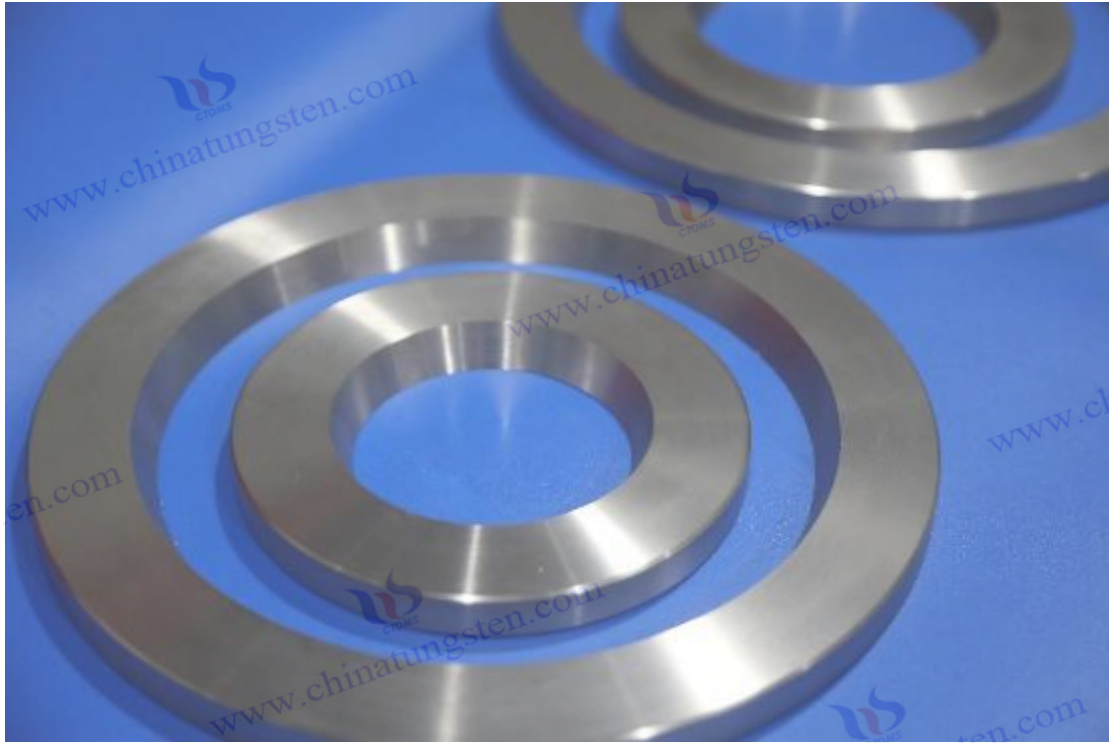
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Chapitre 2 Bases matérielles et propriétés des anneaux en alliage de tungstène

2.1 Composition chimique et microstructure de l'anneau en alliage de tungstène

des bagues en alliage de tungstène sont largement déterminées par leur composition chimique et leur microstructure. Ces deux aspects déterminent non seulement la densité, la dureté et la résistance à l'usure du matériau, mais influencent également directement sa résistance à la corrosion, sa ductilité et sa performance à haute température. Les bagues en alliage de tungstène sont généralement conçues pour offrir une densité, une résistance et une aptitude à la mise en œuvre élevées, ce qui impose des exigences strictes en matière de rapport de composition et de contrôle de la microstructure.

1. Caractéristiques de composition chimique :

Le tungstène (W) est le composant principal, avec une fraction massique généralement comprise entre 85 % et 97 %, représentant la grande majorité de l'alliage. Le tungstène possède un point de fusion extrêmement élevé (3 422 °C), une masse volumique élevée (19,25 g/cm³) et une bonne résistance à la corrosion, ce qui en fait un élément clé pour conférer aux anneaux en alliage de tungstène une densité et une dureté élevées. Pour améliorer la ténacité, les performances de mise en œuvre ou conférer des fonctions spéciales, une certaine proportion d'éléments d'alliage est généralement ajoutée, notamment :

1. **Nickel (Ni)** – Élément de renforcement le plus courant, il forme une phase de liaison ductile lorsqu'il est utilisé avec du fer ou du cuivre. Le nickel est généralement ajouté à raison de 3 à 7 % et améliore considérablement la plasticité et la résistance aux chocs de l'alliage.
2. **Fer (Fe)** – Souvent associé au nickel (alliages W-Ni-Fe), il améliore la ténacité tout en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

améliorant la résistance du matériau et sa résistance à l'usure.

3. **Cuivre (Cu)** – En tant qu'agent de renforcement pour remplacer le fer (alliage W-Ni-Cu), il est principalement utilisé dans les applications nécessitant une conductivité élevée et des propriétés non magnétiques.
4. **Cobalt (Co)** – utilisé comme phase liante dans certains alliages spéciaux pour améliorer la résistance à la chaleur et au fluage, mais son coût est relativement élevé.
5. **carbone (C), molybdène (Mo) et chrome (Cr)** – utilisés pour améliorer la résistance à l'usure, la résistance à la corrosion ou la stabilité structurelle de l'alliage dans des environnements à haute température.

La conception du rapport varie en fonction de l'usage de la bague en alliage de tungstène. Par exemple, le matériau de la bague utilisé dans l'aéronautique privilégie la résistance aux hautes températures et à l'oxydation, tandis que celui utilisé dans les instruments de précision privilégie la stabilité de la densité et la précision dimensionnelle.

2. Caractéristiques microstructurales

La microstructure des anneaux en alliage de tungstène présente généralement une structure biphasée ou multiphasée :

1. **Phase particulaire de tungstène (phase W)** – Elle apparaît gris clair ou blanche et se présente sous forme de particules sphériques ou polyédriques uniformément réparties au microscope. C'est la principale phase porteuse de l'alliage, conférant au matériau une densité et une dureté élevées.
2. **Phase liante (phase de matrice métallique)** – composée d'éléments tels que le nickel, le fer et le cuivre, répartis entre les particules de tungstène, joue le rôle de connexion, de transfert de contrainte et de tampon de rupture fragile.
3. **Joints de grains et pores** – Certains pores se forment inévitablement pendant le processus de frittage, mais les anneaux en alliage de tungstène de haute qualité peuvent réduire la porosité à un niveau extrêmement bas grâce au frittage en phase liquide à haute température ou au traitement de pressage isostatique à chaud (HIP), améliorant ainsi la résistance et la ténacité.

L'uniformité microstructurale est essentielle à la performance globale des anneaux en alliage de tungstène. Des particules de tungstène surdimensionnées ou inégalement réparties peuvent entraîner une propagation prématurée des fissures aux points de concentration de contraintes. Une continuité insuffisante de la phase liante réduit la ductilité, rendant l'anneau vulnérable aux fissures lors de l'usinage. Par conséquent, le processus de préparation exige un contrôle strict de la granulométrie de la poudre, de l'uniformité du mélange, ainsi que du profil de température et du temps de maintien pendant le frittage.

3. Influence de la composition et de l'organisation sur la performance

- **Densité** : Déterminée principalement par la teneur en tungstène. Plus la teneur en tungstène est élevée, plus la densité est proche de la limite théorique.
- **Résistance et ténacité** : Dépend de la répartition des particules de tungstène et du rapport

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de la phase liante. Un rapport Ni/Fe ou Ni/Cu raisonnable peut améliorer considérablement la résistance aux chocs.

- **Résistance à l'usure et à la corrosion** : la teneur élevée en tungstène et la microstructure dense aident à résister à l'usure abrasive et à la corrosion chimique.
- **Performances à haute température** : le point de fusion élevé et la stabilité du tungstène lui permettent de maintenir sa résistance structurelle à des températures élevées, mais la stabilité thermique de la phase liante est tout aussi critique.

En résumé, la composition chimique et la microstructure des anneaux en alliage de tungstène déterminent leurs performances. La conception scientifique des alliages et le contrôle précis de la microstructure constituent les approches techniques essentielles pour garantir leur conformité aux exigences des applications industrielles haut de gamme.

2.2 Propriétés physiques de l'anneau en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène sont l'une des principales raisons de leur adoption généralisée dans de nombreux secteurs industriels. Ces propriétés découlent non seulement de la structure atomique unique du tungstène, mais aussi du ratio optimisé des éléments d'alliage et du contrôle précis du processus de fabrication. Les anneaux en alliage de tungstène présentent des avantages significatifs en termes de densité, de point de fusion, de stabilité thermique, de conductivité thermique, de conductivité électrique et de résistance aux radiations, ce qui leur permet de conserver une structure et des performances stables même dans des conditions extrêmes.

2.2.1 Caractéristiques de haute densité

Le tungstène est l'un des métaux les plus denses de la nature (environ 19,3 g/cm³). Les anneaux en alliage de tungstène ont généralement une densité comprise entre 17,0 et 18,5 g/cm³, nettement supérieure à celle des métaux de structure courants comme l'acier et les alliages de cuivre. Cette densité élevée confère aux anneaux en alliage de tungstène d'excellentes propriétés inertielles et une excellente capacité d'absorption d'énergie cinétique, ce qui les rend particulièrement efficaces dans les structures nécessitant un équilibrage, un contrepoids ou une réduction des vibrations. Cette densité élevée permet également, pour une masse donnée, des anneaux en alliage de tungstène plus petits, facilitant ainsi les conceptions compactes dans les structures à espace restreint.

2.2.2 Point de fusion élevé et stabilité à haute température

Le tungstène a un point de fusion de 3 422 °C, le plus élevé parmi les métaux. Bien que le point de fusion des anneaux en alliage de tungstène diminue légèrement après l'alliage, ils peuvent conserver une structure et une résistance stables pendant de longues périodes au-dessus de 1 000 °C sans ramollissement ni déformation significatifs. Cette caractéristique leur confère des avantages uniques dans des applications telles que les moules haute température, les dispositifs de traitement thermique sous vide et les systèmes à canaux chauds.

2.2.3 Faible coefficient de dilatation thermique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La résistance mécanique des bagues en alliage de tungstène est généralement comprise entre $(4,5 \text{ et } 6,0) \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$, soit nettement inférieure à celle de métaux comme l'acier et l'aluminium. Cette faible dilatation permet aux bagues de conserver des dimensions précises même dans des environnements soumis à de fortes variations de température, minimisant ainsi les variations d'espacement dues à la dilatation et à la contraction thermiques. Ceci est particulièrement important pour les instruments de précision, les bagues d'étanchéité haute température et les composants structurels soumis à des cycles thermiques.

2.2.4 Excellente conductivité thermique

Bien que la conductivité thermique du tungstène soit inférieure à celle du cuivre et de l'argent, elle reste relativement élevée parmi les métaux de structure à haute densité (environ $160 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Les anneaux en alliage de tungstène conduisent efficacement la chaleur, empêchant ainsi les surchauffes localisées et garantissant des performances stables dans les applications haute puissance soumises à des chocs thermiques fréquents. Ceci est crucial pour les dispositifs de chauffage haute température et les structures de refroidissement électroniques.

2.2.5 Propriétés électriques

La résistivité de l'anneau en alliage de tungstène est de $(5,0 \sim 6,0) \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, ce qui est supérieur à la plupart des alliages haute température et des métaux résistants à la chaleur. Dans les contacts électriques spéciaux nécessitant une conductivité électrique à haute température, les anneaux en alliage de tungstène répondent à la fois aux exigences de résistance à la chaleur et de conductivité.

2.2.6 Dureté et résistance à l'usure élevées

La dureté des bagues en alliage de tungstène est généralement comprise entre 300 et 500 HV, une valeur qui peut être encore augmentée par traitement thermique ou durcissement superficiel. Cette dureté élevée leur confère une excellente résistance à l'usure, leur permettant une durée de vie prolongée dans des applications telles que les joints rotatifs, les supports de roulements et les contrepoids résistants aux chocs.

2.2.7 Résistance aux radiations

Grâce à leur numéro atomique élevé (74) et à leur forte densité, les anneaux en alliage de tungstène offrent une protection bien supérieure à celle du plomb contre les rayons X et gamma. Ils sont considérés comme des matériaux sûrs et respectueux de l'environnement dans les domaines de la protection médicale, de l'industrie nucléaire et des structures de protection contre les radiations aérospatiales.

2.2.8 Haute résistance et rigidité

Les anneaux en alliage de tungstène présentent généralement une résistance à la traction de 700 à 1 200 MPa, une limite d'élasticité élevée et une plasticité modérée, ce qui leur permet de supporter des charges et des impacts importants sans instabilité structurelle. Ce niveau de résistance reste relativement stable à température ambiante et à haute température, ce qui les rend adaptés aux composants critiques soumis à des contraintes complexes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3 Propriétés mécaniques des anneaux en alliage de tungstène

Les propriétés mécaniques des bagues en alliage de tungstène sont directement liées à leur fiabilité et à leur durée de vie dans diverses applications industrielles et haut de gamme. Les principales propriétés mécaniques comprennent la résistance à la traction, la limite d'élasticité, la ténacité à la rupture, le module d'élasticité, la résistance à la fatigue et la ténacité aux chocs. Ces indicateurs de performance reflètent la capacité de déformation, la capacité de charge et la résistance aux dommages de la bague en alliage de tungstène lorsqu'elle est soumise à des forces externes.

2.3.1 Résistance à la traction et limite d'élasticité

varie généralement de 700 à 1 200 mégapascals (MPa), selon la composition de l'alliage, le procédé de préparation et le traitement thermique. Cette résistance à la traction élevée permet aux anneaux de conserver leur intégrité structurelle sous de fortes charges sans rupture ni déformation excessive. La limite d'élasticité, légèrement inférieure à la résistance à la traction, varie généralement de 550 à 950 MPa et reflète le niveau de contrainte auquel le matériau entre en phase de déformation plastique après une déformation élastique. Cette limite d'élasticité élevée des anneaux en alliage de tungstène les rend moins sensibles à la déformation permanente sous contrainte, conservant ainsi leur taille et leur forme précises.

2.3.2 Ténacité à la rupture

La ténacité à la rupture est un indicateur clé de la capacité d'une bague en alliage de tungstène à résister à la propagation des fissures et à la rupture. Bien que fragiles par nature en raison de leur densité et de leur dureté élevées, les bagues en alliage de tungstène peuvent être considérablement améliorées par le microalliage, le renforcement nanostructural et l'optimisation du traitement thermique. La ténacité à la rupture typique des bagues en alliage de tungstène varie de 10 à 25 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0,5}$. Cette ténacité supérieure assure une forte résistance à la rupture sous charges dynamiques et impacts, réduisant ainsi le risque de rupture par rupture.

2.3.3 Module d'élasticité

Les anneaux en alliage de tungstène présentent un module d'élasticité d'environ 380 à 410 GPa, ce qui témoigne de leur rigidité exceptionnelle. Ils subissent ainsi une déformation élastique minimale sous contrainte, ce qui se traduit par une excellente stabilité dimensionnelle et une excellente conservation de forme, ce qui les rend adaptés aux structures mécaniques de haute précision et aux composants complexes. Ce module d'élasticité élevé contribue à améliorer la réactivité et la résistance aux vibrations de la structure.

2.3.4 Résistance à la fatigue

Les bagues en alliage de tungstène soumises à des charges cycliques sont cruciales pour leur durée de vie. Grâce à l'optimisation des procédés et à la conception des matériaux, les bagues en alliage de tungstène peuvent présenter une limite de fatigue élevée, généralement comprise entre 40 % et 60 % de leur résistance à la traction. Cette excellente résistance à la fatigue assure la stabilité des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

bagues en alliage de tungstène dans des environnements soumis à des vibrations mécaniques, des cycles thermiques et des charges de choc, prévenant ainsi les défaillances des équipements dues à la rupture par fatigue.

2.3.5 Résistance aux chocs

La résistance aux chocs des anneaux en alliage de tungstène est étroitement liée à leur ténacité. Bien que les matériaux à base de tungstène soient relativement fragiles, une conception et un traitement thermique appropriés peuvent améliorer leur capacité à absorber l'énergie d'impact. La ténacité aux chocs des anneaux en alliage de tungstène leur permet de conserver une résistance élevée à la rupture lorsqu'ils sont soumis à des charges soudaines, des chocs mécaniques et des bombardements de particules à haute énergie, ce qui les rend idéaux comme matériaux de protection et de protection structurelle.

2.3.6 Comportement à la rupture et mode de défaillance

présentent généralement une rupture fragile, notamment à basse température et dans les zones de forte concentration de contraintes. Pour améliorer la ténacité à la rupture, des ajustements des ratios d'éléments d'alliage, des procédés de métallurgie des poudres optimisés et des traitements thermiques en plusieurs étapes sont souvent utilisés afin d'obtenir un affinement uniforme de la microstructure et de réduire les contraintes internes et les sources de défauts. Les principaux modes de défaillance comprennent la propagation des fissures, la coalescence des micropores et la séparation interfaciale. La compréhension de ces mécanismes peut contribuer à améliorer la conception des matériaux et le contrôle des procédés.

En résumé, les anneaux en alliage de tungstène présentent d'excellentes propriétés mécaniques. Ils allient résistance et rigidité élevées. Grâce aux améliorations apportées aux procédés, leur ténacité et leur résistance à la fatigue ont été considérablement améliorées, ce qui les rend adaptés aux applications industrielles complexes et exigeantes. À l'avenir, grâce au développement des nanotechnologies, des microalliages et des procédés de fabrication intelligents, les propriétés mécaniques des anneaux en alliage de tungstène seront encore améliorées.

2.4 Résistance à la corrosion et résistance aux hautes températures de la bague en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène jouent un rôle essentiel dans de nombreux secteurs industriels haut de gamme et environnements extrêmes. Leur résistance à la corrosion et aux températures élevées sont des indicateurs de performance clés qui garantissent leur fonctionnement stable et leur durée de vie à long terme. Ils présentent une excellente résistance à l'oxydation et à la corrosion chimique, tout en conservant de bonnes propriétés mécaniques et une stabilité structurelle à haute température, ce qui les rend largement utilisés dans l'énergie nucléaire, l'aérospatiale, l'industrie militaire et l'industrie chimique.

2.4.1 Résistance à la corrosion de la bague en alliage de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le tungstène possède une stabilité chimique extrêmement élevée et une résistance exceptionnelle à la corrosion dans divers milieux acides et alcalins. La teneur en tungstène des anneaux en alliage de tungstène représente généralement la majeure partie de l'alliage, ce qui constitue la base d'une excellente résistance à la corrosion. Le choix et la proportion des métaux liants, tels que le nickel et le fer, influencent considérablement la résistance à la corrosion de l'alliage. Une conception appropriée de l'alliage peut maximiser la résistance globale à la corrosion.

- **Résistance à l'oxydation** : Les anneaux en alliage de tungstène forment à leur surface un film protecteur dense et stable d'oxyde de tungstène (WO_3) à l'air libre et dans les environnements oxydants. Ce film prévient efficacement l'oxydation et la corrosion, améliorant ainsi la durabilité du matériau. Son pouvoir auto-cicatrisant assure une protection antioxydante durable, notamment dans les environnements à basse et moyenne température.
- **Résistance à la corrosion chimique** : Les anneaux en alliage de tungstène présentent une résistance élevée à la corrosion dans la plupart des solutions acides et alcalines, et maintiennent un taux de corrosion particulièrement faible dans les environnements fortement acides tels que les acides sulfurique et chlorhydrique. Ils sont donc adaptés aux industries chimiques et nucléaires, où des exigences strictes en matière de protection contre la corrosion sont imposées. Cependant, dans certains environnements présentant des sels alcalins fondus à haute température et des oxydants puissants, la résistance à la corrosion peut être réduite, nécessitant un revêtement de surface ou un traitement spécial pour renforcer le niveau de protection.
- **Protection localisée contre la corrosion** : La faible porosité et la structure dense des anneaux en alliage de tungstène préviennent efficacement la corrosion par piqûres et cavernes. Les traitements de surface tels que la pulvérisation, le revêtement PVD et la passivation chimique améliorent encore la résistance à la corrosion et prolongent la durée de vie, notamment en milieu marin et à forte humidité.

2.4.2 Résistance à haute température de la bague en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène peuvent toujours conserver d'excellentes propriétés physiques et mécaniques dans des conditions de température élevée et constituent un matériau important pour la fabrication de pièces structurelles et de composants fonctionnels à haute température.

- **Point de fusion élevé et stabilité thermique** : Le point de fusion du tungstène atteint $3422\text{ }^{\circ}\text{C}$, dépassant largement celui de la plupart des métaux, ce qui confère aux anneaux en alliage de tungstène une résistance exceptionnelle aux températures élevées. Dans les environnements à haute température, la microstructure de l'anneau reste stable, ce qui le rend moins sensible à la croissance des grains et à la dégradation structurelle, garantissant ainsi ses propriétés mécaniques à haute température.
- **Caractéristiques de dilatation thermique** : Le coefficient de dilatation linéaire de l'anneau en alliage de tungstène est faible, généralement compris entre $4,5$ et $5,5 \times 10^{-6} / \text{K}$, ce qui garantit sa stabilité dimensionnelle dans les cycles thermiques et les environnements à hautes fluctuations de température, évitant ainsi la concentration de contraintes et les dommages structurels causés par la dilatation et la contraction thermiques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Comportement à l'oxydation à haute température** : Bien que le film d'oxyde formé sur les anneaux en alliage de tungstène dans les environnements oxydants à haute température offre une certaine protection, la vitesse d'oxydation s'accélère considérablement lorsque la température dépasse environ 500 °C, en particulier dans une atmosphère à forte teneur en oxygène. C'est pourquoi des atmosphères protectrices, le vide ou des revêtements de surface sont souvent nécessaires pour inhiber les dommages par oxydation dans les applications à haute température.
- **Résistance à la fatigue thermique et au fluage à haute température** : Les anneaux en alliage de tungstène présentent une excellente résistance au fluage sous des contraintes prolongées à haute température, retardant ainsi la déformation plastique et la rupture. Grâce à une conception judicieuse des alliages et à l'optimisation du traitement thermique, leur durée de vie en fatigue thermique peut être efficacement prolongée pour répondre aux exigences d'utilisation dans des environnements extrêmes tels que les moteurs d'avion et les réacteurs nucléaires.

2.4.3 Optimisation coordonnée de la résistance à la corrosion et de la résistance aux hautes températures

Dans les applications pratiques, les bagues en alliage de tungstène doivent souvent présenter une excellente résistance à la corrosion et aux températures élevées. Les méthodes suivantes permettent d'obtenir une amélioration synergique de ces deux propriétés :

- **Contrôle de la composition de l'alliage** : ajustez le rapport d'éléments tels que le tungstène, le nickel et le fer, ajoutez des traces d'éléments de terres rares ou des phases de renforcement pour améliorer la stabilité à haute température et la résistance à l'oxydation, tout en améliorant la résistance globale à la corrosion.
- **Modification de surface** : Un revêtement antioxydant à haute température (tel qu'un revêtement céramique), une passivation chimique et une implantation ionique sont utilisés pour améliorer considérablement la résistance à la corrosion de surface et la résistance à la chaleur des anneaux en alliage de tungstène.
- **Technologie de préparation avancée** : utilisez des processus de densification élevés tels que le frittage sous vide et le pressage isostatique à chaud pour réduire la porosité du matériau, inhiber la pénétration de milieux corrosifs et améliorer la stabilité des tissus et la résistance aux hautes températures.

En résumé, les anneaux en alliage de tungstène, grâce à leur résistance exceptionnelle à la corrosion et aux hautes températures, jouent un rôle essentiel dans la protection contre les hautes températures, le blindage nucléaire, l'aérospatiale et l'industrie chimique. Grâce aux progrès de la science des matériaux et de l'ingénierie des surfaces, la résistance à la corrosion et aux hautes températures des anneaux en alliage de tungstène sera encore améliorée pour répondre aux exigences plus strictes des applications futures.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 3 Technologie de préparation de la bague en alliage de tungstène

3.1 Préparation des matières premières pour les bagues en alliage de tungstène et la métallurgie des poudres de base

La fabrication des bagues en alliage de tungstène est essentielle pour garantir leurs excellentes performances et leur qualité stable. La préparation des matières premières et le procédé de métallurgie des poudres constituent la base de l'ensemble du processus de fabrication. Une poudre d'alliage de tungstène de haute qualité et une technologie de métallurgie des poudres scientifique et rationnelle influencent directement la densité, la microstructure, les propriétés mécaniques et la qualité de surface des bagues en alliage de tungstène.

3.1.1 Sélection et préparation des matières premières des bagues en alliage de tungstène

Les bagues en alliage de tungstène sont principalement constituées de poudre de tungstène de haute pureté et d'un liant (généralement des poudres métalliques telles que le nickel, le fer ou le cuivre). La pureté, la granulométrie, la morphologie et la composition chimique des matières premières ont un impact significatif sur les performances du produit final.

- **Préparation de la poudre de tungstène :** La poudre de tungstène est le composant principal des bagues en alliage de tungstène. Les méthodes de préparation courantes incluent la réduction et la précipitation chimique. La méthode de réduction utilise du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstate de sodium pour produire une poudre de tungstène de taille uniforme, souvent sphérique ou subsphérique, ce qui facilite le pressage et le frittage ultérieurs. La précipitation chimique permet d'obtenir une poudre de tungstène ultrafine, adaptée à la fabrication de bagues en alliage de tungstène hautes performances .

- **Poudre de liant pour alliage** : La poudre de nickel et la poudre de fer sont les principaux liants et doivent présenter une grande pureté et une granulométrie uniforme. La poudre de nickel offre d'excellentes propriétés mécaniques et une excellente résistance à la corrosion, tandis que la poudre de fer améliore la dureté et la résistance de l'alliage. La poudre de cuivre est souvent utilisée dans les alliages tungstène-cuivre spécialisés pour améliorer la conductivité thermique.
- **Prétraitement des poudres** : Les poudres de matières premières doivent être tamisées, séchées et mélangées avant utilisation afin d'assurer une granulométrie uniforme et d'éviter l'agglomération et une teneur excessive en humidité. La poudre de tungstène et la poudre de liant sont également mélangées uniformément par des méthodes mécaniques telles que le broyage à boulets afin d'obtenir une dispersion optimale et de favoriser la densification par frittage.

3.1.2 Procédé de base de la métallurgie des poudres

repose principalement sur la technologie de la métallurgie des poudres, comprenant le mélange de poudres, le moulage, le frittage et le pressage isostatique à chaud, entre autres étapes. Ces étapes déterminent la microstructure et les macro-propriétés des bagues en alliage de tungstène.

- **Mélange de poudre** : La poudre de tungstène est dispersée uniformément avec des liants tels que le nickel et le fer par broyage à boulets ou mélange mécanique. L'uniformité du mélange a un impact décisif sur la densité et les performances de l'anneau en alliage de tungstène. Toute oxydation ou contamination excessive de la poudre doit être évitée.
- **Procédé de moulage** : Le moulage consiste à presser une poudre mélangée uniformément pour obtenir la forme souhaitée. Les méthodes courantes incluent le moulage par compression et le pressage isostatique. Le moulage par compression convient aux bagues simples en alliage de tungstène, tandis que le pressage isostatique permet de produire des bagues plus denses et aux formes complexes.
- **Frittage** : Le frittage est l'étape la plus critique du procédé de métallurgie des poudres. Le chauffage provoque la diffusion et la liaison entre les particules de poudre pour former une structure globale dense. Les anneaux en alliage de tungstène sont généralement frittés sous vide à haute température, atteignant 1 400 à 1 600 °C. Cela permet de réduire efficacement les impuretés et d'améliorer la densité et les propriétés mécaniques de l'alliage.
- **Pressage isostatique à chaud (CIC)** : Pour améliorer la densification et les propriétés mécaniques des bagues en alliage de tungstène, les bagues en alliage de tungstène fritté sont souvent soumises à un pressage isostatique à chaud (CIC). Ce procédé utilise une température et une pression élevées pour favoriser la densification du matériau, éliminer la porosité et les défauts internes, et améliorer l'uniformité et la résistance du matériau.

3.1.3 Effet de la métallurgie des poudres sur les propriétés des anneaux en alliage de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le procédé de base de la métallurgie des poudres a un impact profond sur les performances des anneaux en alliage de tungstène. Une conception et un contrôle raisonnés des paramètres du procédé peuvent améliorer considérablement les performances globales du matériau :

- **Densité et résistance** : Les produits issus de la métallurgie des poudres haute densité présentent une résistance mécanique et une ténacité supérieures. La température de frittage et le temps de maintien doivent être contrôlés avec précision pour obtenir une densification optimale.
- **Uniformité de la microstructure** : Le processus uniforme de mélange et de frittage de poudre peut éviter la ségrégation des composants et les irrégularités structurales, et réduire les défauts tels que les fissures et les trous.
- **Qualité de surface et performances de traitement** : une poudre de haute qualité et un processus de moulage raisonnable aident à obtenir des anneaux en alliage de tungstène avec une surface lisse et des dimensions stables, ce qui est pratique pour l'usinage ultérieur et le traitement de surface.

En résumé, la préparation des matières premières et le procédé de métallurgie des poudres des anneaux en alliage de tungstène sont essentiels pour garantir leurs hautes performances et leur longue durée de vie. Grâce au développement de la technologie des nanopoudres, d'équipements de moulage de pointe et d'un contrôle intelligent des procédés, la technologie de préparation des anneaux en alliage de tungstène continuera d'être optimisée pour répondre aux besoins d'applications plus complexes et plus exigeantes.

3.2 Processus de formage d'anneaux en alliage de tungstène (moulage, pressage isostatique, etc.)

La détermination de la forme finale, de la précision dimensionnelle et de la densité interne des bagues en alliage de tungstène est cruciale. Le choix et l'optimisation judicieux des méthodes de formage ont non seulement un impact sur les propriétés mécaniques et la durée de vie du matériau, mais aussi sur l'efficacité de la production et la maîtrise des coûts. Actuellement, le moulage par compression et le pressage isostatique sont les deux techniques de formage les plus couramment utilisées pour les bagues en alliage de tungstène.

3.2.1 Procédé de moulage par compression

Le moulage par compression est une méthode qui utilise un moule spécial pour comprimer la poudre d'alliage de tungstène dans une cavité. Le processus comprend principalement le remplissage de la poudre, le pré-pressage, le pressage final et le démoulage.

- **Remplissage de poudre** : La poudre d'alliage de tungstène pré-mélangée est chargée dans la cavité du moule pour garantir que la poudre est uniformément répartie afin d'éviter une densité inégale du produit fini.
- **Étape de pré-compactage** : Utiliser une pression plus faible pour effectuer un compactage préliminaire sur la poudre afin d'améliorer la stabilité de la poudre et de réduire les défauts

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de moulage.

- **Étape de pressage principale** : Appliquer une pression plus élevée pour compacter complètement la poudre. La pression peut généralement atteindre plusieurs centaines de MPa pour améliorer la densité du corps vert.
- **Démoulage** : Une fois le pressage terminé, le moule doit être soigneusement démoulé afin d'éviter toute fissuration ou déformation de l'ébauche. L'ébauche de bague en alliage de tungstène ainsi formée entrera dans le processus de frittage.

Le moulage par compression présente l'avantage d'un investissement relativement faible en équipements et de procédés d'exploitation éprouvés, ce qui le rend adapté à la production d'anneaux en alliage de tungstène de structures simples et de grandes séries. Cependant, il présente l'inconvénient d'une pression de moulage inégale pouvant entraîner des gradients de densité, affectant les propriétés mécaniques. De plus, le moulage d'anneaux de formes complexes ou à parois fines est plus difficile.

3.2.2 Procédé de pressage isostatique

Le pressage isostatique à froid (NEP) est une méthode de compactage de poudres dans un moule fermé et flexible, par application d'une pression uniforme dans toutes les directions à l'aide d'un liquide ou d'un gaz. Ce procédé comprend l'ensachage de la poudre, son placement dans une presse isostatique, sa pressurisation et son déballage.

- **Ensachage de poudre** : mettez la poudre d'alliage de tungstène mélangée uniformément dans un sac flexible en caoutchouc ou en plastique, en vous assurant qu'il n'y a pas de bulles et de flux de poudre dans le sac.
- **Pressage isostatique** : la poudre ensachée est placée dans une chambre de pressage isostatique et un système hydraulique assure une pression uniforme. La plage de pression est généralement comprise entre 100 et 400 MPa.
- **Déballage** : Après pressurisation et moulage, le sac flexible est retiré et le corps vert formé présente une densité élevée et une densité uniforme.

L'avantage majeur du pressage isostatique réside dans la pression de formage uniforme, qui produit une billette très dense et uniformément répartie. Ce procédé est particulièrement adapté aux bagues en alliage de tungstène aux formes complexes et aux grandes variations d'épaisseur de paroi. Il réduit également efficacement les défauts de formage, améliorant ainsi l'efficacité du frittage et de l'usinage ultérieurs, et la qualité du produit fini.

Effet des paramètres du processus de formage sur les propriétés des anneaux en alliage de tungstène

Les bagues en alliage de tungstène sont affectées par de nombreux paramètres :

- **Pression de moulage** : Plus la pression est élevée, plus la densité du corps vert est élevée, mais une pression trop élevée peut endommager le moule et entraîner un mauvais écoulement de la poudre.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Taille et distribution des particules de poudre** : Une poudre fine et uniformément répartie permet d'obtenir un moulage dense et de réduire les pores et les fissures.
- **Conception du moule** : la structure raisonnable du moule et la conception de décharge de poudre garantissent un remplissage uniforme de la poudre, évitant la concentration de contraintes et le gradient de densité.
- **Vitesse de moulage** : Une vitesse de pressage trop rapide pendant le processus de moulage peut provoquer une agglomération de la poudre et des fissures, la vitesse de pressage doit donc être raisonnablement contrôlée.

3.2.4 Autres technologies de formage auxiliaires

- **à chaud** : Méthode de formage qui combine le chauffage et la pression pour favoriser la diffusion et la liaison entre les particules de poudre, améliorant ainsi la densité et les propriétés mécaniques du corps vert.
- **Formage par laminage** : La poudre d'alliage de tungstène est formée à l'aide d'un équipement de laminage, qui convient à la fabrication de produits tubulaires ou annulaires.
- **Moulage par injection (MIM)** : La technologie de moulage par injection de métal combinée au processus de moulage par injection de plastique convient à la production par lots de haute précision d'anneaux en alliage de tungstène de forme complexe, mais elle présente des exigences élevées en matière d'équipement et de processus.

3.3 Technologie de frittage d'anneaux en alliage de tungstène

Le frittage des anneaux en alliage de tungstène est une étape cruciale du processus de densification des poudres, d'amélioration des propriétés mécaniques et de renforcement de l'intégrité structurelle. Lors du frittage, les poudres de tungstène et de ses alliages sont soumises à des températures élevées, ce qui provoque une liaison par diffusion entre les particules et forme une matrice métallique continue et dense. Celle-ci confère aux anneaux en alliage de tungstène une excellente résistance, dureté et usure. Un frittage de haute qualité influence non seulement la microstructure et la stabilité des performances des anneaux en alliage de tungstène, mais détermine également la durée de vie et la fiabilité du produit final.

3.3.1 Principes de base du processus de frittage

Le frittage est un procédé de traitement thermique qui permet aux particules de poudre de diffuser et de se lier entre elles à des températures inférieures au point de fusion du matériau, formant ainsi un corps solide et dense. Les anneaux en alliage de tungstène sont généralement frittés par frittage en phase solide, qui consiste à lier les particules de poudre à haute température par diffusion à l'état solide et par des réactions physiques et chimiques entre les particules. Ce procédé comprend des étapes telles que l'activation de la surface des particules, la formation du col, la croissance des particules et la fermeture des pores.

Le point de fusion élevé du tungstène (environ 3 422 °C) nécessite des températures de frittage supérieures à 1 800 °C, généralement comprises entre 1 500 °C et 1 800 °C. La température spécifique dépend de la composition de l'alliage et des performances souhaitées. Des paramètres

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tels que la température, la durée et l'atmosphère de frittage ont une influence déterminante sur la densité et la microstructure.

3.3.2 Méthodes de frittage courantes

- **Le frittage sous vide**

utilise un environnement sous vide poussé pour éviter l'oxydation et la contamination par les gaz impurs, contribuant ainsi à préserver la pureté du matériau et à réduire les défauts de surface. Il permet d'améliorer la densité et les propriétés mécaniques des anneaux en alliage de tungstène et constitue une technique de frittage couramment utilisée en production industrielle.

- **Le frittage en atmosphère réductrice d'hydrogène**

exploite les propriétés réductrices de l'atmosphère d'hydrogène pour éliminer la couche d'oxyde à la surface de la poudre, favoriser la liaison par diffusion entre les particules, abaisser la température de frittage et améliorer la structure et les propriétés de l'alliage. Cependant, la pureté et le débit de l'hydrogène doivent être strictement contrôlés afin d'éviter des phénomènes indésirables tels que la fragilisation par l'hydrogène.

- **Le frittage sous atmosphère inerte**

utilise des gaz inertes tels que l'argon et l'azote pour protéger l'environnement de frittage, prévenir l'oxydation et améliorer la qualité de surface de l'alliage. Il convient aux bagues complexes en alliage de tungstène soumises à des exigences élevées en matière d'atmosphère.

- **Le pressage isostatique à chaud (HIP)**

combine frittage à haute température et sous pression isostatique pour favoriser la fermeture des pores et l'homogénéisation microstructurale par pression appliquée, améliorant ainsi considérablement la densité et les propriétés mécaniques des bagues en alliage de tungstène. La technologie HIP est adaptée à la fabrication de bagues en alliage de tungstène hautes performances et haute fiabilité.

Effet des paramètres du processus de frittage sur les propriétés des bagues en alliage de tungstène

- **Contrôle de la température :**

une température trop basse entraîne une diffusion insuffisante, ce qui réduit la densité et la résistance ; une température trop élevée favorise le grossissement des grains, réduisant ainsi la ténacité et la résistance à l'usure. Un contrôle raisonnable de la température est essentiel pour garantir la qualité du frittage.

- **Le temps de maintien**

assure une diffusion suffisante entre les particules et la fermeture des pores, mais un temps de maintien trop long peut entraîner une croissance des grains et une dégradation structurelle.

- **Taux de chauffage et de refroidissement**

Un taux de chauffage approprié peut réduire les contraintes thermiques et la déformation et empêcher la fissuration de l'ébauche ; le taux de refroidissement affecte la stabilité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

structurale et la libération des contraintes internes.

- **Sélection et pureté de l'atmosphère**

: Une protection atmosphérique appropriée empêche l'oxydation et la décarburation et maintient la pureté du matériau et la qualité de la surface.

3.3.4 Défauts de frittage et contrôle qualité

Les défauts de frittage courants comprennent la porosité, les fissures, les inclusions et l'hétérogénéité des grains. Ces défauts peuvent réduire les propriétés mécaniques et la durabilité des anneaux en alliage de tungstène. L'optimisation de la qualité de la poudre, le contrôle strict des paramètres de frittage et l'adoption de technologies de frittage auxiliaires (telles que le frittage isostatique à chaud et le frittage par pressage à chaud) permettent de réduire efficacement les défauts et d'améliorer la régularité du produit.

3.4 Usinage de précision des bagues en alliage de tungstène

L'usinage des bagues en alliage de tungstène est une étape cruciale pour la transformation des ébauches en alliage de tungstène fritté en formes et dimensions finies répondant aux exigences de conception. En raison de la densité, de la dureté, du point de fusion et de la faible plasticité élevés des alliages de tungstène, leur usinage est complexe et requiert des techniques et des paramètres de processus spécifiques pour garantir la qualité, améliorer l'efficacité de la production et prolonger la durée de vie des outils.

3.4.1 Défis de l'usinage des bagues en alliage de tungstène

- **Les anneaux en alliage de tungstène présentent une dureté élevée**
après frittage, ce qui peut facilement entraîner l'usure et la rupture des outils. Cependant, ce matériau est très cassant, ce qui peut facilement provoquer des fissures et un affaissement des bords lors de l'usinage. Il est donc essentiel d'éviter les efforts de coupe excessifs et les contraintes thermiques.
- **Une densité élevée entraîne une charge d'usinage élevée**
. La densité élevée de l'alliage de tungstène (généralement 17-19 g/cm³) augmente la charge de coupe, et les équipements et outils d'usinage doivent présenter une rigidité et une durabilité élevées.
- **Faible conductivité thermique et accumulation de chaleur facile**
. L'alliage de tungstène présente une faible conductivité thermique. La chaleur générée lors de l'usinage est difficile à dissiper rapidement, ce qui peut facilement entraîner une surchauffe de la surface de la pièce et de l'outil, provoquant ainsi une déformation et une détérioration de la qualité de surface.

3.4.2 Principaux procédés d'usinage des bagues en alliage de tungstène

- **L'ébauche et la finition**
sont généralement réalisées en premier pour éliminer la majeure partie de la matière excédentaire, puis la finition pour obtenir la précision dimensionnelle et l'état de surface

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

requis. L'ébauche utilise des paramètres de coupe plus larges pour garantir l'efficacité, tandis que la finition nécessite un réglage précis des paramètres pour réduire les efforts de coupe et les effets thermiques.

- **Le tournage**

est une méthode courante pour l'usinage des bagues en alliage de tungstène et convient à l'usinage de cercles intérieurs et extérieurs. Des outils en carbure ou diamantés sont utilisés en combinaison avec des fluides de refroidissement et de lubrification, et la vitesse de coupe et l'avance sont contrôlées pour obtenir une qualité de surface et une précision dimensionnelle optimales.

- **La rectification**

est utilisée pour le dimensionnement et le traitement de surface de haute précision des bagues en alliage de tungstène. Elle est particulièrement adaptée aux surfaces courbes complexes et aux petites dimensions difficiles à usiner. Les meules diamantées sont souvent utilisées comme outils de rectification, associées à des systèmes de refroidissement efficaces pour éviter la surchauffe de la pièce.

- **L'usinage par électroérosion (EDM)**

est adapté aux bagues en alliage de tungstène aux formes complexes et aux zones difficiles à usiner. Il permet d'obtenir une grande précision et une bonne qualité de surface, et est moins dépendant de la dureté du matériau. Cependant, sa vitesse d'usinage est lente, ce qui en fait une technologie d'usinage auxiliaire idéale.

- **Le polissage**

est un procédé important pour améliorer la finition de surface des bagues en alliage de tungstène. Il est souvent utilisé pour améliorer la résistance à la corrosion et l'aspect de surface. Des techniques de polissage mécanique, chimique et électrolytique peuvent être appliquées. La méthode appropriée est choisie en fonction des exigences de la pièce.

3.4.3 Paramètres de traitement clés et optimisation du processus

- **La vitesse de coupe**

est généralement contrôlée à une vitesse de coupe inférieure dans la plage de 30 à 100 m/min pour réduire l'usure de l'outil et la température de la pièce.

- **Avance et profondeur de coupe :**

l'avance doit être modérée pour éviter une force de coupe excessive. La profondeur de coupe est généralement faible pour garantir la qualité de surface et la stabilité dimensionnelle de la pièce.

- **de refroidissement et**

de lubrification, une grande quantité de liquide de refroidissement ou de gaz de refroidissement est utilisée pour améliorer l'efficacité de la dissipation thermique, réduire les contraintes thermiques et l'usure des outils et prolonger la durée de vie des outils.

- **La sélection des matériaux des outils**

utilise principalement des outils diamantés, des outils en nitrure de bore cubique (CBN) ou des outils en carbure, en tenant compte à la fois de la dureté et de la ténacité pour garantir l'effet de coupe.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4.4 Contrôle de la qualité et inspection du traitement

- **Les tests de précision dimensionnelle**
utilisent des équipements de mesure de haute précision tels que des machines à mesurer tridimensionnelles (MMT), des jauges de diamètre interne et des micromètres de diamètre externe pour garantir que les dimensions et la coaxialité répondent aux exigences de conception.
- **L'inspection de la qualité de surface**
utilise un rugosimètre de surface et un microscope pour détecter la texture et les défauts de surface afin de garantir que la surface traitée est exempte de fissures et d'écaillages et atteint la douceur requise.
- **La détection des défauts internes**
combine la technologie des tests non destructifs (ultrasons, rayons X, etc.) pour détecter de nouvelles fissures ou défauts internes pendant le processus de traitement afin de garantir l'intégrité structurelle.

3.5 Technologie de traitement de surface et d'amélioration des performances des bagues en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène, grâce à leur densité élevée, leur résistance élevée et leur résistance aux températures élevées, sont largement utilisés dans l'aérospatiale, l'armée, l'énergie nucléaire et les machines haut de gamme. Pour améliorer encore leurs performances globales, notamment leur résistance à l'usure, à la corrosion et leur durée de vie, le traitement de surface est devenu une étape clé. Grâce à des procédés de modification de surface appropriés, non seulement la qualité de surface des anneaux en alliage de tungstène peut être améliorée, mais aussi leurs propriétés mécaniques et leur adaptabilité environnementale.

3.5.1 Principaux objectifs du traitement de surface des bagues en alliage de tungstène

- **Amélioration de la résistance à l'usure :**
les bagues en alliage de tungstène sont soumises à une forte usure superficielle dans les environnements à frottement élevé et à fort impact. L'utilisation d'un revêtement dur ou d'une technologie de durcissement superficiel peut prolonger efficacement leur durée de vie.
- **Résistance accrue à la corrosion.**
Dans les environnements nucléaires et chimiques, les anneaux en alliage de tungstène peuvent être endommagés par l'oxydation, la corrosion ou les radiations. La couche protectrice de surface peut former une barrière protectrice stable pour empêcher la détérioration du matériau de base.
- **Améliorez la rugosité de surface et la stabilité dimensionnelle**
grâce au polissage, au meulage et à d'autres processus pour obtenir une finition de surface plus élevée, réduire le coefficient de frottement, améliorer les performances d'étanchéité et la précision de l'assemblage.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Améliorer l'adhérence et la force de liaison de l'interface**

Le prétraitement de surface renforce la liaison entre le revêtement et le substrat, empêchant le revêtement de se décoller ou de se fissurer.

3.5.2 Technologie typique de traitement de surface des bagues en alliage de tungstène

- **Le polissage et la rectification mécaniques**

éliminent les oxydes et les imperfections de surface grâce à des méthodes mécaniques telles que le meulage et le polissage à la meule, afin d'obtenir une surface uniforme et lisse. Ils permettent d'améliorer la rugosité de surface et de préparer les surfaces aux traitements ultérieurs.

- **Le polissage et le décapage chimiques**

utilisent des réactifs chimiques spécifiques pour éliminer les oxydes et les impuretés de surface, formant une couche de surface uniforme et dense tout en améliorant la propreté de la surface.

- **Technologie de galvanoplastie :**

les bagues en alliage de tungstène sont souvent revêtues de métaux tels que le nickel et le chrome électrolytique pour améliorer la résistance à l'usure et à la corrosion. Le contrôle de l'épaisseur et de l'uniformité du revêtement est crucial pour garantir le respect des tolérances dimensionnelles.

- **Le dépôt physique en phase vapeur (PVD) et le dépôt chimique en phase vapeur (CVD)**

utilisent une technologie de dépôt par évaporation ou par réaction chimique dans un environnement sous vide pour former un revêtement céramique dur (tel que TiN , CrN , TiC , etc.) sur la surface des anneaux en alliage de tungstène, améliorant considérablement la dureté de surface et la résistance à l'usure.

- **Le revêtement de surface au laser et la modification de la fusion**

utilisent un faisceau laser à haute énergie pour revêtir localement ou solidifier rapidement la surface de l'anneau en alliage de tungstène afin de former une couche dense résistante à l'usure, améliorant ainsi la force de liaison de surface et la résistance à la corrosion.

- **La projection plasma**

utilise du plasma à haute température pour pulvériser de la poudre métallique ou céramique afin de préparer des revêtements fonctionnels, permettant ainsi d'obtenir de multiples améliorations de performances en termes de résistance aux hautes températures, de résistance à la corrosion et de résistance à l'usure.

3.5.3 Mécanisme d'amélioration des performances de la technologie d'amélioration de surface

- **Amélioration de la dureté :**

grâce à un revêtement dur ou à un alliage de surface, la dureté de surface des anneaux en alliage de tungstène peut être considérablement améliorée, améliorant ainsi la résistance aux rayures et à la fatigue.

- **Le revêtement barrière résistant à la corrosion**

forme un film protecteur dense et stable, isolant l'oxygène, l'humidité et les milieux corrosifs, et retardant la corrosion du substrat.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **L'effet antifriction**
optimise la rugosité de la surface et le coefficient de frottement du revêtement, réduit le frottement et l'usure entre les pièces mobiles et améliore l'efficacité mécanique.
- **Stabilité thermique améliorée :**
grâce à un revêtement résistant à l'usure à haute température et à une modification de surface, la stabilité et la durée de vie des anneaux en alliage de tungstène dans les environnements à haute température sont améliorées.

3.5.4 Contrôle du processus de traitement de surface et inspection de la qualité

- **L'optimisation des paramètres du processus**
comprend la sélection du matériau de revêtement, la température de dépôt, la pression, le temps et le processus de post-traitement pour garantir que l'uniformité du revêtement, l'adhérence et les propriétés physiques et chimiques répondent aux exigences.
- **Les tests de rugosité de surface**
utilisent des équipements tels qu'un rugosimètre et un microscope électronique à balayage (MEB) pour évaluer la planéité et les défauts de la surface.
- **Les tests d'épaisseur et d'adhérence du revêtement**
garantissent la qualité du revêtement grâce à une analyse de micro-section, des tests de rayures et des tests d'adhérence à la traction.
- **Les tests de résistance à l'usure et à la corrosion**
utilisent des machines d'essai de frottement et d'usure, des tests au brouillard salin, etc. pour simuler les conditions de travail réelles et vérifier l'effet du traitement de surface.

3.5.5 Tendances de développement futures

- **La technologie de traitement de surface verte et respectueuse de l'environnement**
adopte un processus de traitement de surface inoffensif à faible pollution et à faible consommation d'énergie, conforme aux réglementations en matière de protection de l'environnement.
- **Des processus intelligents et précis**
utilisent le contrôle numérique et la surveillance en ligne pour obtenir une optimisation intelligente et une traçabilité de la qualité des processus de traitement de surface.
- **La technologie de revêtement à gradient fonctionnel**
permet un changement progressif des performances du revêtement du substrat à la surface, en tenant compte à la fois de la force de liaison et de la fonctionnalité de la surface.
- **Le développement de nano-revêtements composites**
combine plusieurs nanomatériaux pour préparer des revêtements composites hautes performances afin de répondre à des exigences de service plus exigeantes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

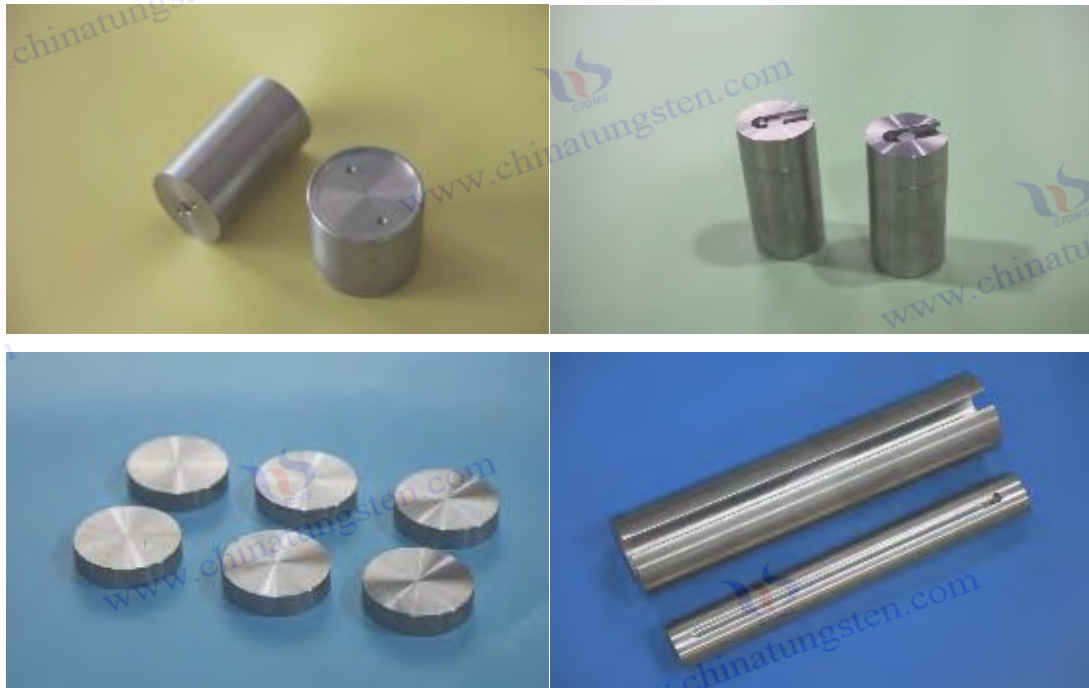
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Chapitre 4 Méthodes d'inspection et de caractérisation de la qualité des bagues en alliage de tungstène

4.1 Essais de précision dimensionnelle et géométrique des bagues en alliage de tungstène

En tant que composants structurels et fonctionnels hautes performances, un contrôle rigoureux de la précision dimensionnelle et géométrique est essentiel pour garantir que les bagues en alliage de tungstène répondent aux exigences de conception et maintiennent des performances stables dans les applications pratiques. En raison de la densité élevée, de la dureté élevée et des caractéristiques difficiles à usiner de l'alliage de tungstène, un contrôle dimensionnel et géométrique précis est crucial pour l'optimisation des processus et le contrôle qualité.

4.1.1 Importance de l'inspection dimensionnelle

- **en alliage**
de tungstène sont souvent utilisées dans les machines haut de gamme, l'énergie nucléaire et l'aérospatiale. La précision des diamètres intérieur et extérieur, ainsi que de l'épaisseur et de la largeur de la bague, influence directement la précision de l'assemblage et la sécurité opérationnelle.
- **Contrôle des erreurs de fabrication et des déformations.**
L'alliage de tungstène est sujet aux contraintes et aux déformations lors de son usinage. Le contrôle dimensionnel permet de détecter et de corriger rapidement les écarts, évitant ainsi les problèmes de qualité lors des processus ultérieurs.
- **Améliorez la cohérence et la stabilité des produits**
Grâce à des tests dimensionnels standardisés, obtenez une qualité de produit contrôlable et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cohérente dans la production de masse.

4.1.2 Contenu du test de précision géométrique

- **Les diamètres intérieur et extérieur**
de la bague en alliage de tungstène sont mesurés à l'aide d'une jauge de diamètre intérieur de haute précision, d'un micromètre extérieur ou d'une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT) pour garantir que les dimensions respectent les tolérances de conception.
- **L'uniformité de l'épaisseur de paroi**
mesure l'épaisseur de la paroi de l'anneau pour garantir que l'épaisseur de la paroi est uniformément répartie dans la plage de conception, évitant ainsi une résistance insuffisante ou une concentration de contrainte causée par une épaisseur locale inégale.
- **Les tests de rondeur et de concentricité**
utilisent un appareil de mesure de rondeur et une machine de mesure de coordonnées tridimensionnelles pour évaluer la rondeur et la concentricité des diamètres intérieur et extérieur de la bague en alliage de tungstène afin de garantir la précision circulaire et la stabilité structurelle de la bague.
- **Le test de planéité et de perpendicularité des faces d'extrémité**
vérifie si les deux faces d'extrémité de la bague sont parallèles et si la perpendicularité entre la face d'extrémité et l'axe du corps de la bague répond aux exigences pour garantir les performances d'installation et d'étanchéité.

4.1.3 Principaux équipements et technologies d'essai

- **La machine à mesurer tridimensionnelle (MMT) permet de mesurer avec une grande précision toutes les dimensions et formes géométriques**
des anneaux en alliage de tungstène. Les données peuvent être stockées numériquement pour un suivi qualité aisé.
- **Les profilomètres optiques et les scanners laser**
utilisent une technologie de mesure sans contact pour obtenir le profil de surface et la morphologie des anneaux en alliage de tungstène, qui conviennent à la mesure de surfaces complexes et de petites déformations.
- **Les jauges de diamètre intérieur et les micromètres de diamètre extérieur sont**
des outils de mesure de précision traditionnels, adaptés à la détection de taille courante. Ils sont faciles à utiliser et permettent une inspection rapide en atelier.
- **Les testeurs de rondeur et les instruments de mesure de forme**
sont spécialement utilisés pour tester la rondeur, la concentricité et la planéité afin de garantir la précision géométrique des anneaux en alliage de tungstène.

4.1.4 Processus de test et contrôle qualité

1. **Préparation de la pièce**
: Nettoyez la surface de la bague en alliage de tungstène pour éliminer l'huile et les impuretés afin d'éviter d'affecter la précision de la mesure.
2. **Conception de plans de mesure :**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Élaborer des plans d'inspection basés sur des dessins de conception et déterminer les dimensions clés et les exigences de tolérance.

3. **Collecte de données**

Utilisez un équipement de mesure approprié pour mesurer les dimensions et la géométrie et collecter des données détaillées.

4. **Analyse des données et jugement :**

une analyse statistique est effectuée sur les résultats de mesure pour déterminer s'ils répondent aux spécifications de conception et de processus.

5. **Retour d'information et ajustement de la qualité :**

Retour d'information sur la ligne de production en fonction des résultats des tests pour ajuster les paramètres de traitement et optimiser le processus de fabrication.

4.1.5 Problèmes courants et solutions

- **L'écart dimensionnel causé par la déformation du traitement**

est résolu en adoptant un support de fixation raisonnable et un traitement étape par étape pour réduire les contraintes de traitement.

- **Sources d'erreur de mesure**

Assurez-vous que la température de l'environnement de mesure est stable, étalonnez l'équipement de mesure et sélectionnez une méthode de mesure appropriée.

- **La rugosité de la surface affecte la précision des mesures**

. Améliorez la précision des mesures en polissant et en nettoyant la surface.

4.2 Méthode d'analyse de la composition d'une bague en alliage de tungstène

détermine directement leurs propriétés physiques et mécaniques clés, ainsi que leur résistance à la corrosion. Par conséquent, une analyse précise et complète est essentielle pour garantir une qualité stable et d'excellentes performances. Cet article présente de manière systématique les techniques d'analyse de composition couramment utilisées pour les bagues en alliage de tungstène et leurs caractéristiques d'application.

4.2.1 Importance de l'analyse des ingrédients

- **Assurez-vous de l'exactitude de la formule. Les performances des**

anneaux en alliage de tungstène dépendent d'un ratio raisonnable de tungstène (W), de nickel (Ni), de fer (Fe) et d'autres éléments. Une analyse précise de la composition permet de vérifier la bonne application de la formule de l'alliage.

- **Contrôle des impuretés :**

Une teneur excessive en éléments tels que l'oxygène (O), le carbone (C), le soufre (S), etc., affecte gravement la densité et les propriétés mécaniques du matériau. L'analyse de la composition permet de détecter et de contrôler les niveaux d'impuretés.

- **Guider l'optimisation du processus**

grâce à l'analyse des changements de composition pour guider l'ajustement des paramètres du processus tels que la préparation de la poudre, le frittage et le traitement thermique afin

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'obtenir une amélioration des performances.

4.2.2 Techniques d'analyse de composition couramment utilisées

1. Spectroscopie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES)

- **Principe :**

Une fois l'échantillon dissous, le plasma est utilisé pour exciter les éléments afin d'émettre des spectres caractéristiques, et la teneur en éléments est déterminée en analysant l'intensité spectrale.

- **Avantages :**

Haute sensibilité de détection, capable de déterminer plusieurs éléments simultanément, particulièrement adapté à l'analyse précise des traces d'impuretés et des éléments principaux.

- **Application :**

Convient pour la détection quantitative du tungstène, du nickel, du fer et des éléments d'impureté dans les anneaux en alliage de tungstène, largement utilisé dans le contrôle qualité et la vérification des formules.

2. Spectromètre de fluorescence X (XRF)

- **Principe :**

Des rayons X sont utilisés pour exciter l'échantillon, et l'intensité des rayons X fluorescents caractéristiques émis par les éléments est mesurée pour déterminer le type et le contenu des éléments.

- **Avantages**

: Pas besoin de dissoudre l'échantillon, détection rapide, adapté à l'analyse non destructive d'échantillons solides.

- **Application :**

Utilisé pour détecter rapidement les principaux éléments d'alliage et leur teneur approximative dans les anneaux en alliage de tungstène, adaptés à une analyse rapide sur site ou dans les lignes de production.

3. Analyseur d'oxygène, d'azote et d'hydrogène (ONH)

- **Principe :**

La méthode de combustion à haute température ou de pyrolyse est utilisée pour mesurer la teneur en oxygène, en azote et en hydrogène de l'échantillon.

- **Avantages :**

Il peut déterminer avec précision les éléments d'impuretés difficiles à contrôler et garantir la pureté et les performances stables de l'alliage.

- **Application**

: Détectez la teneur en oxygène, azote, hydrogène et autres impuretés dans les anneaux en alliage de tungstène pour éviter que les performances du matériau ne soient réduites en raison des impuretés.

4. Microanalyse par sonde électronique (EPMA)

- **Principe :**

L'échantillon est excité par un faisceau d'électrons et les rayons X caractéristiques émis

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sont analysés pour obtenir la distribution des éléments et des informations sur le contenu dans la micro-zone.

- **Avantages :**
Haute résolution spatiale, capable de détecter la composition locale et la distribution inégale des éléments.
- **Application :**
Il est utilisé pour étudier la distribution microscopique des éléments d'alliage et le degré d'alliage dans les anneaux en alliage de tungstène.

5. Spectrométrie de masse (comme ICP-MS)

- **Principe :**
En ionisant les éléments de l'échantillon et en mesurant la masse des ions, la teneur en éléments est analysée quantitativement avec une sensibilité extrêmement élevée.
- **Avantages**
: Détecte les éléments à concentration extrêmement faible et convient à l'analyse des traces d'impuretés.
- **Application :**
Utilisé pour la détection d'éléments traces dans les anneaux en alliage de tungstène de haute pureté afin de garantir la pureté du matériau.

4.2.3 Processus d'analyse des composants

1. **Préparation des échantillons**
Conformément aux exigences de la méthode d'essai, les échantillons d'anneaux en alliage de tungstène sont prétraités par découpe, meulage, dissolution ou écrasement pour garantir que l'échantillon est uniforme et répond aux normes d'analyse.
2. **L'étalonnage de l'instrument**
utilise des échantillons standard ou des solutions d'étalonnage pour étalonner l'instrument afin de garantir des résultats de test précis et fiables.
3. **Collecte de données**
Collectez des données quantitatives ou qualitatives sur les éléments selon des procédures de test standard.
4. **Le traitement des données et l'analyse des résultats**
sont utilisés pour corriger et calculer les données collectées et évaluer si la composition répond aux spécifications en fonction des exigences de conception de l'alliage.
5. **Génération de rapports et retour d'information sur la qualité**
Générez des rapports de test détaillés comme base pour les ajustements de production et le contrôle qualité.

4.2.4 Défis et considérations liés à l'analyse des ingrédients

- **Représentativité des échantillons :**
Étant donné que la composition matérielle des anneaux en alliage de tungstène peut présenter des différences locales, un échantillonnage multipoint est nécessaire pour garantir la représentativité des résultats d'analyse.
- **Limite de détection et sensibilité**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

: Des instruments à haute sensibilité sont nécessaires pour la détection d'éléments d'impureté à l'état de traces afin d'éviter tout écart de données.

- **L'impact de la préparation des échantillons sur les résultats**

Une dissolution incomplète ou une contamination des échantillons affectera la précision des résultats et le processus de préparation doit être strictement contrôlé.

4.3 Essai des propriétés mécaniques d'une bague en alliage de tungstène

Les bagues en alliage de tungstène sont directement liées à leur fiabilité et à leur durée de vie dans divers environnements exigeants et de haute intensité. Par conséquent, des tests systématiques et complets des propriétés mécaniques constituent une étape clé pour évaluer la qualité et les performances des bagues en alliage de tungstène. Cette section se concentre sur les éléments, les méthodes et les normes de test des propriétés mécaniques couramment utilisés pour les bagues en alliage de tungstène.

4.3.1 Importance des propriétés mécaniques des anneaux en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène sont généralement utilisés dans les secteurs de l'industrie nucléaire, de l'industrie militaire, de l'aérospatiale et de la fabrication de machines haut de gamme. Ces applications exigent des propriétés mécaniques très élevées des matériaux, telles que la résistance, la ténacité, la dureté, etc. Les tests de propriétés mécaniques permettent :

- Confirmer si la bague en alliage de tungstène répond aux conditions de conception ;
- Comprendre le comportement de déformation et de rupture des matériaux dans différents environnements ;
- Guider l'optimisation du processus de préparation des matériaux et améliorer les performances globales ;
- Assurer la sécurité et la stabilité du produit.

4.3.2 Principaux éléments de test des propriétés mécaniques

1. La résistance à la traction

mesure la capacité portante maximale d'un matériau sous charge de traction, reflétant la capacité de l'anneau en alliage de tungstène à résister à la rupture.

- o Méthode d'essai : Utiliser une machine d'essai de traction standard conforme à la norme ASTM E8 ou GB/T 228 et à d'autres spécifications.
- o Préparation des échantillons : Selon les caractéristiques de la structure annulaire, des échantillons pliés et étirés ou des segments d'anneau coupés sont souvent utilisés pour préparer les échantillons.

2. La limite d'élasticité

indique la valeur de contrainte à laquelle un matériau commence à subir une déformation plastique. C'est un indicateur clé utilisé dans les calculs de marge de sécurité de conception.

- o La norme d'essai est la même que celle de la résistance à la traction et est déterminée par la limite d'élasticité dans la courbe de traction.

3. La ténacité à la rupture

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mesure la capacité des anneaux en alliage de tungstène à résister à la propagation des fissures et reflète la ténacité et le comportement à la rupture du matériau.

- o Méthode d'essai : Les essais de ténacité à la rupture sont effectués à l'aide d'éprouvettes de flexion à trois points ou de traction compacte conformément à la norme ASTM E399.
- o Application : Particulièrement adapté à l'évaluation des performances de sécurité des anneaux en alliage de tungstène en présence d'impact ou de fissures.

4. La dureté

caractérise la capacité d'une surface de matériau à résister à la déformation plastique et est généralement testée à l'aide de la dureté Rockwell (HR), de la dureté Vickers (HV) ou de la dureté Brinell (HB).

- o Equipement d'essai : testeur de dureté ou testeur de microdureté.
- o Les bagues en alliage à haute dureté présentent généralement une excellente résistance à l'usure et aux rayures.

5. La ténacité aux chocs

teste la capacité du matériau à absorber l'énergie sous une charge d'impact et évalue la résistance du matériau aux dommages causés par les impacts.

- o Norme d'essai : L'essai d'impact Charpy (ASTM E23) est utilisé et des échantillons appropriés doivent être spécialement conçus.

6. La résistance à la fatigue

évalue la durabilité des anneaux en alliage de tungstène sous des charges cycliques répétées.

- o Méthode d'essai : Utiliser une machine d'essai de fatigue pour effectuer des essais de fatigue en flexion rotative ou en traction et compression.
- o anneaux en alliage utilisés dans des environnements de vibrations ou de charges alternées.

4.3.3 Processus de test des propriétés mécaniques

1. Préparation des échantillons : En raison de leur forme spéciale,

les anneaux en alliage de tungstène doivent être coupés ou transformés en échantillons de taille standard en fonction des éléments de test pour garantir la validité et la comparabilité des résultats de test.

2. L'étalonnage et le contrôle de l'état des équipements

utilisent des équipements de test conformes aux normes et effectuent des tests à température ambiante ou à température spécifiée pour éviter que les facteurs environnementaux n'affectent les résultats.

3. L'acquisition et le traitement des données

enregistrent les courbes contrainte-déformation, l'énergie d'impact et d'autres données en temps réel, et calculent les indicateurs de performance à l'aide de méthodes standard.

4. Évaluation et rapport des résultats

: Analysez les données de test pour déterminer si elles répondent aux exigences de conception ou aux normes de l'industrie et émettez un rapport de test détaillé.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.4 Normes et spécifications

des bagues en alliage de tungstène se réfèrent principalement aux normes internationales et nationales suivantes :

- **normes ASTM**
 - o ASTM E8 (essai de traction)
 - o ASTM E23 (essai d'impact)
 - o ASTM E399 (ténacité à la rupture)
- **Norme GB/T**
 - o GB/T 228 (Méthodes d'essai de traction pour matériaux métalliques)
 - o GB/T 229 (Méthode d'essai d'impact)
 - o GB/T 6396 (test de ténacité à la rupture)
- **normes ISO**
 - o ISO 6892 (Essai de traction des métaux)
 - o ISO 148-1 (essai de choc)

4.3.5 Défis particuliers des essais de propriétés mécaniques

- **La préparation des échantillons est complexe.**

Les anneaux en alliage de tungstène présentent des formes complexes et une dureté élevée, et leur transformation en échantillons standard nécessite des équipements et des procédés de haute précision.
- **Les équipements de test pour les matériaux à haute densité nécessitent que**

les alliages de tungstène aient une densité élevée et des charges d'essai élevées , et que l'équipement ait des propriétés mécaniques suffisantes.
- **Essais de performance à haute température**

Étant donné que les anneaux en alliage de tungstène sont souvent utilisés dans des environnements à haute température, les tests de performance mécanique à haute température nécessitent des systèmes de chauffage et de contrôle spéciaux.

4.4 Microstructure et détection des défauts de l'anneau en alliage de tungstène

La microstructure et les défauts des anneaux en alliage de tungstène sont des facteurs clés qui influencent leurs propriétés mécaniques, leur résistance à la corrosion et leur durée de vie. L'observation de la microstructure et la détection des défauts permettent de mieux comprendre les caractéristiques structurelles internes du matériau et les problèmes de qualité potentiels, guidant ainsi l'optimisation des procédés et le contrôle qualité. Les méthodes d'analyse de la microstructure et les techniques de détection des défauts pour les anneaux en alliage de tungstène sont détaillées ci-dessous.

4.4.1 Importance de la microstructure des anneaux en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène sont composés de particules de tungstène haute densité et de métaux de liaison tels que le nickel et le fer. L'uniformité de la microstructure, la granulométrie et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la qualité de la liaison à l'interface influencent directement la résistance mécanique et la durabilité.
Une bonne microstructure se manifeste par :

- Les particules de tungstène sont petites et uniformément réparties ;
- La phase de liaison est continue et étroitement liée ;
- Il n'y a pas de défauts internes évidents tels que des trous et des fissures.

L'analyse microstructurale permet d'évaluer le degré de densification par frittage, les effets du traitement thermique et la stabilité du matériau.

4.4.2 Méthode d'analyse de la microstructure

1. Observation par microscopie optique (MO)

- o L'observation a été réalisée sur des tranches d'échantillons après meulage, polissage et traitement de corrosion.
- o particules de tungstène, l'uniformité de la phase liante et la porosité peuvent être identifiées.
- o Souvent utilisé pour l'évaluation macro-organisationnelle préliminaire.

2. Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)

- o Observation haute résolution des détails microstructuraux de l'anneau en alliage de tungstène.
- o Les limites des particules, les états de liaison des interfaces et les minuscules défauts peuvent être observés.
- o La spectroscopie dispersive en énergie (EDS) peut être utilisée pour analyser la distribution des composants et identifier les impuretés et les secondes phases.

3. Test de diffraction des rayons X (DRX)

- o Utilisé pour analyser la structure cristalline et la composition de phase des matériaux.
- o Déterminer l'état de solution solide et le changement de phase du tungstène et d'autres éléments.
- o Aide à déterminer les effets du traitement thermique et du frittage des matériaux.

4. Microscopie électronique à transmission (MET)

- o des structures à l'échelle nanométrique et des joints de grains.
- o Convient pour l'étude des micro-défauts et de la distorsion du réseau des anneaux en alliage de tungstène.

4.4.3 Technologie de détection des défauts

1. Inspection optique

- o Les macro-défauts tels que les fissures et les trous de surface et proches de la surface sont découverts au microscope.

2. Contrôle par ultrasons (UT)

- o Les ondes ultrasonores peuvent pénétrer les matériaux pour détecter les défauts internes tels que les pores et les fissures.
- o Convient aux tests non destructifs des anneaux en alliage de tungstène à parois épaisses.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. **Radiographie/tomodensitométrie (TDM)**

- o Détection très sensible des pores, inclusions et fissures à l'intérieur des matériaux.
- o Il peut réaliser une imagerie tridimensionnelle des défauts et localiser avec précision la taille et la position du défaut.

4. **Essais par particules magnétiques (MT)**

- o Détection de fissures superficielles et souterraines.
- o dépistage des défauts des anneaux magnétiques en alliage de tungstène.

5. **Essais de ressuage (ES)**

- o Détecter les microfissures et les trous de surface, en particulier dans les matériaux non magnétiques.
- o Simple et rapide, mais convient uniquement aux défauts de surface.

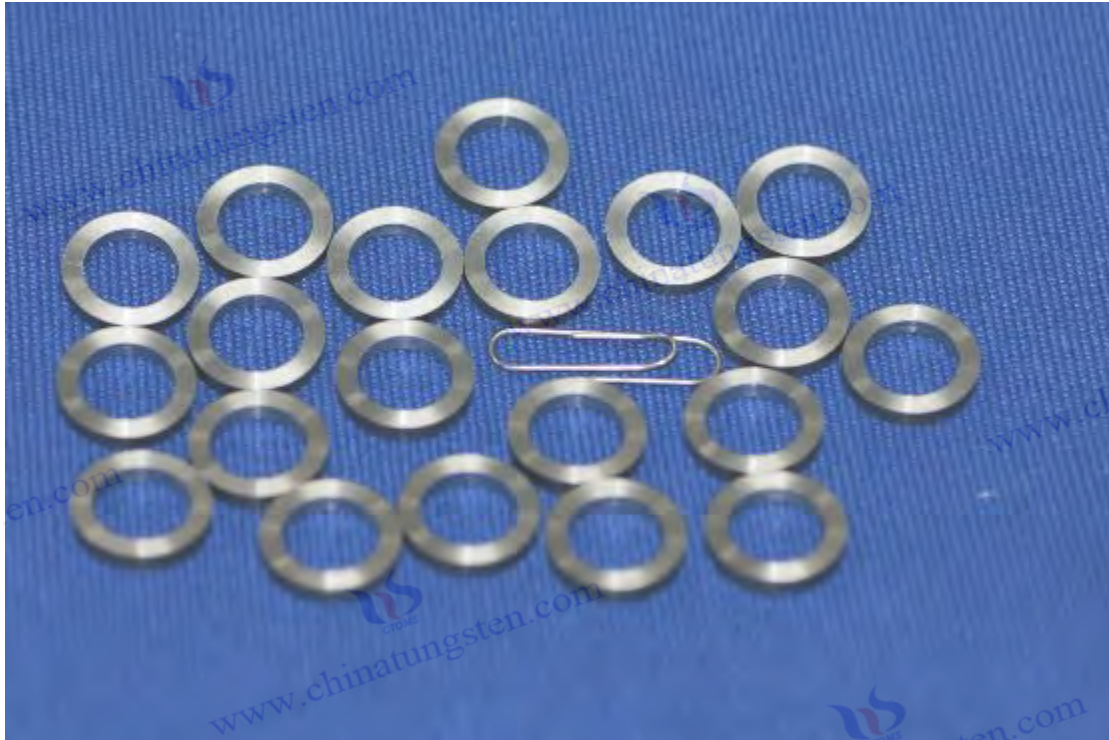
4.4.4 **Effets de la microstructure et des défauts sur les performances**

- **Porosité et fissures** : réduisent la densité du matériau, deviennent des points de concentration de contraintes et conduisent facilement à une fracture par fatigue et à une perte de résistance.
- **Agglomération et distribution inégale des particules** : entraînent des propriétés mécaniques locales inégales et réduisent la cohérence des performances globales.
- **Mauvaise liaison d'interface** : affecte l'efficacité du transfert de charge et réduit la résistance et la ténacité.
- **Précipitation d'impuretés et de phases secondaires** : Peut provoquer de la corrosion et une dégradation des performances.

4.4.5 **Recommandations en matière de contrôle qualité et d'optimisation des processus**

- Optimiser les processus de préparation et de mélange des poudres pour garantir une composition uniforme.
- Contrôler la température et le temps de frittage pour améliorer le niveau de densification.
- Utiliser un processus de traitement thermique approprié pour améliorer la microstructure et la liaison de l'interface.
- Renforcer les contrôles non destructifs pour détecter et éliminer les défauts en temps opportun.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 5 Technologie d'application et cas des bagues en alliage de tungstène

5.1 Application des anneaux en alliage de tungstène dans l'aérospatiale

Les anneaux en alliage de tungstène sont devenus un matériau indispensable dans l'industrie aéronautique grâce à leur densité élevée, leur grande résistance et leur excellente résistance aux températures élevées. Leurs propriétés physiques et chimiques uniques en font un élément essentiel de nombreux composants et systèmes clés, garantissant la sécurité, la stabilité et les performances des avions.

5.1.1 Application d'anneaux de contrepoids à haute densité

L'aéronautique a des exigences extrêmement élevées en matière de matériaux de contrepoids, qui nécessitent un contrôle précis du poids et une bonne résistance aux températures élevées et à la corrosion. Les anneaux en alliage de tungstène constituent un contrepoids idéal grâce à leur densité élevée et sont couramment utilisés dans les domaines suivants :

- Les anneaux en alliage de tungstène peuvent être utilisés comme **poids d'équilibrage du rotor** dans les unités de mesure inertielle (IMU) pour garantir la précision des gyroscopes et des accéléromètres et améliorer la stabilité et la fiabilité de la navigation aérienne.
- **Le bloc d'équilibrage du système de commande de vol**, la surface de commande de l'avion et l'anneau de contrepoids du servo ajustent efficacement la répartition du poids, assurent la sensibilité et la vitesse de réponse de la surface de commande et améliorent les performances de vol.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.2 Bagues résistantes à l'usure à haute température

Les environnements à haute température, comme les moteurs d'avion, imposent des exigences extrêmement élevées aux composants en matière de résistance à la chaleur et à l'usure. Les bagues en alliage de tungstène offrent une excellente stabilité à haute température et une excellente résistance à l'usure. Elles conviennent aux applications suivantes :

- **Les bagues en alliage de tungstène pour roulements haute température des turbines à gaz**
sont utilisées comme roulements et joints. Elles résistent aux environnements de fonctionnement à haute température et à grande vitesse, réduisent l'usure et prolongent la durée de vie des composants.
- **Des bagues de guidage et des bagues d'étanchéité haute température**
sont utilisées dans le système de guidage du flux d'air du moteur. Les bagues en alliage de tungstène assurent efficacement l'étanchéité et la stabilité du flux d'air, améliorant ainsi le rendement du moteur.

5.1.3 Anneaux anti-rayonnement et de blindage

Les engins spatiaux et les satellites sont souvent exposés à de forts rayonnements cosmiques. Les anneaux en alliage de tungstène sont largement utilisés dans :

- **L'anneau de protection contre les radiations du vaisseau spatial**
protège les équipements électroniques et les instruments sensibles contre les dommages causés par les particules à haute énergie et les radiations, garantissant ainsi un fonctionnement stable de l'équipement.
- **Anneaux structurels dans les systèmes d'énergie nucléaire**
Dans les engins spatiaux à propulsion nucléaire, les anneaux en alliage de tungstène sont utilisés comme absorbeurs de neutrons et anneaux de protection contre les radiations pour améliorer la sécurité du système.

5.1.4 Connexions structurelles et fixations à haute résistance

Les propriétés mécaniques de haute résistance et de module élevé des anneaux en alliage de tungstène les rendent adaptés aux principaux composants de connexion structurelle, notamment :

- **la bague de connexion à haute charge**
résiste aux charges mécaniques extrêmes et assure la résistance globale de l'avion.
- **Les anneaux tampons anti-vibrations**
réduisent la transmission des vibrations, améliorant ainsi la sécurité du vol et le confort de conduite.

5.1.5 Analyse de cas typique

- **Un certain type de système de contrepoids de satellite militaire**
utilise des anneaux en alliage de tungstène comme composants de contrepoids de base pour obtenir un contrôle précis de l'attitude du satellite et améliorer l'efficacité du réglage de l'orbite.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Les bagues en alliage de tungstène sont utilisées pour remplacer les matériaux traditionnels **dans les bagues d'étanchéité à haute température d'un certain type de moteur à réaction**, améliorant la résistance à la température d'étanchéité et prolongeant le cycle de maintenance du moteur.
- **Le dispositif de protection contre les radiations du vaisseau spatial** combine des anneaux en alliage de tungstène et des matériaux composites pour construire une structure de protection multicouche afin de protéger efficacement les radiations cosmiques.

5.2 Application des anneaux en alliage de tungstène dans les industries énergétiques et nucléaires

Les anneaux en alliage de tungstène sont devenus un matériau indispensable et essentiel dans les secteurs de l'énergie et du nucléaire grâce à leur densité élevée, leur grande résistance et leur excellente résistance aux radiations et aux températures élevées. Leur utilisation généralisée dans des domaines clés tels que les structures de réacteurs nucléaires, les absorbeurs de neutrons et les blindages anti-radiations a considérablement amélioré la sûreté, la stabilité et la durée de vie des installations nucléaires.

5.2.1 Anneaux d'absorption de neutrons dans les réacteurs nucléaires

Les anneaux en alliage de tungstène ont de fortes capacités d'absorption des neutrons et sont souvent utilisés dans les systèmes de contrôle et de sécurité des réacteurs nucléaires :

- **Dans la fabrication de barres de contrôle de réacteur ou de barres de sécurité, les anneaux en alliage de tungstène** sont des matériaux absorbants importants qui régulent efficacement la vitesse de réaction nucléaire et assurent la stabilité et la sécurité du fonctionnement du réacteur.
- **Des anneaux de protection contre les radiations** sont utilisés autour de la zone centrale du réacteur pour empêcher les fuites de neutrons et de rayons gamma et pour protéger les équipements et le personnel environnants contre les risques de radiation.

5.2.2 Anneaux structuraux à haute température

De nombreux équipements de l'industrie nucléaire fonctionnent longtemps dans des environnements à haute température. Les bagues en alliage de tungstène sont largement utilisées dans :

- **Les anneaux de support d'assemblage de combustible nucléaire** sont utilisés pour soutenir et fixer les barres de combustible nucléaire, résister aux radiations et aux contraintes thermiques et assurer l'intégrité structurelle de l'assemblage de combustible.
- **Les bagues de guidage et les joints haute température** sont utilisés dans les systèmes de refroidissement des réacteurs nucléaires et les équipements auxiliaires pour assurer le guidage des fluides et les performances d'étanchéité,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et améliorer l'efficacité et la sécurité des équipements.

5.2.3 Anneaux de protection dans les équipements de manutention des déchets radioactifs

Les anneaux en alliage de tungstène jouent un rôle protecteur important dans les équipements de traitement et de stockage des déchets radioactifs :

- **Les anneaux de blindage de radioprotection**
sont transformés en diverses structures de blindage contre les rayonnements pour bloquer efficacement les particules à haute énergie libérées par les substances radioactives et assurer la sécurité environnementale.
- **Des anneaux de protection résistants à la corrosion**
sont utilisés dans les zones clés des conteneurs de stockage des déchets pour empêcher la dégradation des matériaux causée par la corrosion et les radiations.

5.2.4 Composants clés des systèmes d'énergie nucléaire

Les anneaux en alliage de tungstène sont également utilisés dans la fabrication de composants clés des centrales nucléaires, tels que les sous-marins nucléaires et les systèmes d'alimentation des porte-avions nucléaires :

- **Les poids d'équilibrage dynamiques**
assurent un fonctionnement stable des pièces mécaniques rotatives à grande vitesse.
- **Les connexions et les bagues d'étanchéité à haute résistance**
résistent aux fortes contraintes mécaniques et aux environnements de rayonnement, garantissant la sécurité et la stabilité du système.

5.2.5 Cas d'application typiques

- **L'anneau en alliage de tungstène**
d'une centrale nucléaire utilise des anneaux en alliage de tungstène de haute pureté pour fabriquer les composants de base de la barre de contrôle, ce qui peut permettre un contrôle précis des réactions nucléaires et assurer le fonctionnement sûr et stable de la centrale électrique.
- **L'anneau de protection contre les radiations du réservoir de stockage des déchets nucléaires est constitué d'**
anneaux en alliage de tungstène, qui forment une structure de protection multicouche pour isoler efficacement les radiations et prolonger la durée de vie du réservoir de stockage.
- **Les bagues d'étanchéité haute température**
des navires à propulsion nucléaire maintiennent d'excellentes performances d'étanchéité dans les environnements à haute température, garantissant un fonctionnement efficace et sûr du système électrique.

5.3 Application des bagues en alliage de tungstène dans la fabrication mécanique et les équipements militaires

Les anneaux en alliage de tungstène sont largement utilisés dans la fabrication de machines et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'équipements militaires en raison de leur densité élevée, de leur grande résistance et de leur excellente résistance à l'usure. Ils jouent un rôle essentiel dans le soutien structurel, le contrepoids et la protection, et répondent aux exigences strictes de performance des matériaux dans des conditions de travail complexes.

5.3.1 Application des bagues en alliage de tungstène dans la fabrication mécanique

- **de roulements mécaniques haute résistance**
sont utilisées pour la fabrication de composants clés des roulements mécaniques à charges élevées. Grâce à leur excellente résistance à l'usure et à leur densité élevée, elles améliorent efficacement la durabilité et la stabilité des roulements et s'adaptent aux conditions de fonctionnement sous fortes charges et à grande vitesse.
- **Les anneaux de contrepoids mécaniques de précision**
utilisent la gravité spécifique élevée de l'alliage de tungstène pour fabriquer des anneaux de contrepoids dans les équipements mécaniques afin d'obtenir l'équilibre dynamique de la machine, de réduire les vibrations et d'améliorer la précision et la stabilité du fonctionnement de l'équipement.
- **Bagues et bagues d'étanchéité résistantes à l'usure**
Les bagues en alliage de tungstène sont souvent utilisées pour fabriquer des bagues et des bagues d'étanchéité de pièces vulnérables dans les équipements mécaniques en raison de leur bonne résistance à l'usure, prolongeant le cycle de maintenance de l'équipement et réduisant les coûts d'exploitation.
- **Les bagues en alliage sont utilisées pour soutenir et guider les composants des machines-outils de haute précision**
afin de garantir la précision d'usinage et la stabilité des machines-outils et de répondre aux normes élevées de performance des matériaux requises par la fabrication de précision.

5.3.2 Application des anneaux en alliage de tungstène dans les équipements militaires

- **projectile perforant ,**
L'anneau en alliage de tungstène est un matériau de base dans les armes de défense modernes en raison de sa dureté élevée et de sa densité élevée, ce qui peut améliorer la pénétration et l'effet destructeur.
- **Les anneaux de contrepoids inertiels pour missiles**
sont utilisés dans les systèmes de navigation inertielle. Les anneaux en alliage de tungstène sont utilisés comme contrepoids de précision pour garantir la stabilité en vol et la précision du guidage. Ce sont des composants essentiels des équipements militaires haut de gamme.
- **Anneaux de blindage et de blindage de protection**
Les anneaux en alliage de tungstène sont largement utilisés dans la structure de blindage des véhicules et équipements militaires, offrant une protection anti-pénétration et anti-impact efficace et améliorant la capacité de survie des équipements.
- **Les composants mécaniques des ogives et des systèmes de contrôle de tir**
sont utilisés pour fabriquer des anneaux mécaniques de précision dans les systèmes de contrôle de tir, répondant aux exigences de haute résistance et de haute précision dans les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

environnements extrêmes et garantissant le fonctionnement fiable des systèmes d'armes.

5.3.3 Cas militaires typiques des bagues en alliage de tungstène

- **Le noyau annulaire en alliage de tungstène d'un certain type de projectile perforant** adopte un matériau annulaire en alliage de tungstène à haute dureté pour améliorer la puissance de pénétration et l'efficacité de conversion d'énergie cinétique du projectile perforant, améliorant ainsi efficacement l'efficacité du combat.
- **Contrepoids annulaire en alliage de tungstène pour système de navigation inertielle.** Les anneaux en alliage de tungstène sont usinés avec précision pour garantir l'uniformité et la précision dimensionnelle du contrepoids, garantissant ainsi la précision des systèmes de guidage de missiles.
- **en alliage** sont utilisés comme élément clé dans **la structure de protection du véhicule blindé**, améliorant considérablement les performances de protection et la durabilité du blindage.

5.4 Application des anneaux en alliage de tungstène dans les appareils électroniques et médicaux

les anneaux en alliage de tungstène deviennent des composants fonctionnels essentiels des appareils électroniques et des équipements médicaux. Ils jouent non seulement un rôle important dans l'amélioration des performances des produits, mais répondent également aux exigences strictes des applications de haute technologie modernes en matière de stabilité et de sécurité des matériaux.

5.4.1 Application des anneaux en alliage de tungstène dans les appareils électroniques

- en alliage de tungstène sont souvent utilisés comme matériaux de blindage dans les appareils électroniques en raison de leur excellente résistance aux radiations et de leur excellente capacité de blindage électromagnétique. Particulièrement dans les appareils haute fréquence et haute puissance, ils permettent de réduire efficacement les interférences électromagnétiques (EMI) et d'assurer un fonctionnement stable des équipements.
- L'excellente conductivité thermique des anneaux en alliage de tungstène en fait un choix idéal pour les structures de dissipation thermique des appareils électroniques. Grâce à leur conductivité thermique et à leur capacité thermique efficaces, ils aident les composants clés à dissiper rapidement la chaleur et améliorent la fiabilité et la durée de vie des systèmes électroniques.
- Les anneaux en alliage de tungstène sont utilisés dans la structure mécanique des instruments électroniques de précision pour effectuer des fonctions de positionnement, de support et de contrepoids, garantissant la précision de fonctionnement et la stabilité à long terme des instruments.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

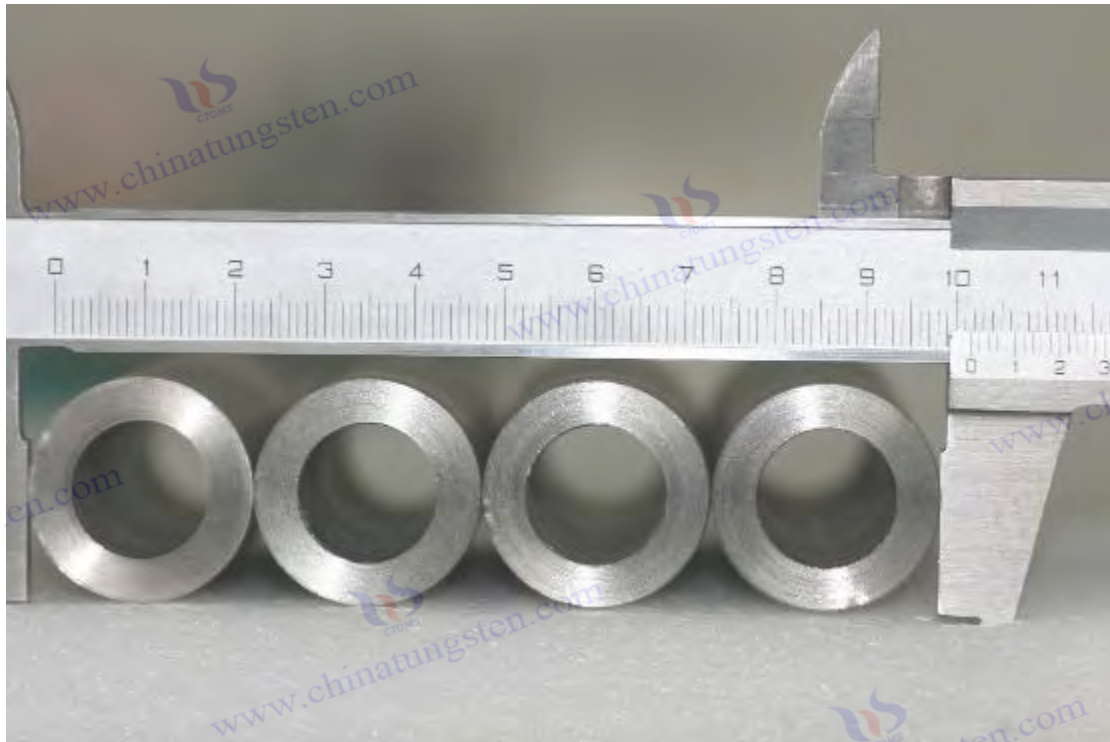
5.4.2 Application des anneaux en alliage de tungstène dans les dispositifs médicaux

- Les anneaux en alliage de tungstène sont largement utilisés **dans les équipements de radiothérapie en raison de leur haute densité et de leur excellente protection contre les radiations. Ils permettent de prévenir les fuites de rayonnement et d'assurer la sécurité du personnel médical et des patients.**
- **Contrepoids et anneaux de stabilisation pour équipements d'imagerie médicale**
Dans les équipements d'imagerie médicale tels que les machines CT et à rayons X, des anneaux en alliage de tungstène sont utilisés pour obtenir l'équilibre mécanique et la stabilité de l'équipement, améliorant ainsi la précision de l'imagerie et la sensibilité de fonctionnement.
- Les anneaux en alliage de tungstène sont utilisés dans les pièces mécaniques des **instruments médicaux de haute précision pour offrir des performances résistantes à l'usure et à la corrosion, répondant aux doubles exigences d'hygiène des matériaux et de durabilité dans l'environnement médical.**
- **Composants d'emballage et de protection des radio-isotopes**
Les anneaux en alliage de tungstène servent d'anneaux de protection pour les conteneurs de radio-isotopes, jouant un rôle important dans le blindage et la protection mécanique, garantissant la sécurité et la stabilité des isotopes dans les applications médicales.

5.4.3 Cas typiques et tendances de développement

- **L'anneau de blindage en alliage de tungstène d'un appareil de radiothérapie** utilise un anneau en alliage de tungstène haute densité pour réduire efficacement les fuites de rayonnement et améliorer le niveau de protection de l'équipement.
- **Anneaux de contrepoids en alliage de tungstène pour instruments électroniques médicaux** Des anneaux en alliage de tungstène usinés avec précision sont utilisés dans les instruments pour garantir un fonctionnement stable et une précision de mesure.
- **Nouveaux anneaux fonctionnels en alliage de tungstène**
Les anneaux en alliage de tungstène combinent des revêtements de surface et une conception de microstructure pour améliorer leur adaptabilité multifonctionnelle dans les appareils électroniques et médicaux, tels que la résistance antibactérienne, anticorrosion et à haute température.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 6 Normes internationales et spécifications industrielles pour les bagues en alliage de tungstène

6.1 Principales normes internationales pour les bagues en alliage de tungstène

Les bagues en alliage de tungstène doivent être conformes à une série de normes internationales et de spécifications industrielles afin de garantir que la qualité, les performances et la sécurité des produits répondent aux besoins du marché mondial. Voici un aperçu des principales normes internationales actuelles en vigueur dans le domaine des bagues en alliage de tungstène :

6.1.1 Normes ASTM (American Society for Testing and Materials)

- **ASTM B777** — Spécification standard pour les produits en tungstène et alliages de tungstène . Cette norme couvre la composition, les propriétés, les procédés de fabrication et les méthodes d'essai des alliages de tungstène. Elle définit les exigences techniques relatives aux propriétés mécaniques, à la densité, à la précision dimensionnelle et à d'autres aspects des bagues et autres produits en alliage de tungstène. Elle est largement adoptée par les fabricants aux États-Unis et à l'international.
- **La norme ASTM E3** — Préparation d'échantillons métalliques couvre les spécifications de préparation d'échantillons pour les anneaux en alliage de tungstène pour l'analyse métallographique et l'observation microstructurale, garantissant une évaluation précise et cohérente des performances des matériaux.
- **ASTM E8/E8M** — Essais de traction des matériaux métalliques s'applique aux essais des propriétés mécaniques des anneaux en alliage de tungstène et spécifie les méthodes de détermination des indicateurs clés tels que la résistance à la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

traction, la limite d'élasticité et l'allongement après rupture.

6.1.2 Normes ISO (Organisation internationale de normalisation)

- **ISO 9001** — Système de gestion de la qualité
Cette norme est largement adoptée par les fabricants de bagues en alliage de tungstène afin de garantir que l'ensemble du processus de qualité des produits, de la conception à la livraison, en passant par l'approvisionnement et la production, est maîtrisé et répond aux exigences de qualité des clients internationaux.
- **La norme ISO 6507** — Essais de dureté des métaux
couvre la détermination de la dureté Vickers des bagues en alliage de tungstène, garantissant des tests de dureté précis et répétables.
- **ISO 6508** — Essai de dureté Brinell pour les métaux
Cette norme est également utilisée pour tester la dureté des bagues en alliage de tungstène et est particulièrement adaptée pour tester des bagues plus épaisses.

6.1.3 MIL (norme militaire américaine)

- **MIL-STD-810** — Considérations d'ingénierie environnementale et méthodes d'essai en laboratoire
Les anneaux en alliage de tungstène sont largement utilisés dans les domaines militaire et aérospatial et doivent répondre aux exigences d'essai rigoureuses de cette norme pour la résistance aux conditions environnementales extrêmes telles que les températures élevées et basses, les chocs et les vibrations et la corrosion.
- **MIL-STD-883** — Essais de dispositifs et de matériaux microélectroniques
Lorsque des anneaux en alliage de tungstène sont utilisés dans des structures de composants électroniques de haute précision, des tests de performance pertinents doivent être effectués conformément à cette norme militaire.

6.1.4 Normes nationales chinoises (GB/T)

- **GB/T 3877** — Matériaux en tungstène et alliages de tungstène.
Il s'agit de la norme de base pour la fabrication et l'inspection nationales des bagues en alliage de tungstène. Elle couvre des indicateurs techniques tels que la composition, les propriétés mécaniques et les tolérances dimensionnelles, et favorise l'amélioration de la qualité des bagues en alliage de tungstène nationales.
- **GB/T 14654** — Méthodes d'essai de traction pour matériaux métalliques
spécifie les exigences techniques et les procédures d'essai pour les essais de propriétés mécaniques des anneaux en alliage de tungstène, garantissant que les performances du produit répondent aux normes de conception.

6.1.5 Normes industrielles et spécifications techniques

- **Normes de l'industrie des matériaux aérospatiaux**
Les anneaux en alliage de tungstène utilisés dans le domaine aérospatial doivent généralement être conformes aux exigences du système de qualité AS9100 et aux normes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

industrielles pertinentes (telles que les normes SAE) pour garantir la sécurité et la fiabilité du matériau.

- **Spécifications des matériaux de l'industrie nucléaire** Lorsque des anneaux en alliage de tungstène sont utilisés dans les structures de protection des réacteurs nucléaires, ils doivent également être conformes aux spécifications des matériaux spécifiques à l'industrie nucléaire, telles que les normes de test de performance de radioprotection pertinentes.

6.1.6 Réglementations et normes de protection de l'environnement et de sécurité

- **Directive RoHS** (Directive de l'UE sur la restriction des substances dangereuses)
Les produits de bague en alliage de tungstène doivent être conformes aux exigences de protection de l'environnement RoHS lors de leur entrée sur le marché de l'UE, limitant l'utilisation d'éléments nocifs tels que le plomb et le mercure.
- Les fabricants de bagues en alliage de tungstène doivent se conformer à **la réglementation REACH** (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques de l'UE) pour garantir la conformité et la sécurité de la composition chimique de leurs produits.

6.2 Normes nationales et spécifications d'essai pour les bagues en alliage de tungstène

Avec le développement rapide de l'industrie chinoise des bagues en alliage de tungstène, l'établissement et l'amélioration d'un système de normes conforme aux conditions nationales sont devenus une mesure importante pour promouvoir le progrès technologique, garantir la qualité des produits et promouvoir la régulation du marché. Cette section se concentre sur les normes nationales (GB), les normes industrielles (YS) et les principales spécifications d'essai relatives aux bagues en alliage de tungstène en Chine, fournissant ainsi une base technique pour la fabrication et l'inspection.

6.2.1 Norme nationale (GB) pour les bagues en alliage de tungstène

- **GB/T 3877 — Matériaux en tungstène et alliages de tungstène**
Cette norme spécifie la composition chimique, les propriétés mécaniques, les propriétés physiques et autres indicateurs techniques des matériaux pour bagues en alliage de tungstène. Elle couvre des paramètres clés tels que la teneur en tungstène, la densité, la dureté et la résistance à la traction pour garantir la stabilité et la constance des performances du matériau. Il s'agit de la norme de base pour les essais et l'acceptation des matériaux pour bagues en alliage de tungstène en Chine.
- **GB/T 14654 — Méthodes d'essai de traction des matériaux métalliques**
Cette norme spécifie en détail les méthodes d'essai des propriétés mécaniques des anneaux en alliage de tungstène, garantissant des essais précis et uniformes des indicateurs de performance tels que la résistance à la traction, la limite d'élasticité et l'allongement après rupture.
- **La norme GB/T 10561 — Essai de dureté des matériaux métalliques. La méthode de dureté Vickers**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

s'applique à la détermination de la dureté des bagues en alliage de tungstène. Elle fournit des conditions d'essai, des procédures de mesure et des méthodes de traitement des données pour garantir la nature scientifique et la comparabilité des essais de dureté.

- **La norme GB/T 11345 — Méthodes de contrôle non destructif par ultrasons fournit des spécifications techniques pour le contrôle par ultrasons des défauts internes des bagues en**

alliage de tungstène . Elle permet de détecter les défauts cachés tels que les pores et les fissures à l'intérieur du matériau de la bague, améliorant ainsi le contrôle qualité du produit.

6.2.2 Norme industrielle pour les bagues en alliage de tungstène (YS)

- **Les normes industrielles de la série YS/T 200 pour les alliages de tungstène et leurs produits**

sont élaborées par l'industrie nationale des métaux non ferreux. Elles couvrent les spécifications des matériaux, les exigences de performance et les méthodes d'essai des bagues en alliage de tungstène , et affinent les indicateurs techniques des bagues en alliage de tungstène pour différents usages. Elles conviennent à des secteurs clés tels que l'armée et l'aéronautique.

- **La norme YS/T 415 — Dimensions et tolérances des bagues en alliage de tungstène** spécifie les exigences de test pour les dimensions géométriques, l'uniformité de l'épaisseur de paroi et la coaxialité des bagues en alliage de tungstène afin de garantir la précision du traitement du produit et les performances d'assemblage.

6.2.3 Principales spécifications de test et exigences techniques

- **L'analyse de la composition chimique**
utilise l'analyse spectrale (telle que l'ICP-OES), la spectroscopie de fluorescence X (XRF) et l'analyseur d'éléments (analyse ONH) pour garantir que la teneur en tungstène, nickel, fer et éléments d'impureté dans les anneaux en alliage de tungstène répond aux exigences standard.
- **Les tests de propriétés physiques sont**
effectués à l'aide d'instruments de mesure de densité, d'analyse de microstructure (microscope optique, microscope électronique à balayage SEM), etc. pour évaluer la densité et la structure interne du matériau.
- **Les tests de performance mécanique**
comprennent des tests de traction, des tests de dureté (dureté Vickers, Rockwell, Brinell) et des tests d'impact, qui sont strictement effectués conformément aux normes GB/T pertinentes pour garantir que les anneaux en alliage de tungstène ont la résistance et la ténacité requises.
- **La technologie de contrôle non destructif**
utilise des tests par ultrasons, des tests aux rayons X, des tests de particules magnétiques et d'autres moyens pour évaluer les défauts internes et de surface des anneaux en alliage de tungstène afin de garantir l'intégrité et la fiabilité du produit.
- **L'inspection de la qualité de surface**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utilise un profilomètre tridimensionnel et un rugosimètre pour tester la rugosité de la surface et l'adhérence du revêtement afin de garantir que le processus de traitement de surface répond aux exigences de conception et d'améliorer la durabilité et la fonctionnalité du matériau de l'anneau.

6.2.4 Système de gestion de la qualité et certification

- **Système de gestion de la qualité ISO 9001**

La plupart des fabricants nationaux de bagues en alliage de tungstène ont obtenu la certification ISO 9001, garantissant des processus de production et un contrôle qualité standardisés, et garantissant la qualité du produit dès la source.

- **La certification sectorielle**

s'adresse à des domaines d'application spécifiques tels que l'aéronautique et l'industrie militaire. Les entreprises doivent se conformer aux normes de gestion de la qualité correspondantes, telles que la certification AS9100 dans le secteur aéronautique, afin de satisfaire à des exigences strictes en matière de sécurité et de fiabilité.

6.3 Normes de qualité des bagues en alliage de tungstène fabriquées par CTIA GROUP

En tant qu'entreprise leader dans le secteur des alliages de tungstène en Chine, CTIA GROUP bénéficie d'une vaste expérience et d'une technologie de pointe dans la recherche, le développement et la fabrication de bagues en alliage de tungstène. L'entreprise élabore et met en œuvre des normes de qualité pour ces bagues, en stricte conformité avec les réglementations nationales et sectorielles. Ce système, allié à des années d'expertise technique et aux besoins de ses clients, a permis de mettre en place un système de contrôle qualité complet et compétitif.

6.3.1 Composition des matériaux et normes de processus

- **CTIA GROUP utilise**

de la poudre de tungstène de haute pureté et du nickel, du fer et d'autres éléments d'alliage de haute qualité pour garantir la stabilité de la composition chimique de la bague en alliage de tungstène. La teneur en impuretés est rigoureusement contrôlée au plus haut niveau de l'industrie afin de garantir l'uniformité et la fiabilité des performances du matériau.

- **Les tests de composition**

utilisent des instruments d'analyse avancés tels que l'ICP-OES et le XRF pour détecter avec précision les éléments d'alliage afin de garantir que chaque lot de matériaux répond au rapport conçu et répond aux exigences de performance du produit.

- **Les spécifications du processus**

adoptent une technologie de métallurgie des poudres développée indépendamment, une technologie de frittage et un processus d'usinage de précision pour garantir que la densité, les propriétés mécaniques et la précision dimensionnelle des anneaux en alliage de tungstène atteignent le niveau avancé international.

6.3.2 Normes d'indice de performance

- **Densité et compacité La densité réelle de**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'anneau en alliage de tungstène est proche de plus de 98 % de la densité théorique, et le niveau élevé de densification garantit que le produit a une excellente résistance mécanique et des propriétés physiques stables.

- bagues en alliage de tungstène fabriquées par Zhongtung La fabrication **intelligente** respecte, voire dépasse, les normes industrielles GB et YS. La dureté est contrôlée dans la plage idéale pour répondre aux exigences des applications à charges et résistances élevées.
- **Dimensions et tolérances :**
La précision dimensionnelle du produit est strictement contrôlée à $\pm 0,01$ mm, et l'uniformité de l'épaisseur de paroi et la coaxialité répondent aux exigences d'assemblage de précision des équipements haut de gamme.

6.3.3 Qualité de surface et contrôle des défauts

- **Rugosité de surface Les surfaces intérieures et extérieures de la**
bague en alliage de tungstène subissent de multiples procédures de polissage et de traitement, et la valeur de rugosité de surface Ra est contrôlée à moins de $0,2 \mu\text{m}$, garantissant de bonnes performances de contact et une bonne résistance à l'usure.
- **La détection des défauts**
utilise une variété de technologies de contrôle non destructif telles que les ultrasons, les rayons X et les tomodensitogrammes pour garantir l'absence de défauts internes et externes tels que les pores, les fissures et les inclusions, améliorant ainsi la fiabilité et la durée de vie du produit.

6.3.4 Système de gestion de la qualité

- **Contrôle qualité complet :**
CTIA GROUP met en œuvre un système de gestion de la qualité à trois niveaux : contrôle des matières premières entrantes, suivi de la qualité des processus et contrôle des produits finis sortants. L'entreprise est équipée d'instruments de test modernes et d'équipements de surveillance automatisés pour garantir la qualité des produits en temps réel.
- **Système de certification :**
L'entreprise a obtenu les certifications ISO 9001, AS9100 et d'autres certifications internationales de systèmes de gestion de la qualité. Certains produits sont conformes aux exigences de protection de l'environnement RoHS et REACH, garantissant ainsi leur conformité aux normes du marché mondial.

6.3.5 Personnalisation du client et réponse aux demandes spéciales

- **Les services personnalisés**
ciblent les secteurs haut de gamme tels que l'aérospatiale, l'énergie nucléaire et l'industrie militaire. CTIA GROUP peut adapter la composition de l'alliage, les paramètres de procédé et les indicateurs de qualité aux besoins spécifiques de ses clients et fournir des solutions personnalisées de bagues en alliage de tungstène .
- **Support technique**
Nous disposons d'une équipe professionnelle de R&D et de contrôle qualité pour fournir

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aux clients des conseils techniques, un support de test et un service après-vente pour garantir la stabilité des performances et la sécurité des produits de bague en alliage de tungstène dans les applications réelles.

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

en.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

1

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

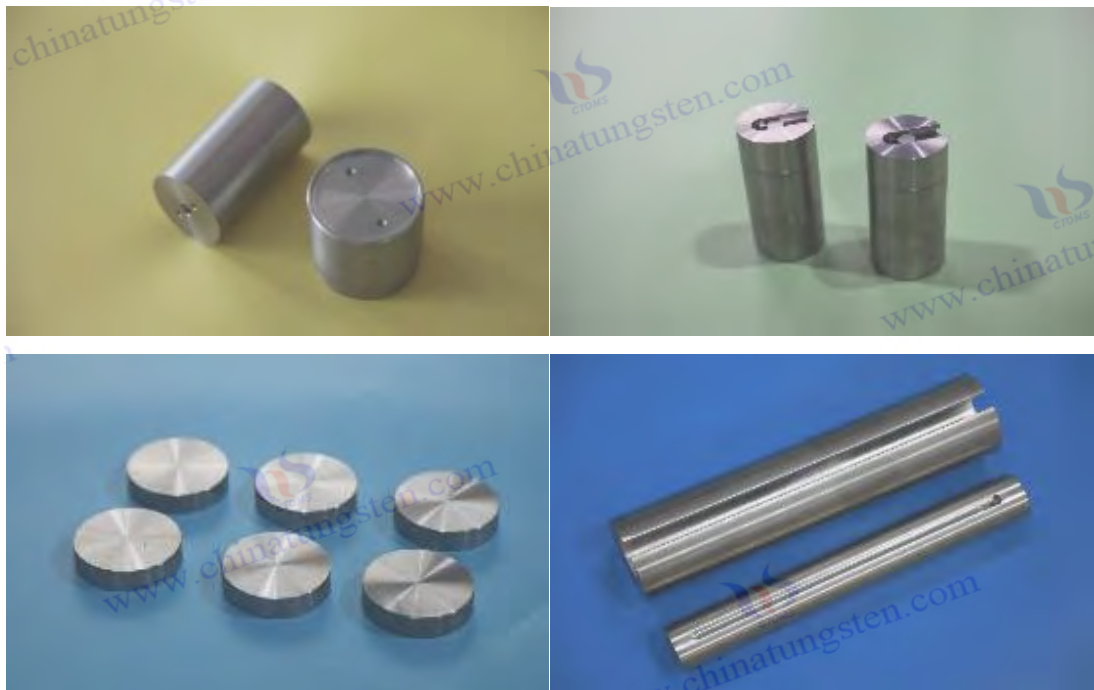
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

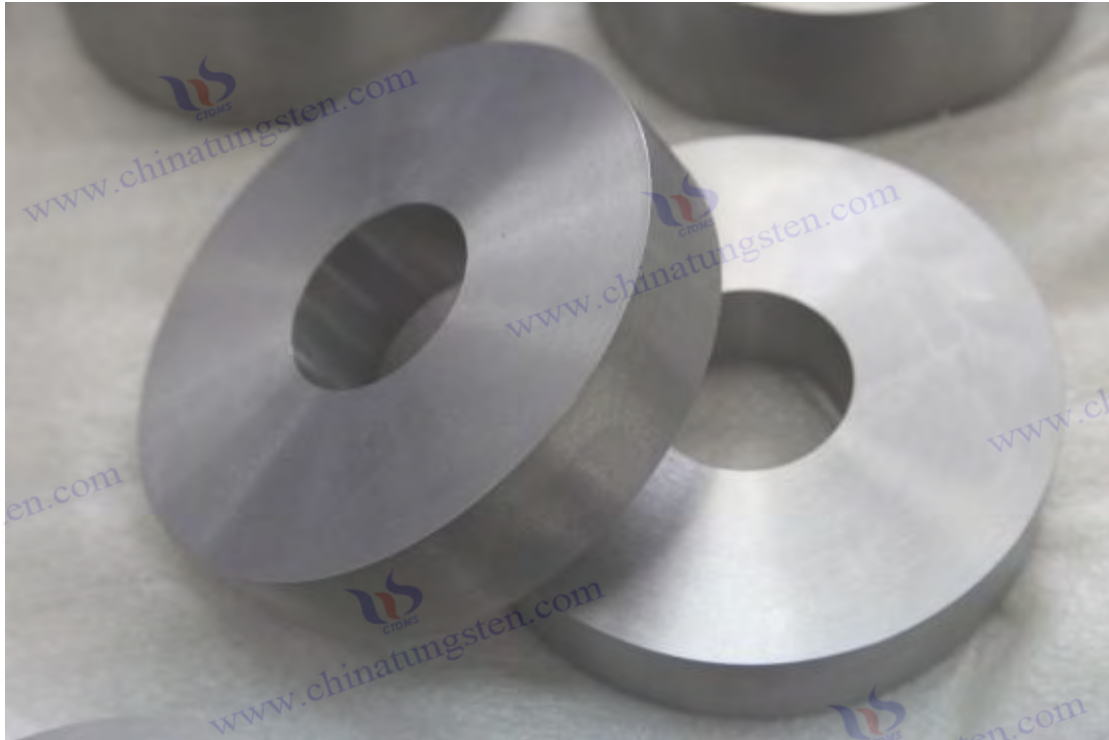
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Chapitre 7 Analyse du marché et de l'économie des bagues en alliage de tungstène

7.1 Paysage du marché mondial des bagues en alliage de tungstène

Les bagues en alliage de tungstène sont largement utilisées dans des secteurs haut de gamme tels que l'aérospatiale, l'armée, l'énergie nucléaire et le médical, en raison de leur excellente densité, de leur robustesse et de leur résistance aux températures élevées. Avec le développement rapide de l'industrie manufacturière de haute technologie à l'échelle mondiale, le marché des bagues en alliage de tungstène présente une structure multi-niveaux et multirégionale, qui se reflète principalement dans les aspects suivants :

7.1.1 Répartition mondiale des ressources en tungstène et impact sur la chaîne d'approvisionnement

Les ressources mondiales en tungstène sont principalement concentrées dans des pays comme la Chine, la Russie, le Vietnam, le Canada et l'Autriche. La Chine, premier producteur mondial de minerai de tungstène, domine le marché mondial du tungstène, représentant plus de 80 % de la production mondiale. Ses abondantes ressources en tungstène constituent une base solide pour la production mondiale d'anneaux en alliage de tungstène.

Parallèlement, la répartition géographique des ressources a un impact significatif sur la chaîne d'approvisionnement des bagues en alliage de tungstène. La concentration des ressources en minerai de tungstène a entraîné des fluctuations des prix des matières premières et des risques d'approvisionnement, incitant les pays à accélérer la constitution de réserves stratégiques et le recyclage des ressources en tungstène, favorisant ainsi le développement stable de la filière des bagues en alliage de tungstène.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1.2 Principales zones de production et pôles industriels

Les bagues en alliage de tungstène sont implantées dans des provinces chinoises comme le Guangdong, le Jiangsu, le Hunan et le Jiangxi, ainsi que dans des entreprises de fabrication haut de gamme sélectionnées en Europe, aux États-Unis, au Japon et en Corée du Sud. Ces régions ont formé une chaîne industrielle complète de production d'alliages de tungstène, établissant un système de fabrication performant, de la préparation de la poudre de tungstène à l'usinage de précision, en passant par la fusion de l'alliage et la métallurgie des poudres.

Les entreprises chinoises, tirant parti de leurs atouts en matière de ressources et de leur maîtrise des coûts, dominent le marché des bagues en alliage de tungstène milieu et bas de gamme. L'Europe, les États-Unis, le Japon et la Corée du Sud, quant à eux, se concentrent davantage sur la R&D et la fabrication de bagues en alliage de tungstène haut de gamme, privilégiant l'innovation technologique et le contrôle qualité, créant ainsi un environnement concurrentiel différencié.

7.1.3 Structure de la demande du marché et répartition de l'industrie terminale

proviennent principalement des domaines clés suivants :

- **Aérospatiale** : Utilisé pour les contrepoids à haute résistance, les équipements de navigation inertielle et les composants structurels à haute température, qui nécessitent des performances et une fiabilité des matériaux extrêmement élevées.
- **militaire** : Les anneaux en alliage de tungstène sont largement utilisés dans les noyaux de projectiles perforants, les composants de queue de missile et les pièces mécaniques à haute résistance, reflétant son importance dans les systèmes d'armes hautes performances.
- **Industrie de l'énergie nucléaire** : les anneaux en alliage de tungstène sont utilisés comme matériaux de blindage et composants structurels et présentent d'excellentes propriétés de protection contre les radiations et de résistance aux températures élevées.
- **Équipement médical** : La demande de structures de protection et de positionnement dans les équipements de radiothérapie augmente rapidement, entraînant l'expansion du marché des bagues en alliage de tungstène.
- **Machines de précision et électronique** : Les anneaux en alliage de tungstène sont utilisés dans les pièces mécaniques de haute précision et les structures de dissipation thermique électroniques, et continuent de croître avec la modernisation de l'industrie électronique.

7.1.4 Paysage concurrentiel et concentration du marché

Le marché des bagues en alliage de tungstène est très concentré. Des entreprises chinoises de premier plan, telles que CTIA GROUP et China Molybdenum Co., Ltd. (CMOC), dominent le marché, favorisant une étroite collaboration entre les secteurs amont et aval de la chaîne industrielle. Des entreprises de renommée internationale, tirant parti de leurs avantages technologiques et de l'influence de leur marque, dominent le segment haut de gamme.

Avec l'amélioration des barrières techniques et le renforcement des exigences environnementales, le seuil d'entrée sur le marché augmente progressivement. Les entreprises émergentes doivent renforcer leurs investissements en R&D et leur gestion de la qualité afin de se tailler une place dans une concurrence féroce.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1.5 Tendances et défis du développement du marché

- **Fabrication verte et pression environnementale** : Le processus de production d'anneaux en alliage de tungstène a une consommation d'énergie élevée et une lourde charge environnementale, ce qui pousse les entreprises à accélérer la recherche et le développement de procédés verts et de technologies de recyclage.
- **Porté par l'innovation technologique** : de nouveaux matériaux et de nouveaux procédés (tels que le nano-renforcement et la fabrication additive) continuent d'émerger, favorisant l'amélioration des performances et l'expansion des applications des anneaux en alliage de tungstène.
- **Ajustements de la chaîne d'approvisionnement mondiale** : Les changements dans la géopolitique et les politiques commerciales ont affecté l'approvisionnement en ressources de tungstène et les exportations de produits, incitant les entreprises à diversifier leur implantation.
- **Mise à niveau de la demande terminale** : l'industrie manufacturière haut de gamme impose des exigences plus élevées en matière de précision, de résistance et de performances spéciales des anneaux en alliage de tungstène, poussant le marché à se développer dans le sens d'une valeur ajoutée élevée.

7.2 Analyse des principaux pays producteurs et de la chaîne d'approvisionnement des bagues en alliage de tungstène

Composant essentiel des matériaux hautes performances à base de tungstène, la production et la chaîne d'approvisionnement des bagues en alliage de tungstène sont profondément influencées par la répartition mondiale des ressources en tungstène, les avancées technologiques et la chaîne industrielle globale. Cette section présente une analyse détaillée des principaux pays producteurs de bagues en alliage de tungstène et des caractéristiques de leur chaîne d'approvisionnement.

7.2.1 Aperçu des principaux pays producteurs

- **La Chine**
est le premier propriétaire et producteur mondial de ressources en tungstène, contrôlant plus de 80 % des réserves de minerai de tungstène. La technologie et la production de bagues en alliage de tungstène en Chine figurent parmi les plus élevées au monde. Les fabricants chinois de bagues en alliage de tungstène sont principalement concentrés à Luoyang (province du Henan), Ganzhou (province du Jiangxi) et Dongguan (province du Guangdong). Ils ont formé une chaîne industrielle complète englobant l'extraction des matières premières, la fusion de la poudre de tungstène, la préparation de la poudre d'alliage, le moulage et le frittage, l'usinage de précision et le traitement de surface. Tirant parti de leurs avantages en termes de ressources et de la maîtrise des coûts, les entreprises chinoises occupent une position dominante sur les marchés moyen et bas de gamme. Elles encouragent également activement la recherche et le développement de technologies de pointe afin de réduire l'écart avec les technologies de pointe internationales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **La Russie**

dispose d'abondantes ressources en minerai de tungstène et d'avantages considérables dans les technologies de fusion et de préparation des alliages à base de tungstène. Sa production d'anneaux en alliage de tungstène est principalement destinée aux secteurs militaire et aérospatial, avec des produits privilégiant les performances et la fiabilité. Si les entreprises russes utilisent généralement de la poudre de tungstène importée pour la transformation, elles ont également renforcé leurs capacités de R&D indépendantes ces dernières années.

- **Les États-Unis**

disposent de ressources limitées en tungstène et dépendent principalement des importations de matières premières pour la fabrication de bagues en alliage de tungstène. Cependant, ils sont leaders mondiaux dans la conception d'alliages haut de gamme et la technologie de fabrication de précision. Les fabricants américains desservent principalement les marchés haut de gamme tels que les industries militaire, aérospatiale et nucléaire, privilégiant la performance et la fiabilité de leurs produits. Les États-Unis encouragent activement la localisation de la filière des tubes en alliage de tungstène afin de réduire leur dépendance extérieure.

- Certains pays (**comme l'Allemagne, la France et l'Autriche**) disposent

de ressources limitées en tungstène, mais disposent de recherches avancées en science des matériaux et de capacités de fabrication de haute précision. Les fabricants allemands et français de bagues en alliage de tungstène se concentrent principalement sur les produits à forte valeur ajoutée, notamment dans les secteurs de l'aérospatiale et des dispositifs médicaux. L'Autriche, important fournisseur d'alliages de tungstène, fournit également au marché européen de la poudre de tungstène et des produits semi-finis de haute qualité.

- **le Japon et**

la Corée du Sud ont développé une industrie de fabrication d'anneaux en alliage de tungstène unique, s'appuyant sur leur solide base industrielle et leurs capacités de R&D technologique. Ces produits sont principalement utilisés dans l'électronique, les communications et les machines haut de gamme, privilégiant le contrôle de la microstructure et les performances fonctionnelles des composites.

7.2.2 Analyse de la structure de la chaîne d'approvisionnement

La chaîne d'approvisionnement des bagues en alliage de tungstène couvre principalement les maillons clés suivants :

- **La chaîne d'approvisionnement**

commence par l'extraction du minerai de tungstène et la production de poudre de tungstène. Les ressources mondiales en tungstène sont concentrées, et la qualité et la pureté du minerai ont un impact direct sur la performance de la poudre de tungstène. Certains pays assurent un approvisionnement stable en matières premières grâce à des réserves stratégiques et à la coopération en matière de ressources.

- **Préparation de poudre de tungstène et d'alliage.**

Le contrôle de la granulométrie, de la pureté et de la morphologie de la poudre de tungstène est essentiel pour déterminer les propriétés de l'alliage. Le mélange et le dosage uniformes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ultérieurs avec des liants métalliques tels que le nickel, le fer et le cuivre constituent l'étape clé de la préparation par métallurgie des poudres.

- **de moulage**
(comme le pressage par matrice et le pressage isostatique) et les procédés de frittage déterminent directement la densité, la microstructure et les performances des bagues en alliage de tungstène. Chaque fabricant choisit ses procédés pour optimiser la qualité de ses produits en fonction de la demande du marché.
- Les bagues en alliage de tungstène sont souvent **usinées**
par tournage, meulage et polissage de précision afin de garantir un contrôle dimensionnel et de la qualité de surface. Des traitements de surface tels que la galvanoplastie et le revêtement PVD peuvent améliorer encore la résistance à la corrosion et à l'usure.
- **de tungstène**
sont souvent des produits de grande valeur et à forte intensité technologique, nécessitant une protection stricte, une résistance à l'humidité et à l'oxydation pendant le transport et le stockage. Dans le commerce international, les réglementations d'exportation et le respect des certifications ont également un impact sur l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement.

7.2.3 Avantages et défis de la chaîne d'approvisionnement

- **Avantages**
 - La Chine dispose d'avantages considérables en matière de ressources et d'une chaîne d'approvisionnement complète qui peut répondre aux besoins de production à grande échelle.
 - Des pays comme la Russie et les États-Unis disposent d'une riche accumulation technologique et de la capacité de fabriquer des produits haut de gamme.
 - Les pays européens, japonais et sud-coréens sont à la pointe de l'innovation en matière de fabrication et de matériaux haut de gamme, stimulant ainsi le progrès technologique.
- **défi**
 - Les ressources en tungstène comportent des risques d'approvisionnement, qui sont particulièrement évidents lorsque le commerce international est tendu.
 - La consommation énergétique élevée et les pressions environnementales dans la chaîne d'approvisionnement augmentent, et la fabrication verte a besoin de toute urgence d'une percée.
 - La concurrence est féroce sur les marchés des barrières technologiques et des applications haut de gamme, et une différenciation insuffisante des produits peut affecter les marges bénéficiaires.

7.3 Tendances des prix et structure des coûts des bagues en alliage de tungstène

Les bagues en alliage de tungstène sont influencées par divers facteurs, notamment les fluctuations du marché des matières premières, la complexité du processus de fabrication et l'évolution des exigences des applications finales. Comprendre l'évolution des prix et la structure des coûts des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

bagues en alliage de tungstène est essentiel pour permettre aux entreprises d'élaborer des stratégies de production et de planification commerciale judicieuses.

7.3.1 Analyse des tendances des prix des bagues en alliage de tungstène

- **Les fluctuations des prix des matières premières influencent le prix des bagues**

en alliage de tungstène. La poudre de tungstène est la matière première principale des bagues en alliage de tungstène, et les fluctuations des prix du minerai de tungstène ont un impact direct sur les coûts de la poudre de tungstène. Ces dernières années, les ressources mondiales en tungstène ont été affectées par des facteurs tels que les politiques minières, les restrictions environnementales et les influences géopolitiques, entraînant des fluctuations cycliques des prix du minerai de tungstène. Par exemple, en période de pénurie d'approvisionnement, les prix du minerai de tungstène flambent, entraînant une hausse des prix de la poudre de tungstène et des produits en alliage. À l'inverse, les prix baissent lorsque l'offre est abondante.

De plus, les fluctuations des prix des éléments d'alliage tels que le nickel et le fer ont également un impact sur les coûts, en particulier en période de forte volatilité des prix sur le marché international des métaux.

- **Impact des améliorations technologiques et des procédés :**

Grâce aux progrès constants de la technologie de fabrication des bagues en alliage de tungstène, les performances des produits utilisant des procédés avancés de frittage, de traitement thermique et de modification de surface ont été considérablement améliorées, mais les coûts de fabrication correspondants ont également augmenté. Le prix des bagues en alliage de tungstène haut de gamme a globalement affiché une tendance à la hausse, reflétant l'augmentation du contenu technologique et de la valeur ajoutée.

- **La demande du marché final stimule la croissance de la demande**

d'anneaux en alliage de tungstène haute performance dans les secteurs aérospatial, nucléaire, militaire et médical. Cela a accru la demande de produits de haute qualité et entraîné des hausses de prix. C'est particulièrement vrai sur les marchés des anneaux en alliage haut de gamme, personnalisés et à hautes performances, où les prix sont plus flexibles et offrent une marge de progression.

- **Les impacts du commerce international et des politiques, notamment**

les restrictions commerciales, les ajustements tarifaires et le renforcement des politiques de protection de l'environnement, ont également, dans une certaine mesure, entraîné une hausse du prix des bagues en alliage de tungstène. Les contrôles à l'exportation et la répercussion des coûts de protection de l'environnement sont des facteurs courants de fluctuation des prix.

7.3.2 Analyse de la structure des coûts des bagues en alliage de tungstène

Les anneaux en alliage de tungstène sont principalement composés des éléments suivants :

- **Le coût des matières premières** (environ 60 à 75 %)

constitue la principale composante du coût des bagues en alliage de tungstène. Il comprend les coûts d'approvisionnement en poudre de tungstène, en nickel, en fer et autres éléments

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'alliage. La pureté, la granulométrie et la stabilité de l'approvisionnement en poudre de tungstène ont un impact direct sur les coûts globaux. La rareté et la difficulté de l'extraction du tungstène entraînent d'importantes fluctuations du coût des matières premières.

- **Les coûts de traitement et de fabrication** (représentant environ 15 à 25 %) comprennent le moulage par métallurgie des poudres, le frittage, le traitement thermique et l'usinage. Le traitement de haute précision nécessite des investissements importants en équipements et en personnel technique, et les produits aux formes complexes ou aux propriétés particulières sont encore plus coûteux à fabriquer.
- **Coûts de traitement et d'essais de surface** (environ 5 à 10 %) : Pour garantir la résistance à la corrosion et les propriétés mécaniques des bagues en alliage de tungstène, un polissage de surface, une galvanoplastie, un revêtement PVD et d'autres traitements sont généralement nécessaires. De plus, les contrôles qualité rigoureux, les essais non destructifs et la vérification des performances augmentent également les coûts.
- **Les coûts de gestion et de logistique** (environ 5 %) comprennent la gestion de la production, les frais de conformité environnementale, l'emballage, le transport et l'entreposage. Les bagues en alliage de tungstène sont souvent des matériaux de grande valeur, à forte intensité technologique, avec des exigences logistiques et de transport rigoureuses. L'emballage et les mesures de protection entraînent des coûts supplémentaires.

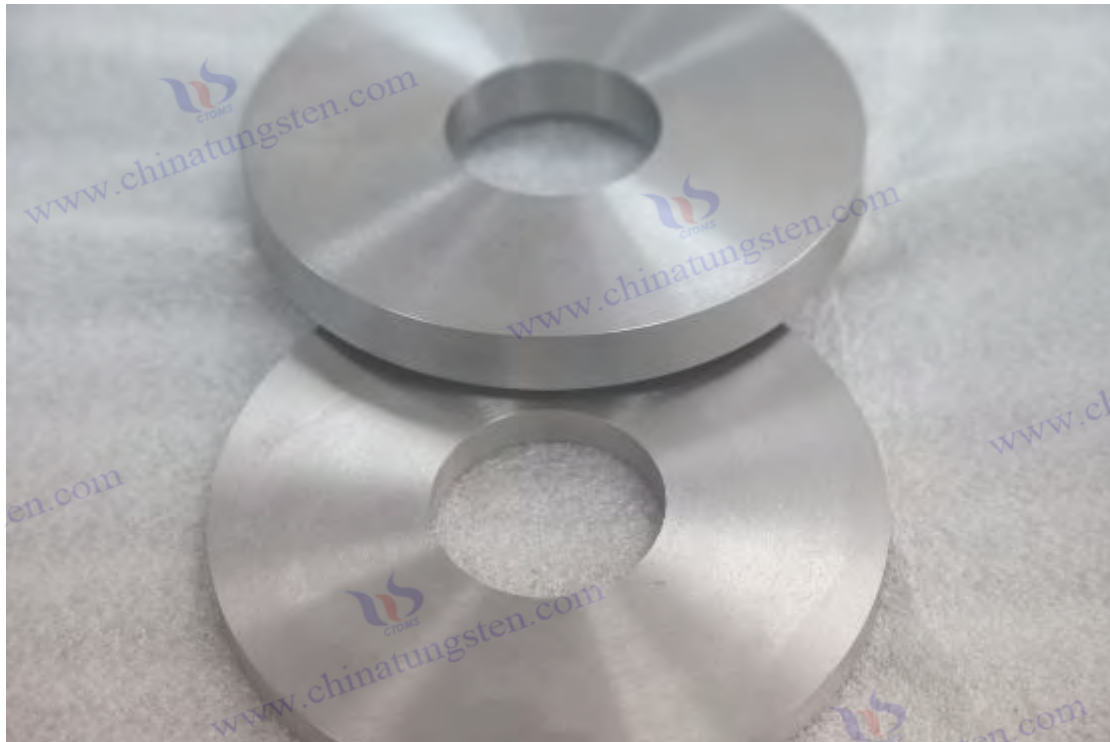
7.3.3 Résumé des tendances des prix et perspectives d'avenir

Globalement, les prix des bagues en alliage de tungstène connaissent une tendance structurelle à la hausse, sous l'effet conjugué de l'offre et de la demande mondiales de tungstène, des avancées technologiques de fabrication et de la demande du marché final. Le prix des matières premières est le facteur dominant, les fluctuations des prix de la poudre de tungstène, en particulier, ayant un impact significatif sur le marché des bagues en alliage de tungstène.

À l'avenir, grâce aux progrès technologiques en matière de développement des ressources en tungstène et à la recherche de matériaux alternatifs, les coûts des matières premières devraient se stabiliser. Parallèlement, l'intelligentisation et l'automatisation des procédés de fabrication réduiront les coûts de traitement et amélioreront l'efficacité de la production. La demande croissante du marché pour les bagues en alliage de tungstène haute performance, notamment dans les secteurs des nouvelles énergies, de l'aérospatiale et des équipements haut de gamme, laisse présager une marge de croissance raisonnable des prix de ces bagues.

Les entreprises doivent prêter une attention particulière à la dynamique du marché des matières premières, optimiser la structure des coûts, renforcer l'innovation technologique et la différenciation des produits, afin de maintenir les avantages de prix et les marges bénéficiaires dans la concurrence féroce du marché.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 8 Tendances de développement futur des bagues en alliage de tungstène

8.1 Nouveaux matériaux et systèmes d'alliages pour les bagues en alliage de tungstène

Grâce aux progrès constants de la science et de la technologie et à la diversification des besoins d'application, les matériaux pour bagues en alliage de tungstène évoluent vers des performances, une fonctionnalité et une diversification accrues. La recherche et le développement de nouveaux matériaux et systèmes d'alliages sont devenus essentiels au développement futur des bagues en alliage de tungstène, ce qui se traduit notamment par les aspects suivants :

1. Développement de systèmes d'alliages multi-éléments hautes performances.

Les bagues en alliage de tungstène traditionnelles sont principalement constituées d'alliages tungstène-nickel-fer ou tungstène-nickel-cuivre. Pour répondre à la demande de résistance accrue, de ténacité améliorée et de propriétés physiques spécifiques, les chercheurs ont commencé à explorer des systèmes d'alliages multi-éléments intégrant des éléments supplémentaires, tels que le molybdène, le titane, le niobium et le chrome. Ces nouveaux alliages améliorent non seulement les propriétés mécaniques globales des alliages de tungstène, mais aussi leur résistance à la chaleur, à la corrosion et aux radiations, élargissant ainsi leur champ d'application dans des conditions de travail extrêmes.

2. Les systèmes d'alliages nanostructurés et à gradient fonctionnel

améliorent considérablement les performances des anneaux en alliage de tungstène grâce au renforcement des nanograins et à la conception microstructurale. Les alliages nanostructurés améliorent la résistance et la ténacité en affinant les grains et en inhibant la propagation des fissures. De plus, les alliages à gradient fonctionnel permettent une variation spatiale des propriétés du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

matériau, notamment l'intégration d'une couche de haute dureté en surface et d'une couche centrale résistante. Cela répond aux multiples exigences de performance des environnements de service complexes et améliore considérablement la durabilité et la fiabilité des anneaux en alliage de tungstène.

3. Matériaux composites et systèmes d'alliages multiphasés :

Les nouveaux anneaux en alliage de tungstène intègrent des phases céramiques (carbures et nitrures) ou d'autres phases métalliques pour créer une structure composite métal-céramique. Ce système d'alliage multiphasé allie la robustesse du métal à la dureté et à la résistance à l'usure élevées de la céramique. Il convient aux applications extrêmes exigeant une résistance mécanique élevée, une grande résistance à l'usure et une stabilité à haute température, améliorant ainsi les performances globales des anneaux en alliage de tungstène.

4. Conception d'alliages à conductivité thermique et électrique élevées et antimagnétique :

Pour répondre à la demande de matériaux fonctionnels dans des domaines tels que le refroidissement électronique et l'aérospatiale, le nouveau système de matériaux annulaires en alliage de tungstène se concentre également sur l'optimisation des propriétés thermiques, électriques et magnétiques. Un contrôle rationnel de la composition et de la microstructure de l'alliage permet d'obtenir une conductivité thermique élevée, d'excellentes propriétés électriques et une réponse magnétique spécifique, répondant ainsi aux diverses exigences de performance des matériaux pour des applications spécialisées.

5. Matériaux d'alliage écologiques et respectueux de l'environnement :

Face à des réglementations environnementales de plus en plus strictes, le développement de matériaux pour bagues en alliage de tungstène à faible impact environnemental, faciles à recycler et conformes aux normes RoHS et REACH est devenu une priorité absolue. Les nouveaux systèmes d'alliage privilégient non seulement l'amélioration des performances, mais aussi la gestion du cycle de vie des matériaux et le développement durable, favorisant ainsi la transformation écologique de l'industrie des bagues en alliage de tungstène.

8.2 Technologie de fabrication avancée d'anneaux en alliage de tungstène (additif) Fabrication, etc.)

Grâce à l'innovation continue des technologies de fabrication, le procédé traditionnel de fabrication des bagues en alliage de tungstène connaît des changements révolutionnaires. Les technologies de fabrication avancées, notamment les procédés émergents tels que la fabrication additive (impression 3D), le pressage isostatique à chaud de précision et le moulage par injection de poudre, apportent une flexibilité et une efficacité sans précédent à la conception et à la production de bagues en alliage de tungstène. Voici les principales orientations de développement et caractéristiques d'application des technologies actuelles et futures de fabrication de bagues en alliage de tungstène :

1. Application de la technologie de fabrication additive aux bagues en alliage de tungstène

La fabrication additive, notamment les technologies de fusion sur lit de poudre telles que la fusion sélective par laser (SLM) et la fusion par faisceau d'électrons (EBM), permet de former directement des anneaux en alliage de tungstène aux formes géométriques complexes, réduisant ainsi

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

considérablement le gaspillage de matière et la complexité des procédés de fabrication traditionnels. Parmi les avantages spécifiques, on peut citer :

- **Moulage monobloc à structure complexe** : grâce à l'empilement couche par couche, des canaux internes complexes, des structures poreuses et des conceptions légères difficiles à traiter avec les procédés traditionnels sont obtenus, améliorant ainsi l'intégration fonctionnelle des anneaux en alliage de tungstène.
- **Itération rapide et production personnalisée** : Adaptez-vous aux besoins de production de petits lots et de multiples variétés, prenez en charge la modification rapide de la conception et la production en fonction de la personnalisation du client et réalisez une fabrication personnalisée.
- **Taux d'utilisation élevé des matériaux** : la poudre d'alliage de tungstène est directement formée, ce qui réduit considérablement la production de déchets et les coûts de traitement, et a des effets de fabrication écologiques évidents.

Cependant, le point de fusion élevé, la densité élevée et la conductivité thermique de la poudre d'alliage de tungstène imposent des exigences strictes aux équipements et procédés de fabrication additive. L'optimisation des paramètres de procédé et le traitement thermique ultérieur restent des axes de recherche.

2. Optimisation de la technologie de pressage isostatique à chaud de précision (HIP)

Le pressage isostatique à chaud (CIC) permet une densification élevée des bagues en alliage de tungstène grâce à l'action uniforme d'un gaz à haute température et haute pression, éliminant ainsi la porosité et les défauts internes, et améliorant considérablement les propriétés mécaniques et la durabilité. Ces dernières années, le procédé CIC, associé à la métallurgie des poudres et aux technologies de traitement thermique, a permis des avancées continues dans les performances des bagues en alliage de tungstène, notamment en termes de durabilité à haute température et de résistance à la fatigue.

3. Promotion de la technologie de moulage par injection de poudre (PIM)

Le moulage par injection de poudre (PIM) associe la métallurgie des poudres aux techniques de moulage par injection plastique (PIM), ce qui le rend idéal pour la fabrication de bagues complexes et de haute précision en alliage de tungstène. Le PIM offre des avantages tels qu'une grande efficacité de formage, une excellente qualité de surface et un minimum d'étapes de post-traitement. Il a été progressivement adopté pour la production en série de bagues en alliage de tungstène haut de gamme.

4. Technologie de fabrication composite et d'intégration multi-matériaux

À l'avenir, la fabrication d'anneaux en alliage de tungstène évoluera vers l'intégration de composites multi-matériaux. En combinant la fabrication additive à l'usinage traditionnel, il sera possible de fabriquer conjointement des structures fonctionnellement graduées et des revêtements d'amélioration de surface. Cette technologie de fabrication composite confère aux anneaux en alliage de tungstène des performances globales supérieures, répondant ainsi aux exigences des applications en environnements extrêmes telles que l'aérospatiale, l'énergie nucléaire et le médical.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Fabrication intelligente et contrôle numérique des processus

Avec l'essor de l'Industrie 4.0, les technologies de fabrication intelligente intègrent la surveillance par capteurs, le retour d'informations en temps réel et des algorithmes d'optimisation basés sur l'IA pour assurer un contrôle précis et un suivi qualité tout au long du processus de production des bagues en alliage de tungstène. Les technologies de conception et de simulation numériques accélèrent également le cycle de développement et l'optimisation des processus des nouvelles bagues en alliage de tungstène.

8.3 Technologie de récupération et de recyclage des bagues en alliage de tungstène

Face à la raréfaction des ressources en tungstène et au durcissement des réglementations environnementales, le recyclage et la réutilisation des bagues en alliage de tungstène sont devenus essentiels pour garantir une utilisation durable des ressources et réduire les coûts de production. Le recyclage des bagues en alliage de tungstène contribue non seulement à préserver les ressources métalliques stratégiques, mais aussi à réduire la pollution environnementale et à promouvoir le développement d'une production verte. Voici les principales technologies et tendances en matière de recyclage et de réutilisation des bagues en alliage de tungstène :

1. Importance de la récupération des bagues en alliage de tungstène

- Le tungstène est un métal rare dont les réserves sont limitées et la répartition inégale. Son recyclage et son utilisation peuvent atténuer efficacement la pression sur l'approvisionnement en tungstène.
- Les bagues en alliage de tungstène contiennent généralement une forte proportion de tungstène. Si elles ne sont pas recyclées après leur mise au rebut, une grande quantité de métal précieux sera gaspillée.
- Le recyclage contribue à réduire la charge environnementale de l'extraction et de la fusion du minerai lors de la production d'alliages de tungstène et est conforme au concept de développement durable.

2. Principales façons de recycler les bagues en alliage de tungstène

- **Le recyclage mécanique**
implique la découpe, le broyage et d'autres méthodes mécaniques pour traiter les bagues en alliage de tungstène usagées, afin d'obtenir des particules ou de la poudre d'alliage de tungstène réutilisables. Cette méthode convient aux bagues en alliage de tungstène usagées présentant une structure intacte et une faible pollution.
- **Le recyclage chimique**
utilise des méthodes chimiques telles que la lixiviation acide et la fusion alcaline pour dissoudre le tungstène de l'anneau en alliage de tungstène. Grâce à des processus de précipitation et de purification, des composés de tungstène de haute pureté, ou tungstène métallique, sont obtenus. Cette méthode est adaptée au recyclage de déchets mixtes complexes et permet d'éliminer efficacement les impuretés.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Le recyclage par traitement thermique**
utilise la fusion et le grillage à haute température pour récupérer le tungstène et les éléments d'alliage des anneaux en alliage de tungstène, permettant ainsi la récupération du métal et la régénération de l'alliage. Cette méthode exige une grande pureté des déchets et nécessite des investissements importants en équipements.

3. Défis de la technologie de récupération des bagues en alliage de tungstène

- Les bagues en alliage de tungstène contiennent des éléments d'alliage tels que le nickel et le fer. Lors du recyclage, il est nécessaire de séparer efficacement le tungstène des autres métaux afin de garantir la pureté et les performances des matériaux recyclés.
- Les anneaux en alliage de tungstène de rebut peuvent contenir des revêtements, des impuretés et des contaminants, ce qui ajoute de la complexité et du coût au processus de recyclage.
- L'impact environnemental du processus de recyclage doit être strictement contrôlé pour éviter la pollution secondaire.

4. Tendances de développement des technologies avancées de recyclage

- **Les processus de recyclage écologiques**
favorisent les technologies de recyclage chimique à faible consommation d'énergie et inoffensives, telles que la technologie de biolixiviation, afin de réduire l'utilisation de produits chimiques nocifs et de parvenir à un recyclage respectueux de l'environnement.
- **La technologie de séparation à haute efficacité**
combine plusieurs technologies telles que la séparation magnétique, la flottation et la séparation électrochimique pour améliorer l'efficacité de séparation et le taux de récupération du tungstène et des éléments d'alliage.
- La poudre d'alliage de tungstène récupérée par **la technologie de reconditionnement des matériaux peut être directement utilisée dans**
des technologies de préparation avancées telles que la fabrication additive et le moulage par injection de poudre, réalisant une utilisation en boucle fermée des matériaux.
- **La gestion intelligente du recyclage**
utilise l'Internet des objets et les technologies du Big Data pour réaliser le suivi, le tri et le contrôle qualité de l'ensemble du processus de recyclage des bagues en alliage de tungstène usagées et améliorer le niveau de gestion scientifique du système de recyclage.

8.4 Applications potentielles des anneaux en alliage de tungstène dans les technologies de pointe

Grâce aux progrès constants de la science des matériaux et des technologies de fabrication de pointe, les anneaux en alliage de tungstène présentent un vaste potentiel d'application dans de nombreux domaines scientifiques et technologiques de pointe grâce à leurs excellentes propriétés physiques et chimiques. Les applications innovantes potentielles des anneaux en alliage de tungstène, issues de plusieurs domaines scientifiques et technologiques importants, sont présentées ci-dessous :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Équipements de détection aérospatiaux et de l'espace lointain à haute performance

les anneaux en alliage de tungstène conviennent parfaitement aux blocs de masse inertielle, aux masses de contrôle d'attitude et aux composants d'étanchéité et de connexion des engins spatiaux dans des environnements à haute température. Les futures missions d'exploration spatiale profonde nécessiteront des matériaux encore plus adaptables aux environnements extrêmes, et les anneaux en alliage de tungstène peuvent fournir un support structurel et fonctionnel essentiel aux engins spatiaux.

2. Fusion nucléaire et équipements d'énergie nucléaire haut de gamme

Dans les réacteurs à fusion nucléaire et les dispositifs nucléaires avancés, les matériaux doivent résister à des rayonnements intenses, à des températures extrêmes et à des environnements corrosifs. Les anneaux en alliage de tungstène, grâce à leurs excellentes capacités de protection contre les rayonnements et à leur stabilité thermique, peuvent être utilisés dans les composants structurels, les anneaux de blindage et les absorbeurs de neutrons des réacteurs nucléaires, contribuant ainsi au développement maîtrisé de la technologie de la fusion nucléaire.

3. Applications en informatique quantique et instruments de haute précision

Les ordinateurs quantiques et les instruments de mesure de haute précision imposent des exigences extrêmement élevées aux matériaux de blindage électromagnétique, de coefficient de dilatation thermique et de stabilité mécanique. Le faible coefficient de dilatation thermique et l'excellent blindage électromagnétique des anneaux en alliage de tungstène en font des matériaux idéaux pour les structures de blindage et les supports mécaniques des dispositifs quantiques, améliorant ainsi efficacement la stabilité du système et la précision de calcul.

4. Équipements de fabrication de microélectronique et de semi-conducteurs

Les anneaux en alliage de tungstène sont utilisés comme contrepoids stables et haute densité, ainsi que comme composants résistants à l'usure et aux températures élevées dans les équipements de fabrication microélectronique, assurant un contrôle précis des mouvements et un fonctionnement stable à long terme. De plus, la résistance à la corrosion du tungstène prolonge la durée de vie des composants clés et améliore l'efficacité globale de la chaîne de production.

5. Équipements médicaux et systèmes de radiothérapie haut de gamme

Les anneaux en alliage de tungstène sont adaptés aux dispositifs de positionnement de précision et aux anneaux de protection contre les radiations des équipements de radiothérapie, garantissant ainsi la sécurité et la précision des traitements. Avec l'évolution des technologies médicales vers des traitements mini-invasifs et précis, les anneaux en alliage de tungstène joueront un rôle croissant dans les dispositifs médicaux.

6. Nouvelles énergies et systèmes de stockage d'énergie

Dans les domaines de l'hydrogène, des piles à combustible et des systèmes avancés de stockage d'énergie, les anneaux en alliage de tungstène peuvent être utilisés comme éléments de résistance

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

structurelle et composants de blindage électromagnétique pour améliorer la sécurité et la durabilité des systèmes. Leur résistance aux hautes températures et à la corrosion garantit également le fonctionnement stable et à long terme des nouveaux équipements énergétiques.

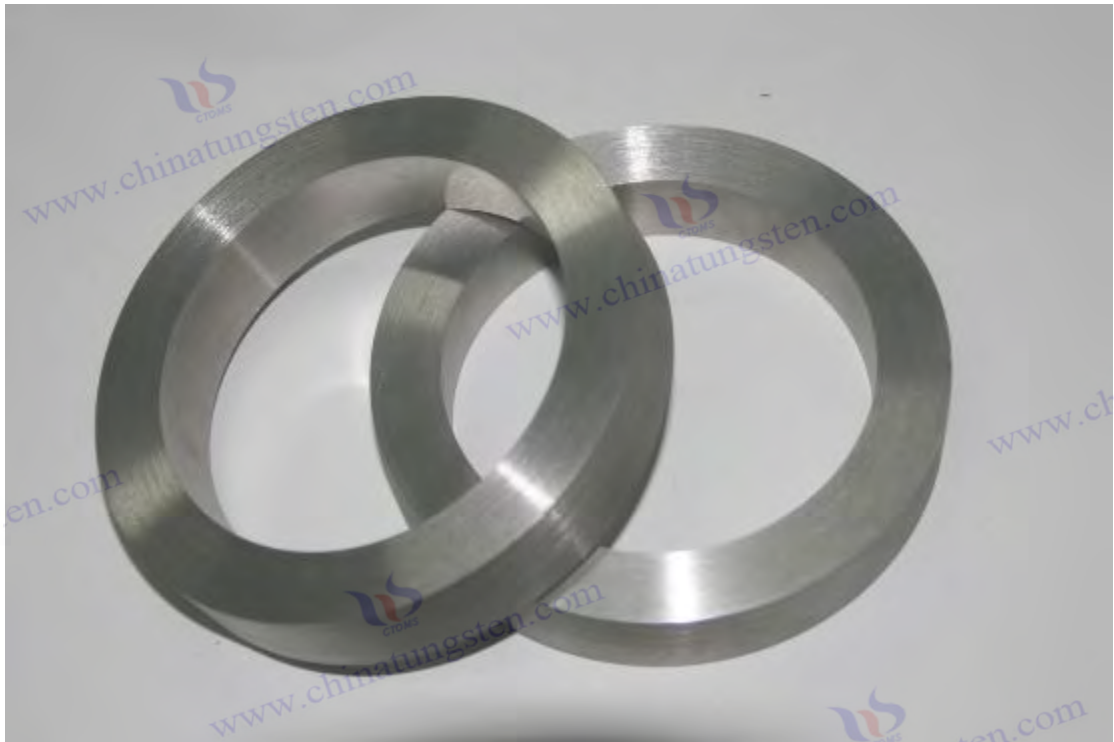
7. Fabrication additive et équipements de fabrication intelligents

Les anneaux en alliage de tungstène conviennent aux composants clés des équipements de fabrication additive (impression 3D), permettant la fabrication précise de pièces complexes. La réactivité et les exigences élevées en matière de matériaux dans le domaine de la fabrication intelligente ont conduit à une utilisation généralisée des anneaux en alliage de tungstène dans les équipements automatisés.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Annexe

Annexe 1 : Données physiques et chimiques communes des bagues en alliage de tungstène

Cette annexe résume les données sur les propriétés physiques et chimiques couramment utilisées dans la conception, la fabrication et l'application des bagues en alliage de tungstène à titre de référence pour les ingénieurs, les techniciens et les chercheurs afin de faciliter la sélection des matériaux, l'optimisation des processus et l'évaluation des performances.

Catégorie de paramètre	de projet	Plage de valeurs typique	Remarque
Propriétés physiques	Densité (g/cm³)	17,0 – 18,8	en fonction de la teneur en tungstène et de la composition de l'alliage
	proportion	17,0 – 18,8	Équivalent à la densité
	Point de fusion (°C)	3422	Point de fusion du tungstène
	Coefficient de dilatation thermique (×10 ⁻⁶ / K)	4,5 – 6,0	Les différents systèmes d'alliage présentent de légères différences
	Conductivité thermique (W/m·K)	100 – 150	Varie en fonction de la composition de l'alliage
	Conductivité (% IACS)	5 – 15	Influence de la teneur en nickel et en fer
Propriétés mécaniques	Résistance à la traction (MPa)	500 – 900	Cela dépend du rapport d'alliage et du processus de traitement thermique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	Limite d'élasticité (MPa)	300 – 700	
	Ténacité à la rupture (MPa·m ^{1/2})	10 – 25	
	Dureté (HV)	200 – 350	Selon différents ingrédients et procédés
composition chimique	Teneur en tungstène (W, %)	85 – 98	Différents types d'alliages
	Teneur en nickel (Ni, %)	1 – 12	
	Teneur en fer (Fe, %)	1 – 12	
	Autres éléments d'alliage	0 – 3	Tels que le cuivre, le molybdène, etc.
	Teneur en oxygène (O, ppm)	< 100	Affecte la fragilité et les propriétés mécaniques
	Teneur en carbone (C, ppm)	< 50	
propriétés de surface	Rugosité de surface (Ra, μm)	0,1 – 1,0	Selon la technologie de traitement
	Épaisseur du revêtement de surface (μm)	1 – 50	Selon le type de revêtement

Remarque:

- Les données ci-dessus sont des valeurs typiques. Les performances spécifiques sont influencées par des facteurs tels que la composition de l'alliage, le procédé de préparation, le traitement thermique et l'environnement d'utilisation.
- Les paramètres de performance physique sont applicables aux conditions de température ambiante et doivent être ajustés en fonction de l'environnement d'utilisation réel.
- La teneur en impuretés dans la composition chimique a une grande influence sur les performances des anneaux en alliage de tungstène et doit être strictement contrôlée.
- Les paramètres caractéristiques de surface se réfèrent principalement à l'état après traitement ou revêtement, ce qui affecte la durée de vie et les performances fonctionnelles.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annexe 2 : Tableau comparatif des normes internationales pour les bagues en alliage de tungstène

Cette annexe résume les principales normes internationales relatives aux bagues en alliage de tungstène, couvrant les spécifications des matériaux, les tests de performance, le contrôle qualité et les spécifications d'application, pour la commodité de référence des ingénieurs et du personnel de gestion de la qualité.

Système standard	Norme n°	Nom standard (chinois)	Nom standard (anglais)	Brève description du champ d'application et du contenu
Norme nationale chinoise (GB)	GB/T 1234-xxxx	Exigences techniques relatives aux matériaux en alliage de tungstène	Conditions techniques pour les matériaux en alliage de tungstène	bagues en alliage de tungstène et produits connexes
	GB/T 5678-xxxx	Méthode d'essai des propriétés mécaniques des bagues en alliage de tungstène	Méthodes d'essai des propriétés mécaniques des bagues en alliage de tungstène	Normes d'essai des propriétés mécaniques des bagues en alliage de tungstène
Société américaine pour les essais et les matériaux (ASTM)	ASTM B777-xxxx	Spécifications des matériaux en alliage de tungstène	Spécification standard pour les matériaux en alliage de tungstène	Composition, propriétés et normes de fabrication des bagues en alliage de tungstène
	ASTM E8/E8M-xxxx	Normes d'essai de traction pour les matériaux métalliques	Méthodes d'essai standard pour les essais de traction des matériaux métalliques	Méthode d'essai des propriétés de traction des anneaux en alliage de tungstène
Norme militaire américaine (MIL)	MIL-DTL-xxxx	Exigences techniques pour les bagues militaires en alliage de tungstène	Spécifications militaires détaillées pour les anneaux en alliage de tungstène	Exigences de performance et de qualité des produits militaires en alliage de tungstène
Organisation internationale de normalisation (ISO)	ISO 11945:xxxx	Spécifications techniques générales des matériaux en alliage de tungstène	Matériaux en alliage de tungstène — Spécifications techniques générales	Spécifications des matériaux en alliage de tungstène acceptées à l'échelle internationale
	ISO 6507-1 : xxxx	Méthode d'essai de dureté Vickers	Matériaux métalliques — Essai de dureté Vickers — Partie 1	Méthode standard pour l'essai de dureté des bagues en alliage de tungstène
Normes	EN 12502-	Propriétés et tests	Performances et tests des alliages de	Spécifications des tests de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

européennes (EN)	xxxx	des alliages de tungstène	tungstène	performance et du contrôle qualité des bagues en alliage au sein de l'UE
Normes de conformité environnementale	Directive RoHS 2011/65/UE	Directive relative à la limitation de l'utilisation de substances dangereuses	Directive sur la restriction des substances dangereuses	Bagues en alliage de tungstène et exigences de conformité environnementale
	REACH (CE) n° 1907/2006	Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques (CER)	Règlement sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des produits chimiques	Exigences de conformité pour les substances chimiques dans les matériaux des bagues en alliage de tungstène

Remarque:

- « xxxx » dans le numéro standard indique différentes versions et années spécifiques. La dernière version doit être confirmée pour une application réelle.
- Les exigences normatives concernant les bagues en alliage de tungstène varient selon les pays et les régions . Le choix du projet doit être adapté au marché cible.
- Certaines normes se concentrent sur les tests de performance, tandis que d'autres se concentrent sur la composition chimique des matériaux et la conformité environnementale, et les deux doivent être appliquées en combinaison.
- Les entreprises doivent mettre en place un système de gestion de la qualité qui répond aux normes internationales et nationales en fonction des besoins réels de production et d'application.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annexe III : Glossaire et abréviations anglaises des bagues en alliage de tungstène

Cette annexe résume les termes couramment utilisés dans le domaine des bagues en alliage de tungstène et leurs expressions anglaises correspondantes, ainsi que les explications des abréviations associées, pour faciliter la compréhension et la communication entre les techniciens, le personnel de R&D et les gestionnaires.

terminologie chinoise	Terminologie anglaise	Abréviations	Explication
Bague en alliage de tungstène	Bague en alliage de tungstène	—	Les pièces structurelles annulaires en alliages à base de tungstène sont largement utilisées dans les domaines haut de gamme.
Métallurgie des poudres	Métallurgie des poudres	Premier ministre	Une technologie de préparation de matériaux métalliques par des procédés de pressage de poudre et de frittage.
frittage	Frittage	—	Processus de combinaison de particules de poudre à haute température pour former un solide dense.
microstructure	Microstructure	—	Les caractéristiques structurelles internes d'un matériau observées au microscope.
densité	Densité/Compacité	—	L'étanchéité du matériau affecte ses propriétés mécaniques et physiques.
résistance à la traction	Résistance à la traction	TS	La contrainte maximale à laquelle un matériau résiste à la rupture par traction.
Limite d'élasticité	Limite d'élasticité	YS	La valeur de contrainte à laquelle le matériau commence à se déformer plastiquement.
ténacité à la rupture	Résistance à la fracture	—	La capacité d'un matériau à résister à la croissance des fissures.
dureté	Dureté	—	La capacité à résister à la déformation locale ou aux rayures est généralement exprimée en dureté Vickers (HV).
granularité	Taille des grains	—	La taille des grains dans la microstructure du matériau affecte les propriétés du matériau.
Emballage sous vide	Emballage sous vide	—	Le matériau est emballé sous vide pour éviter l'oxydation et la contamination.
Fabrication additive	Fabrication additive	SUIS	Une technologie qui permet de construire des pièces en assemblant des matériaux couche par couche, comme l'impression 3D.
rugosité de surface	Rugosité de surface	—	Le degré d'ondulations microscopiques à la surface d'un matériau.
Contrôle par ultrasons	Contrôle par ultrasons	Utah	Une méthode de contrôle non destructif qui utilise des ondes ultrasonores pour détecter les défauts internes des matériaux.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Inspection aux rayons X	Test aux rayons X	XRT	Utiliser les rayons X pour effectuer des tests non destructifs sur les matériaux afin de détecter les défauts internes.
Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif	Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif	ICP-MS	Technologie analytique utilisée pour détecter la composition en oligo-éléments dans les matériaux.
microscope électronique	Microscope électronique	EM	Microscopes à haute résolution pour l'observation de la microstructure des matériaux.
Directive RoHS	Directive sur la restriction des substances dangereuses	RoHS	Réglementation environnementale de l'UE sur la restriction de l'utilisation de substances dangereuses.
Règlement REACH	Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques	ATTEINDRE	de l'UE sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des produits chimiques.
Dureté Vickers	Dureté Vickers	HT	Une méthode couramment utilisée pour mesurer la dureté du métal.
particules de poudre	Particules de poudre	—	La distribution granulométrique des particules de matière première utilisées pour préparer les anneaux en alliage de tungstène affecte la qualité du produit fini.
Microalliage	Microalliage	—	Une technologie qui ajoute des éléments d'alliage à l'état de traces à la matrice pour améliorer les performances.
Renforcement par nanoparticules	Renforcement par nanoparticules	—	Une technique permettant d'améliorer les propriétés mécaniques des matériaux par dispersion de nanoparticules.
Coaxialité	Concentricité	—	La concentricité des diamètres intérieur et extérieur de la bague en alliage de tungstène affecte la précision de l'ajustement.
Revêtement anticorrosion	Revêtement anticorrosion	—	Un revêtement qui protège la surface d'un matériau contre la corrosion chimique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

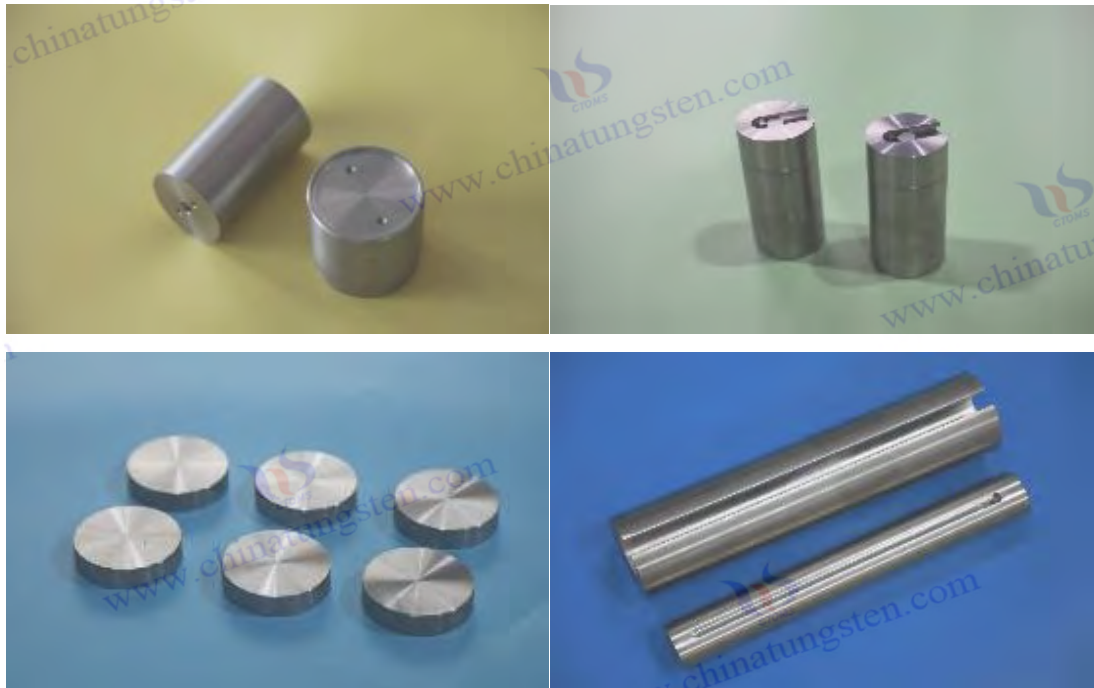
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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