

# Encyclopédie des tiges 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

**Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

## PRÉSENTATION DE CTIA GROUP

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

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

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

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



### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD  
Tungsten Rods Introduction

**1. Overview of Tungsten Rods**

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity  $\geq 99.95\%$ ) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

**2. Characteristics of Tungsten Rods**

- ✓ Ultra-high melting point: Up to  $3410^{\circ}\text{C}$ , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

**3. The Main Applications Tungsten Rods**

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

**4. Basic Data of Tungsten Rods**

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm <sup>3</sup>
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~4.5 x 10 <sup>-6</sup> /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

**5. Procurement Information**

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

## Répertoire

### Chapitre 1 Introduction

- 1.1 Définition et aperçu des tiges de tungstène
- 1.2 L'importance des tiges de tungstène dans l'industrie
- 1.3 Contexte historique et développement

### Chapitre 2 Types de tiges de tungstène

- 2.1 Les tiges de tungstène sont classées par composition
  - 2.1.1 Tiges de tungstène pur
  - 2.1.2 Tiges de tungstène de haute pureté ( $\geq 99,95\%$ )
  - 2.1.3 Barres de tungstène dopées (dopage aux terres rares, dopage à l'oxyde)
- 2.2 Les tiges de tungstène sont classées en fonction du processus de fabrication
  - 2.2.1 Tiges de tungstène frittées
  - 2.2.2 Tiges de tungstène forgées
  - 2.2.3 Tiges de tungstène laminées
  - 2.2.4 Dessiner des tiges de tungstène
  - 2.2.5 Extruder des tiges de tungstène
- 2.3 Les tiges de tungstène sont classées en fonction de leur utilisation
  - 2.3.1 Tiges de tungstène à usage industriel
  - 2.3.2 Tiges de tungstène pour l'électronique
  - 2.3.3 Tiges de tungstène à usage militaire
  - 2.3.4 Autres tiges de tungstène à usage spécial
- 2.4 Les tiges de tungstène sont classées selon les spécifications
  - 2.4.1 Tiges de tungstène de petit diamètre ( $< 5\text{ mm}$ )
  - 2.4.2 Tiges de tungstène de diamètre moyen ( $5\text{ à }20\text{ mm}$ )
  - 2.4.3 Tiges de tungstène de grand diamètre ( $> 20\text{ mm}$ )
- 2.5 Les tiges de tungstène sont classées en fonction de leur état de surface
  - 2.5.1 Bâtonnets en cuir noir
  - 2.5.2 Bâtons Cartlight
  - 2.5.3 Tiges de polissage
- 2.6 Tiges spéciales en tungstène
  - 2.6.1 Tiges de tungstène de potassium
  - 2.6.2 Barres de tungstène dopées au thorium
  - 2.6.3 Tiges de tungstène dopées au cérium
  - 2.6.4 Tiges de tungstène dopées au lanthane
  - 2.6.5 Barres de tungstène dopées au zirconium
  - 2.6.6 Tiges de tungstène dopées à l'yttrium
  - 2.6.7 Tiges composites de tungstène de terres rares
- 2.7 Comparaison des modèles et des grades internationaux
  - 2.7.1 Grades de tiges de tungstène pur
  - 2.7.2 Grades de tiges de tungstène dopées
  - 2.7.4 Grades nationaux et étrangers (GB/T, ASTM, ISO)

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

## Chapitre 3 Caractéristiques des tiges de tungstène

- 3.1 Propriétés physiques des tiges de tungstène
  - 3.1.1 Point de fusion élevé des tiges de tungstène
  - 3.1.2 Haute densité de tiges de tungstène
  - 3.1.3 Faible coefficient de dilatation thermique des tiges de tungstène
  - 3.1.4 Conductivité thermique et électrique des tiges de tungstène
  - 3.1.5 Faible pression de vapeur des tiges de tungstène
- 3.2 Propriétés chimiques des tiges de tungstène
  - 3.2.1 Résistance à la corrosion des tiges de tungstène
  - 3.2.2 Stabilité chimique des tiges de tungstène
  - 3.2.3 Réactivité des tiges de tungstène avec d'autres éléments
- 3.3 Propriétés mécaniques des tiges de tungstène
  - 3.3.1 Haute résistance et dureté des tiges de tungstène
  - 3.3.2 Résistance au fluage des tiges de tungstène
  - 3.3.3 Ténacité et usinabilité des tiges de tungstène
- 3.4 Comparaison des caractéristiques de différents types de tiges de tungstène
  - 3.4.1 Tiges de tungstène pur et tiges de tungstène de haute pureté
  - 3.4.2 Propriétés spéciales des barres de tungstène dopées
- 3.5 Tiges de tungstène MSDS de CTIA GROUP LTD

## Chapitre 4 Préparation et technologie de production des tiges de tungstène

- 4.1 Préparation des matières premières pour les tiges de tungstène
  - 4.1.1 Extraction et purification du minerai de tungstène
  - 4.1.2 Préparation de la poudre de tungstène
  - 4.1.3 Ajout d'éléments d'alliage et de dopants
- 4.2 Technologie de métallurgie des poudres des tiges de tungstène
  - 4.2.1 Mélange et pressage de la poudre
  - 4.2.2 Frittage à haute température
  - 4.2.3 Optimisation des performances des tiges de tungstène frittées
- 4.3 Technologie de traitement de la déformation des tiges de tungstène
  - 4.3.1 Forgeage à chaud (forgeage au marteau, forgeage rotatif)
  - 4.3.2 Extrusion à chaud
  - 4.3.3 Roulage
  - 4.3.4 Traction
- 4.4 Préparation de tiges de tungstène à grande échelle
  - 4.4.1 Difficultés et défis techniques
  - 4.4.2 Méthode de préparation des tiges de tungstène à haute densité
  - 4.4.3 Optimisation et innovation des procédés
- 4.5 Technologie de post-traitement des tiges de tungstène
  - 4.5.1 Traitement thermique
  - 4.5.2 Traitement de surface (polissage, nettoyage)
  - 4.5.3 Usinage et coupe de précision
- 4.6 Caractéristiques de processus des différents types de tiges de tungstène

### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 4.6.1 Procédé de tige de tungstène pur
- 4.6.2 Procédé de tige de tungstène de haute pureté
- 4.6.3 Procédé de tige de tungstène dopée

## Chapitre 5 Utilisations des tiges de tungstène

- 5.1 Applications industrielles des tiges de tungstène
  - 5.1.1 Tiges à noyau de tungstène pour four à quartz
  - 5.1.2 Préparation des plaquettes de silicium monocristallin
  - 5.1.3 Purification des éléments de terres rares
  - 5.1.4 Creuset en tungstène pour four à cristal de saphir
- 5.2 Les tiges de tungstène sont utilisées dans l'armée et la défense nationale
  - 5.2.1 Noyaux perforants
  - 5.2.2 Tiges de tungstène hautement explosives
- 5.3 Les tiges de tungstène sont utilisées dans l'électronique et l'éclairage
  - 5.3.1 Filament de tungstène (filament, fil de support)
  - 5.3.2 Électrodes (électrodes en tungstène, électrodes en tungstène de terres rares)
  - 5.3.3 Cibles de pulvérisation
- 5.4 Les tiges de tungstène sont utilisées dans l'automobile et l'aérospatiale
  - 5.4.1 Composants d'automatisation automobile
  - 5.4.2 Composants aérospatiaux à haute température
- 5.5 Les tiges de tungstène sont utilisées dans la recherche médicale et scientifique
  - 5.5.1 Instruments médicaux (protection contre les rayonnements)
  - 5.5.2 Équipement expérimental (expériences à haute température)
- 5.6 Les tiges de tungstène sont utilisées dans d'autres domaines
  - 5.6.1 Articles de sport (fléchettes en carbure de tungstène)
  - 5.6.2 Bijouterie (bijouterie en carbure de tungstène)
  - 5.6.3 Outils spéciaux et moules

## Chapitre 6 Équipement de production de tiges de tungstène

- 6.1 Équipement de métallurgie des poudres pour les tiges de tungstène
  - 6.1.1 Mélangeurs
  - 6.1.2 Presses
  - 6.1.3 Four de frittage à haute température
- 6.2 Équipement de traitement de la déformation des tiges de tungstène
  - 6.2.1 Marteaux pneumatiques et marteaux électrohydrauliques
  - 6.2.2 Machines à sertir rotatives
  - 6.2.3 Extrudeuses à chaud
  - 6.2.4 Laminoirs et machines à étirer
- 6.3 Équipement de post-traitement pour les tiges de tungstène
  - 6.3.1 Fours de traitement thermique
  - 6.3.2 Équipement de polissage et de nettoyage
  - 6.3.3 Équipement d'usinage de précision (tours, rectifieuses)
- 6.4 Équipement de production avancé pour les tiges de tungstène

### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 6.4.1 Équipement de frittage de plasma
- 6.4.2 Fours de fusion sous vide
- 6.4.3 Systèmes de contrôle et de surveillance automatiques
- 6.5 Sélection de l'équipement et entretien des tiges de tungstène
- 6.5.1 Exigences relatives à l'équipement pour différents types de tiges de tungstène
- 6.5.2 Entretien de l'équipement et gestion de la durée de vie

## Chapitre 7 Normes nationales et étrangères pour les tiges de tungstène

- 7.1 Normes internationales pour les tiges de tungstène
  - 7.1.1 Norme ISO (ISO 24370 : Tungstène et alliages de tungstène)
  - 7.1.2 Norme ASTM (ASTM B777 : Alliage de tungstène haute densité)
  - 7.1.3 Classe 13 de l'AGRR
  - 7.1.4 Autres normes internationales
- 7.2 Norme chinoise pour les tiges de tungstène
  - 7.2.1 GB/T 4187-2017 (Norme nationale pour les barres de tungstène)
  - 7.2.2 GB/T 3459-2017 (tungstène et produits en alliage de tungstène)
  - 7.2.3 Norme industrielle (YS/T 695-2009 : Électrode de tungstène)
- 7.3 Comparaison des normes et applicabilité des tiges de tungstène
  - 7.3.1 Différences entre les normes canadiennes et étrangères
  - 7.3.2 Exigences normalisées pour les différents types de tiges de tungstène
  - 7.3.3 L'importance directrice des normes de production et d'essai

## Chapitre 8 Détection des tiges de tungstène

- 8.1 Propriétés physiques des tiges de tungstène Essai
  - 8.1.1 Essai de densité des tiges de tungstène
  - 8.1.2 Essai de dureté des tiges de tungstène (Vickers, Brinell)
  - 8.1.3 Essai de résistance à la traction et de ténacité des tiges de tungstène
  - 8.1.4 Essai de dilatation thermique et de conductivité thermique des tiges de tungstène
- 8.2 Analyse de la composition chimique des tiges de tungstène
  - 8.2.1 Analyse spectroscopique (ICP-MS, XRF)
  - 8.2.2 Détection des oligo-éléments et des impuretés
- 8.3 Analyse de la microstructure des tiges de tungstène
  - 8.3.1 Observation au microscope (MEB, MET)
  - 8.3.2 Granulométrie et uniformité de la microstructure
- 8.4 Essais non destructifs des tiges de tungstène
  - 8.4.1 Contrôle par ultrasons
  - 8.4.2 Inspection par rayons X
  - 8.4.3 Magnétoscopie
- 8.5 Vérification des performances des tiges de tungstène
  - 8.5.1 Essai de performance à haute température
  - 8.5.2 Essai de résistance à la corrosion
  - 8.5.3 Essai de conductivité et de fluage
- 8.6 Points clés de détection des différents types de tiges de tungstène

### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 8.6.1 Détection des tiges de tungstène pur
- 8.6.2 Détection des tiges de tungstène de haute pureté
- 8.6.3 Détection des tiges de tungstène dopées

## **Chapitre 9 : État de l'industrie des tiges de tungstène et tendance de développement**

- 9.1 Vue d'ensemble du marché des tiges de tungstène en Chine
  - 9.1.1 Analyse de l'offre et de la demande du marché
- 9.2 Vue d'ensemble du marché international des tiges de tungstène
  - 9.2.1 Principaux pays et régions exportateurs
  - 9.2.2 Dépendance à l'égard des importations et état de la chaîne d'approvisionnement
- 9.3 Tendance au développement technologique des tiges de tungstène
  - 9.3.1 Nouveaux matériaux et technologies d'alliage
  - 9.3.2 Fabrication écologique et technologies d'économie d'énergie
  - 9.3.3 Production intelligente et automatisée
- 9.4 Défis et opportunités des tiges de tungstène
  - 9.4.1 Goulets d'étranglement et percées techniques
  - 9.4.2 Concurrence sur le marché et mondialisation
  - 9.4.3 Exigences relatives à la protection de l'environnement et au développement durable

## **Chapitre 10 Conclusions**

- 10.1 La valeur fondamentale et les perspectives d'application des tiges de tungstène
- 10.2 Direction du développement futur des tiges de tungstène
- 10.3 Recommandations pour le développement de l'industrie

## **Appendice**

- A. Glossaire
- B. Références

### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

## Chapitre 1 Introduction

### 1.1 Définition et aperçu des tiges de tungstène

La tige de tungstène est un matériau métallique en forme de tige fabriqué à partir de tungstène (symbole d'élément chimique W, numéro atomique 74) ou de son alliage comme composant principal, par des procédés de métallurgie des poudres, de forgeage, d'étrépage ou d'extrusion. Les tiges de tungstène sont connues pour leurs excellentes propriétés physiques, chimiques et mécaniques, notamment un point de fusion extrêmement élevé (3410°C), une densité élevée (19,25 g/cm<sup>3</sup>), une excellente résistance à la corrosion et une excellente résistance mécanique. Ces propriétés rendent les tiges de tungstène indispensables dans de nombreux secteurs industriels exigeants tels que l'aérospatiale, l'électronique, l'armée, le médical et la fabrication à haute température.

#### La composition de base de la tige de tungstène

Les barres de tungstène peuvent être divisées en trois catégories en fonction de leur composition : les barres de tungstène pur, les barres de tungstène de haute pureté et les barres de tungstène dopées.

**Tige de tungstène pur :** avec du tungstène de haute pureté (pureté  $\geq 99,9\%$ ) comme composant principal, il convient aux environnements à haute température, à haute résistance et résistants à la corrosion, tels que les cathodes de tube à vide, les cibles de tube à rayons X et les tiges de noyau de four à haute température dans l'industrie électronique.

**Tige de tungstène de haute pureté ( $\geq 99,95\%$ ) :** Le tungstène d'une pureté de 99,95 % ou plus et d'une très faible teneur en impuretés (<50 ppm) est conçu pour les semi-conducteurs, les dispositifs médicaux et les appareils électroniques haut de gamme qui nécessitent une propreté et une précision élevées, tels que les composants de dispositifs d'implantation ionique et les cibles de pulvérisation.

**Tige de tungstène dopée (dopage aux terres rares, dopage aux oxydes) :** Des éléments de terres rares (tels que le cérium, le lanthane, l'yttrium) ou des oxydes (tels que l'oxyde de thorium, la zircone) sont ajoutés à la matrice de tungstène pour améliorer la stabilité de l'arc, la résistance au fluage et les performances de traitement, et sont largement utilisés dans les électrodes de soudage (telles que les électrodes de soudage à l'arc argon) et les éléments de four à haute température.

#### Forme et spécification de la tige de tungstène

Les barres de tungstène se présentent sous diverses formes, avec des diamètres allant du micron (par exemple, les tiges de tungstène étirées pour les filaments) à des dizaines de millimètres (par exemple, les tiges de tungstène industrielles à grande échelle). Leurs longueurs sont souvent adaptées aux besoins de l'application, allant de quelques centimètres à plusieurs mètres. L'état de surface varie également en fonction du processus d'usinage, y compris les tiges noires (non finies avec une couche d'oxyde), les tiges de polissage (surface lisse après usinage) et les tiges de polissage (avec une finition de surface extrêmement élevée pour les applications de précision).

#### Processus de préparation de la tige de tungstène

Les tiges de tungstène sont généralement préparées à l'aide de la technologie de la métallurgie des poudres, et le processus de base comprend :

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Préparation de la poudre de tungstène : la poudre de tungstène de haute pureté est purifiée à partir de minerai de tungstène (comme la wolframite ou la scheelite).

Pressage et frittage de poudre : la poudre de tungstène est pressée dans une ébauche et frittée à haute température (2000-3000°C) pour former une tige de tungstène frittée dense.

Traitement de déformation : traitement ultérieur par forgeage à chaud, emboutissage rotatif, laminage ou emboutissage pour améliorer la densité et les propriétés mécaniques du matériau.

Post-traitement : y compris le traitement thermique, le polissage de surface ou le nettoyage pour répondre à des besoins d'application spécifiques.

### Propriétés uniques des tiges de tungstène

Les tiges de tungstène sont préférées pour leur combinaison unique de propriétés :

Point de fusion élevé : Le tungstène a le point de fusion le plus élevé de tous les métaux et convient aux environnements à très haute température tels que les fours à quartz et les fours à cristal de saphir.

Haute densité : La proximité de la densité de l'or lui confère un avantage dans les domaines qui nécessitent des contreponds de haute qualité, tels que les balances aérospatiales.

Résistance à la corrosion : Le tungstène a une excellente résistance à la corrosion de la plupart des acides et des bases à température ambiante, et ne réagira lentement que dans des environnements à haute température et fortement oxydants (tels que l'acide nitrique).

Résistance mécanique : La tige de tungstène conserve une résistance élevée et une résistance au fluage à haute température, et convient aux pièces sollicitées à long terme.

Conductivité électrique et thermique : Bien que moins conducteur que les métaux tels que le cuivre, sa stabilité à haute température le rend excellent dans les électrodes et les filaments.

### Classification et nomenclature des barres de tungstène

Les tiges de tungstène sont souvent nommées en fonction de leur composition, de leur utilisation ou des normes internationales. Par exemple:

Normes internationales : telles que ASTM B760 (tige de tungstène pur).

Grades de tiges de tungstène dopées : telles que WT20 (tige de tungstène dopée au thorium à 2 %), WL15 (tige de tungstène dopée au lanthane à 1,5 %), conformément à la norme AWS A5.12.

Les normes nationales, telles que GB/T 4187-2017, spécifient la composition chimique, les tolérances dimensionnelles et les exigences de performance des barres de tungstène. Ces systèmes de nomenclature facilitent le commerce et l'application à l'échelle mondiale, en assurant l'uniformité et la traçabilité des spécifications des matériaux.

### Aperçu du marché mondial des tiges de tungstène

En tant que matériau haute performance, la tige de tungstène est largement utilisée dans les systèmes industriels mondiaux. La Chine est la plus grande ressource de tungstène et le plus grand producteur de produits à base de tungstène au monde, représentant plus de 80 % de la production mondiale de tungstène, principalement exportée vers les États-Unis, l'Europe et le Japon. La production de tiges de tungstène est concentrée dans un petit nombre d'entreprises spécialisées, et la demande du marché est principalement tirée par la fabrication de semi-conducteurs, les nouvelles énergies, l'aérospatiale

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et les industries de la défense.

### **La tige de tungstène est respectueuse de l'environnement et durable**

La production de barres de tungstène implique l'extraction du minerai de tungstène et le traitement à haute température, qui est énergivore et peut produire des gaz d'échappement et des résidus. Ces dernières années, des technologies de fabrication vertes (par exemple, le frittage à faible consommation d'énergie, le recyclage des déchets) ont été adoptées pour réduire l'impact environnemental. De plus, la grande durabilité et la recyclabilité des tiges de tungstène les rendent durables tout au long de leur cycle de vie.

### **1.2 L'importance des tiges de tungstène dans l'industrie**

Les tiges de tungstène jouent un rôle clé dans les industries mondiales en raison de leurs excellentes performances et sont largement utilisées dans des domaines exigeants de haute technologie tels que la fabrication de semi-conducteurs, l'aérospatiale, la défense, l'énergie, la médecine et les industries de l'éclairage. Son importance se reflète dans ses propriétés uniques qui répondent aux besoins en matériaux des environnements extrêmes, favorisant le progrès technologique et l'efficacité industrielle. L'importance des tiges de tungstène dans l'industrie est discutée en détail sous plusieurs angles.

### **Applications principales dans des environnements à haute température**

Le point de fusion élevé de la tige de tungstène (3410°C) en fait un matériau irremplaçable dans les environnements à haute température. Dans le four de fusion continue de quartz, la tige de tungstène est utilisée comme tige centrale pour résister à des températures extrêmes de plus de 2000 °C pour la production de verre de quartz de haute pureté, qui est largement utilisé dans les industries de la fibre optique et des semi-conducteurs. De même, dans un four à cristal de saphir, les tiges de tungstène sont transformées en creusets ou en supports pour la production de cristaux de saphir artificiels, qui sont utilisés dans les substrats LED et les fenêtres optiques. La résistance au fluage des tiges de tungstène garantit la stabilité structurelle même en cas de contraintes à haute température à long terme, ce qui n'est pas le cas avec d'autres matériaux métalliques tels que le nickel et le molybdène.

### **L'épine dorsale de l'industrie des semi-conducteurs et de l'électronique**

La fabrication de semi-conducteurs exige une pureté et des performances de matériaux extrêmement élevées, et les tiges de tungstène jouent un rôle important à cet égard. Par exemple, dans la production de silicium monocristallin, les tiges de tungstène sont utilisées comme éléments chauffants ou structures de support pour les fours à haute température afin d'assurer la stabilité et l'uniformité de la croissance des cristaux. De plus, les tiges de tungstène dopées (telles que les tiges de tungstène dopées au cérium ou au lanthane) sont largement utilisées comme électrodes de soudage à l'arc à l'argon pour le soudage de précision d'équipements à semi-conducteurs, et leur excellente stabilité à l'arc et leur résistance à l'usure améliorent la qualité et l'efficacité du soudage. Les tiges de tungstène sont également transformées en cibles de pulvérisation cathodique pour être utilisées dans les processus de dépôt physique en phase vapeur (PVD) afin de fabriquer des couches minces pour les circuits intégrés et les écrans.

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

### **Matériaux stratégiques dans le domaine de la défense et du militaire**

La haute densité et la dureté des tiges de tungstène en font un matériau stratégique pour l'industrie militaire. Les tiges en alliage de tungstène (par exemple l'alliage de tungstène nickel-fer, d'une densité allant jusqu'à 18,5 g/cm<sup>3</sup>) sont transformées en noyaux perforants pour frapper des cibles antichars et blindées, avec une énergie cinétique élevée et une pénétration dépassant de loin celles des aciers conventionnels. De plus, les barres de tungstène ont été conçues dans le concept d'« armes cinétiques » comme des ogives cinétiques à haute densité, et bien qu'elles n'aient pas encore été réellement déployées, leur potentiel montre l'importance des barres de tungstène dans la technologie militaire future. La résistance aux températures élevées et à la corrosion des tiges de tungstène les rend également adaptées aux tuyères de missiles et aux pièces de blindage.

### **Un choix fiable pour l'industrie aérospatiale**

Les tiges de tungstène sont largement utilisées dans l'industrie aérospatiale, où les matériaux sont extrêmement exigeants en termes de poids, de résistance et de résistance aux hautes températures. Les tiges en alliage de tungstène sont utilisées comme contrepoids pour les avions et les satellites en raison de leur haute densité, assurant une répartition précise du poids et une stabilité en vol. Par exemple, dans les rotors d'hélicoptères et les systèmes de contrôle d'attitude des engins spatiaux, les contrepoids à tige de tungstène réduisent considérablement les besoins en volume. De plus, les tiges de tungstène sont usinées dans des composants à haute température, tels que des revêtements de tuyère de moteur de fusée et des composants de protection thermique pour les véhicules de rentrée, dont les propriétés anti-ablatives prolongent la durée de vie des composants.

### **Composants critiques dans l'industrie de l'éclairage et de l'énergie**

Dans l'industrie de l'éclairage, les tiges de tungstène sont le matériau de base des lampes à incandescence et halogènes traditionnelles. Les tiges de tungstène sont aspirées en filaments (qui peuvent avoir un diamètre aussi petit que quelques microns) et sont utilisées comme filaments qui émettent de la lumière pendant de longues périodes à des températures élevées en raison de leur point de fusion élevé et de leur faible pression de vapeur. Bien que la technologie LED remplace progressivement l'éclairage traditionnel, le filament de tungstène reste indispensable dans l'éclairage spécialisé tel que les lumières photographiques et les lumières de scène. Dans le domaine des nouvelles énergies, les barres de tungstène sont utilisées dans les barres de contrôle et les dispositifs expérimentaux à haute température des réacteurs nucléaires pour assurer la sécurité et la précision des expériences.

### **Une contribution unique aux domaines médical et scientifique**

La haute densité et la capacité de protection contre les radiations des tiges de tungstène les font briller dans le domaine médical. Les tiges en alliage de tungstène sont transformées en collimateurs et en écrans pour les équipements de radiothérapie qui sont utilisés pour diriger avec précision les rayons X ou les rayons gamma afin de protéger les patients et le personnel médical des rayonnements indésirables. Dans le domaine de la recherche scientifique, les tiges de tungstène sont utilisées comme éléments chauffants ou électrodes dans les fours expérimentaux à haute température, soutenant ainsi la recherche de pointe en science des matériaux, en physique et en chimie. Par exemple, dans les expériences de supraconductivité à haute température, la stabilité des tiges de

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

tungstène garantit la fiabilité de l'environnement expérimental.

### **Stimuler l'efficacité industrielle et l'innovation**

Les diverses applications des barres de tungstène répondent non seulement aux besoins industriels existants, mais favorisent également l'innovation technologique. Par exemple, dans l'industrie automobile, les tiges de tungstène sont utilisées pour fabriquer des outils et des moules résistants à l'usure pour les lignes de production automatisées, améliorant ainsi l'efficacité de la production et la cohérence du produit. Dans les industries des articles de sport (par exemple, les clubs de golf, les fléchettes) et de la bijouterie, les tiges en alliage de tungstène sont usinées en composants de précision en raison de leur haute densité et de leur résistance à l'usure pour répondre à la demande des consommateurs pour des produits haute performance. Ces applications émergentes démontrent la grande adaptabilité des tiges de tungstène dans les industries traditionnelles et modernes.

### **L'importance de l'économie et de la chaîne d'approvisionnement**

En tant que produit métallique rare, la tige de tungstène occupe une position importante dans l'économie mondiale. La Chine est le plus grand producteur mondial de tungstène, contrôlant environ 80 % du marché des ressources et des produits en tungstène, et l'exportation de tiges de tungstène est essentielle à la chaîne d'approvisionnement internationale. La haute valeur ajoutée et l'irremplaçabilité de la tige de tungstène en font un matériau de réserve stratégique pour le système industriel de nombreux pays. Par exemple, les États-Unis et l'Union européenne classent le tungstène comme un minéral critique, assurant ainsi la sécurité de leur chaîne d'approvisionnement pour soutenir la défense et la fabrication haut de gamme.

### **Défis et importance continue**

Bien que les barres de tungstène soient indispensables dans l'industrie, leur production est confrontée à des défis tels que la consommation d'énergie élevée, la pollution de l'environnement et la rareté des ressources. Le développement de la technologie de fabrication verte et de la technologie de recyclage des déchets de tungstène est devenu le centre d'intérêt de l'industrie. Cependant, ces défis n'ont pas diminué l'importance des tiges de tungstène, mais ont conduit à des avancées technologiques qui lui permettront de continuer à jouer un rôle central dans l'industrie du futur.

## **1.3 Contexte historique et développement**

En tant que matériau important dans l'industrie moderne, le processus de développement de la tige de tungstène est étroitement lié à la découverte, à la technologie de purification et à l'application industrielle du tungstène. De la découverte du tungstène à la fin du 18<sup>e</sup> siècle à l'utilisation généralisée de la tige de tungstène au 21<sup>e</sup> siècle, l'histoire de la tige de tungstène reflète l'évolution de la science des matériaux, de la technologie métallurgique et des besoins industriels. Ce qui suit est une trace détaillée du contexte historique de la tige de tungstène et de la trajectoire de développement de sa technologie et de son application.

### **Découverte du tungstène et premières recherches**

La découverte du tungstène remonte à 1781, lorsque le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele a découvert la présence d'acide de tungstène en analysant la wolframite. En 1783, les frères espagnols

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

Juan José et Fausto Elhuyar ont pour la première fois isolé le tungstène de l'acide de tungstène et l'ont nommé « tungstène » (suédois pour « pierre lourde »), ainsi nommé pour sa haute densité. Les premières recherches sur le tungstène étaient principalement axées sur les propriétés chimiques, limitées à l'échelle du laboratoire, et les applications industrielles du tungstène n'ont pas encore été réalisées en raison de son point de fusion élevé et de sa difficulté à traiter.

Au milieu du 19e siècle, avec les progrès de la technologie métallurgique, la valeur industrielle potentielle du tungstène a progressivement émergé. Dans les années 1850, le tungstène a commencé à être essayé dans la production d'aciers alliés pour améliorer la dureté et la résistance à l'usure de l'acier. Cependant, la technologie de purification et de moulage du tungstène pur est encore immature, ce qui limite sa large application.

### **Industrialisation initiale des tiges de tungstène**

L'industrialisation des tiges de tungstène a commencé au début du 20ème siècle et est étroitement liée aux besoins de l'industrie de l'éclairage. En 1904, les ingénieurs hongrois Sandor Just et Franz Hanaman ont développé des lampes à incandescence au tungstène pour remplacer les lampes à filament de carbone inefficaces. Le point de fusion élevé et la faible pression de vapeur du tungstène en font un matériau de filament idéal, mais les premiers filaments de tungstène se fragilisent facilement, ce qui le rend difficile à transformer en tiges ou en filaments.

En 1909, William D. Coolidge de General Electric a inventé le procédé de préparation du tungstène ductile pour produire des tiges et des fils de tungstène avec une meilleure ténacité grâce à la métallurgie des poudres et à la technologie de forgeage à haute température. Cette percée a permis la production de masse de tiges de tungstène, réduisant considérablement le coût des lampes à incandescence et entraînant une révolution dans l'industrie de l'éclairage. Le procédé de Kulich constitue la base de la production moderne de tiges de tungstène, y compris les étapes principales du pressage de poudre, du frittage et du traitement par texturation.

### **L'application des tiges de tungstène au 20e siècle s'est élargie**

Dans la première moitié du 20e siècle, l'application des tiges de tungstène s'est étendue de l'éclairage à plusieurs domaines industriels.

**Électronique :** Dans les années 1920, les tiges de tungstène étaient utilisées dans les cathodes et les électrodes des tubes à vide et à rayons X, et fonctionnaient bien dans l'électronique à haute température en raison de leur point de fusion élevé et de leur conductivité électrique.

**Industrie militaire :** Pendant la Première Guerre mondiale, le tungstène a été utilisé pour fabriquer des aciers alliés à haute résistance afin d'améliorer les performances du blindage des chars et des obus d'artillerie. Pendant la Seconde Guerre mondiale, les tiges en alliage de tungstène ont commencé à être usinées dans des noyaux perforants, augmentant considérablement l'efficacité des armes antichars.

**Technologie de soudage :** Dans les années 1940, les barres de tungstène ont été développées comme électrodes de soudage à l'arc à l'argon (soudage TIG), et les barres de tungstène dopées au thorium (contenant 2 % d'oxyde de thorium) sont devenues le matériau standard dans l'industrie du soudage.

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

en raison de leur excellente stabilité à l'arc.

Au cours de cette période, la technologie de production des tiges de tungstène n'a cessé de s'améliorer. L'optimisation du processus de métallurgie des poudres améliore la densité et les propriétés mécaniques des tiges de tungstène, tandis que l'introduction de technologies de traitement de déformation telles que le forgeage rotatif et l'emboutissage améliore considérablement la précision dimensionnelle et la qualité de surface des tiges de tungstène.

### **La position stratégique de la guerre froide et les tiges de tungstène**

Pendant la guerre froide, les tiges de tungstène sont devenues un matériau stratégique pour leurs applications dans les secteurs de la défense et de l'aérospatiale. Dans les années 1950-1970, les tiges en alliage de tungstène étaient largement utilisées dans les aubes de turbine des moteurs à réaction, les composants de missiles et les contrepoids des engins spatiaux. Les États-Unis et l'Union soviétique ont tous deux inscrit le tungstène sur la liste des ressources critiques, constituant des stocks pour assurer la sécurité de la chaîne d'approvisionnement. L'industrie chinoise du tungstène s'est également développée rapidement au cours de cette période, s'appuyant sur de riches ressources en minerai de tungstène, devenant ainsi le principal fournisseur mondial de tiges de tungstène.

Dans les années 1960, une percée a été réalisée dans la recherche et le développement de tiges de tungstène dopées. La tige de tungstène dopée au potassium (WK) améliore la résistance au fluage à haute température en ajoutant des traces de potassium et convient aux éléments de four à haute température. Les tiges de tungstène aux terres rares (par exemple, dopées au cérium, au lanthane) améliorent la durabilité et la stabilité de l'arc de l'électrode, remplaçant progressivement les tiges de tungstène dopées au thorium, qui sont légèrement radioactives.

### **Technologie moderne des tiges de tungstène et mondialisation**

Au 21<sup>e</sup> siècle, l'application et la technologie de production de la tige de tungstène sont entrées dans une nouvelle étape.

Semi-conducteurs et nouvelles énergies : l'utilisation de tiges de tungstène dans la fabrication de silicium monocristallin, de cristaux de saphir et de cellules solaires à couche mince a proliféré. Par exemple, les tiges de tungstène sont utilisées comme barres de noyau de four à haute température et cibles de pulvérisation, soutenant le développement rapide des industries des semi-conducteurs et du photovoltaïque.

Fabrication écologique : Avec l'amélioration des exigences de protection de l'environnement, la production de tiges de tungstène a commencé à adopter une technologie de frittage à faible consommation d'énergie et un processus de recyclage des déchets. Par exemple, les déchets de tiges de tungstène peuvent être purifiés chimiquement pour être transformés en poudre de tungstène, réduisant ainsi la consommation de ressources.

Nouveaux alliages et dopage : Les barres en alliage tungstène-nickel-cuivre sont utilisées dans les dispositifs médicaux en raison de leur non-amagnétique et de leur haute densité, et les tiges de tungstène dopées au lanthane (WL20) sont devenues le choix courant pour les électrodes de soudage en raison de leur respect de l'environnement.

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

Le marché mondial des tiges de tungstène est centré sur la Chine, représentant plus de 80 % de la production mondiale. Certaines entreprises internationales sont présentes sur le marché des tiges de tungstène haut de gamme, en se concentrant sur la production de tiges de tungstène de haute précision et spéciales. La formulation de normes internationales (par exemple, ASTM B777, ISO 24370) et nationales (par exemple, GB/T 4187-2017) a facilité le commerce normalisé des barres de tungstène.

### Défis et avenir du développement des tiges de tungstène

Le développement des barres de tungstène est confronté à des défis tels que la rareté des ressources, la pression environnementale et les coûts élevés. Les dommages environnementaux causés par l'exploitation minière du tungstène ont incité les pays à renforcer la réglementation, et le point de fusion élevé et la dureté élevée du tungstène ont augmenté la difficulté de traitement et la consommation d'énergie. À l'avenir, la direction du développement de l'industrie des tiges de tungstène comprend :

De nouveaux procédés, tels que le frittage plasma et la fabrication additive (impression 3D) pour la production de pièces en tiges de tungstène aux formes complexes.

Nouveaux matériaux : développer des barres de tungstène dopées à faible toxicité pour remplacer complètement les barres de tungstène dopées au thorium.

Économie circulaire : Augmenter la récupération du tungstène et réduire la dépendance au minerai brut.



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD  
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity  $\geq 99.95\%$ ) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to  $3410^{\circ}\text{C}$ , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm <sup>3</sup>
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~4.5 x 10 <sup>-6</sup> /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

## Chapitre 2 Types de tiges de tungstène

En tant que matériau métallique haute performance, la tige de tungstène est largement utilisée dans les domaines de la recherche industrielle, électronique, militaire, médicale et scientifique en raison de ses excellentes propriétés physiques, chimiques et mécaniques. Il en existe de nombreux types, qui peuvent être classés en fonction de leur composition, de leur processus de fabrication, de leur utilisation, de leurs spécifications, de leur état de surface, de leur type spécial et des normes internationales. Ce chapitre vise à fournir un cadre de classification systématique et complet qui fournit une discussion approfondie de la définition, des caractéristiques, du processus de production, des scénarios d'application, des défis de l'industrie et des tendances de développement de chaque tige de tungstène.

### 2.1 Les tiges de tungstène sont classées par composition

La composition des tiges de tungstène est un facteur clé pour déterminer ses performances et son application. En fonction des différences dans les composants principaux et les éléments ajoutés, les tiges de tungstène peuvent être divisées en trois catégories : les tiges de tungstène pur, les tiges de tungstène de haute pureté et les tiges de tungstène dopées. Décomposons chacun d'entre eux en détail.

#### 2.1.1 Tiges de tungstène pur

##### Définitions et aperçu

La tige de tungstène pur est un matériau en forme de tige composé de tungstène (pureté généralement  $\geq 99,9\%$ ) comme ingrédient principal grâce à la métallurgie des poudres et à la technologie de traitement de la déformation. Le tungstène (symbole chimique W, numéro atomique 74) est connu pour son point de fusion extrêmement élevé ( $3410^{\circ}\text{C}$ ), sa haute densité ( $19,25\text{ g/cm}^3$ ) et son excellente résistance à la corrosion, ce qui rend les tiges de tungstène pur idéales pour les environnements à haute température, à haute résistance et résistants à la corrosion. Les tiges de tungstène pur contiennent généralement des traces d'impuretés (par exemple, fer, nickel, carbone), mais sont strictement contrôlées au niveau du ppm pour garantir la stabilité chimique et les performances à haute température.

##### caractéristique

Propriétés physiques : Le point de fusion du tungstène est le plus élevé de tous les métaux, juste derrière le point de sublimation du carbone (environ  $3550^{\circ}\text{C}$ ). Les tiges de tungstène pur ont une densité proche de la valeur théorique de  $19,25\text{ g/cm}^3$ , ce qui est comparable à l'or, ce qui les rend adaptées aux applications de contrepois de haute qualité. Le coefficient de dilatation thermique extrêmement faible ( $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) assure la stabilité dimensionnelle à des températures élevées. La conductivité thermique est d'environ  $173\text{ W/m}\cdot\text{K}$  et la conductivité électrique est de  $18\%$  IACS (International Annealed Copper Standard), ce qui convient aux applications conductrices à haute température.

Caractéristiques chimiques : La tige de tungstène pur a une excellente résistance à la corrosion aux acides, aux alcalis et à la plupart des oxydants à température ambiante. Par exemple, l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique et l'acide fluorhydrique ont peu d'effet à température ambiante et

##### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

ne réagissent lentement que dans l'acide nitrique concentré ou l'alcali fondu à haute température. La faible pression de vapeur ( $<10^{-4}$  Pa à 3000°C) le rend excellent dans les environnements sous vide et à haute température.

Caractéristiques mécaniques : dureté élevée (dureté Vickers 350-450 HV), résistance à la traction 700-1000 MPa, mais faible ténacité, facile à produire des microfissures pendant l'usinage. Excellente résistance au fluage, contrainte à long terme à 2500°C, adaptée aux pièces sollicitées à haute température.

Microstructure : La taille des grains est de 10 à 50  $\mu\text{m}$  après frittage et peut être affinée à 5 à 20  $\mu\text{m}$  après déformation, réduisant la porosité et améliorant la résistance.

### Processus de production

La production de tige de tungstène pur adopte principalement le processus de métallurgie des poudres, et le processus est le suivant :

Préparation de la poudre de tungstène : le tungstate est extrait de la wolframite ( $\text{FeMnWO}_4$ ) ou de la scheelite ( $\text{CaWO}_4$ ), et la poudre de tungstène de haute pureté (taille des particules 0,5 à 5  $\mu\text{m}$ , pureté  $\geq 99,9\%$ ) est préparée par réduction de l'hydrogène. Le processus de réduction nécessite une température (600-900 °C) et une atmosphère contrôlée pour éviter l'oxydation ou la contamination par le carbone.

Pressage : La poudre de tungstène est formée en ébauches en forme de tige par pressage isostatique à froid ou moulage à 100-200 MPa, avec une densité théorique d'environ 50-60 %.

Frittage : Frittage à 2000-2800°C pendant 1 à 3 heures dans un four protégé par l'hydrogène ou sous vide avec une densité de billettes de 90 à 95 %. La température de frittage et le temps de maintien doivent être contrôlés avec précision pour équilibrer la croissance des grains et l'élimination de la porosité.

Déformation : Amélioration des propriétés mécaniques par forgeage à chaud (sertissage rotatif ou à percussion, 1200–1500°C) ou laminage à chaud pour augmenter la densité (proche de 19,25  $\text{g}/\text{cm}^3$ ). L'emboutissage rotatif permet d'effectuer plusieurs passes avec une faible déformation (10 à 20 %), ce qui réduit le risque de fissuration.

Post-traitement : recuit (1000-1200°C) pour soulager les contraintes internes, tournage ou polissage pour améliorer la qualité de surface, la rugosité de surface est généralement de Ra 1,6-3,2  $\mu\text{m}$ , répondant aux exigences de précision industrielle.

### appliquer

Les tiges de tungstène pur sont largement utilisées dans des scénarios à haute température et de haute pureté :

Industrie électronique : utilisée comme cathode de tube à vide, cible de tube à rayons X et électrode de traitement par décharge électrique (EDM).

Industrie de l'éclairage : Étiré en filaments de tungstène (0,01 à 0,1 mm de diamètre) pour la fabrication de lampes à incandescence, de lampes halogènes et de sources lumineuses spéciales (par exemple des lampes photographiques).

Four à haute température : utilisé comme tige centrale du four de fusion continue de quartz, qui peut résister à des températures élevées supérieures à 2000 °C pour produire du verre de quartz pour fibres optiques ; Ou comme support de four en cristal de saphir, des cristaux en croissance pour

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

substrats LED.

Recherche scientifique : Utilisé comme élément chauffant ou électrode dans les équipements expérimentaux à haute température, tels que la source de chaleur dans la recherche sur la supraconductivité à haute température.

Aérospatiale : Transformé en petits contrepoids pour une utilisation dans les systèmes de contrôle d'attitude par satellite.

Autres : Utilisé pour les moules à haute température et les outils résistants à l'usure, tels que les moules de formage du verre.

### Défis et tendances

Défi : Faible ténacité, fissuration facile pendant le traitement, en particulier dans l'emboutissage de petit diamètre, qui nécessite plusieurs recuits, ce qui augmente les coûts. Les équipements de traitement à haute température, tels que les fours de frittage sous vide, consomment de l'énergie et sont complexes à entretenir. Les impuretés peuvent être difficiles à contrôler, et des traces d'oxygène ou de carbone peuvent entraîner une réduction des performances.

Tendance:

La technologie de frittage par plasma (SPS) est utilisée pour réduire la température de frittage à 1800°C, économiser de l'énergie de 30 % et réduire les grains surdimensionnés.

La poudre de tungstène à l'échelle nanométrique (taille des particules < 100 nm) est utilisée pour augmenter la densité de frittage à 98 % et améliorer les propriétés mécaniques.

Développement d'un système automatisé de contrôle du frittage pour surveiller la température et l'atmosphère à l'aide de capteurs afin d'améliorer l'uniformité du produit.

La technologie de préparation de poudre de tungstène à faible teneur en oxygène (comme la réduction par plasma) a été étudiée pour réduire la teneur en oxygène à moins de 10 ppm.

### Avantages et inconvénients :

Avantages : Point de fusion extrêmement élevé et stabilité chimique, adapté aux environnements extrêmes ; La haute densité convient aux contrepoids ; Non radioactif et respectueux de l'environnement.

Inconvénients : faible ténacité, usinage difficile ; Coûts de production élevés, en particulier dans les applications de haute précision.

Marchés et normes

Les tiges de tungstène pur représentent environ 30 % du marché mondial des produits en tungstène.

La conformité aux normes comprend les normes ASTM B760, GB/T 4187-2017 et ISO 24370. La taille du marché mondial des tiges de tungstène pur était d'environ 1 milliard de dollars en 2023 et devrait atteindre 1,5 milliard de dollars d'ici 2030, sous l'effet de la demande de semi-conducteurs et de l'aérospatiale.

### 2.1.2 Tiges de tungstène de haute pureté ( $\geq 99,95$ %)

#### Définitions et aperçu

La tige de tungstène de haute pureté fait référence à une tige de tungstène d'une pureté de tungstène de 99,95 % ou plus, et la teneur en impuretés (telles que Fe, Ni, C, O) est contrôlée en dessous de 50 ppm, qui est préparée par plusieurs procédés de purification et spéciaux. Les tiges de tungstène

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de haute pureté sont conçues pour les semi-conducteurs, les appareils médicaux et les appareils électroniques haut de gamme qui répondent à des exigences strictes de pureté et de propreté. Ses propriétés sont proches des limites théoriques du tungstène et sont largement utilisées dans les salles blanches et les applications de haute précision.

### caractéristique

Propriétés physiques : densité 19,2–19,3 g/cm<sup>3</sup>, proche de la valeur théorique ; Le point de fusion est de 3410 °C et le coefficient de dilatation thermique est de  $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . En raison de la très faible teneur en impuretés, la structure cristalline est plus homogène et la qualité de surface est excellente.

Propriétés chimiques : Extrêmement stable chimiquement, presque non réactif avec les produits chimiques ambiants. À haute température, il ne réagit lentement qu'avec du fluor gazeux ou des agents oxydants puissants tels que le nitrate de sodium fondu. La faible pression de vapeur assure la stabilité dans un environnement sous vide.

Propriétés mécaniques : grain fin (5–15 µm), dureté Vickers 400–500 HV, résistance à la traction 800–1100 MPa. La ténacité est encore faible et les micro-fissures doivent être évitées lors du traitement.

Conductivité électrique et thermique : la résistivité est d'environ 5,3 µΩ·cm, ce qui est légèrement supérieur à celui de la tige de tungstène pur (5,5 µΩ·cm), en raison de la réduction des impuretés. La conductivité thermique est de 173 W/m·K, ce qui convient à la conduction thermique à haute température.

### Processus de production

La production de tige de tungstène de haute pureté ajoute un contrôle de purification et de nettoyage sur la base de tige de tungstène pur :

Préparation de poudre de tungstène de haute pureté : dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou réduction multiple de l'hydrogène, la teneur en impuretés est réduite à moins de 50 ppm. Le four de réduction utilise de l'hydrogène de haute pureté (99,999 %) pour éviter la pollution par l'azote et l'oxygène.

Frittage sous vide : frittage à 2600–2800°C pendant 2 à 4 heures dans un four à ultravide (10<sup>-5</sup> Pa) avec une porosité de <1 %. L'environnement de vide empêche la formation d'oxydes.

Usinage de précision : sertissage ou laminage rotatif en plusieurs passes, température d'usinage 1200–1400°C, déformation 10–15 %. Surface tournée ou polie avec une rugosité de Ra 1,6 à 3,2 µm.

Contrôle de la qualité : Les impuretés ont été détectées à l'aide de l'ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) et les oligo-éléments ont été analysés par GD-MS (Glow Discharge Mass Spectrometry). Emballage en salle blanche (classe ISO 5) pour éviter la contamination de surface.

### appliquer

Les tiges de tungstène de haute pureté sont utilisées dans les zones où la pureté et la propreté sont essentielles :

Industrie des semi-conducteurs : composants utilisés dans les dispositifs d'implantation ionique (par

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

exemple les électrodes à source ionique) d'un diamètre de 5 à 20 mm pour assurer la propreté des plaquettes.

Cibles de pulvérisation : transformées en cibles (50 à 100 mm de diamètre) pour le dépôt physique en phase vapeur (PVD) pour la production de couches minces pour les circuits intégrés, les écrans OLED et les cellules solaires.

Dispositifs médicaux : pour les cibles d'appareils de radiographie et de tomographie afin de réduire les interférences de rayonnement causées par les impuretés, de 10 à 30 mm de diamètre.

Aérospatiale : Composants de précision utilisés comme équipements d'essai à haute température, tels que les manchons de protection de thermocouple ou les éléments d'essai en soufflerie à haute température.

Recherche scientifique : utilisée comme électrode de haute pureté dans les accélérateurs de particules et la recherche sur les plasmas, résistant aux environnements à haute énergie.

Applications émergentes : Utilisé dans les composants d'équipement EUV (lithographie ultraviolette extrême) pour répondre aux besoins de fabrication de puces inférieures à 7 nm.

### Défis et tendances

Défi : Coût élevé de la préparation de la poudre de tungstène de haute pureté, investissement important dans l'équipement CVD ; Le frittage sous vide poussé a des exigences extrêmement élevées en matière d'étanchéité et de stabilité de l'équipement ; Le traitement en salle blanche augmente les coûts d'exploitation.

Tendance:

La technologie de purification électrolytique a été développée pour remplacer le CVD et réduire les coûts, avec une impureté cible < 20 ppm.

Le traitement de surface au laser est utilisé pour améliorer la qualité de surface et réduire la dépendance au polissage mécanique.

Recherche sur le tungstène de très haute pureté (99,9999 %) pour une utilisation dans les dispositifs semi-conducteurs de nouvelle génération tels que les machines de lithographie 3 nm.

Introduisez un système de contrôle de la qualité IA pour surveiller les impuretés et les défauts cristallins en temps réel afin d'améliorer le rendement.

### Avantages et inconvénients :

Avantages : Une pureté extrêmement élevée assure des performances stables et convient à un environnement propre ; Les cristaux sont homogènes, ce qui réduit les défauts.

Inconvénients : coût de production élevé, traitement difficile ; Exigences strictes en matière d'équipement et d'environnement.

### Marchés et normes

Le marché des tiges de tungstène de haute pureté est concentré dans la fabrication haut de gamme. Conforme aux exigences de haute pureté ASTM B760, à la norme SEMI (industrie des semi-conducteurs) et à GB/T 4187-2017. Le marché mondial des tiges de tungstène de haute pureté est d'environ 300 millions de dollars en 2023, principalement tiré par les industries des semi-conducteurs et du photovoltaïque.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

### 2.1.3 Barres de tungstène dopées (dopage aux terres rares, dopage à l'oxyde)

#### Définitions et aperçu

Les barres de tungstène dopées sont des barres de tungstène spéciales fabriquées en ajoutant de petites quantités d'éléments de terres rares (par exemple, le cérium, le lanthane, l'yttrium) ou d'oxydes (par exemple, l'oxyde de thorium, la zircone) à la matrice de tungstène, et la quantité de dopage est généralement de 0,5 à 2 % en poids. Le dopage améliore la stabilité de l'arc, la résistance au fluage, l'usinabilité et la durée de vie des électrodes du tungstène, et est largement utilisé dans les électrodes de soudage, les composants de fours à haute température et les appareils électroniques. La tige de tungstène dopée est devenue un matériau clé dans l'industrie moderne en raison de ses propriétés personnalisées.

#### caractéristique

Propriétés physiques : Le point de fusion et la densité sont proches de ceux du tungstène pur (3410°C, 19,0–19,2 g/cm<sup>3</sup>), et les éléments dopés affinent le grain (5–15 μm) pour améliorer l'uniformité.

Propriétés chimiques : Maintient la résistance à la corrosion du tungstène, mais dans les environnements oxydants à haute température, certains éléments dopés (tels que le thorium) peuvent légèrement réduire la stabilité. Le dopage à l'oxyde de thorium introduit une légère radioactivité et nécessite un traitement particulier.

Propriétés mécaniques : L'affinement des grains et le renforcement des dopants améliorent la résistance à la traction (1000-1200 MPa) et la ténacité, et réduisent les fissures de traitement. Résistance au fluage améliorée, adaptée à une utilisation à long terme à des températures élevées.

Conductivité électrique et thermique : le dopage réduit la résistivité (par exemple, environ 5,0 μΩ·cm de tige de tungstène dopée au thorium) et améliore la stabilité de l'arc. La conductivité thermique est légèrement inférieure à celle du tungstène pur (environ 160 W/m·K).

#### Types principaux

Tige de tungstène dopée aux terres rares : de l'oxyde de cérium (CeO<sub>2</sub>), de l'oxyde de lanthane (La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ou de l'oxyde d'yttrium (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sont ajoutés pour améliorer les performances et la durabilité de l'arc, non radioactif et répondre aux exigences de protection de l'environnement.

Tiges de tungstène dopées à l'oxyde : de l'oxyde de thorium (ThO<sub>2</sub>) et de la zircone (ZrO<sub>2</sub>) sont ajoutés pour améliorer les performances à haute température et la durée de vie des électrodes, et certains types (tels que le dopé au thorium) sont progressivement éliminés.

Tiges de tungstène dopées composites : Combinez une variété de dopants (tels que La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CeO<sub>2</sub>) pour optimiser la stabilité de l'arc, la durée de vie et la résistance aux brûlures.

Tiges de tungstène dopées au potassium : Ajout de traces de potassium (50 à 100 ppm) pour une meilleure résistance au fluage, conçues pour les fours à haute température.

#### Processus de production

Ajout de dopant : La poudre de tungstène est mélangée uniformément avec des oxydes de terres rares ou des sels métalliques (tels que le nitrate de lanthane), et le broyage à billes ou le séchage par pulvérisation sont utilisés pour assurer une distribution uniforme.

Pressage et frittage : frittage à 2300-2600°C dans un four de protection à l'hydrogène, inférieur à la température de frittage du tungstène pur pour éviter la volatilisation du dopant. Après frittage, la

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

densité est de 95 à 98 %.

Déformation : Emboutissage rotatif (1200–1400°C) ou emboutissage (800–1000°C) pour former une tige, dopant pour réduire les fissures de traitement.

Traitement de surface : Tourné ou poli, rugosité de surface Ra 1,6–3,2 µm, pour électrodes ou composants à haute température.

Contrôle qualité : XRF (spectroscopie de fluorescence X) pour détecter la teneur en dopants, MEB (microscopie électronique à balayage) pour analyser la distribution des grains.

### **appliquer**

Électrode de soudage : les tiges de tungstène dopées au thorium (WT20), au cérium (WC20), au lanthane (WL20) sont utilisées pour le soudage à l'arc à l'argon (TIG) et le soudage au plasma, avec un démarrage rapide de l'arc et un faible taux de brûlure.

Élément de four à haute température : la tige de tungstène dopée au potassium ou aux terres rares est utilisée pour chauffer les éléments du four à vide et du four à hydrogène, qui peuvent résister à plus de 2500 °C.

Électronique : Les tiges de tungstène dopées sont utilisées dans les émetteurs de tubes cathodiques, d'appareils à micro-ondes et de lasers.

Aérospatiale : Les tiges de tungstène de terres rares sont utilisées dans des équipements expérimentaux à haute température, tels que les électrodes d'hélice à plasma.

Application émergente : Buses haute température pour l'impression 3D de dispositifs métalliques, résistantes aux métaux fondus à haute température.

### **Défis et tendances**

Défi : L'homogénéité du dopant est difficile à contrôler, et le frittage à haute température peut entraîner une volatilisation ; La radioactivité des barres de tungstène dopées au thorium limite leur application, et des alternatives respectueuses de l'environnement doivent être développées.

Tendance:

Recherche et développement de nouveaux produits composites de dopage aux terres rares (tels que  $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$ ) afin d'améliorer les performances globales et d'augmenter la durée de vie cible de 20 %.

La technologie nanodopage a été utilisée pour réduire la quantité de dopage (<0,5 % en poids) et améliorer l'effet.

Développement d'électrodes non radioactives à haute performance qui répondent aux normes environnementales mondiales, telles que la directive RoHS de l'UE.

Utilisez l'IA pour optimiser les formulations de dopage et prédire les performances et la durée de vie de l'arc.

### **Avantages et inconvénients :**

Avantages : performances personnalisées, stabilité de l'arc et durée de vie meilleure que le tungstène pur ; Convient aux applications exigeantes.

Inconvénients : le processus de production est complexe et le coût est élevé ; Certains produits dopants (par exemple le thorium) sont soumis à des restrictions environnementales.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

## Marchés et normes

Les tiges de tungstène dopées représentent plus de 70 % du marché des électrodes de soudage. Conforme aux normes AWS A5.12, YS/T 695-2009 et ISO 24370. Le marché mondial des tiges de tungstène dopées est d'environ 500 millions USD en 2023, principalement tiré par les industries du soudage et de l'aérospatiale.

## 2.2 Les tiges de tungstène sont classées en fonction du processus de fabrication

Le processus de fabrication des tiges de tungstène a un impact significatif sur ses performances, sa précision et son application. Ce qui suit est une discussion détaillée des caractéristiques du frittage, du forgeage, du laminage, de l'emboutissage et de l'extrusion des tiges de tungstène selon la classification des principaux processus de traitement.

### 2.2.1 Tiges de tungstène frittées

#### Définitions et aperçu

La tige de tungstène frittée est une tige de tungstène directement formée par pressage et frittage à haute température dans la métallurgie des poudres, avec une densité théorique de 90 à 95 % et une surface rugueuse avec une couche d'oxyde (peau noire). En tant que produit semi-fini, les tiges de tungstène frittées constituent la base du forgeage, du laminage ou de l'étirage ultérieurs et conviennent aux applications d'ébauche ou à haute température.

#### caractéristique

Propriétés physiques : densité 17,5–18,5 g/cm<sup>3</sup>, rugosité de surface Ra 3,2–6,4 µm, avec couche d'oxyde noir.

Caractéristiques mécaniques : dureté Vickers 300–400 HV, résistance à la traction 500–800 MPa, faible ténacité, microfissures faciles à produire.

Microstructure : Gros grains (10 à 50 µm) et porosité de 5 à 10 %, affectant la résistance et la conductivité.

#### Processus de production

Pressage de poudre de tungstène : la poudre de tungstène de haute pureté ou la poudre de tungstène dopée est pressée froidement isostatiquement dans des ébauches de barres à 100-200 MPa.

Frittage à haute température : frittage à 2000-2800°C pendant 1 à 3 heures dans un four protégé par l'hydrogène ou sous vide pour former une structure dense de particules.

Refroidissement et inspection : Le refroidissement lent (10 à 20 °C/min) réduit les contraintes internes, la porosité par ultrasons et la détection des fissures.

#### appliquer

Produits semi-finis : forgeage, laminage ou étirage pour produire des tiges de tungstène de haute précision.

Four haute température : directement utilisé comme support de four à quartz, résiste à des températures élevées de 2000°C.

EDM : Utilisé comme électrode d'électrode d'électroérosion de faible précision après ébauche.

Autres : Pièces temporaires pour fours expérimentaux à haute température, telles que les supports de creuset.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

### Défis et tendances

Défi : Une porosité élevée limite les propriétés mécaniques ; La consommation d'énergie du frittage est importante et la protection contre l'hydrogène doit être strictement contrôlée ; Les tiges frittées de grande taille sont sujettes à des défauts internes.

Tendance:

La technologie de frittage par micro-ondes est utilisée pour réduire la température à 1800°C et économiser de l'énergie de 30 %.

Développement d'un procédé de frittage par pressage isostatique à chaud (HIP) pour augmenter la densité à 97 %.

Simulez le processus de frittage à l'aide de la technologie de jumeau numérique pour optimiser le contrôle de la température et de l'atmosphère.

### Avantages et inconvénients :

Avantages : processus simple, faible coût ; Convient aux tiges de tungstène de grande taille.

Inconvénients : faible densité et performances, mauvaise qualité de surface, traitement supplémentaire nécessaire.

### 2.2.2 Tiges de tungstène forgées

Définition et vue d'ensemble Les tiges de tungstène forgées sont déformées par forgeage à chaud (forgeage à percussion ou emboutissage rotatif), ce qui permet d'obtenir une densité proche de la valeur théorique (19,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>) et une amélioration significative des propriétés mécaniques. Grains fins forgés pour une résistance et une résistance au fluage améliorées, adaptés aux applications de haute précision et à haute résistance.

#### caractéristique

Propriétés physiques : densité 19,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>, rugosité de surface Ra 1,6–3,2 μm (après allumage de la lumière).

Propriétés mécaniques : granulométrie 5–20 μm, résistance à la traction 1000–1400 MPa, ténacité légèrement supérieure à celle de la tige de tungstène frittée.

Microstructure : forte orientation du grain, porosité de <1 % et résistance au fluage améliorée.

### Processus de production

Préchauffage : La tige de tungstène fritté est chauffée à 1200-1500°C sous la protection de l'hydrogène ou de l'argon pour éviter l'oxydation.

Forgeage à chaud : Utilisez un marteau pneumatique ou une machine à sertir rotative pour effectuer un forgeage en plusieurs passes avec une déformation contrôlée de 10 à 20 % à chaque fois afin de réduire le risque de fissuration.

Recuit : Recuit de détente à 1000-1200°C pour éviter la propagation des fissures.

Traitement de surface : Tourné ou poli à une rugosité de surface de Ra 1,6 à 3,2 μm pour répondre aux exigences de précision requises.

### appliquer

Pièces industrielles : pour les noyaux de fours à quartz ou les creusets de fours à cristal de saphir.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Aérospatiale : Usiné dans des contrepoids ou des composants à haute température tels que des tuyères de propulseur.

Électrode : La tige de tungstène forgée de haute précision est utilisée pour la découpe au plasma et le soudage.

Autres : utilisé pour les moules à haute température, tels que les moules de frittage en céramique.

### Défis et tendances

Défi : Le forgeage à haute température nécessite un équipement spécial ; Les tiges de grand diamètre (>50 mm) sont sujettes à la fissuration ; Le forgeage a une consommation d'énergie élevée.

Tendance:

Utilisez la simulation par éléments finis pour optimiser les paramètres de forgeage et réduire les défauts.

Développer un procédé hybride de forgeage-laminage pour améliorer l'efficacité et réduire les coûts. La technologie de chauffage par induction est utilisée pour contrôler avec précision la température de forgeage et économiser 20 % d'énergie.

### Avantages et inconvénients :

Avantages : haute densité et résistance mécanique ; Convient aux applications exigeantes ; Le raffinement du grain améliore les performances.

Inconvénients : coût de traitement élevé ; Exigences strictes en matière d'équipement ; Il est difficile de traiter de grandes spécifications.

## 2.2.3 Tiges de tungstène laminées

### Définitions et aperçu

Les tiges de tungstène laminées sont ensuite traitées par laminage à chaud ou à froid, avec une précision dimensionnelle élevée et une bonne qualité de surface, adaptées à la production en série de tiges de tungstène de petit et moyen diamètre (5 à 20 mm).

### caractéristique

Propriétés physiques : densité proche de la théorie (19,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>), rugosité de surface Ra 1,6–3,2 μm.

Caractéristiques mécaniques : orientation du grain induite par le roulement, résistance à la traction 1200–1500 MPa, ténacité légèrement supérieure à celle de la tige de tungstène corroyée.

Microstructure : granulométrie fine et uniforme (5-15 μm), porosité <1 %, excellente résistance et conductivité.

### Processus de production

Préchauffage : Les tiges de tungstène frittées ou forgées sont chauffées à 1000-1300°C pour améliorer la ductilité.

Laminage à chaud : Grâce au laminage en plusieurs passes, le diamètre est progressivement réduit et la déformation est de 15 à 25 %.

Laminage à froid (en option) : Laminage à froid de tiges de tungstène de petit diamètre pour améliorer la précision dimensionnelle.

Recuit : Le recuit à 900-1100 °C élimine l'écrouissage.

### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

### **appliquer**

Industrie électronique : tige de tungstène laminée étirée dans du fil de tungstène, fabrication de filaments et d'électrodes.

Dispositifs médicaux : transformés en cibles de rayons X ou en boucliers anti-radiations.

Composants de précision : utilisés pour les pièces mécaniques de haute précision, telles que les moules et les outils.

Autre : Utilisé dans les équipements expérimentaux à haute température, tels que le support de thermocouple.

### **Défis et tendances**

Défi : Équipement roulant coûteux ; Faible uniformité de roulement de grand diamètre (>20 mm) ; Le laminage à froid augmente les coûts.

Tendance:

La ligne de laminage continue est utilisée pour améliorer l'efficacité de la production de 30 %.

Un système automatisé de contrôle du laminage est utilisé pour assurer l'uniformité dimensionnelle.

Développement de rouleaux d'alliage à haute température pour prolonger la durée de vie des équipements.

### **Avantages et inconvénients :**

Avantages : haute précision dimensionnelle, bonne qualité de surface, adapté à la production de masse.

Inconvénients : coût élevé de l'équipement ; Limité aux petits et moyens diamètres ; Le laminage à froid consomme beaucoup d'énergie.

## **2.2.4 Dessiner des tiges de tungstène**

### **Définitions et aperçu**

L'étirage de la tige de tungstène est un processus d'étirage visant à réduire progressivement le diamètre de la tige de tungstène frittée ou forgée à l'aide d'une matrice diamantée, généralement < 5 mm, avec une qualité de surface élevée et une excellente précision dimensionnelle, adaptée au fil de tungstène et aux électrodes de précision.

### **caractéristique**

Propriétés physiques : densité proche de la théorie (19,2–19,25 g/cm<sup>3</sup>), rugosité de surface Ra 1,6–3,2 µm.

Propriétés mécaniques : structure cristalline fibreuse, résistance à la traction 1500–2000 MPa, faible ténacité.

Microstructure : Les grains sont fortement orientés le long de la direction d'emboutissage et la porosité est proche de 0 %.

### **Processus de production**

Préparation de l'ébauche : Utilisez des tiges de tungstène forgées ou laminées (diamètre 5 à 10 mm).

Emboutissage : Étirage à travers la matrice diamantée à 800-1000°C avec une réduction de diamètre de 5-10 %.

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

Lubrification et recuit : Lubrification avec du disulfure de graphite ou de molybdène et recuit périodique (900–1100°C) pour soulager les contraintes.

Nettoyage et polissage : Le nettoyage chimique élimine les lubrifiants et polit à Ra 1,6 à 3,2 µm.

### **appliquer**

Production de filaments de tungstène : tige de tungstène étirée pour fabriquer des lampes à incandescence, des lampes halogènes et des filaments de tungstène pour des sources lumineuses spéciales.

Électrode de soudage : utilisée pour le soudage à l'arc argon et l'électrode de soudage au plasma, avec une grande précision dimensionnelle.

Microélectronique : Transformée en électrodes ou sondes miniatures pour le test de semi-conducteurs.

Autres : Composants de haute précision pour l'équipement laser.

### **Défis et tendances**

Défi : Les matrices en diamant s'usent rapidement et sont coûteuses ; Le recuit multiple augmente la consommation d'énergie ; Le dessin de petit diamètre est facile à casser.

Tendance:

Des moules en diamant polycristallin (PCD) sont utilisés pour prolonger la durée de vie de 50 %.

Développement d'un processus d'étirage continu pour augmenter la production de 20 %.

Le chauffage et l'étirage au laser sont utilisés pour contrôler avec précision la température et réduire les bris.

### **Avantages et inconvénients :**

Avantages : Précision extrême et qualité de surface ; Haute intensité ; Convient pour la microfabrication.

Inconvénients : processus complexe ; Grande usure du moule ; Limité aux petits diamètres.

## **2.2.5 Extruder des tiges de tungstène**

### **Définitions et aperçu**

La tige de tungstène extrudée est formée par un processus d'extrusion à chaud, qui convient aux tiges de tungstène de grand diamètre (>20 mm) ou de section transversale complexe, avec une densité et une résistance excellentes.

### **caractéristique**

Propriétés physiques : densité 19,0–19,2 g/cm<sup>3</sup>, rugosité de surface Ra 1,6–3,2 µm (après usinage).

Caractéristiques mécaniques : résistance à la traction 1000–1300 MPa, forte orientation du grain, bonne résistance aux chocs.

Microstructure : Grain uniforme (10-20 µm) et porosité de <2 %, adapté aux applications de haute intensité.

### **Processus de production**

Préchauffage des billettes : La billette frittée est chauffée à 1300-1600°C et protégée par de

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'hydrogène ou de l'argon.

Extrusion à chaud : Extrusion par extrudeuse hydraulique (500–1000 MPa).

Refroidissement et redressement : Contrôlez la vitesse de refroidissement (10-20°C/min) pour corriger la déformation.

Traitement de surface : Tourné ou poli à Ra 1,6–3,2 µm.

### **appliquer**

Aérospatiale : Les tiges de tungstène extrudé de grand diamètre sont utilisées pour les contrepoids d'avions et de satellites.

Militaire : Transformé en noyaux perforants ou en composants d'énergie cinétique à haute densité.

Industriel : utilisé pour les supports de fours à haute température et les grands moules.

Autres : utilisé comme matériau de base pour les barres de contrôle des réacteurs nucléaires.

### **Défis et tendances**

Défi : L'extrusion à haute pression nécessite de gros équipements ; Usure sévère du moule ; Le contrôle des processus est complexe.

Tendance:

Développement de moules de revêtement céramique pour réduire l'usure de 30 %.

Utilisez un logiciel de simulation pour optimiser les paramètres d'extrusion et améliorer le rendement.

Recherche sur la combinaison de la fabrication additive et de l'extrusion pour produire des formes complexes de tiges de tungstène.

### **Avantages et inconvénients :**

Avantages : adapté aux grandes spécifications et aux sections transversales complexes ; Haute densité et résistance.

Inconvénients : investissement important en équipement ; La qualité de surface est inférieure à celle des tiges de tungstène étirées ; Le processus est complexe.

## **2.3 Les tiges de tungstène sont classées en fonction de leur utilisation**

Les tiges de tungstène sont utilisées dans une variété d'applications, notamment industrielles, électroniques, militaires et d'autres domaines spéciaux. Voici une ventilation détaillée.

### **2.3.1 Tiges de tungstène à usage industriel**

#### **Définitions et aperçu**

Les tiges de tungstène industrielles sont utilisées dans des environnements à haute température, à haute résistance ou à haute résistance à l'usure, tels que les fours à quartz, les fours à cristal de saphir et les équipements de purification des terres rares, y compris les tiges de tungstène pur, les tiges en alliage de tungstène et les tiges de tungstène dopées.

#### **Caractéristiques et applications**

Four à quartz : forgeage ou extrusion de tiges de tungstène pur (diamètre 20-50 mm) comme tiges de noyau, résistant à des températures élevées supérieures à 2000°C, pour produire du verre de

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

quartz pour fibres optiques.

Four à cristal de saphir : Les tiges de tungstène sont transformées en creusets ou en supports pour la croissance de cristaux de saphir pour substrats LED.

Purification des terres rares : la tige de tungstène est utilisée comme récipient ou électrode à haute température pour la fusion et l'affinage des éléments de terres rares.

Matrices et outils : Les tiges en alliage de tungstène (W-Ni-Fe) sont utilisées dans les matrices d'emboutissage et les outils de coupe en raison de leur dureté élevée et de leur résistance à l'usure.

Autres : utilisé pour les supports de four de frittage de céramique à haute température.

### **Production et exigences**

Le forgeage ou l'extrusion garantit une densité élevée, une rugosité de surface Ra de 1,6 à 3,2 µm et des tolérances dimensionnelles  $\pm 0,1$  mm.

### **2.3.2 Tiges de tungstène pour l'électronique**

#### **Définitions et aperçu**

Les tiges de tungstène pour l'électronique sont utilisées dans la fabrication de filaments, d'électrodes et de cibles de pulvérisation, y compris les tiges de tungstène pur, les tiges de tungstène de haute pureté et les tiges de tungstène dopées.

#### **Caractéristiques et applications**

Filament : Le filament de tungstène est fabriqué en dessinant des tiges de tungstène pur, qui sont utilisées dans les lampes à incandescence, les lampes halogènes et les sources lumineuses spéciales.

Électrode : La tige de tungstène dopée (telle que WT20, WC20) est utilisée pour le soudage à l'arc argon et l'électrode de soudage au plasma.

Cible de pulvérisation : La tige de tungstène de haute pureté est transformée en cible pour le dépôt de semi-conducteurs et de films d'affichage.

Tubes à vide et tubes à rayons X : des tiges de tungstène de haute pureté sont utilisées pour les cathodes et les cibles.

Autre : pour les émetteurs laser.

### **Production et exigences**

Tréfilage et polissage à Ra 1,6–3,2 µm, haute pureté selon les normes ASTM B760 et SEMI.

### **2.3.3 Tige de tungstène à usage militaire**

#### **Définitions et aperçu**

Les tiges de tungstène à usage militaire sont principalement des tiges en alliage de tungstène, qui sont utilisées pour les composants militaires à haute densité et à haute résistance, tels que les noyaux de balles perforants et les armes cinétiques.

#### **Caractéristiques et applications**

Noyau perforant : Tige en alliage tungstène-nickel-fer (densité 18,0–18,5 g/cm<sup>3</sup>) pour munitions antichars à fort pouvoir de pénétration.

Armes cinétiques : Les tiges d'alliage de tungstène de grand diamètre sont utilisées dans les ogives

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

à haute cinétique, théoriquement pour les armes du concept de « Sceptre de Dieu ».

Pièces d'armure : les tiges de tungstène sont usinées dans les revêtements de tuyère de missile ou la protection du blindage.

Autre : Protection contre les radiations pour les composants d'armes nucléaires.

### **Production et exigences**

L'extrusion ou le forgeage garantit une densité élevée, selon la norme ASTM B777, et une rugosité de surface de Ra de 1,6 à 3,2  $\mu\text{m}$ .

### **2.3.4 Autres tiges de tungstène à usage spécial**

#### **Définitions et aperçu**

D'autres tiges de tungstène à usage spécial comprennent des biens médicaux, scientifiques et de consommation tels que la protection contre les radiations, les équipements de laboratoire et les articles de sport.

#### **Caractéristiques et applications**

Médical : les tiges en alliage de tungstène sont utilisées dans le blindage et les collimateurs pour les équipements à rayons X et CT.

Recherche scientifique : la tige de tungstène dopée est utilisée dans l'élément chauffant du four expérimental à haute température.

Biens de consommation : les tiges en alliage de tungstène sont transformées en fléchettes, en poids de club de golf et en bijoux en acier au tungstène.

Autres : Pièces résistantes à l'usure pour outils de forage géologique.

### **Production et exigences**

En fonction de l'application, le processus d'étréage, d'extrusion ou de forgeage est sélectionné avec une rugosité de surface de Ra 1,6 à 3,2  $\mu\text{m}$ .

### **2.4 Les tiges de tungstène sont classées selon les spécifications**

Les spécifications des tiges de tungstène sont principalement basées sur le diamètre et sont divisées en trois catégories : petit diamètre, diamètre moyen et grand diamètre.

#### **2.4.1 Tiges de tungstène de petit diamètre (<5 mm)**

##### **Définitions et aperçu**

Les tiges de tungstène de petit diamètre (<5 mm de diamètre) sont préparées par un processus d'étréage avec une grande précision dimensionnelle et une bonne qualité de surface.

##### **Caractéristiques et applications**

Caractéristiques : diamètre 0,1–5 mm, rugosité de surface Ra 1,6–3,2  $\mu\text{m}$ , résistance à la traction 1500–2000 MPa.

Applications : matières premières de filaments de tungstène, électrodes de soudage, sondes microélectroniques, composants laser.

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

La production du processus d'emboutissage est le pilier, ce qui nécessite des moules de haute précision et des recuits multiples.

#### 2.4.2 Tiges de tungstène de diamètre moyen (5-20 mm)

##### Définitions et aperçu

Les tiges de tungstène de diamètre moyen (5 à 20 mm) sont préparées par forgeage ou laminage pour offrir à la fois résistance et facilité de traitement.

##### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : densité 19,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>, rugosité de surface Ra 1,6–3,2 µm.

Applications : composants de fours à haute température, contrepoids, électrodes de soudage, cibles médicales.

Production de procédés de forgeage ou de laminage, adaptés à la production de masse.

#### 2.4.3 Tiges de tungstène de grand diamètre (>20 mm)

##### Définitions et aperçu

Les tiges de tungstène de grand diamètre (>20 mm) sont préparées par extrusion ou forgeage et conviennent aux pièces de grand format.

##### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : densité 19,0–19,2 g/cm<sup>3</sup>, résistance élevée aux chocs, rugosité de surface Ra 1,6–3,2 µm.

Application : noyau de balle militaire, contrepoids d'aviation, grand moule, composants nucléaires.

La production du processus d'extrusion est principalement basée sur des équipements de gros tonnage.

#### 2.5 Les tiges de tungstène sont classées en fonction de leur état de surface

L'état de surface affecte l'application et la facilité de traitement des tiges de tungstène, qui sont divisées en tiges de cuir noir, tiges de polissage et tiges de polissage.

##### 2.5.1 Bâtonnets en cuir noir

##### Définitions et aperçu

La tige de peau noire est une tige de tungstène frittée ou usinée au préalable avec une couche d'oxyde sur la surface et n'a pas été finie.

##### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : Rugosité de surface Ra 3,2–6,4 µm, densité 17,5–18,5 g/cm<sup>3</sup>.

Application : produits semi-finis pour forgeage ou laminage ultérieur ; Composants d'ébauche de four à haute température.

La production est refroidie directement après le frittage pour conserver la couche d'oxyde.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

## 2.5.2 Bâtons Cartlight

### Définitions et aperçu

La tige tournante enlève la peau noire en tournant ou en meulant, et la surface est lisse et la précision dimensionnelle est élevée.

### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : Rugosité de surface Ra 1,6–3,2  $\mu\text{m}$ , tolérance dimensionnelle  $\pm 0,05$  mm.

Applications : électrodes de soudage, éléments de four à haute température, contrepoids de précision.

La production de processus de tournage ou de rectification nécessite des machines-outils de haute précision.

## 2.5.3 Tiges de polissage

### Définitions et aperçu

La tige de polissage atteint une qualité de surface élevée grâce à un polissage fin, ce qui la rend adaptée à des environnements de haute précision et propres.

### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : Rugosité de surface Ra 1,6–3,2  $\mu\text{m}$ , tolérance dimensionnelle  $\pm 0,02$  mm.

Applications : Électrodes d'équipement à semi-conducteurs, cibles de pulvérisation, composants médicaux.

Réalisation de polissage en plusieurs passes, à l'aide de meules diamantées ou de polissage chimique.

## 2.6 Tiges spéciales en tungstène

Les tiges de tungstène spécialisées peuvent être dopées ou optimisées pour répondre aux besoins spécifiques de l'application.

### 2.6.1 Tiges de tungstène de potassium

#### Définitions et aperçu

Les tiges de potassium-tungstène (WK) sont utilisées dans les éléments de four à haute température pour améliorer la résistance au fluage à haute température en ajoutant des traces de potassium (50 à 100 ppm).

#### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : grains fins, forte résistance au fluage, durée de vie 20 à 30 % plus longue.

Application : Élément chauffant de four à haute température, support de four à vide.

La production est produite en ajoutant des sels de potassium à de la poudre de tungstène, en frittant, puis en étirant ou en forgeant.

### 2.6.2 Barres de tungstène dopées au thorium

#### Définitions et aperçu

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La tige de tungstène dopée au thorium (WT20, contenant 2 % de ThO<sub>2</sub>) était autrefois un matériau standard pour les électrodes de soudage en raison de sa bonne stabilité à l'arc.

#### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : démarrage rapide de l'arc, longue durée de vie, rugosité de surface Ra 1,6–3,2 µm, mais légèrement radioactive.

Application : Les électrodes de soudage TIG sont progressivement remplacées par des électrodes respectueuses de l'environnement.

L'oxyde de thorium est ajouté à la production, et après frittage, l'étirage et le moulage.

### 2.6.3 Tiges de tungstène dopées au cérium

#### Définitions et aperçu

La tige de tungstène dopée au cérium (WC20, avec 2 % de CeO<sub>2</sub>) est non radioactive et présente d'excellentes performances d'arc.

#### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : stabilité de l'arc, faible taux de brûlure, rugosité de surface Ra 1,6–3,2 µm, adapté au soudage à faible courant.

Application : soudage TIG, électrode de soudage plasma.

L'oxyde de cérium est ajouté à la production, fritté puis étiré.

### 2.6.4 Tiges de tungstène dopées au lanthane

#### Définitions et aperçu

Les tiges de tungstène dopées au lanthane (WL15/WL20 avec 1,5 à 2 % de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sont le premier choix pour des électrodes de soudage respectueuses de l'environnement.

#### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : grande stabilité de l'arc, longue durée de vie, non-radioactivité, rugosité de surface Ra 1,6–3,2 µm.

Application : soudage de haute précision, électrodes d'équipement à semi-conducteurs.

L'oxyde de lanthane est ajouté à la production, fritté puis étiré ou poli.

### 2.6.5 Tige de tungstène dopée au zirconium

#### Définitions et aperçu

La tige de tungstène dopée au zirconium (WZ8, contenant 0,8 % de ZrO<sub>2</sub>) convient au soudage AC et présente une forte résistance à la pollution.

#### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : résistant à la contamination des électrodes, adapté au soudage de l'aluminium et du magnésium, rugosité de surface Ra 1,6–3,2 µm.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Application : Électrode de soudage TIG AC.

La zircone est ajoutée à la production, frittée puis étirée.

### 2.6.6 Tige de tungstène dopée à l'yttrium

#### Définitions et aperçu

Les barres de tungstène dopées à l'yttrium (WY20 avec 2 %  $Y_2O_3$ ) sont utilisées pour des soudures spéciales en raison de leur émissivité électronique élevée.

#### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : Émissivité électronique élevée, adapté au soudage à haute fréquence, rugosité de surface Ra 1,6–3,2  $\mu m$ .

Application : découpe plasma, électrode spéciale.

L'oxyde d'yttrium est ajouté à la production, fritté puis étiré.

### 2.6.7 Tige composite de tungstène de terres rares

#### Définitions et aperçu

Les tiges composites de tungstène de terres rares combinent une variété d'oxydes de terres rares (tels que  $La_2O_3+CeO_2$ ) pour optimiser les performances globales.

#### Caractéristiques et applications

Caractéristiques : Excellente stabilité de l'arc, durée de vie et résistance à la brûlure, rugosité de surface Ra 1,6–3,2  $\mu m$ .

Applications : soudure exigeante, électrodes aérospatiales, buses d'impression 3D.

Des terres rares composites sont ajoutées à la production, étirées ou polies après frittage.

## 2.7 Comparaison des modèles et des grades internationaux

Les types et les qualités de tiges de tungstène sont basés sur des normes internationales et nationales, qui sont faciles à commercialiser et à appliquer.

### 2.7.1 Grade de tige de tungstène pur

#### aperçu

Les grades de tiges de tungstène pur comprennent WP (AWS A5.12), W1 (GB/T 4187-2017) et ASTM B760 spécifiés par les tiges de tungstène pur.

#### Notes et exigences

WP :  $\geq 99,9$  % de pureté, utilisé pour le soudage d'électrodes et de filaments.

W1 : Pureté  $\geq 99,95$  %, les impuretés sont strictement contrôlées.

ASTM B760 : Spécifie la pureté et les propriétés mécaniques.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD  
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity  $\geq 99.95\%$ ) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to  $3410^{\circ}\text{C}$ , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm <sup>3</sup>
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ $4.5 \times 10^{-6}$ /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

### 2.7.2 Grades de tiges de tungstène dopées

Les grades de tiges de tungstène dopées sont basés sur AWS A5.12 et YS/T 695-2009, les modèles courants comprennent :

WT20 : électrode soudée à 2 % dopée au thorium, marquée en rouge.

WC20 : 2 % dopé au cérium, logo gris, électrode respectueuse de l'environnement.

WL15/WL20 : 1,5 à 2 % de lanthane, logo or ou bleu, électrode haute performance.

WZ8 : 0,8 % dopé au zirconium, logo blanc, soudure AC.

WY20 : 2 % dopé à l'yttrium, logo cyan, soudure spéciale.

### 2.7.3 Tableau comparatif des grades nationaux et étrangers (GB/T, ASTM, ISO)

type	Norme GB/T	Normes ASTM	Norme ISO	AWS A5.12
Tige en tungstène pur	W1	ASTM B760	Norme ISO 24370	WP
Tige de tungstène dopée au thorium	WT	ASTM B776	Norme ISO 24370	WT20
Tige de tungstène dopée au cérium	TOILETTE	ASTM B776	Norme ISO 24370	WC20
Tige de tungstène dopée au lanthane	WL	ASTM B776	Norme ISO 24370	WL15/WL20
Tige de tungstène dopée au zirconium	WZ	ASTM B776	Norme ISO 24370	WZ8
Tiges en alliage de tungstène	W-Ni-Fe/Cu	ASTM B777	Norme ISO 24370	-

#### Illustrer

GB/T 4187-2017 et YS/T 695-2009 stipulent la composition chimique et les propriétés des tiges de tungstène en Chine.

Les normes ASTM B760 et B777 sont des normes internationales pour le tungstène pur et les alliages de tungstène.

L'ISO 24370 spécifie les exigences générales applicables au tungstène et aux alliages de tungstène.

AWS A5.12 spécifie le grade et l'échelle de couleurs des tiges de tungstène dopées pour les électrodes de soudage.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

### Chapitre 3 Caractéristiques des tiges de tungstène

En tant que matériau métallique réfractaire haute performance, la tige de tungstène a un large éventail d'applications dans l'industrie, l'électronique, l'aérospatiale, la recherche médicale et scientifique en raison de ses excellentes propriétés physiques, chimiques et mécaniques. Ce chapitre traite en détail des propriétés physiques des barres de tungstène (y compris le point de fusion élevé, la densité élevée, le faible coefficient de dilatation thermique, la conductivité thermique et la faible pression de vapeur), les propriétés chimiques (résistance à la corrosion, stabilité chimique et réactivité avec les éléments), les propriétés mécaniques (dureté à haute résistance, résistance au fluage, ténacité et usinabilité), et compare les caractéristiques de différents types de tiges de tungstène (tiges de tungstène pur, tiges de tungstène de haute pureté, tiges de tungstène dopées), et enfin fournit les informations MSDS (Material Safety Data Sheet) des barres de tungstène.

#### 3.1 Propriétés physiques des tiges de tungstène

Les propriétés physiques des tiges de tungstène sont à la base d'une large gamme d'applications dans des environnements extrêmes, notamment un point de fusion élevé, une densité élevée, un faible coefficient de dilatation thermique, une bonne conductivité thermique et une faible pression de vapeur. Ces propriétés permettent aux tiges de tungstène de bien fonctionner à des températures élevées, à des charges élevées et dans des vides.

##### 3.1.1 Point de fusion élevé des tiges de tungstène

Le tungstène a un point de fusion de 3410°C, ce qui est le plus élevé de tous les métaux, juste derrière le point de sublimation du carbone (environ 3550°C). Cette propriété fait des tiges de tungstène un matériau irremplaçable dans les environnements à haute température, adapté aux applications qui résistent à des charges thermiques extrêmes. Le point de fusion élevé du tungstène

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

provient de sa structure en treillis cubique centrée sur le corps (BCC), de sa haute énergie de liaison métallique interatomique et de sa forte force de liaison, qui permet aux tiges de tungstène de maintenir une stabilité structurelle à des températures proches du point de fusion.

#### **Scénarios d'application :**

Éléments de four à haute température : Les tiges de tungstène sont utilisées comme tiges centrales des fours à quartz, qui résistent à des températures élevées de 2000 à 2500 °C pour produire du verre de quartz pour les fibres optiques.

Four à cristal de saphir : La tige de tungstène est utilisée comme creuset ou support pour la croissance des cristaux de saphir pour les substrats LED avec une température de fonctionnement allant jusqu'à 2200°C.

Aérospatiale : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les revêtements de tuyères des propulseurs à haute température, tels que les propulseurs à plasma, pour résister aux impacts de plasma à haute température.

Industrie de l'éclairage : tige de tungstène étirée dans un filament de tungstène, utilisée dans les lampes à incandescence, les lampes halogènes et les sources lumineuses spéciales, la température de fonctionnement peut atteindre 2800 °C.

#### **Défis techniques :**

À des températures élevées, les barres de tungstène peuvent réagir en petites quantités avec les atmosphères du four (par exemple l'oxygène ou l'azote) et doivent être protégées par l'hydrogène ou le vide.

Un point de fusion élevé nécessite des équipements spéciaux à haute température (tels que des fours de frittage sous vide), ce qui consomme beaucoup d'énergie et augmente les coûts de production.

Un fonctionnement à long terme à des températures élevées peut entraîner la croissance des grains et affecter les propriétés mécaniques.

#### **Tendances en matière de développement :**

Développez des conceptions avancées de fours à haute température qui combinent le chauffage par induction et les atmosphères inertes pour réduire la consommation d'énergie et augmenter l'efficacité. Les composites à matrice de tungstène ont été étudiés, et la stabilité à haute température a été encore améliorée par l'ajout de phases résistantes aux hautes températures (telles que la zircone), et la résistance à la température cible était jusqu'à 3000°C.

La technologie de frittage par plasma (SPS) est utilisée pour réduire la température de frittage à 1800°C, réduisant ainsi la surtaille des grains et la consommation d'énergie.

### **3.1.2 Haute densité des tiges de tungstène**

La densité des barres de tungstène est proche de la valeur théorique de 19,25 g/cm<sup>3</sup>, ce qui est comparable à l'or et seulement inférieur à l'osmium et à l'iridium. La densité élevée est due à l'empilement serré des atomes de tungstène et à la masse atomique élevée (183,84 u), ce qui lui confère une grande masse dans un petit volume, ce qui le rend adapté aux contrepoids de haute qualité et aux applications de protection contre les rayonnements.

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

### Scénarios d'application :

Contrepoids aérospatiaux : Les tiges de tungstène sont usinées pour former des contrepoids de satellites ou de drones afin d'optimiser l'utilisation de l'espace et l'ajustement du centre de gravité.

Militaire : les tiges en alliage de tungstène (W-Ni-Fe ou W-Ni-Cu) sont utilisées dans les noyaux de balles perforants ou les armes cinétiques pour améliorer la pénétration et l'énergie cinétique.

Médical : Les tiges de tungstène sont utilisées dans le blindage des équipements de radiographie et de tomodensitométrie pour absorber les rayonnements à haute énergie et protéger les opérateurs.

Biens de consommation : Les tiges en alliage de tungstène sont utilisées dans les poids de club de golf, les fléchettes ou les bijoux en acier au tungstène haut de gamme pour améliorer la stabilité et la sensation.

### Défis techniques :

Une densité élevée augmente la difficulté de l'usinage, nécessitant un équipement de haute précision pour contrôler les tolérances dimensionnelles, en particulier dans l'emboutissage de petit diamètre.

Les tiges de tungstène de grand format (> 50 mm de diamètre) sont sensibles aux défauts internes tels que la porosité ou les fissures lors de l'extrusion ou du forgeage.

L'ajout de nickel, de fer et d'autres éléments à la tige en alliage de tungstène peut réduire la résistance à la corrosion et le rapport d'alliage doit être optimisé.

### Tendances en matière de développement :

Développement de composites à matrice de tungstène haute densité (par exemple, W-Ni-Cu) pour optimiser l'équilibre entre densité et ténacité et améliorer la facilité de traitement.

Les techniques de fabrication additive, telles que l'impression 3D, sont utilisées pour produire des contrepoids de forme complexe, réduisant ainsi les déchets de matériaux et les coûts de traitement.

La simulation par éléments finis est utilisée pour optimiser le processus de forgeage et d'extrusion de grandes tiges de tungstène, réduisant ainsi les défauts internes et améliorant le rendement.

### 3.1.3 Faible coefficient de dilatation thermique des barres de tungstène

Les tiges de tungstène ont un très faible coefficient de dilatation thermique de  $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  (20-1000 $^{\circ}\text{C}$ ), ce qui est beaucoup plus faible que l'acier ( $11-13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) et le cuivre ( $16-18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ).

Le faible coefficient de dilatation thermique permet à la tige de tungstène de maintenir une excellente stabilité dimensionnelle à des températures élevées, de réduire les contraintes thermiques et la déformation, et convient aux environnements de haute précision et à haute température.

### Scénarios d'application :

Équipement à semi-conducteurs : Des tiges de tungstène de haute pureté sont utilisées pour les électrodes des équipements d'implantation ionique, et la stabilité dimensionnelle garantit la précision du traitement des plaquettes.

Four à haute température : La tige de tungstène est utilisée comme tige de noyau de four à quartz ou support de four à saphir, qui peut résister à des températures élevées supérieures à 2000  $^{\circ}\text{C}$  sans déformation.

Industrie optique : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les composants d'équipements laser pour maintenir le système optique aligné et empêcher la déformation thermique d'affecter le chemin

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

optique.

Aérospatiale : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les composants d'essai en soufflerie à haute température pour résister à la déformation thermique et maintenir la précision expérimentale.

#### **Défis techniques :**

La combinaison d'un faible coefficient de dilatation thermique et d'une faible ténacité rend les tiges de tungstène sensibles aux chocs thermiques, et les changements rapides de température peuvent provoquer des microfissures.

Un décalage de dilatation thermique avec d'autres matériaux à haute température peut entraîner des contraintes interfaciales qui affectent les performances des pièces composites.

L'usinage de précision doit prendre en compte la différence de dilatation thermique pour assurer le contrôle des tolérances.

#### **Tendances en matière de développement :**

Étudier les composites à matrice de tungstène pour ajuster le coefficient de dilatation thermique afin de l'adapter à d'autres matériaux (par exemple, des céramiques ou des alliages) et de réduire les contraintes interfaciales.

La simulation par éléments finis est utilisée pour optimiser la conception des composants, prédire la distribution des contraintes thermiques et réduire le risque de déformation thermique.

Développement de technologies de revêtement à haute température (par exemple, les revêtements en zircone) pour améliorer la résistance aux chocs thermiques des tiges de tungstène.

#### **3.1.4 Conductivité thermique et électrique des barres de tungstène**

La tige de tungstène a une bonne conductivité thermique et une conductivité électrique modérée, avec une conductivité thermique d'environ 173 W/m·K (20°C) et une conductivité électrique de 18 % IACS (International Standard for Annealed Copper, environ 9,8 MS/m). Ces propriétés proviennent de la structure de liaison métallique du tungstène et de la mobilité des électrons, ce qui le rend adapté aux applications conductrices à haute température et thermiquement conductrices. Bien que la conductivité soit inférieure à celle du cuivre (100 % IACS), la stabilité des tiges de tungstène à haute température et le faible taux de changement de résistance leur confèrent un avantage dans des scénarios spécifiques.

#### **Scénarios d'application :**

Électronique : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les cathodes de tubes à vide, les cibles de tubes à rayons X et les électrodes d'usinage par électroérosion (EDM), combinant conductivité et stabilité à haute température.

Électrodes de soudage : Les tiges de tungstène dopées (telles que le dopé au cérium ou au lanthane) sont utilisées pour le soudage à l'arc à l'argon (TIG) et le soudage au plasma, et la stabilité de l'arc dépend de sa conductivité.

Four à haute température : La tige de tungstène est utilisée comme élément chauffant, utilisant la conductivité thermique pour transférer rapidement la chaleur, et la température de travail peut atteindre 2500 °C.

Recherche scientifique : La tige de tungstène est utilisée comme électrode pour les expériences de

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

supraconductivité à haute température, et sa conductivité et sa résistance à haute température garantissent la fiabilité de l'expérience.

#### **Défis techniques :**

La conductivité est inférieure à celle du cuivre et de l'argent, ce qui limite la compétitivité des tiges de tungstène dans les applications à faible résistance.

La résistivité augmente légèrement à haute température (environ  $0,004/^\circ\text{C}$ ), et la conception du circuit doit être optimisée pour compenser.

La conductivité thermique diminue légèrement à des températures très élevées ( $>2000^\circ\text{C}$ ) et une conception de gestion thermique doit être envisagée.

#### **Tendances en matière de développement :**

Développement de tiges de tungstène dopées (par exemple dopées au lanthane ou au cérium) pour réduire la résistivité et améliorer la stabilité de l'arc.

ÉTUDE DE MATÉRIAUX NANOSTRUCTURÉS EN TUNGSTÈNE POUR OPTIMISER LA CONDUCTIVITÉ GRÂCE À L'INGÉNIERIE DES JOINTS DE GRAINS SNOWFLAKE.

Un revêtement conducteur (par exemple un revêtement en graphène) est utilisé pour améliorer la conductivité de la surface des tiges de tungstène pour des électrodes spéciales.

#### **3.1.5 Faible pression de vapeur des tiges de tungstène**

Les tiges de tungstène ont une très faible pression de vapeur ( $<10^{-4}$  Pa à  $3000^\circ\text{C}$ ) à haute température, ce qui les rend stables dans des environnements sous vide ou à haute température, et ne sont pas faciles à volatiliser ou à polluer l'environnement. Cette propriété est due au point de fusion élevé et aux fortes liaisons métalliques du tungstène, qui réduisent l'évaporation des atomes à haute température.

#### **Scénarios d'application :**

Four à vide : la tige de tungstène est utilisée comme élément chauffant ou support pour le four à haute température sous vide afin d'éviter la volatilisation des matériaux et la pollution de l'environnement du four.

Fabrication de semi-conducteurs : des tiges de tungstène de haute pureté sont utilisées dans les équipements d'implantation ionique et les cibles de pulvérisation, et la faible pression de vapeur garantit un environnement de salle blanche sans pollution.

Aérospatiale : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les équipements expérimentaux sous vide à haute température, tels que les dispositifs de recherche sur le plasma, pour maintenir la stabilité à long terme.

Électronique : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les tubes à électrons sous vide (par exemple, les tubes à rayons X) pour empêcher la volatilisation du matériau à haute température d'affecter les performances.

#### **Défis techniques :**

Les impuretés à l'état de traces telles que l'oxygène ou le carbone peuvent augmenter la pression de vapeur, et la pureté des matières premières doit être étroitement contrôlée.

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

Le système de vide nécessite un ultra-vide (moins de  $10^{-5}$  Pa), ce qui nécessite une grande étanchéité de l'équipement.

Un fonctionnement à long terme à des températures élevées peut entraîner une oxydation de la surface, nécessitant une atmosphère protectrice ou un revêtement.

#### **Tendances en matière de développement :**

Développement d'un tungstène de très haute pureté (99,9999 %) pour réduire davantage la pression de vapeur et répondre aux besoins des semi-conducteurs de nouvelle génération.

Recherchez des revêtements anti-oxydation à haute température (par exemple SiC ou  $Al_2O_3$ ) pour réduire l'évaporation de surface.

Optimiser la conception du four à vide, combinée au frittage plasma à basse température, pour réduire la température de fonctionnement.

### **3.2 Propriétés chimiques des barres de tungstène**

Les propriétés chimiques des tiges de tungstène comprennent une excellente résistance à la corrosion, une stabilité chimique et une réactivité élémentaire limitée, ce qui les rend excellentes dans les environnements chimiques difficiles et adaptées à un large éventail d'applications industrielles et scientifiques.

#### **3.2.1 Résistance à la corrosion des tiges de tungstène**

Les tiges de tungstène ont une excellente résistance à la corrosion aux acides, aux alcalis et à la plupart des agents oxydants (tels que l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique, l'acide fluorhydrique) à température ambiante, et ne réagissent lentement que dans l'acide nitrique concentré à haute température ou les alcalis fondus (tels que l'hydroxyde de sodium). La résistance à la corrosion résulte d'une couche d'oxyde dense ( $WO_3$ ) formée à la surface du tungstène, qui isole efficacement les produits chimiques externes.

#### **Scénarios d'application :**

Industrie chimique : Les tiges de tungstène sont utilisées dans des électrodes ou des conteneurs résistants à la corrosion, tels que les équipements de traitement électrochimique.

Four à haute température : La tige de tungstène est utilisée comme élément chauffant dans l'hydrogène ou une atmosphère inerte et résiste aux gaz corrosifs.

Équipement médical : La tige de tungstène est utilisée comme cible pour les appareils à rayons X afin de résister aux environnements d'oxydation à haute température.

Marine : la tige en alliage de tungstène est utilisée comme contrepoids dans un environnement d'eau de mer, résistante à la corrosion par brouillard salin.

#### **Défis techniques :**

La couche d'oxyde peut s'épaissir ou se décoller à haute température, nécessitant une atmosphère protectrice (par exemple de l'hydrogène ou de l'argon).

Certains agents oxydants puissants, tels que l'aquarégale, peuvent corroder les tiges de tungstène à haute température, limitant ainsi la gamme d'applications.

L'ajout de nickel ou de fer aux tiges d'alliage de tungstène peut réduire la résistance à la corrosion

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

et le rapport d'alliage doit être optimisé.

#### **Tendances en matière de développement :**

Développement de revêtements résistants à la corrosion (par exemple, zircone ou nitrure de silicium) pour améliorer la résistance à la corrosion à haute température.

Recherche sur les composites à matrice de tungstène avec l'ajout d'éléments résistants à la corrosion tels que le chrome pour améliorer les performances.

Optimisez les processus de traitement de surface (par exemple, la pulvérisation de plasma) pour créer une couche protectrice plus dense.

#### **3.2.2 Stabilité chimique des barres de tungstène**

Les barres de tungstène sont chimiquement stables à des températures ambiantes et modérées (<500°C) et ne réagissent pratiquement pas avec l'oxygène, l'azote ou d'autres gaz courants. À des températures élevées (>1000°C), les barres de tungstène peuvent former lentement du WO<sub>3</sub> avec de l'oxygène, ou des composés durs (par exemple, WC, WN) avec du carbone et de l'azote, mais la vitesse de réaction est faible et doit être déclenchée par des conditions spécifiques.

#### **Scénarios d'application :**

Environnement sous vide : La tige de tungstène est utilisée dans l'élément chauffant du four à vide, et la stabilité chimique assure un fonctionnement à long terme sans pollution.

Fabrication de semi-conducteurs : Des tiges de tungstène de haute pureté sont utilisées dans les dispositifs d'implantation ionique pour empêcher les réactions chimiques de contaminer les plaquettes.

Expériences à haute température : Les tiges de tungstène sont utilisées dans la recherche sur la supraconductivité à haute température ou le plasma pour rester chimiquement inertes.

Électronique : Des tiges de tungstène sont utilisées dans la cathode des tubes à vide pour empêcher les réactions chimiques d'affecter les performances.

#### **Défis techniques :**

Les réactions traces avec l'oxygène ou le carbone à haute température peuvent entraîner une détérioration de la surface, nécessitant un contrôle strict de l'atmosphère.

Le dopage avec des additifs dans les barres de tungstène, tels que l'oxyde de thorium, peut réduire la stabilité chimique et nécessiter une optimisation de la formulation.

Un fonctionnement à long terme à des températures élevées peut déclencher l'accumulation de composés de surface, ce qui peut affecter la conductivité.

#### **Tendances en matière de développement :**

Le tungstène d'ultra-haute pureté (99,999 %) a été développé pour réduire les réactions chimiques causées par les impuretés.

Le revêtement par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) est utilisé pour former une couche protectrice stable et prolonger la durée de vie.

Recherche sur la technologie de revêtement auto-cicatrisant pour réparer automatiquement les dommages de surface à haute température.

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

### 3.2.3 Réactivité des barres de tungstène avec d'autres éléments

Les barres de tungstène ont une très faible réactivité avec d'autres éléments à température ambiante et n'ont que des réactions limitées avec l'oxygène, le carbone, l'azote, le fluor et d'autres éléments dans des conditions spécifiques de haute température. Par exemple, le  $WO_3$  est formé avec de l'oxygène à  $> 1000^\circ C$ , du carbure de tungstène (WC) avec du carbone à  $>1500^\circ C$  et du nitrure de tungstène (WN) avec de l'azote à  $>2000^\circ C$ . Ces réactions nécessitent une activation à haute énergie, et les produits de réaction sont généralement des composés de haute dureté, dont certains peuvent être utilisés pour améliorer les propriétés des tiges de tungstène.

#### Scénarios d'application :

Revêtement dur : En utilisant la réactivité du tungstène et du carbone, un revêtement WC est formé à la surface de la tige de tungstène pour améliorer la résistance à l'usure.

Expérience à haute température : La tige de tungstène est utilisée dans un réacteur à haute température dans une atmosphère inerte pour contrôler la réaction avec du carbone ou de l'azote.

Électrode de soudage : La tige de tungstène dopée réagit avec l'oxygène dans l'arc à haute température pour maintenir la stabilité de l'arc.

Industrie chimique : les barres de tungstène sont utilisées dans des cuves de réaction chimique spéciales pour résister à la corrosion par des gaz spécifiques.

#### Défis techniques :

La réaction à haute température peut modifier les propriétés de surface de la tige de tungstène et affecter la conductivité électrique ou thermique.

Les produits de réaction (par exemple,  $WO_3$ ) peuvent dégrader la qualité de surface et doivent être nettoyés ou protégés régulièrement.

Les éléments dopants peuvent provoquer des réactions complexes qui nécessitent un contrôle précis des quantités de dopage et des conditions du processus.

#### Tendances en matière de développement :

Recherchez la technologie de réaction sélective pour contrôler la réaction du tungstène avec des éléments spécifiques à haute température pour former des revêtements fonctionnels.

Développement de revêtements composites multicouches (par exemple  $WC/Al_2O_3$ ) qui équilibrent résistance à la corrosion et fonctionnalité.

Optimisez la technologie de contrôle de l'atmosphère, réduisez les réactions inutiles à haute température et améliorez la durée de vie des barres de tungstène.

### 3.3 Propriétés mécaniques des barres de tungstène

Les propriétés mécaniques des tiges de tungstène comprennent une résistance et une dureté élevées, une excellente résistance au fluage et une ténacité et une usinabilité limitées, ce qui les rend excellentes dans des environnements de charge élevée et de stress à haute température, mais elles sont difficiles à traiter.

#### 3.3.1 Haute résistance et dureté des tiges de tungstène

Les tiges de tungstène ont une résistance et une dureté extrêmement élevées, avec une dureté Vickers

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

(HV) de 350 à 500 et une résistance à la traction comprise entre 700 et 2000 MPa (en fonction du processus de traitement et du dopage). La haute résistance est due aux liaisons métalliques solides et au treillis cubique du tungstène centré sur le corps, et la dureté élevée le rend résistant à l'usure et adapté aux applications à forte charge.

#### **Scénarios d'application :**

Moules à haute température : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les moules de formage du verre ou de frittage de céramique pour résister à la pression et à l'usure élevées.

Militaire : les tiges en alliage de tungstène sont utilisées pour les noyaux de balles perforants, combinées à une dureté et une densité élevées, pour améliorer la pénétration.

Outils industriels : Les tiges de tungstène sont usinées dans des outils de coupe ou des matrices d'emboutissage et résistent à des contraintes élevées.

Aérospatiale : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les composants de propulseurs à haute température pour résister aux charges mécaniques.

#### **Défis techniques :**

Une dureté élevée augmente la difficulté de coupe et de meulage, nécessitant des outils diamantés ou un usinage laser.

Haute résistance mais grande fragilité, facile à produire des microfissures pendant le traitement.

Les tiges de tungstène de grand format (>50 mm) sont forgées ou extrudées avec une concentration de contrainte interne, et le processus doit être optimisé.

#### **Tendances en matière de développement :**

Le matériau tungstène nanocristallin est utilisé pour affiner le grain à <100 nm afin d'améliorer la résistance et la dureté.

Développement d'une technologie de traitement assistée par plasma pour réduire les fissures de traitement et améliorer la précision.

Les composites à matrice de tungstène sont étudiés, avec l'ajout de phases d'amélioration de la ténacité (par exemple, le nickel) pour équilibrer la résistance et la ténacité.

#### **3.3.2 Résistance au fluage des tiges de tungstène**

Les tiges de tungstène ont une excellente résistance au fluage à des températures élevées (>2000°C) et peuvent résister aux contraintes pendant une longue période sans déformation significative. La résistance au fluage provient du point de fusion élevé et de la structure cristalline stable du tungstène, et les tiges de tungstène dopées (par exemple le potassium ou les terres rares) sont encore améliorées par le renforcement des joints de grains.

#### **Scénarios d'application :**

Four à haute température : La tige de tungstène est utilisée comme support pour un four à quartz ou un four à saphir et est soumise à des contraintes à haute température à long terme.

Aérospatiale : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les composants d'essai en soufflerie à haute température pour résister à la déformation par fluage.

Recherche scientifique : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les équipements expérimentaux

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

à haute température pour maintenir la stabilité dimensionnelle à long terme.

Industriel : Les tiges de tungstène sont utilisées dans les moules à haute température pour résister à la déformation sous stress à long terme.

#### **Défis techniques :**

La croissance des grains à des températures très élevées (>2500°C) peut réduire la résistance au fluage, et la microstructure doit être contrôlée.

Un fonctionnement à long terme peut entraîner une oxydation de surface ou une volatilisation des dopants, affectant les performances.

Les tiges de tungstène dopées doivent optimiser la distribution du dopant pour éviter les performances locales inégales.

#### **Tendances en matière de développement :**

Développement de technologies de dopage (p. ex., dopage des terres rares composites) pour améliorer encore la résistance au fluage et prolonger la durée de vie cible de 30 %.

Le procédé de pressage isostatique à chaud (HIP) est utilisé pour réduire les défauts des joints de grain et améliorer la stabilité à haute température.

Recherche sur la technologie de surveillance in-situ à haute température pour évaluer le comportement de fluage en temps réel et optimiser la conception.

#### **3.3.3 Ténacité et usinabilité des barres de tungstène**

Les tiges de tungstène ont une faible ténacité et sont cassantes, surtout à température ambiante. La structure en treillis cubique centrée sur le corps et la dureté élevée entraînent une faible ductilité et sont traitées à des températures élevées (800-1500°C) ou à plusieurs temps de recuit pour améliorer la plasticité. Les tiges de tungstène dopées peuvent légèrement améliorer la ténacité en ajoutant des terres rares ou des oxydes (tels que l'oxyde de cérium, l'oxyde de lanthane), mais elles restent difficiles à traiter.

#### **Scénarios d'application :**

Emboutissage : Les tiges de tungstène sont étirées en filaments de tungstène (0,01 à 0,1 mm de diamètre), qui nécessitent une température élevée et plusieurs recuits pour la production de filaments.

Pièces de précision : Les tiges de tungstène sont transformées en sondes ou électrodes semi-conductrices, qui nécessitent une technologie d'usinage de haute précision.

Électrode de soudage : La tige de tungstène dopée (WC20, WL20) est transformée en électrode et la ténacité est optimisée pour améliorer la durée de vie.

Fabrication de moules : les tiges de tungstène sont transformées en moules de forme complexe, qui nécessitent un traitement au laser ou par EDM.

#### **Défis techniques :**

La fragilité est élevée à température ambiante et le traitement est facile à produire des micro-fissures, ce qui réduit le taux de rendement.

Le traitement à haute température nécessite des équipements spécialisés, tels que des fours à vide ou des radiateurs à induction, ce qui augmente les coûts.

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

Les tiges de tungstène de petit diamètre (<1 mm) présentent un risque élevé de rupture par arrachement et nécessitent un contrôle précis de la déformation.

#### **Tendances en matière de développement :**

Développement d'une technologie de frittage de poudre de tungstène à l'échelle nanométrique pour affiner les grains et améliorer la ténacité et la facilité de traitement.

Le traitement au laser ou l'usinage EDM est utilisé pour réduire les contraintes mécaniques et améliorer la précision de l'usinage.

Recherche de nouveaux dopants (tels que les terres rares composites) pour améliorer la ténacité à température ambiante et réduire la difficulté de traitement.

### **3.4 Comparaison des caractéristiques de différents types de tiges de tungstène**

Il existe des différences significatives dans les propriétés physiques, chimiques et mécaniques des différents types de tiges de tungstène (tiges de tungstène pur, tiges de tungstène de haute pureté, tiges de tungstène dopées), ce qui affecte leurs domaines d'application et leurs performances.

#### **3.4.1 Tige de tungstène pur et tiges de tungstène de haute pureté**

##### **Comparaison des propriétés physiques :**

Tige de tungstène pur (pureté  $\geq 99,9\%$ ) : densité 19,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>, point de fusion 3410°C, coefficient de dilatation thermique  $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , conductivité thermique 173 W/m·K, conductivité électrique 18 % IACS. Des granulométries de 10 à 50  $\mu\text{m}$  et des impuretés à l'état de traces (100 à 500 ppm) peuvent affecter les performances à haute température.

Tige de tungstène de haute pureté (pureté  $\geq 99,95\%$ ) : densité proche de la valeur théorique de 19,25 g/cm<sup>3</sup>, grain plus fin (5–15  $\mu\text{m}$ ), teneur en impuretés < 50 ppm, conductivité légèrement meilleure (résistivité d'environ 5,3  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$  contre 5,5  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ), pression de vapeur plus faible, adaptée aux environnements propres.

##### **Comparaison des propriétés chimiques :**

Tige de tungstène pur : forte résistance à la corrosion, mais la réaction à l'oxygène ou au carbone est plus évidente à haute température, et l'atmosphère doit être protégée.

Tiges de tungstène de haute pureté : stabilité chimique plus élevée, presque aucune réaction avec les produits chimiques à température ambiante, taux de formation de WO<sub>3</sub> plus faible à haute température, adaptés aux applications sous vide ou en salle blanche.

##### **Comparaison des caractéristiques mécaniques :**

Tige en tungstène pur : dureté Vickers 350–450 HV, résistance à la traction 700–1000 MPa, faible ténacité, recuit à haute température est nécessaire pour l'usinage.

Tige de tungstène de haute pureté : la dureté est légèrement supérieure (400–500 HV), la résistance à la traction est de 800–1100 MPa et le raffinement du grain améliore la résistance, mais la ténacité est encore limitée et nécessite un usinage de précision.

##### **Différences d'application :**

Tige de tungstène pur : convient aux applications générales à haute température, telles que les tiges

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

de noyau de four à quartz, les matières premières de filament, les contrepoids.

Tiges de tungstène de haute pureté : Spécialement conçues pour les environnements de haute précision et propres, telles que les électrodes pour les équipements d'implantation d'ions semi-conducteurs, les cibles de pulvérisation et les composants de machines de lithographie EUV.

#### **Défis techniques :**

Les tiges de tungstène pur sont moins coûteuses, mais les impuretés peuvent affecter l'uniformité des performances.

La production de tiges de tungstène de haute pureté nécessite une purification CVD et un traitement en salle blanche, ce qui a un coût élevé et des exigences d'équipement strictes.

#### **Tendances en matière de développement :**

Tige de tungstène pur : optimisez le processus de frittage, réduisez les impuretés et améliorez la stabilité des performances.

Tige de tungstène de haute pureté : développer du tungstène de très haute pureté (99,9999 %) pour répondre aux besoins de fabrication de puces inférieures à 3 nm.

#### **3.4.2 Propriétés particulières des tiges de tungstène dopées**

Propriétés physiques : Les barres de tungstène dopées (contenant 0,5 à 2 % en poids de terres rares ou d'oxydes, tels que l'oxyde de cérium, l'oxyde de lanthane, l'oxyde de thorium) sont légèrement moins denses que les barres de tungstène pur (19,0 à 19,2 g/cm<sup>3</sup>) en raison de la densité plus faible des dopants. Le raffinement des grains est de 5 à 15 µm, et le coefficient de dilatation thermique et de conductivité thermique (environ 160 W/m·K) est légèrement inférieur à celui de la tige de tungstène pur, mais la conductivité électrique est légèrement supérieure (environ 5,0 µΩ·cm), en raison de l'amélioration de la mobilité électronique du dopant.

Propriétés chimiques : Les tiges de tungstène dopées maintiennent la résistance à la corrosion et la stabilité chimique du tungstène, mais à des températures élevées, certains dopants (tels que l'oxyde de thorium) peuvent provoquer une légère réaction qui réduit la stabilité. Le dopage aux terres rares (comme le dopé au cérium et au lanthane) n'est pas radioactif, répond aux exigences de protection de l'environnement et présente une meilleure stabilité chimique.

Caractéristiques mécaniques : La tige de tungstène dopée est renforcée par des joints de grains pour améliorer la résistance à la traction (1000-1200 MPa) et la ténacité, et la résistance au fluage est considérablement améliorée, ce qui convient aux contraintes à long terme à haute température. Avec une dureté Vickers de 400 à 500 HV, la usinabilité est meilleure que celle des barres de tungstène pur, mais elle doit tout de même être traitée à des températures élevées.

#### **Scénarios d'application :**

Électrode de soudage : La tige de tungstène dopée (telle que WC20, WL20) est utilisée pour le soudage à l'arc argon et le soudage au plasma, avec une stabilité d'arc élevée et un faible taux de brûlure.

Four à haute température : la tige de tungstène dopée au potassium ou aux terres rares est utilisée pour l'élément chauffant du four à vide, qui peut résister à plus de 2500 °C.

Électronique : Les tiges de tungstène dopées sont utilisées dans les tubes cathodiques, les appareils

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

à micro-ondes et les émetteurs laser.

Application émergente : Buses haute température pour l'impression 3D de dispositifs métalliques, résistantes aux métaux fondus à haute température.

#### **Défis techniques :**

L'uniformité du dopant est difficile à contrôler, et le frittage à haute température peut entraîner une volatilisation et affecter les performances.

L'application de barres de tungstène dopées au thorium est légèrement radioactive, et des alternatives respectueuses de l'environnement doivent être développées.

Le processus de dopage augmente la complexité et le coût de la production, ce qui nécessite l'optimisation des recettes et des processus.

#### **Tendances en matière de développement :**

Recherche et développement de dopage composite aux terres rares (tels que  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$ ) pour améliorer la stabilité de l'arc, la durée de vie et la résistance aux brûlures.

La technologie de nanodopage est utilisée pour réduire la quantité de dopage (<0,5 % en poids) et améliorer l'efficacité des performances.

Développement d'électrodes non radioactives à haute performance qui répondent aux normes environnementales mondiales (par exemple, la directive RoHS de l'UE).

### **3.5 Tige en tungstène MSDS de CITA GROUP LTD**

Ce qui suit est un résumé de la fiche de données de sécurité (FDS) de Chinatungsten Tungsten Rods, qui couvre les informations de sécurité, de santé et d'environnement basées sur les caractéristiques générales et les normes industrielles des tiges de tungstène. Étant donné que la tige de tungstène est un matériau métallique solide, son contenu en FDS est relativement concis, se concentrant principalement sur les risques potentiels lors du traitement et de l'utilisation.

#### Fiches signalétiques (FDS)

Nom du produit : Tige de tungstène (tige de tungstène pur, tige de tungstène de haute pureté, tige de tungstène dopée)

Composition chimique:

Tige de tungstène pur : tungstène (W)  $\geq 99,9$  %, traces d'impuretés (Fe, Ni, C, O, etc., 100–500 ppm).

Tige de tungstène de haute pureté : tungstène (W)  $\geq 99,95$  %, impuretés < 50 ppm.

Tige de tungstène dopée : tungstène (W) 97–99,5 %, dopant (comme  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ThO}_2$ , K) 0,5–2 % en poids.

Forme physique : Tige métallique solide d'une densité de 19,0 à 19,25 g/cm<sup>3</sup> et d'une rugosité de surface Ra de 1,6 à 3,2  $\mu\text{m}$ .

Aperçu des dangers :

Il n'y a pas de danger significatif à température ambiante, une stabilité chimique élevée et il n'est pas facile de brûler ou d'exploser.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le traitement (p. ex., coupe, meulage, soudage) peut produire de la poussière ou des fumées métalliques, qui peuvent provoquer une irritation respiratoire en cas d'inhalation.

La tige de tungstène dopée au thorium (WT20) contient de l'oxyde de thorium, qui est légèrement radioactif et nécessite une protection spéciale.

Risques pour la santé :

Inhalation : La poussière de tungstène peut irriter les voies respiratoires, et une exposition à long terme peut provoquer une gêne pulmonaire.

Contact avec la peau : Les tiges de tungstène solides ne sont pas toxiques, mais la poussière de traitement peut provoquer une irritation mineure de la peau.

Contact avec les yeux : La poussière peut provoquer une irritation mécanique et doit être rincée avec les yeux.

Ingestion : La probabilité d'ingestion accidentelle est faible, et de petites quantités d'ingestion ne sont pas significativement toxiques, mais doivent être évitées.

Barres de tungstène dopées au thorium : L'exposition à long terme à la poussière d'oxyde de thorium peut augmenter le risque de rayonnement et l'exposition doit être contrôlée.

Précautions de sécurité :

Protection individuelle : Portez un masque anti-poussière (N95 ou supérieur), des lunettes de protection et des gants pendant le traitement.

Ventilation : La zone de traitement doit être équipée d'un système d'évacuation locale ou de dépoussiérage pour contrôler la concentration de poussière.

Protection radioactive (tiges de tungstène dopées au thorium) : utilisez une hotte spéciale, surveillez régulièrement les niveaux de rayonnement et respectez les réglementations locales (par exemple Chine GB 18871-2002).

Manutention et entreposage :

Stocker dans un entrepôt sec et bien ventilé, à l'abri du contact avec des agents oxydants puissants (par exemple, de l'acide nitrique concentré).

L'équipement de traitement doit être mis à la terre pour éviter les explosions de poussière causées par l'accumulation d'électricité statique.

Les déchets de barres de tungstène sont recyclés en tant que déchets métalliques, et les barres de tungstène dopées au thorium doivent être éliminées conformément à la réglementation sur les déchets radioactifs.

Mesures de premiers secours :

Inhalation : Amener la personne à l'air frais et consulter un médecin si nécessaire.

Contact avec la peau : Lavez votre peau à l'eau et au savon et consultez un médecin si nécessaire.

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

Apport : Rincez-vous la bouche immédiatement, diluez-le avec de l'eau et consultez un médecin si nécessaire.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

**Impact sur l'environnement:**

Les tiges de tungstène elles-mêmes ne sont pas toxiques pour l'environnement, mais la poussière de traitement peut polluer l'air ou les plans d'eau et doit être collectée correctement.

Les déchets dopés à l'aide de barres de thorium-tungstène doivent être éliminés conformément à la réglementation sur les déchets radioactifs afin d'éviter la pollution de l'environnement.

**Informations réglementaires :**

Il est conforme aux normes chinoises GB / T 4187-2017 (norme de tige de tungstène) et YS / T 695-2009 (norme d'électrode de tungstène).

Les barres de tungstène dopées au thorium sont soumises au Code de sécurité des matières radioactives de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et à la norme chinoise GB 18871-2002 (Standard for Protection against Ionizing Radiations).

**Informations sur l'expédition :**

Transport de marchandises non dangereuses, conformément aux exigences de l'Organisation maritime internationale (OMI) et de l'Association du transport aérien international (IATA).

Les barres de tungstène dopé au thorium doivent être marquées d'avertissements radioactifs et doivent être emballées et transportées conformément à la réglementation.

**Informations sur le fournisseur**

Fournisseur : CTIA GROUP LTD

Tél. : 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

**Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

## Chapitre 4 Préparation et technologie de production des tiges de tungstène

En tant que matériau métallique réfractaire haute performance, le processus de préparation de la tige de tungstène implique un traitement complexe des matières premières, la métallurgie des poudres, le traitement de la déformation, le post-traitement et une technologie personnalisée pour différents types de tige de tungstène. Le point de fusion élevé (3410 °C), la densité élevée (19,25 g/cm<sup>3</sup>) et les propriétés mécano-chimiques uniques du tungstène imposent des exigences strictes en matière d'équipement de production et de contrôle des processus. Ce chapitre abordera en détail le processus de préparation et de production des barres de tungstène, y compris la préparation des matières premières, la technologie de la métallurgie des poudres, la technologie de traitement de la déformation, la préparation de tiges de tungstène à grande échelle, la technologie de post-traitement et les caractéristiques de processus de différents types de tiges de tungstène (tiges de tungstène pur, tiges de tungstène de haute pureté, tiges de tungstène dopées).

### 4.1 Préparation des matières premières pour les tiges de tungstène

La préparation des barres de tungstène commence par l'acquisition et le traitement de matières premières de haute qualité, impliquant l'extraction et la purification du minerai de tungstène, la préparation de la poudre de tungstène et l'ajout d'éléments d'alliage ou de dopants. Ces étapes ont un impact direct sur la pureté, les performances et l'efficacité de production des tiges de tungstène.

#### 4.1.1 Extraction et purification du minerai de tungstène

La matière première de la tige de tungstène est principalement dérivée du minerai de tungstène, et les types courants comprennent la wolframite (FeMnWO<sub>4</sub>) et la scheelite (CaWO<sub>4</sub>). L'exploitation minière est généralement effectuée à l'aide de méthodes d'exploitation à ciel ouvert ou souterraines, selon les conditions géologiques du gisement. Le minerai extrait subit plusieurs étapes de purification pour obtenir un composé de tungstène de haute pureté.

Processus:

Concassage et broyage du minerai : Le minerai brut est broyé en petites particules (<10 mm) et raffiné au niveau du micron (10-100 µm) par broyage à billes ou à barres pour améliorer l'efficacité de l'enrichissement ultérieur.

Enrichissement : Des techniques d'enrichissement par gravité (par exemple, gabarit, agitateur), de flottation ou de séparation magnétique sont utilisées pour séparer le minerai de tungstène de la gangue afin d'obtenir un concentré de tungstène à haute teneur (teneur en WO<sub>3</sub> 60-70 %).

Purification chimique : Le concentré de tungstène est torréfié (500-800 °C) pour éliminer les impuretés telles que le soufre et l'arsenic, suivi d'une lixiviation alcaline (hydroxyde de sodium) ou acide (acide chlorhydrique) pour produire du tungstate de sodium (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) ou de l'acide tungstique (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>).

Cristallisation et raffinage : purification ultérieure par extraction par solvant ou échange d'ions pour générer du tungstate d'ammonium de haute pureté (APT, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) d'une pureté supérieure à 99,9 %, qui convient à la préparation ultérieure de poudre de tungstène.

Points clés :

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le processus d'enrichissement doit être contrôlé avec précision pour réduire les impuretés (par exemple, le silicium, le phosphore, le fer).

La méthode de lixiviation alcaline convient à la wolframite, et la méthode de lixiviation acide convient à la scheelite, et le processus doit être optimisé en fonction du type de minerai.

L'APT de haute pureté est la matière première clé pour la préparation de tiges de tungstène de haute pureté, et les impuretés telles que le carbone et l'oxygène doivent être strictement contrôlés.

#### 4.1.2 Préparation de la poudre de tungstène

La poudre de tungstène est la matière première de base pour la préparation des barres de tungstène, qui est obtenue en réduisant le tungstate d'ammonium ou l'oxyde de tungstène ( $WO_3$ ) par l'hydrogène, et la taille et la pureté des particules affectent directement les propriétés des barres de tungstène.

Processus:

Préparation de l'oxyde : Le tungstate d'ammonium est calciné à l'air ( $400-600^{\circ}C$ ) et décomposé en oxyde de tungstène ( $WO_3$ ) ou  $WO_{2.9}$ , la couleur est jaune ou bleu-vert.

Réduction de l'hydrogène : l'oxyde de tungstène est réduit en hydrogène de haute pureté (99,999 %) à  $600-900^{\circ}C$  dans un four multitubes ou un four rotatif en deux étapes : d'abord en  $WO_2$  (marron), puis en poudre de tungstène métal (gris). L'atmosphère réductrice doit être strictement contrôlée pour éviter la pollution par l'oxygène ou l'azote.

Tamis et classification : La poudre de tungstène ( $0,5$  à  $5\ \mu m$ ) avec une taille de particule uniforme peut être obtenue par tamis vibrant ou par classification du débit d'air, ce qui convient à différents types de tiges de tungstène (par exemple, les barres de tungstène pur nécessitent des particules de plus grande taille et les tiges de tungstène de haute pureté nécessitent des tailles de particules plus fines).

Contrôle de la qualité : Les impuretés sont détectées à l'aide de la spectroscopie de fluorescence X (XRF) ou de la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) pour garantir une pureté de  $\geq 99,9\%$  (poudre de tungstène de haute pureté  $\geq 99,95\%$ ).

Points clés :

La température de réduction et le débit d'hydrogène doivent être ajustés avec précision pour contrôler la taille et la morphologie des particules de poudre de tungstène.

La poudre de tungstène de haute pureté doit être produite dans un environnement propre pour éviter la pollution par la poussière.

La poudre de tungstène doit être scellée pour le stockage afin d'éviter l'oxydation ou l'absorption d'humidité.

#### 4.1.3 Ajout d'éléments d'alliage et de dopants

Afin de préparer des tiges de tungstène dopées ou des barres en alliage de tungstène, des éléments d'alliage ou des dopants doivent être ajoutés à la poudre de tungstène pour améliorer la stabilité de l'arc, la résistance au fluage ou la facilité de traitement.

Métier:

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Sélection des dopants : Les options de dopants courantes comprennent les oxydes de terres rares (par exemple, l'oxyde de cérium  $\text{CeO}_2$ , l'oxyde de lanthane  $\text{La}_2\text{O}_3$ , l'yttrium  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , 0,5 à 2 % en poids), les oxydes (par exemple, le thorium  $\text{ThO}_2$ , la zircone  $\text{ZrO}_2$ ) ou des traces de potassium (50 à 100 ppm). Les éléments d'alliage comprennent le nickel, le fer et le cuivre, qui sont utilisés pour préparer des tiges d'alliage de tungstène à haute densité.

Méthode de mélange : Le dopant est uniformément mélangé avec de la poudre de tungstène par broyage à billes à haute énergie ou séchage par pulvérisation pour s'assurer que le dopant est uniformément réparti. Le temps de broyage des billes est contrôlé à 4 à 8 heures pour éviter la surfinesse ou la contamination de la poudre.

Dopage en solution : Le dopant est dissous dans l'eau sous forme de nitrate (comme le nitrate de lanthane), pulvérisé à la surface de la poudre de tungstène et formé un dopage uniforme après séchage.

Contrôle de la qualité : La microscopie électronique à balayage (MEB) a été utilisée pour analyser la distribution des dopants, et la XRF a été utilisée pour détecter la quantité de dopage afin d'assurer la conformité aux exigences de conception (par exemple, teneur en  $\text{CeO}_2$  de 2 %  $\pm$  0,1 %).

Points clés :

La taille des particules du dopant doit être adaptée à celle de la poudre de tungstène (généralement  $< 1 \mu\text{m}$ ) pour éviter l'agglomération.

Les barres de tungstène dopées au thorium nécessitent une protection spéciale car l'oxyde de thorium est légèrement radioactif.

La proportion d'éléments d'alliage doit être contrôlée pour éviter de réduire le point de fusion ou la résistance à la corrosion du tungstène.

## 4.2 Technologie de métallurgie des poudres des tiges de tungstène

La métallurgie des poudres est la technologie de base de la préparation des tiges de tungstène, qui convertit la poudre de tungstène en ébauches denses en forme de tige par mélange de poudre, pressage et frittage à haute température, ce qui constitue la base du traitement ultérieur de la déformation.

### 4.2.1 Mélange et pressage des poudres

Mélange de poudre : La poudre de tungstène (ou poudre de tungstène dopée) est mélangée à un liant (par exemple de l'alcool polyvinylique PVA) par mélange mécanique ou séchage par pulvérisation pour assurer l'écoulement et la formabilité. L'équipement de mélange comprend des broyeurs planétaires ou des mélangeurs en V avec un temps de mélange de 2 à 4 heures pour éviter l'oxydation ou la contamination de la poudre.

Processus de pressage :

Pressage isostatique à froid (CIP) : La poudre de tungstène mélangée est chargée dans un moule flexible et pressée dans une ébauche en forme de tige à une pression de 100 à 200 MPa avec une densité théorique d'environ 50 à 60 %. Le CIP convient aux ébauches de grande taille et a une bonne uniformité.

Moulage : Pressage sur une presse hydraulique à l'aide d'une matrice en acier, adapté aux petits lots

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

ou aux ébauches de petit diamètre à des pressions de 50 à 150 MPa.

Contrôle du processus : La vitesse de pressage doit être lente (0,5 à 1 mm/s) pour éviter la fissuration de l'ébauche. L'ébauche est dégraissée sous vide ou sous atmosphère inerte pour retirer le liant.

Points clés :

La surface du moule doit être lisse pour réduire les défauts de surface de l'ébauche.

La pression de pression doit être ajustée en fonction de la taille des particules de poudre et du type de dopants.

Environnement propre (e.g. ISO classe 7) pour éviter la contamination par la poussière.

#### 4.2.2 Frittage à haute température

Le frittage à haute température est une étape clé de la métallurgie des poudres, dans laquelle les particules de poudre de tungstène sont combinées à haute température pour former des flans à haute densité.

Processus:

Équipement de frittage : le four de protection à l'hydrogène ou le four de frittage sous vide est adopté, la température est de 2000 à 2800 °C et la température est maintenue pendant 1 à 3 heures.

Procédé de frittage : Les ébauches de poudre de tungstène sont soumises à la diffusion et à la liaison de particules à haute température, avec une porosité de 5 à 10 % et une densité théorique de 90 à 95 %. Le frittage est divisé en pré-frittage (1000-1500°C, élimination des impuretés volatiles) et en frittage principal (2000-2800°C, densification).

Contrôle de l'atmosphère : protection contre l'oxydation par l'hydrogène, débit 0,5–2 m<sup>3</sup>/h ; Le frittage sous vide (10<sup>-3</sup>–10<sup>-5</sup> Pa) convient aux barres de tungstène de haute pureté afin de réduire l'adsorption de gaz.

Refroidissement : Refroidissement lent (10–20°C/min) pour éviter les fissures causées par le stress thermique.

Points clés :

La température de frittage doit être optimisée en fonction de la taille des particules de la poudre de tungstène et du type de dopants, trop élevée peut conduire à des grains trop gros.

L'atmosphère à l'intérieur du four doit être d'une grande pureté (99,999 %) pour éviter la pollution par le carbone ou l'oxygène.

L'ébauche frittée doit être inspectée par ultrasons pour vérifier la porosité interne et les fissures.

#### 4.2.3 Optimisation des performances des tiges de tungstène frittées

Les tiges de tungstène frittées (tiges noires) doivent être optimisées pour répondre aux exigences de l'application.

Méthode d'optimisation :

Frittage secondaire : Le frittage secondaire à court terme (0,5 à 1 heure) à 2200-2600 °C dans un four à vide réduit encore la porosité à <2 % et augmente la densité à plus de 19,0 g/cm<sup>3</sup>.

Pressage isostatique à chaud (HIP) : Traité à 2000°C, 100-200 MPa, les micropores ont été éliminés

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et la densité était proche de la valeur théorique de 19,25 g/cm<sup>3</sup>.

Nettoyage de surface : La couche d'oxyde de surface est éliminée à l'aide d'un nettoyage chimique (acide chlorhydrique ou acide fluorhydrique) pour obtenir une rugosité de Ra 3,2 à 6,4 µm.

Réglage de la microstructure : optimisez la taille des grains (10-50 µm) et augmentez la résistance en contrôlant le temps de frittage et la vitesse de refroidissement.

Points clés :

Le procédé HIP nécessite un équipement spécial pour les tiges de tungstène haute performance.

Le nettoyage des surfaces doit être effectué dans un environnement ventilé pour éviter les risques d'acidité.

L'optimisation des performances nécessite d'équilibrer la taille des grains et la porosité pour éviter la perte de résistance.

### 4.3 Technologie de traitement de la déformation de la tige de tungstène

Le traitement de la déformation améliore encore la densité, la résistance et la précision dimensionnelle des tiges de tungstène grâce au forgeage à chaud, à l'extrusion à chaud, au laminage et à l'étirage pour répondre aux besoins de différentes applications.

#### 4.3.1 Forgeage à chaud (forgeage à percussion, forgeage rotatif)

Le forgeage à chaud transforme les tiges de tungstène frittées en barres à haute densité par déformation mécanique à haute température, qui est divisée en forgeage au marteau et forgeage rotatif.

Procédé de forgeage au marteau :

Équipement : Marteau pneumatique ou forgeuse hydraulique, température de forgeage 1200-1500°C, protection contre l'hydrogène ou l'argon.

Procédé : La tige de tungstène frittée est préchauffée à 1200°C et forgée en plusieurs passes avec une déformation de 10 à 20 % à chaque fois, réduisant progressivement le diamètre et augmentant la densité (19,0 à 19,25 g/cm<sup>3</sup>).

Post-traitement : Recuit après forgeage (1000–1200°C) pour soulager les contraintes et tourner la surface à une rugosité de Ra 1,6–3,2 µm.

Procédé d'emboutissage rotatif :

Équipement : Machine de sertissage rotative avec chauffage par induction à haute fréquence à 1200-1400°C.

Procédé : Les tiges de tungstène sont soumises à une pression multidirectionnelle dans une matrice rotative et sont uniformément déformées, ce qui convient aux tiges de petit et moyen diamètre (5 à 50 mm).

Avantages : Le sertissage rotatif est plus uniforme que le sertissage à percussion, présente un risque de fissuration plus faible et convient aux applications de haute précision.

Points clés :

La température de forgeage doit être contrôlée avec précision pour éviter la surchauffe et le

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

surgrainage.

La quantité de déformation doit être contrôlée étape par étape pour éviter la concentration des contraintes internes.

Les atmosphères protectrices (par exemple, l'argon) empêchent l'oxydation de la surface.

#### 4.3.2 Extrusion à chaud

L'extrusion à chaud est utilisée pour le formage de tiges de tungstène avec de grandes spécifications ou des sections transversales complexes, avec une densité et une résistance élevées.

Processus:

Préchauffage : Les barres de tungstène frittées sont chauffées à 1300-1600°C et protégées par de l'hydrogène ou de l'argon.

Extrusion : Les tiges de tungstène sont extrudées par une extrudeuse hydraulique (500-1000 MPa) d'un diamètre de 20-100 mm et d'une densité de 19,0-19,2 g/cm<sup>3</sup>.

Redressage et refroidissement : Refroidir lentement (10–20°C/min) après l'extrusion et ajuster la forme à l'aide d'un lisseur.

Traitement de surface : Tournage ou meulage à une rugosité de Ra 1,6 à 3,2 µm.

Points clés :

Les moules doivent être fabriqués à partir de matériaux résistants aux hautes températures (tels que le molybdène ou la céramique) pour réduire l'usure.

La vitesse d'extrusion (0,1 à 0,5 mm/s) doit être lente pour éviter la fissuration.

L'extrusion de grand diamètre nécessite des équipements de fort tonnage pour maîtriser les coûts.

#### 4.3.3 Roulage

Les tiges de tungstène sont transformées en petits et moyens diamètres (5 à 20 mm) par laminage à chaud ou à froid avec une grande précision dimensionnelle et une bonne qualité de surface.

Processus:

Laminage à chaud : les tiges de tungstène frittées ou forgées sont chauffées à 1000-1300°C et progressivement réduites en diamètre par laminage en plusieurs passes (déformation de 15-25 %).

Laminage à froid (en option) : Les tiges de tungstène de petit diamètre (<10 mm) sont laminées à température ambiante ou à basse température (<500°C) pour une meilleure précision.

Recuit : Le recuit à 900-1100 °C élimine l'écrouissage et empêche la fissuration.

Traitement de surface : Poli à rugosité Ra 1,6–3,2 µm.

Points clés :

Le laminage à chaud nécessite des rouleaux à haute température (par exemple des alliages de molybdène) pour résister à la dureté du tungstène.

Le laminage à froid est limité aux petits diamètres et nécessite un équipement de haute précision.

L'atmosphère de recuit doit être pure pour éviter la contamination de la surface.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD  
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity  $\geq 99.95\%$ ) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to  $3410^{\circ}\text{C}$ , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm <sup>3</sup>
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~4.5 x 10 <sup>-6</sup> /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

#### 4.3.4 Traction

L'étirage est utilisé pour produire des tiges de tungstène de petit diamètre (<5 mm) et constitue un processus clé pour la fabrication de fils de tungstène et d'électrodes de précision.

Processus:

Préparation de l'ébauche : Utilisez des tiges de tungstène forgées ou laminées (diamètre 5 à 10 mm).

Emboutissage : Étirage à travers une matrice diamantée à 800-1000°C en plusieurs passes avec une réduction de diamètre de 5 à 10 % à chaque fois jusqu'à un diamètre final de 0,01 mm (fil de tungstène).

Lubrification et recuit : Lubrification avec du disulfure de graphite ou de molybdène et recuit périodique (900–1100°C) pour soulager les contraintes.

Nettoyage et polissage : Le nettoyage chimique élimine les lubrifiants et polit jusqu'à une rugosité de Ra 1,6 à 3,2 µm.

Points clés :

La matrice diamantée doit être remplacée régulièrement pour maintenir la précision.

La vitesse d'étirage (1 à 5 m/min) doit être contrôlée pour éviter la casse.

Une atmosphère inerte est nécessaire pour l'étirage à haute température afin d'éviter l'oxydation.

#### 4.4 Préparation de barres de tungstène à grande échelle

Les tiges de tungstène de grande taille (diamètre > 20 mm) sont largement utilisées dans les domaines aérospace, militaire et industriel en raison de leur haute densité et de leur haute résistance.

##### 4.4.1 Difficultés et défis techniques

La préparation de tiges de tungstène à grande échelle se heurte aux difficultés techniques suivantes :

Exigences de densité élevées : proches de la densité théorique (19,25 g/cm<sup>3</sup>), le frittage et le traitement de déformation nécessitent un contrôle strict de la porosité.

Défauts internes : Les ébauches de grand diamètre sont sujettes à la porosité, aux fissures ou aux concentrations de contraintes, ce qui affecte la résistance.

Limites de l'équipement : L'extrusion ou le forgeage nécessite des équipements de gros tonnage (> 1000 tonnes), qui ont des exigences élevées en matière de matériaux de matrice et de systèmes de chauffage.

Uniformité : Les barres de grande taille sont sujettes à des grains inégaux ou à une ségrégation de la composition pendant le frittage et le traitement.

Contrôle des coûts : consommation d'énergie élevée pour le traitement à haute température et à fort tonnage, usure rapide des moules et augmentation des coûts de production.

##### 4.4.2 Méthode de préparation des tiges de tungstène à haute densité

Processus:

Pressage de billettes de grand format : Les billettes de grand diamètre (50 à 100 mm de diamètre) sont préparées par pressage isostatique à froid (200 à 300 MPa) avec une densité théorique de 50 à

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

60 %.

Frittage à haute température : frittage à 2200-2800°C pendant 2 à 4 heures dans un four sous vide ou à hydrogène d'une densité de 90 à 95 %.

Pressage isostatique à chaud (HIP) : 1 à 2 heures à 2000 °C, 150 à 200 MPa, microporosité éliminée, densité proche de 19,25 g/cm<sup>3</sup>.

Extrusion à chaud : extrudé à 1300-1600 °C, 800-1200 MPa, diamètre 20-100 mm, rugosité de surface Ra 3,2-6,4 µm.

Post-traitement : recuit (1000-1200°C) pour soulager les contraintes et tourner jusqu'à la rugosité Ra 1,6-3,2 µm.

Points clés :

Le procédé HIP est la clé de la haute densité et nécessite un équipement à ultra-haute pression.

Les matrices d'extrusion doivent être fabriquées à partir de matériaux résistants aux hautes températures (par exemple, des alliages de molybdène) pour réduire l'usure.

Le frittage et l'extrusion sont chauffés par sections pour assurer une température uniforme.

#### 4.4.3 Optimisation et innovation des procédés

Mesures d'optimisation :

Frittage gradué : un chauffage en plusieurs étapes (pré-frittage 1000°C, frittage principal 2500°C) est utilisé pour réduire la taille excessive des grains.

Moules composites : Utilisez des moules à base de molybdène ou recouverts de céramique pour prolonger la durée de vie du moule.

Contrôle automatisé : Des capteurs surveillent la température, la pression et l'atmosphère pour améliorer l'uniformité du processus.

Extrusion continue : Développer une ligne d'extrusion à chaud continue pour réduire le refroidissement intermédiaire et le réchauffage et améliorer l'efficacité.

Contrôle des grains : optimisez la taille des grains (10 à 30 µm) et augmentez la résistance en ajoutant des traces de dopants tels que le potassium ou les terres rares.

Points clés :

Le contrôle automatisé nécessite des capteurs de température et de pression intégrés pour assurer une surveillance en temps réel.

Les moules composites nécessitent un entretien régulier pour éviter la déformation ou l'usure.

Le dopant doit être ajouté avec précision pour empêcher les performances à des températures élevées.

#### 4.5 Technologie de post-traitement des tiges de tungstène

Les techniques de post-traitement comprennent le traitement thermique, le traitement de surface et l'usinage de précision pour optimiser les performances, la qualité de surface et la précision dimensionnelle des tiges de tungstène.

##### 4.5.1 Traitement thermique

Le traitement thermique soulage les contraintes d'usinage, optimise la microstructure et améliore les

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

propriétés mécaniques des tiges de tungstène grâce à un traitement de recuit ou de vieillissement.

Processus:

Recuit de détente : Maintenir à 1000-1200°C pendant 1 à 2 heures dans un four sous vide ou à hydrogène avec une vitesse de refroidissement de 10-20°C/min pour réduire les contraintes internes.

Recuit de recristallisation : Incuber à 1400-1600°C pendant 0,5 à 1 heure pour ajuster la taille des grains (10-30 µm) afin d'améliorer la ténacité.

Traitement de vieillissement (tige de tungstène dopée) : maintenir au chaud à 800-1000°C pendant 2 à 4 heures pour stabiliser la distribution du dopant et améliorer les performances de l'arc.

Points clés :

L'atmosphère de recuit doit être de haute pureté (99,999 % d'hydrogène ou 10<sup>-5</sup> Pa sous vide) pour éviter l'oxydation.

La température et le temps de maintien doivent être ajustés en fonction du type de tige de tungstène (tungstène pur ou dopé).

Le refroidissement doit être lent pour éviter les fissures causées par le stress thermique.

#### 4.5.2 Traitement de surface (polissage, nettoyage)

Le traitement de surface améliore la qualité de surface et la propreté des tiges de tungstène pour répondre aux besoins des applications de haute précision.

Processus de polissage :

Polissage mécanique : Polissage à une rugosité de Ra 1,6 à 3,2 µm à l'aide d'une meule diamantée ou d'un abrasif à base d'alumine, adapté au soudage d'électrodes ou de composants semi-conducteurs.

Polissage chimique : Un mélange d'acide fluorhydrique et d'acide nitrique (rapport 1:3) est utilisé pour tremper pendant 10 à 30 secondes afin d'éliminer la couche d'oxyde de surface et d'obtenir un effet miroir.

Polissage électrolytique : la tige de tungstène est utilisée comme anode, traitement électrolytique à base de phosphate, et la rugosité de surface peut atteindre Ra 1,6 µm ou moins.

Processus de nettoyage :

Nettoyage chimique : Nettoyage à l'acide chlorhydrique dilué ou à la lessive (hydroxyde de sodium) pour éliminer l'huile et les oxydes sur la surface.

Nettoyage par ultrasons : Ajoutez un agent de nettoyage à de l'eau déminéralisée et nettoyez par ultrasons pendant 5 à 10 minutes pour assurer la propreté.

Nettoyage au plasma : élimination des traces de contaminants dans l'équipement plasma sous vide, adapté aux tiges de tungstène de haute pureté.

Points clés :

Le polissage doit être effectué dans un environnement propre (classe ISO 5) pour éviter toute contamination secondaire.

Le nettoyage chimique doit contrôler la concentration d'acide et d'alcali pour éviter la corrosion des tiges de tungstène.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le nettoyage au plasma est adapté aux applications de haute précision et nécessite un équipement spécial.

#### 4.5.3 Usinage et découpe de précision

L'usinage et la découpe de précision sont utilisés pour produire des tiges de tungstène de formes et de tailles spécifiques afin de répondre aux exigences de haute précision.

Processus:

Tournage : Tours CNC avec outils diamantés pour l'usinage de tolérances de diamètre  $\pm 0,05$  mm et de rugosité de surface Ra de 1,6 à 3,2  $\mu\text{m}$ .

Meulage : Usinage de tiges de tungstène de petit diamètre ( $<5$  mm) avec une tolérance de  $\pm 0,02$  mm à l'aide d'une meuleuse centrale ou d'une meuleuse sans centre.

Découpe par décharge électrique (EDM) : Pour couper des formes complexes ou de grandes tailles de tiges de tungstène avec une précision de  $\pm 0,01$  mm, adapté aux pièces militaires.

Découpe laser : à l'aide de lasers haute puissance, découpe de tiges de tungstène de petit diamètre ou de micro-pièces, petite zone affectée par la chaleur, haute précision.

Points clés :

Les outils diamantés doivent être remplacés régulièrement pour maintenir la précision de coupe.

L'EDM doit contrôler les paramètres de décharge pour éviter les brûlures de surface.

La découpe laser nécessite une protection contre les gaz inertes pour réduire l'oxydation.

#### 4.6 Caractéristiques de processus des différents types de tiges de tungstène

Différents types de tiges de tungstène (tiges de tungstène pur, tiges de tungstène de haute pureté, tiges de tungstène dopées) ont des processus de préparation différents en raison des différences de composition et d'application.

##### 4.6.1 Procédé de fabrication de tiges de tungstène pur

Caractéristiques du processus :

Matières premières : Poudre de tungstène d'une pureté de  $\geq 99,9$  %, d'une taille de particule de 0,5 à 5  $\mu\text{m}$  et les impuretés (telles que Fe, C, O) sont contrôlées à 100-500 ppm.

Métallurgie des poudres : pressage isostatique à froid (100–200 MPa) bille, frittage protégé par hydrogène (2000–2800°C), densité 90–95 %.

Déformation : forgeage à chaud ou laminage (1200–1500°C), déformation multi-passes, densité jusqu'à 19,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>.

Post-traitement : recuit (1000–1200°C) pour soulager les contraintes, tourné ou poli à une rugosité de Ra 1,6–3,2  $\mu\text{m}$ .

Orienté vers l'application : Le processus se concentre sur le contrôle des coûts et convient aux applications générales à haute température (telles que les tiges de noyau de four à quartz, les matières premières de filament).

Points clés :

La température de frittage doit équilibrer la croissance des grains et l'élimination des pores.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La technologie de traitement est simple et les besoins en équipement sont relativement faibles.  
Le traitement de surface est principalement un polissage mécanique pour répondre à la précision industrielle.

#### 4.6.2 Procédé de tige de tungstène de haute pureté

Caractéristiques du processus :

Matières premières : Poudre de tungstène d'une pureté de  $\geq$  de 99,95 %, granulométrie de 0,1 à 1  $\mu\text{m}$ , impuretés < 50 ppm, purifiée par dépôt chimique en phase vapeur (CVD).

Métallurgie des poudres : frittage (2600–2800°C) sous ultravide ( $10^{-5}$  Pa) avec une densité de plus de 98 % et une porosité de <1 %.

Déformation : sertissage rotatif ou laminage (1200–1400°C) avec une déformation de 10–15 % pour assurer des grains fins (5–15  $\mu\text{m}$ ).

Post-traitement : électropolissage ou nettoyage au plasma, rugosité Ra 1,6–3,2  $\mu\text{m}$ , emballage en salle blanche (classe ISO 5).

Orienté vers l'application : Le processus met l'accent sur la pureté et la propreté élevées, et convient aux composants de machines de lithographie semi-conducteurs, médicales et EUV.

Points clés :

La purification et le frittage nécessitent un équipement d'ultra-haute pureté pour éviter la contamination.

Le traitement nécessite un environnement propre pour contrôler la poussière et les impuretés.

Le post-traitement est principalement un polissage chimique ou électrolytique pour assurer la qualité de surface.

#### 4.6.3 Procédé de tige de tungstène dopée

Caractéristiques du processus :

Matières premières : 0,5 à 2 % en poids de dopants (par exemple,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ThO}_2$ , K) sont ajoutés à la poudre de tungstène et mélangés uniformément par broyage à billes ou dopage en solution.

Métallurgie des poudres : température de frittage 2300–2600°C (inférieure à celle de la tige de tungstène pure) pour éviter la volatilisation du dopant, densité 95–98 %.

Déformation : Emtirage ou emboutissage rotatif (800–1400°C), dopant pour améliorer la ténacité et réduire le risque de fissuration.

Post-traitement : dopant stabilisé recuit (800–1000°C), poli à rugosité Ra 1,6–3,2  $\mu\text{m}$ , tige de tungstène dopée au thorium pour la protection contre la radioprotection.

Orienté vers l'application : stabilité de l'arc et résistance au fluage optimisées pour les électrodes de soudage et les composants de four à haute température.

Points clés :

Le dopant doit être réparti uniformément pour éviter des performances inégales.

Les barres de tungstène dopées au thorium nécessitent une protection spéciale pour être conformes à la réglementation sur la radioactivité.

Le processus d'emboutissage nécessite plusieurs recuits pour améliorer le taux de réussite de l'usinage.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

## Chapitre 5 Utilisations des tiges de tungstène

Avec son point de fusion élevé (3410°C), sa densité élevée (19,25 g/cm<sup>3</sup>), son excellente résistance mécanique, sa résistance à la corrosion et sa stabilité chimique, la tige de tungstène a montré une valeur d'application irremplaçable dans de nombreux domaines. De la production industrielle à la défense militaire, de l'éclairage électronique à l'aérospatiale, en passant par la recherche médicale et la vie quotidienne, les tiges de tungstène et leurs dérivés sont largement utilisés dans des scénarios de haute performance. Ce chapitre abordera en détail les utilisations spécifiques des tiges de tungstène dans l'industrie, l'armée et la défense, l'électronique et l'éclairage, l'automobile et l'aérospatiale, la recherche médicale et scientifique, et d'autres domaines, y compris les tiges de noyau de four à quartz, les noyaux de balle perforants, les électrodes en fil de tungstène, les composants aérospatiaux à haute température, le blindage contre les radiations, les articles de sport, etc.

### 5.1 Applications industrielles des tiges de tungstène

Les applications industrielles des tiges de tungstène sont principalement concentrées dans des environnements de fabrication à haute température, à forte charge et de précision, et son point de fusion élevé et sa stabilité dimensionnelle en font un matériau idéal dans des conditions de travail extrêmes.

#### 5.1.1 Tige à noyau de tungstène pour four à quartz

Les fours à quartz sont utilisés pour produire du verre de quartz de haute pureté, principalement destiné aux industries de la fibre optique, des semi-conducteurs et du photovoltaïque. La tige de tungstène est utilisée comme tige centrale dans le four, qui résiste à des températures élevées de 2000 à 2500 °C pour maintenir la stabilité structurelle et assurer un écoulement uniforme de la

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

fusion du quartz.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène pur (pureté  $\geq 99,9\%$ ) ou tige de tungstène de haute pureté ( $\geq 99,95\%$ ), diamètre 10-50 mm, pour empêcher l'adhérence du quartz.

Fonction : La tige centrale est fixée au centre du corps du four, guidant l'ébauche de quartz pour fondre en une forme de tube ou de tige, qui peut résister à des températures élevées et à une légère atmosphère d'oxydation.

Avantages : Le point de fusion élevé du tungstène et son faible coefficient de dilatation thermique ( $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) garantissent qu'il ne se ramollit pas ou ne se déforme pas pendant un fonctionnement à long terme ; La faible pression de vapeur réduit la contamination dans le four.

Scénario typique : Production de préformes à fibre optique ou de tubes de quartz pour les stations de base de communication 5G ou les substrats de cellules solaires.

Points clés :

La tige centrale doit être nettoyée régulièrement pour éviter que les résidus de quartz n'affectent la qualité de la surface.

Protection contre l'hydrogène ou l'atmosphère inerte pour une longue durée de vie.

L'usinage de précision garantit la rondeur et la rectitude de la tige centrale et répond aux exigences des produits en quartz de haute précision.

### 5.1.2 Préparation des plaquettes de silicium monocristallin

Les plaquettes de silicium monocristallin sont le matériau de base de la fabrication de puces semi-conductrices, et les tiges de tungstène sont utilisées comme éléments chauffants, supports ou tiges de serrage de graines dans les fours monocristallins de Czochralski.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène de haute pureté (pureté  $\geq 99,95\%$ ), diamètre 5 à 20 mm, pour éviter la contamination du silicium fondu.

Fonction : En tant que tige de serrage de cristal de graine, il peut fixer le cristal de graine de silicium et guider la croissance du monocristal ; En tant qu'élément chauffant, il résiste à une température élevée de  $2300^{\circ}\text{C}$  et fournit un champ thermique stable.

Avantages : la grande stabilité chimique garantit l'absence de contamination du silicium de haute pureté ; La résistance élevée et la résistance au fluage supportent de longues périodes de fonctionnement à haute température ; La faible pression de vapeur convient aux environnements sous vide.

Scénario typique : Production de plaquettes de silicium monocristallin de 8 à 12 pouces pour la fabrication de puces 5 nm.

Points clés :

Les tiges de tungstène doivent être traitées et stockées dans une salle blanche pour éviter l'introduction d'impuretés.

La tige de serrage doit être usinée avec une grande précision pour assurer un alignement parfait avec

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

le cristal de graine.

Remplacez régulièrement l'élément chauffant pour éviter que la croissance des grains n'affecte les performances.

### 5.1.3 Purification des éléments de terres rares

Les éléments de terres rares (par exemple le lanthane, le cérium, le néodyme) sont essentiels dans le domaine des nouvelles énergies, des matériaux magnétiques et des catalyseurs, et les tiges de tungstène sont utilisées comme électrodes ou supports de creuset dans les fours électrolytiques ou les fours de fusion à haute température pour la purification des terres rares.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène pur ou tige de tungstène dopée (dopée au cérium ou au lanthane, 0,5 à 2 % en poids), diamètre 10 à 30 mm.

Fonction : En tant qu'électrode, la tige de tungstène fournit un courant stable dans la purification électrolytique ; En tant que support, il résiste à des températures élevées de 1600 à 2000 °C et maintient la structure intacte.

Avantages : forte résistance à la corrosion, résistance à l'érosion par fusion des terres rares ; La tige de tungstène dopée améliore la stabilité de l'arc et prolonge la durée de vie de l'électrode ; La haute densité assure la stabilité mécanique.

Scénario typique : Production de lanthane (La) ou de cérium (Ce) de haute pureté pour les aimants permanents de l'énergie éolienne ou des catalyseurs d'échappement automobiles.

Points clés :

Les tiges de tungstène dopées doivent être dopées uniformément pour assurer des performances d'arc constantes.

La surface de l'électrode doit être polie pour réduire les résidus de terres rares.

Le four électrolytique a besoin d'une atmosphère inerte pour empêcher l'oxydation des barres de tungstène.

### 5.1.4 Creuset en tungstène pour four à cristal de saphir

Les cristaux de saphir ( $Al_2O_3$ ) sont des matériaux clés pour les substrats LED et les fenêtres optiques, et les tiges de tungstène sont transformées en creusets ou en supports dans des fours de croissance de cristal de saphir qui résistent à des températures de 2200 à 2400 °C.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène de haute pureté (pureté  $\geq 99,95\%$ ), diamètre 20–100 mm, rugosité de surface Ra 1,6–3,2  $\mu m$  après usinage dans le creuset.

Fonction : Le creuset en tungstène contient de l'alumine fondue, et le support fixe le creuset ou le cristal de graine, maintient le champ thermique stable et favorise la croissance du monocristal.

Avantages : le point de fusion élevé et la résistance au fluage garantissent que le creuset ne se déforme pas ; Un faible coefficient de dilatation thermique réduit le stress thermique ; La haute densité fournit un support mécanique.

Scénario typique : production de verres saphir de 4 à 6 pouces pour l'éclairage LED ou les écrans

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de smartphone.

Points clés :

Le creuset doit être usiné avec précision pour assurer une paroi intérieure lisse et réduire les défauts de cristal.

La protection contre le vide ou l'hydrogène empêche l'oxydation des creusets en tungstène.

Le creuset doit être inspecté régulièrement pour éviter que des fissures n'affectent la qualité du cristal.

## 5.2 Les tiges de tungstène sont utilisées dans l'armée et la défense nationale

La haute densité et la résistance des tiges de tungstène en font des applications importantes dans les domaines de l'armée et de la défense, en particulier dans les noyaux perforants et les tiges de tungstène hautement explosives.

### 5.2.1 Noyaux perforants

Les noyaux perforants sont utilisés dans les canons de chars ou les armes anti-blindage, et les tiges en alliage de tungstène sont un matériau idéal en raison de leur densité et de leur dureté élevées.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige en alliage de tungstène (W-Ni-Fe ou W-Ni-Cu, teneur en tungstène 90-95 % en poids), densité 18,0-18,5 g/cm<sup>3</sup>, diamètre 10-30 mm.

Fonction : Le noyau pénètre le blindage sous un impact à grande vitesse (>1500 m / s), s'appuie sur une densité élevée pour fournir de l'énergie cinétique et une dureté élevée garantissant qu'il ne se fragmente pas.

Avantages : plus respectueux de l'environnement que les noyaux d'uranium appauvri, avec une densité proche de l'uranium (19,1 g/cm<sup>3</sup>) ; L'excellente résistance à la traction (800–1200 MPa) assure la stabilité aux chocs ; Il a de bonnes performances de traitement et est facile à former.

Scénario typique : pour les obus de char de 120 mm ou les ogives de missiles antichars.

Points clés :

Le rapport d'alliage doit être optimisé pour assurer un équilibre entre densité et ténacité.

Le noyau doit être usiné avec une grande précision et la tolérance de diamètre  $\pm 0,05$  mm.

Le polissage de surface réduit la résistance à l'air et augmente la portée.

### 5.2.2 Barres de tungstène hautement explosives

La tige de tungstène hautement explosive (également connue sous le nom de concept de « tige cinétique » ou de « sceptre de Dieu ») est une arme cinétique hypothétique à grande vitesse qui utilise des tiges de tungstène pour être lancées depuis l'espace ou à haute altitude, en s'appuyant sur l'accélération gravitationnelle et la densité pour produire une puissance destructrice massive.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène pur ou tige en alliage de tungstène, densité 19,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>, diamètre 50–100 mm.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Fonction : La tige de tungstène frappe la cible à une vitesse supersonique ( $>Mach\ 100$ ) à haute altitude ( $> 10\ km$ ), libérant une énergie cinétique équivalente à une petite bombe nucléaire pour détruire des forteresses souterraines ou des installations militaires.

Avantages : La haute densité fournit une énorme énergie cinétique ; Le point de fusion élevé résiste à la chaleur de frottement lors de la rentrée ( $>2000^{\circ}C$ ) ; Non radioactif et conforme aux réglementations internationales.

Scénario typique : Théoriquement utilisé pour des frappes de précision contre des cibles de grande valeur, telles que des centres de commandement ou des installations nucléaires.

Points clés :

Les tiges de tungstène doivent être recouvertes d'une résistance à haute température pour empêcher l'ablation par rentrée.

Les dimensions et les poids doivent être conçus avec précision pour assurer une trajectoire stable.

Le système de lancement nécessite un guidage de haute précision pour contrôler l'erreur de point d'atterrissage.

### 5.3 Les tiges de tungstène sont utilisées dans l'électronique et l'éclairage

Les tiges de tungstène sont largement utilisées dans les filaments de tungstène, les électrodes et les cibles de pulvérisation en raison de leur point de fusion élevé, de leur conductivité électrique et de leur faible pression de vapeur.

#### 5.3.1 Filament de tungstène (filament, fil de support)

Le filament de tungstène est le composant central des lampes à incandescence, des lampes halogènes et des sources lumineuses spéciales, et est fait d'un tréfilage de tige de tungstène.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène pur (pureté  $\geq 99,9\%$ ), étirée en fil de tungstène de 0,01 à 0,1 mm de diamètre.

Fonction : Le filament émet de la lumière à une température élevée de 2500 à 2800  $^{\circ}C$ , fournissant une source lumineuse à haut rendement ; Le fil de support fixe le filament pour maintenir la structure stable.

Avantages : le point de fusion élevé garantit que le filament ne fond pas ; La faible pression de vapeur réduit l'évaporation et prolonge la durée de vie ; Une bonne conductivité électrique (18 % IACS) favorise une luminescence efficace.

Scènes typiques : phares halogènes automobiles, ampoules de projecteur, éclairage de scène.

Points clés :

Le filament de tungstène doit être recuit plusieurs fois pour améliorer la ductilité.

Le filament doit être étiré uniformément pour éviter la surchauffe et la casse locales.

Des gaz inertes (par exemple l'argon) remplissent l'ampoule et réduisent l'évaporation du tungstène.

#### 5.3.2 Électrodes (électrodes en tungstène, électrodes en tungstène de terres rares)

Les tiges de tungstène sont transformées en électrodes et sont largement utilisées dans le soudage à

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'arc à l'argon (TIG), le soudage au plasma et les équipements électroniques.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tiges de tungstène dopées (par exemple WC20 dopé au cérium, WL20 dopé au lanthane, WT20 dopé au thorium), diamètre 1 à 5 mm.

Fonction : L'électrode fournit un courant stable dans un arc à haute température (>6000°C), allumant et maintenant l'arc, adapté au soudage ou à la découpe plasma.

Avantages : Tige de tungstène dopée pour améliorer la stabilité de l'arc et réduire les pertes de combustion ; Point de fusion élevé pour résister aux températures élevées de l'arc ; Le dopage aux terres rares (par exemple, CeO<sub>2</sub>) est non radioactif et respectueux de l'environnement par rapport aux électrodes dopées au thorium.

Scénarios typiques : soudage d'acier inoxydable ou d'alliages d'aluminium, traitement au plasma dans la fabrication d'équipements à semi-conducteurs.

Points clés :

La pointe de l'électrode doit être rectifiée dans une forme effilée pour optimiser la concentration de l'arc.

Le dopant doit être réparti uniformément pour garantir des performances constantes.

Les électrodes dopées au thorium doivent être protégées et conformes à la réglementation sur la radioactivité.

### 5.3.3 Cibles de pulvérisation

Les tiges de tungstène sont transformées en cibles de pulvérisation pour les revêtements de dépôt physique en phase vapeur (PVD) afin de produire des semi-conducteurs et des dispositifs optiques.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène de haute pureté (pureté  $\geq 99,95\%$ ), diamètre 50–100 mm.

Fonction : La cible est bombardée d'ions à haute énergie dans une chambre à vide, libérant des atomes de tungstène qui se déposent sur le substrat pour former un revêtement conducteur ou protecteur.

Avantages : Une grande pureté garantit que le revêtement est exempt d'impuretés ; Faible pression de vapeur adaptée à l'environnement sous vide ; Une densité élevée augmente la durée de vie de la cible.

Scénario typique : Production de couches d'interconnexion pour les puces de 3 à 5 nm et fabrication de revêtements optiques antireflets.

Points clés :

Le matériau cible doit être d'une très haute pureté pour éviter la contamination de la puce.

La surface doit être électropolie pour réduire les défauts de particules.

Le matériau cible doit être remplacé régulièrement pour récupérer le tungstène résiduel.

## 5.4 Les tiges de tungstène sont utilisées dans l'automobile et l'aérospatiale

L'application de la tige de tungstène dans les domaines de l'automobile et de l'aérospatiale utilise

### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

principalement sa haute densité, sa haute résistance et sa résistance à haute température pour répondre aux besoins de conditions de travail complexes.

#### 5.4.1 Composants d'automatisation automobile

Les tiges de tungstène sont utilisées dans la construction automobile pour les contrepoids, les électrodes de soudage et les composants d'automatisation afin d'améliorer l'efficacité et les performances.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige en alliage de tungstène (W-Ni-Fe, densité 18,0–18,5 g/cm<sup>3</sup>) ou tige en tungstène dopé (WC20), diamètre 5–20 mm.

Fonction : Les contrepoids (par exemple les contrepoids de vilebrequin) optimisent les vibrations du moteur ; Les électrodes en tungstène sont utilisées pour le soudage par points par résistance, reliant les plaques d'acier du corps ; Des composants à haute densité sont utilisés dans les transmissions automatiques pour améliorer la résistance à l'usure.

Avantages : la haute densité réduit le volume des composants ; Dureté élevée (350–500 HV) résiste à l'abrasion ; L'électrode de tungstène dopée améliore la stabilité du soudage.

Scénario typique : soudage de batteries de véhicules à énergie nouvelle, optimisation du contrepoids du moteur.

Points clés :

Le contrepoids doit être usiné avec précision à une tolérance de poids contrôlée de  $\pm 0,1$  g.

Les électrodes de soudage doivent être rectifiées régulièrement pour maintenir la forme de la pointe.

Les composants doivent être recouverts d'un revêtement résistant à la corrosion pour résister à l'humidité et au brouillard salin.

#### 5.4.2 Composants aérospatiaux à haute température

Les tiges de tungstène sont utilisées dans l'industrie aérospatiale pour les propulseurs à haute température, les composants d'essai en soufflerie et les contrepoids pour répondre aux exigences des environnements extrêmes.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène pur ou tige en alliage de tungstène, densité 19,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>, diamètre 10–50 mm.

Fonction : La doublure de la tuyère résiste à la température élevée du propulseur à plasma (>2000°C) ; Optimisation du centre de gravité par des contrepoids (ex : masses d'équilibrage satellite) ; Les composants d'essai en soufflerie sont résistants à la déformation thermique.

Avantages : Le point de fusion élevé et la résistance au fluage assurent une stabilité à haute température ; La haute densité fournit des contrepoids efficaces ; Le faible coefficient de dilatation thermique réduit les contraintes thermiques.

Scénario typique : tuyères de propulseur ionique, contrepoids de contrôle d'attitude d'engin spatial.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

**Points clés :**

Les composants doivent être recouverts d'un revêtement résistant aux hautes températures pour éviter l'oxydation.

Le contre poids doit être usiné avec une grande précision pour assurer un centre de gravité précis.

Les composants de la soufflerie doivent être polis pour réduire les perturbations du flux d'air.

**5.5 La tige de tungstène est utilisée dans la recherche médicale et scientifique**

L'application de la tige de tungstène dans les domaines de la recherche médicale et scientifique est principalement basée sur sa haute densité, sa résistance à haute température et sa stabilité chimique pour répondre aux besoins de haute précision et d'environnements spéciaux.

**5.5.1 Instruments médicaux (protection contre les rayonnements)**

Les tiges de tungstène sont transformées en boucliers anti-radiations qui sont largement utilisés dans les équipements de radiologie, de tomographie et de radiothérapie pour protéger les travailleurs de la santé et les patients.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige en alliage de tungstène (W-Ni-Cu, densité 18,0–18,5 g/cm<sup>3</sup>), diamètre 10–50 mm.

Fonction : Le blindage absorbe les rayons X ou les rayons gamma à haute énergie, remplaçant le blindage en plomb et offrant une efficacité de protection plus élevée.

Avantages : La haute densité offre d'excellentes performances de blindage, 30 % plus petit que le plomb ; Non toxique, conforme aux exigences médicales et de protection de l'environnement ; La haute résistance résiste à une utilisation à long terme.

Scènes typiques : Collimateur de machine CT, bouclier d'équipement de radiothérapie tumorale.

Points clés :

Le blindage doit être usiné avec précision pour s'assurer que les espaces sont minimisés.

La surface doit être polie pour éviter que la poussière ne pollue l'environnement médical.

L'alliage doit être sans plomb et conforme à la directive RoHS.

**5.5.2 Équipement expérimental (expériences à haute température)**

Les barres de tungstène sont utilisées dans la recherche scientifique pour les équipements expérimentaux à haute température tels que les fours à vide, les expériences de supraconductivité et la recherche sur les plasmas.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène de haute pureté (pureté  $\geq 99,95$  %) ou tige de tungstène dopée, diamètre 5 à 20 mm.

Fonction : En tant qu'élément chauffant, résister à des températures élevées supérieures à 2500 °C ; En tant qu'électrode, il fournit un courant stable ; En guise de support, maintenez la configuration expérimentale stable.

Avantages : la faible pression de vapeur assure un environnement de vide propre ; Un point de fusion

**Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

élevé supporte des températures extrêmes ; La stabilité chimique empêche la contamination expérimentale.

Scénarios typiques : essais de matériaux supraconducteurs à haute température, expériences de plasma de fusion nucléaire.

Points clés :

Les tiges de tungstène doivent être d'une pureté ultra-élevée pour éviter que les impuretés n'interfèrent avec l'expérience.

Les électrodes doivent être polies pour réduire l'instabilité de l'arc.

Le four à vide a besoin d'un entretien régulier pour éviter l'oxydation des tiges de tungstène.

## 5.6 Les tiges de tungstène sont utilisées dans d'autres domaines

Les tiges de tungstène ont également des applications uniques dans les articles de sport, les bijoux et les outils spéciaux, ce qui reflète leur polyvalence.

### 5.6.1 Articles de sport (fléchettes en carbure de tungstène)

Les tiges en alliage de tungstène sont utilisées pour fabriquer des fléchettes haut de gamme afin d'améliorer les performances compétitives.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige en alliage de tungstène (W-Ni-Cu, densité 18,0–18,5 g/cm<sup>3</sup>), diamètre 5–10 mm.

Fonction : Le corps de la fléchette utilise une densité élevée pour obtenir un petit volume et un poids élevé, optimisant la stabilité et la précision du lancer.

Avantages : Haute densité, plus petite que les fléchettes en laiton traditionnelles, adaptée aux zones cibles denses ; Haute dureté pour résister aux chocs répétés ; Il peut être personnalisé pour répondre aux besoins individuels.

Scènes typiques : compétitions de fléchettes professionnelles, équipement de divertissement haut de gamme.

Points clés :

Les fléchettes doivent être tournées avec précision pour contrôler la répartition du poids.

La surface doit être polie ou plaquée pour améliorer l'esthétique et le toucher.

Le rapport d'alliage doit être optimisé pour assurer la ténacité et éviter la casse.

### 5.6.2 Bijouterie (bijouterie en carbure de tungstène)

Les tiges d'alliage de tungstène sont transformées en bagues, bracelets et autres bijoux, qui sont à la fois beaux et durables.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige en alliage de tungstène (W-Ni-Cu ou W-C, densité 18,0–18,5 g/cm<sup>3</sup>), diamètre 5–20 mm.

Fonction : Les bijoux utilisent une dureté élevée et une résistance à la corrosion, offrant une

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

résistance aux rayures et une durabilité ; La haute densité donne une sensation de calme.

Avantages : plus résistant à l'usure que l'acier inoxydable ou le titane ; Peut être poli pour un effet miroir ; Il est non toxique et convient aux personnes à la peau sensible.

Scènes typiques : alliances, bracelets commémoratifs, bijoux fantaisie haut de gamme.

Points clés :

Les bijoux doivent être usinés avec une grande précision et des tolérances dimensionnelles  $\pm 0,05$  mm.

La surface doit être galvanisée ou recouverte d'un revêtement CVD pour améliorer la résistance à l'oxydation.

La conception doit être sensible au poids pour éviter qu'un poids excessif n'affecte le confort de port.

### 5.6.3 Outils spéciaux et moules

Les tiges de tungstène sont usinées en outils de coupe, matrices d'emboutissage ou pièces résistantes à l'usure pour l'usinage industriel à haute intensité.

Caractéristiques de l'application :

Exigences matérielles : tige de tungstène pur ou tige en alliage de tungstène, densité 19,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>, diamètre 5–30 mm.

Fonction : coupe de matériaux durs (tels que la céramique, l'acier allié) ; emboutissage de pièces automobiles ou de composants électroniques ; Les pièces résistantes à l'usure sont utilisées dans les équipements miniers.

Avantages : Dureté élevée (350–500 HV) résistance à l'usure ; La haute résistance supporte des charges élevées ; Résistance à la corrosion et durée de vie prolongée.

Scénario typique : traitement de pièces d'aviation, fabrication de moules de puces électroniques.

Points clés :

La fraise doit être affûtée au diamant pour s'assurer que le tranchant est tranchant.

Le moule doit être traité thermiquement pour soulager le stress de traitement.

La surface doit être polie ou enduite pour réduire l'adhérence du matériau.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

## Chapitre 6 Équipement de production de tiges de tungstène

La production de tiges de tungstène implique une chaîne de processus complexe, du traitement des matières premières au traitement des produits finis, ce qui nécessite des performances d'équipement extrêmement élevées, car le point de fusion élevé (3410 °C), la densité élevée (19,25 g/cm<sup>3</sup>) et la dureté (350-500 HV) du tungstène nécessitent un équipement spécialisé pour obtenir une précision élevée, un rendement élevé et une production de haute qualité. Ce chapitre se concentre sur les principaux équipements nécessaires à la production de tiges de tungstène, y compris les équipements de métallurgie des poudres (mélangeurs, presses, fours de frittage à haute température), les équipements de traitement des déformations (marteaux pneumatiques, marteaux électro-hydrauliques, machines de sertissage rotatives, machines d'extrusion à chaud, laminoirs, machines à étirer), les équipements de post-traitement (fours de traitement thermique, équipements de polissage et de nettoyage, équipements d'usinage de précision), les équipements de production avancés (frittage plasma équipements, fours de fusion sous vide, systèmes de contrôle automatique) et des guides pratiques pour le choix et l'entretien des équipements.

### 6.1 Équipement de métallurgie des poudres pour les barres de tungstène

La métallurgie des poudres est le processus de base de la production de tiges de tungstène, qui implique le mélange, le pressage et le frittage à haute température de la poudre de tungstène, et l'équipement utilisé doit assurer l'uniformité de la poudre, la compacité des billettes et la stabilité à haute température.

#### 6.1.1 Mélangeurs

Le mélangeur est utilisé pour mélanger de manière homogène la poudre de tungstène avec des dopants (tels que l'oxyde de cérium, l'oxyde de lanthane) ou des liants (tels que l'alcool

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

polyvinyle) afin de fournir des matières premières de haute qualité pour le pressage ultérieur.

Caractéristiques de l'équipement :

Type : Mélangeur en V, broyeur à boulets planétaire ou mélangeur tridimensionnel d'un volume de 50 à 500 L et adapté à la production de petites et moyennes séries.

Principe de fonctionnement : La poudre est culbutée dans le récipient par rotation ou vibration, et le broyeur à boulets planétaire atteint un mélange au micron par broyage à grande vitesse avec un temps de mélange de 2 à 8 heures.

Adaptation du processus : le mélangeur de type V convient à la poudre de tungstène pure ou à une faible quantité de dopage (<1 % en poids) ; Les broyeurs à boulets conviennent aux poudres hautement dopées (par exemple 2 % en poids de CeO<sub>2</sub>) ou à l'échelle nanométrique, où le support de broyage (billes de tungstène ou de zircone) doit être contrôlé pour éviter toute contamination.

Paramètres clés : 50 à 300 tr/min, propreté (environnement ISO 7), protection contre l'oxydation par les gaz inertes (par exemple l'azote).

Pratique industrielle :

La paroi intérieure du mélangeur doit être doublée d'acier inoxydable ou d'alliage de tungstène pour réduire la pollution par le fer.

Équipé d'un système de dépoussiérage pour empêcher la poudre de tungstène de voler.

L'homogénéité du mélange (par exemple, l'analyse MEB) est vérifiée régulièrement pour assurer une distribution uniforme des dopants.

### 6.1.2 Presses

La presse presse la poudre de tungstène mélangée en une ébauche en forme de tige, qui fournit la forme et la densité initiales pour le frittage.

Caractéristiques de l'équipement :

Type : Presse isostatique à froid (CIP) comme presse principale, complétée par une presse de moulage hydraulique, plage de pression 100-300 MPa.

Principe de fonctionnement : le NEP presse des ébauches d'un diamètre de 20 à 100 mm en appliquant une pression uniforme dans un milieu liquide (eau ou huile) via un moule flexible (caoutchouc ou polyuréthane) ; La machine de moulage est pressée directement au moyen d'une matrice en acier et convient aux petits diamètres (<20 mm).

Adaptation du procédé : le NEP convient aux ébauches de grande taille ou de forme complexe, avec une densité théorique de 50 à 60 % ; La machine de moulage est adaptée à la production de haute précision et à faible volume avec une tolérance de  $\pm 0,1$  mm.

Paramètres clés : précision du contrôle de la pression  $\pm 1$  MPa, vitesse de pressage 0,5 à 1 mm/s, surface lisse du moule pour réduire les défauts.

Pratique industrielle :

Les moules CIP doivent être remplacés régulièrement pour éviter que la déformation n'affecte la qualité de l'ébauche.

La machine de moulage doit être équipée d'un dispositif de dégazage sous vide pour éliminer l'air

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

entre les poudres.

Après le pressage, l'ébauche doit être radiographiée pour vérifier l'absence de fissures ou de pores internes.

### 6.1.3 Four de frittage à haute température

Le four de frittage à haute température chauffe l'ébauche pressée à 2000-2800 °C pour lier les particules de poudre de tungstène afin de former une barre à haute densité.

Caractéristiques de l'équipement :

Type : Four à bouclier hydrogène, four de frittage sous vide ou four à induction d'un volume de four de 0,1 à 1 m<sup>3</sup>.

Principe de fonctionnement : Au moyen d'un chauffage par résistance ou par induction, de l'hydrogène de haute pureté (99,999 %) est introduit dans le four ou dans un vide ( $10^{-3}$ – $10^{-5}$  Pa) et la billette est dispersée à haute température avec une densité de 90–95 %.

Adaptation du processus : le four à hydrogène convient aux barres de tungstène pur et le coût est faible ; Le four à vide convient aux tiges de tungstène de haute pureté pour réduire l'adsorption des impuretés ; Les fours à induction sont adaptés au frittage rapide avec un temps de maintien de 1 à 3 heures.

Paramètres clés : précision du contrôle de la température  $\pm 10$  °C, vitesse de refroidissement 10 à 20 °C/min, matériau du four molybdène ou graphite.

Pratique industrielle :

La chambre du four doit être nettoyée régulièrement pour éliminer les dépôts de vapeur de tungstène. Équipé d'un système de surveillance de l'atmosphère pour détecter la teneur en oxygène (<10 ppm) en temps réel.

Après le frittage, les barres sont inspectées par ultrasons pour s'assurer qu'il n'y a pas de défauts internes.

## 6.2 Équipement de traitement de la déformation des tiges de tungstène

L'équipement de traitement de la déformation améliore la densité et la résistance des tiges de tungstène grâce à la déformation mécanique à haute température, impliquant le forgeage, l'extrusion, le laminage et l'étirage.

### 6.2.1 Marteaux pneumatiques et marteaux électrohydrauliques

Les marteaux pneumatiques et les marteaux électro-hydrauliques sont utilisés pour le forgeage à chaud d'ébauches de barres de tungstène, le formage préliminaire et l'augmentation de la densité.

Caractéristiques de l'équipement :

Type : Marteau pneumatique (0,5 à 5 tonnes), marteau électrohydraulique (1 à 10 tonnes), adapté aux barres d'un diamètre de 20 à 100 mm.

Principe de fonctionnement : Le marteau pneumatique entraîne la tête du marteau par de l'air comprimé, et le marteau électrohydraulique fournit une précision et une force supérieures (50 à 200 kN) à travers le système hydraulique, forgeant en plusieurs passes à 1200-1500 °C avec une

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

déformation de 10 à 20 % par passage.

Adaptation du processus : le marteau pneumatique convient à la production à petite et moyenne échelle, à faible coût ; Le marteau électro-hydraulique convient aux barres de grandes dimensions, avec une grande précision de contrôle et des fissures réduites.

Paramètres clés : fréquence de forgeage 10 à 30 fois / min, chauffage avec protection hydrogène, le matériau du moule est un alliage de molybdène.

Pratique industrielle :

Équipé d'un chauffage par induction pour maintenir une température de forgeage constante.

La tête du marteau doit être lissée régulièrement pour éviter les bosses à la surface de la barre.

Le recuit après forgeage (1000–1200°C) soulage les contraintes.

### 6.2.2 Machines à sertir rotatives

La machine de sertissage rotative réalise un forgeage de haute précision de tiges de tungstène à l'aide de matrices rotatives, ce qui convient aux barres de petit et moyen diamètre.

Caractéristiques de l'équipement :

Type : Machine de sertissage rotative CNC, diamètre d'usinage 5-50 mm, équipée d'un chauffage par induction à haute fréquence.

Principe de fonctionnement : La tige de tungstène tourne à 1200-1400°C, et le moule applique une pression multidirectionnelle, réduisant progressivement le diamètre, et la déformation est uniforme, et la densité atteint 19,0-19,25 g/cm<sup>3</sup>.

Adaptation du processus : convient aux tiges de tungstène de haute pureté ou aux tiges de tungstène dopées avec une tolérance de ± 0,05 mm.

Paramètres clés : vitesse de rotation 100-500 tr/min, pression 10-50 kN, durée de vie du moule env. 1000 cycles.

Pratique industrielle :

Le moule doit être à base de molybdène ou revêtu de céramique pour résister à l'usure à haute température.

Équipé d'un système de refroidissement pour éviter la surchauffe de l'équipement.

Après le sertissage rotatif, la barre doit être redressée pour maintenir la rectitude.

### 6.2.3 Extrudeuses à chaud

La machine d'extrusion à chaud est utilisée pour le formage de tiges de tungstène avec de grandes spécifications ou des sections transversales complexes, avec une densité et une résistance élevées.

Caractéristiques de l'équipement :

Type : Extrudeuse hydraulique, pression 500-1200 MPa, adaptée aux diamètres 20-100 mm.

Principe de fonctionnement : L'ébauche de barre de tungstène est préchauffée à 1300-1600°C et extrudée par une matrice avec un rapport d'extrusion de 5:1-10:1.

Adaptation du processus : adapté aux barres en alliage de tungstène ou aux tiges de tungstène pur de grande taille, une protection contre l'hydrogène ou l'argon est nécessaire pour empêcher

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'oxydation.

Paramètres clés : vitesse d'extrusion de 0,1 à 0,5 mm/s, matériau du moule, molybdène ou céramique, précision du contrôle de la température  $\pm 20$  °C.

Pratique industrielle :

Le moule doit être lubrifié régulièrement (graphite ou disulfure de molybdène) pour réduire l'usure.

Équipé d'un système d'alimentation automatique pour améliorer l'efficacité de la production.

Après l'extrusion, la barre doit être refroidie lentement pour éviter la fissuration.

### 6.2.4 Laminoirs et machines à étirer

Les laminoirs et les tréfilages sont utilisés pour produire des tiges de tungstène ou des fils de tungstène de petit et moyen diamètre avec une grande précision et une excellente qualité de surface.

Caractéristiques du laminoir :

Type : Laminoir à chaud (1000–1300°C) ou laminoir à froid (<500°C) d'un diamètre d'usage de 5–20 mm.

Principe de fonctionnement : La tige de tungstène est réduite par plusieurs passages de rouleaux (alliage de molybdène ou carbure cémenté) avec une déformation de 15 à 25 % à chaque fois.

Adaptation du processus : le laminage à chaud convient aux tiges de tungstène pures, le laminage à froid convient aux tiges de tungstène dopées de haute précision, avec une tolérance de  $\pm 0,02$  mm.

Paramètres clés : vitesse du rouleau 50-200 tr/min, température de recuit 900-1100°C.

Caractéristiques de la machine à dessiner :

Type : Machine d'étirage multi-matrices, diamètre d'usage 0,01 à 5 mm, équipée de matrices diamantées.

Principe de fonctionnement : la tige de tungstène est étirée par une matrice à 800-1000°C avec une réduction de diamètre de 5 à 10 %, et le lubrifiant est du graphite ou du disulfure de molybdène.

Adaptation du processus : convient pour le fil de tungstène ou l'électrode de petit diamètre.

Paramètres clés : vitesse d'étirage 1–5 m/min, durée de vie de l'outil env. 500 kg tige de tungstène.

Pratique industrielle :

Les rouleaux et les matrices doivent être remplacés régulièrement pour maintenir la précision.

Équipé d'un système d'inspection en ligne pour surveiller le diamètre et la qualité de surface.

L'emboutissage nécessite plusieurs recuits pour éviter la casse.

## 6.3 Équipement de post-traitement des tiges de tungstène

L'équipement de post-traitement optimise les performances, la qualité de surface et la précision dimensionnelle des tiges de tungstène et implique un traitement thermique, un polissage, un nettoyage et un usinage de précision.

### 6.3.1 Fours de traitement thermique

Les fours de traitement thermique sont utilisés pour le traitement de recuit ou de vieillissement, soulageant les contraintes d'usinage et optimisant les microstructures.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Caractéristiques de l'équipement :

Type : Four de traitement thermique sous vide ou four de protection à l'hydrogène avec un volume de four de 0,05 à 0,5 m<sup>3</sup>.

Principe de fonctionnement : chauffage par résistance ou induction, température 800–1600°C, conservation de la chaleur 0,5–4 heures, vitesse de refroidissement 10–20°C/min.

Adaptation du procédé : recuit de détente (1000–1200°C) adapté au forgeage ou à l'extrusion de barres ; Le recuit de recristallisation (1400–1600°C) convient aux tiges d'étirage ; Le traitement de vieillissement (800–1000°C) convient aux tiges de tungstène dopées.

Paramètres clés : précision de la température  $\pm 5^\circ\text{C}$ , vide  $10^{-5}$  Pa ou pureté de l'hydrogène 99,999 %.

Pratique industrielle :

Le four est fabriqué en molybdène ou en graphite, qui résiste à la corrosion à haute température.

Équipé d'un système de contrôle d'atmosphère pour éviter l'oxydation.

Après le traitement thermique, la barre doit être testée pour vérifier les performances.

### 6.3.2 Matériel de polissage et de nettoyage

Les équipements de polissage et de nettoyage améliorent la qualité de surface des tiges de tungstène et répondent aux besoins des applications de haute précision.

Équipement de polissage :

Type : Machine de polissage mécanique (meule diamantée), cuve de polissage chimique, équipement de polissage électrolytique.

Principe de fonctionnement : le polissage mécanique permet d'éliminer les défauts de surface grâce à des abrasifs ; Le polissage chimique utilise un mélange d'acide fluorhydrique et d'acide nitrique (1:3) trempé pendant 10 à 30 secondes ; Le polissage électrolytique utilise une tige de tungstène comme traitement par anode et électrolyte à base de phosphate pour obtenir un effet miroir.

Adaptation du processus : le polissage mécanique convient aux barres de qualité industrielle ; Le polissage chimique et électrolytique convient aux tiges ou électrodes de tungstène de haute pureté.

Équipement de nettoyage :

Type : Machine de nettoyage à ultrasons, équipement de nettoyage plasma.

Principe de fonctionnement : Le nettoyage par ultrasons élimine les taches d'huile par ondes ultrasonores de 40 kHz et l'eau déminéralisée (y compris le produit de nettoyage) pendant 5 à 10 minutes ; Le nettoyage au plasma utilise du plasma d'argon dans une chambre à vide pour éliminer les contaminants à l'état de traces.

Adaptation du processus : le nettoyage par ultrasons convient aux barres conventionnelles ; Le nettoyage au plasma convient aux tiges de tungstène de haute pureté pour les semi-conducteurs.

Pratique industrielle :

Le polissage est effectué dans une salle blanche de classe ISO 5 pour éviter la contamination par la poussière.

Le bain de polissage chimique nécessite un système de ventilation pour traiter les déchets liquides.

Après le nettoyage, la tige doit être sèche et scellée pour éviter l'absorption d'humidité.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD  
Tungsten Rods Introduction

**1. Overview of Tungsten Rods**

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity  $\geq 99.95\%$ ) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

**2. Characteristics of Tungsten Rods**

- ✓ Ultra-high melting point: Up to  $3410^{\circ}\text{C}$ , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

**3. The Main Applications Tungsten Rods**

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

**4. Basic Data of Tungsten Rods**

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm <sup>3</sup>
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~4.5 x 10 <sup>-6</sup> /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

**5. Procurement Information**

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

### 6.3.3 Matériel d'usinage de précision (tours, rectifieuses)

Caractéristiques du tour :

Type : Tour CNC (machine CNC) adapté à l'usinage de haute précision, équipé d'outils diamantés.

Principe de fonctionnement : Les tiges de tungstène sont usinées par coupe rotative avec une tolérance de diamètre de  $\pm 0,05$  mm.

Adaptation du processus : convient aux barres de grandes dimensions ou à l'usinage de formes complexes, comme les contrepoids d'aviation.

Paramètres clés : 500–1500 tr/min, avance 0,1 mm/tr.

Caractéristiques de la rectifieuse :

Type : Meuleuse sans centre, meuleuse centrale, adaptée aux barres de petit diamètre.

Principe de fonctionnement : meulage par meules (diamantées ou céramiques) avec une tolérance de diamètre de  $\pm 0,02$  mm.

Adaptation du processus : La rectifieuse sans centre convient à l'ébauche d'électrode ou de fil de tungstène, et la rectifieuse centrale convient aux pièces de moule de haute précision.

Paramètres clés : vitesse de la meule de 2000 à 3000 tr/min, huile de refroidissement ou à base d'eau.

Pratique industrielle :

Les outils et les meules doivent être remplacés régulièrement pour éviter l'usure qui affecte la précision.

Équipé d'un système de refroidissement pour réduire la distorsion thermique.

Après le traitement, un nettoyage par ultrasons est nécessaire pour éliminer les débris.

### 6.4 Équipement de production avancé pour les tiges de tungstène

Des équipements de production à la pointe de la technologie améliorent la qualité et l'efficacité des barres de tungstène et représentent la frontière technologique de l'industrie, notamment le frittage par plasma, la fusion sous vide et le contrôle automatisé.

#### 6.4.1 Équipement de frittage de plasma

Caractéristiques de l'équipement :

Type : Four de frittage à plasma étincelant (SPS) d'un volume de four de 0,01 à 0,1 m<sup>3</sup>.

Principe de fonctionnement : Le plasma est généré par des impulsions de courant continu (1000-5000 A), combinées à une température élevée de 1800-2200 °C et à une pression de 50-100 MPa, et fritté rapidement (5-15 minutes) avec une densité de plus de 98 %.

Adaptation du processus : convient aux barres de tungstène de haute pureté ou aux barres de tungstène nanodopées, avec des grains fins (5–10  $\mu$ m) et une consommation d'énergie réduite.

Paramètres clés : fréquence d'impulsion de courant 50-100 Hz, vide  $10^{-4}$  Pa, graphite de moule ou tungstène.

Pratique industrielle :

Équipé d'une surveillance en ligne, d'un contrôle en temps réel du courant et de la température.

Le moule doit être résistant aux hautes températures et à la haute pression, et vérifié régulièrement.

Après SPS, la porosité de la barre doit être testée pour garantir sa compacité.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

#### 6.4.2 Fours de fusion sous vide

Caractéristiques de l'équipement :

Type : Four à arc électrique sous vide (VAR) ou four de fusion par faisceau d'électrons (EBM) d'un volume de 0,05 à 0,5 m<sup>3</sup>.

Principe de fonctionnement : le VAR fait fondre les lingots de tungstène dans le vide (10<sup>-5</sup> Pa) au moyen d'un arc électrique (10–30 kV) ; L'EBM est fondu à l'aide d'un faisceau d'électrons de haute énergie (50-100 kW) et convient au tungstène de très haute pureté.

Adaptation du processus : la VAR convient aux barres en alliage de tungstène, l'EBM convient aux barres de tungstène de haute pureté (pureté ≥ 99,999 %), réduisant l'inclusion de gaz.

Paramètres clés : puissance de fusion 20-100 kW, débit d'eau de refroidissement 10-50 L/min.

Pratique industrielle :

Équipé d'une pompe à vide pour maintenir un vide ultra-poussé.

La billette d'éperlan doit être inspectée aux rayons X pour éliminer les inclusions.

Entretenez régulièrement les électrodes ou le canon à électrons pour prolonger la durée de vie.

#### 6.4.3 Systèmes de contrôle et de surveillance automatiques

Caractéristiques de l'équipement :

Type : système de contrôle PLC, plate-forme de surveillance SCADA, capteurs intégrés (température, pression, atmosphère).

Principe de fonctionnement : Collecte en temps réel de données de frittage, de forgeage ou de traitement à l'aide de capteurs, l'API ajuste les paramètres et le SCADA assure la surveillance et l'analyse des données à distance.

Adaptation du processus : Il convient à l'ensemble de l'automatisation du processus, couvrant le frittage, l'extrusion, le polissage et d'autres processus pour améliorer la cohérence et l'efficacité.

Paramètres clés : précision de la température ± 1°C, précision de la pression ± 0,1 MPa, taux d'échantillonnage des données 1 Hz.

Pratique industrielle :

Le système doit être étanche à la poussière et à l'eau et s'adapter aux environnements à haute température.

Calibrez régulièrement le capteur pour vous assurer que les données sont exactes.

Le stockage des données doit être crypté pour protéger les paramètres du processus.

#### 6.5 Sélection de l'équipement et entretien des tiges de tungstène

La sélection de l'équipement doit être optimisée en fonction du type de tige de tungstène et de la demande de production, et la gestion de la maintenance doit prolonger la durée de vie de l'équipement.

##### 6.5.1 Exigences relatives à l'équipement pour différents types de tiges de tungstène

Tige en tungstène pur :

Exigences : Four de frittage d'hydrogène standard (2000-2800°C), marteau pneumatique ou laminoir à chaud, faible coût, adapté à la production de gros volumes.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Caractéristiques de l'équipement : Presse CIP (150 MPa), polisseuse mécanique, mettant l'accent sur la durabilité et le rendement élevé.

Scène applicable : tige de noyau de four à quartz, contrepoids.

Tige de tungstène de haute pureté :

Exigences : Four de frittage sous vide ( $10^{-5}$  Pa), SPS ou EBM, machine de sertissage rotative ou tour CNC pour assurer une propreté et une précision élevées.

Caractéristiques de l'équipement : fonctionnement en salle blanche (classe ISO 5), équipement de polissage électrolytique et de nettoyage au plasma.

Scénarios applicables : électrodes semi-conductrices, cibles de pulvérisation.

Tiges de tungstène dopées :

Exigences : broyeur planétaire (dopage homogène), four de traitement thermique sous vide (800–1200°C), machine d'étirage (0,01–5 mm).

Caractéristiques de l'équipement : les barres de tungstène dopées au thorium doivent être équipées d'installations de gestion de la radioactivité, en mettant l'accent sur l'optimisation des performances de l'arc.

Scénarios applicables : électrodes de soudage, composants de four à haute température.

Pratique industrielle :

Choisissez la taille de l'équipement en fonction du volume de production (par exemple, petit four pour la R&D, grand four pour la production de masse).

L'équipement de tige de tungstène de haute pureté doit être isolé dans une salle blanche.

Les tiges de tungstène dopées doivent être compatibles avec une variété d'équipements de mélange de dopants.

### 6.5.2 Entretien et gestion de la durée de vie de l'équipement

Mesures d'entretien :

Inspection régulière : vérifier l'usure des moules, des meules et des outils tous les mois ; Étalonner les capteurs de température et de pression tous les trimestres.

Nettoyage et entretien : Le four de frittage doit être nettoyé tous les six mois pour éliminer les dépôts de vapeur de tungstène ; L'équipement de polissage doit être nettoyé chaque semaine pour éviter les résidus abrasifs.

Gestion de la lubrification : les extrudeuses et les machines d'étirage doivent être réapprovisionnées tous les mois avec des lubrifiants à haute température (tels que le disulfure de molybdène) ; Vérifiez régulièrement la qualité de l'huile du système hydraulique.

Maintenance préventive : Prévoir les défaillances des roulements grâce à la surveillance des vibrations ; Utilisez un thermomètre infrarouge pour détecter les points chauds de surchauffe dans l'équipement et éviter les dommages causés par la surchauffe.

Gestion des pièces de rechange : stock de composants critiques (par exemple, matrices diamantées, électrodes en molybdène) pour réduire les temps d'arrêt.

Gestion de la vie :

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Durée de vie du moule : Le tungstène ou la matrice d'extrusion environ 1000 à 5000 fois doivent être régulièrement appliqués avec un revêtement résistant aux hautes températures (par exemple,  $ZrO_2$ ).

Durée de vie du four : Le four en molybdène ou en graphite est fritté environ 2000 à 3000 fois et le revêtement doit être changé régulièrement.

Mises à niveau de l'équipement : Les équipements plus anciens (tels que les marteaux pneumatiques traditionnels) peuvent être mis à niveau vers des systèmes CNC pour améliorer la précision et l'efficacité.

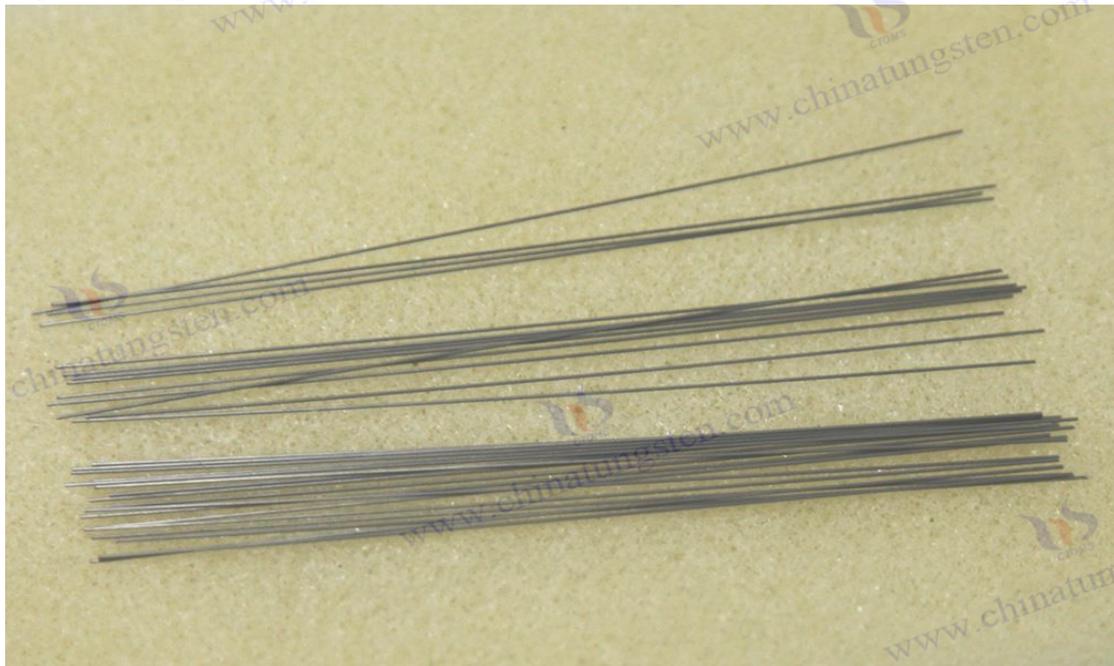
Analyse des données : analysez les données de fonctionnement de l'équipement via le système SCADA pour optimiser les intervalles de maintenance et prolonger la durée de vie de 20 à 30 %.

Pratique industrielle :

Établissez un journal de maintenance pour enregistrer chaque maintenance et panne.

Former les opérateurs à reconnaître les premiers signes de défaillance, tels que des vibrations anormales ou des fluctuations de température.

Collaborez avec les fournisseurs pour mettre régulièrement à jour le micrologiciel de l'appareil afin d'optimiser les performances.



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

## Chapitre 7 Normes nationales et étrangères pour les tiges de tungstène

En tant que matériau métallique réfractaire haute performance, la production, les tests et l'application de la tige de tungstène doivent suivre des normes nationales et étrangères strictes pour garantir la constance de la qualité, la fiabilité des performances et la compétitivité du marché. Ces normes couvrent la composition chimique, les propriétés physiques, les tolérances dimensionnelles, la qualité de surface et les méthodes d'essai des barres de tungstène, et s'appliquent aux barres de tungstène pur, aux tiges de tungstène de haute pureté, aux tiges de tungstène dopées et aux tiges en alliage de tungstène. Ce chapitre présente systématiquement les normes internationales (ISO, ASTM, RWMA, etc.) et chinoises (GB/T, YS/T, etc.) pour les barres de tungstène, et compare et analyse leurs différences, leur applicabilité et leur importance pour les essais de production.

### 7.1 Normes internationales pour les tiges de tungstène

Les normes internationales fournissent des spécifications unifiées pour le commerce et l'application mondiaux des barres de tungstène, principalement formulées par l'Organisation internationale de normalisation (ISO), l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et la Resistance Welding Manufacturing Association (RWMA), couvrant la composition, les propriétés et les utilisations du tungstène et des alliages de tungstène.

#### 7.1.1 Norme ISO (ISO 24370 : Tungstène et alliages de tungstène)

Vue d'ensemble de la norme : ISO 24370:2005 « Céramiques fines et matériaux métalliques réfractaires » est une norme pour les métaux réfractaires élaborée par l'Organisation internationale de normalisation, y compris des spécifications pour les barres de tungstène et d'alliage de tungstène, adaptées aux applications à haute température et à haute résistance.

Dispositions de base :

Champ d'application : Spécifier la composition chimique, les propriétés mécaniques et les exigences dimensionnelles des barres de tungstène pur et d'alliage de tungstène, qui conviennent aux domaines de l'aérospatiale, de l'électronique et de l'industrie.

Composition chimique : La teneur en tungstène pure  $\geq$  de 99,9 %, les impuretés (telles que Fe, C, O) doivent être contrôlées à l'état de traces ; Les barres en alliage de tungstène (par exemple W-Ni-Fe) doivent être claires sur la proportion d'éléments d'alliage.

Propriétés physiques : densité spécifiée (tungstène pur  $\geq$  19,0 g/cm<sup>3</sup>), résistance à la traction et dureté, mettant l'accent sur la résistance au fluage à haute température.

Dimensions et tolérances : Les diamètres vont de 1 à 100 mm, les tolérances sont divisées en classes courantes et en classes de haute précision en fonction de l'application.

Méthodes d'essai : la spectroscopie de fluorescence X (XRF) est recommandée pour analyser la composition, les ultrasons pour détecter les défauts internes et l'appareil d'essai de dureté pour tester les propriétés mécaniques.

Scénarios applicables :

Il est principalement utilisé pour les composants aérospatiaux à haute température (tels que les revêtements de buses), les cibles de pulvérisation électronique et les électrodes de soudage.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Mettant l'accent sur la cohérence internationale, il convient aux chaînes d'approvisionnement transfrontalières et au commerce d'exportation.

Points clés :

La norme comporte des exigences strictes pour le contrôle des impuretés dans les barres de tungstène de haute pureté, et un environnement de production propre est requis.

La méthode d'essai est conforme aux normes internationales et convient à la certification mondiale. Il doit être mis à jour régulièrement pour s'adapter aux nouvelles technologies matérielles.

### 7.1.2 Norme ASTM (ASTM B777 : Alliage de tungstène haute densité)

Aperçu de la norme : La spécification standard ASTM B777-15 pour les alliages à base de tungstène haute densité a été développée par l'American Society for Testing and Materials (ASTM) pour la performance et l'application des tiges en alliage de tungstène (par exemple, W-Ni-Fe, W-Ni-Cu) et est largement utilisée dans les domaines militaire et médical.

Dispositions de base :

Champ d'application : Couvre la classification des barres en alliage de tungstène haute densité (classes 1 à 4), classées en fonction de la teneur en tungstène (90 à 97 % en poids) et des performances.

Composition chimique : Précisez le rapport entre le tungstène, le nickel, le fer ou le cuivre et les impuretés (par exemple S, P) en dessous des limites spécifiées.

Propriétés physiques : plage de densité 17,0–18,5 g/cm<sup>3</sup>, résistance à la traction 600–1200 MPa, dureté 300–400 HV.

Dimensions et tolérances : 5 à 50 mm de diamètre, la longueur peut être personnalisée, les tolérances répondent aux exigences de l'usinage de précision.

Méthode de détection : La spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) a été utilisée pour analyser la composition, l'essai par magnétoscopie a été utilisé pour détecter les fissures de surface et l'essai de traction a été utilisé pour vérifier la résistance.

Scénarios applicables :

Il est principalement utilisé pour les noyaux perforants, les pièces de protection contre les radiations et les contrepoids d'aviation.

Convient au marché nord-américain et à l'industrie militaire, en mettant l'accent sur la haute densité et les propriétés mécaniques.

Points clés :

La norme est classée en fonction de sa densité et de sa résistance, ce qui est pratique pour la sélection des matériaux.

Il existe des exigences claires en matière de respect de l'environnement des éléments d'alliage (par exemple, les formulations sans plomb).

La détection nécessite un équipement spécial, ce qui est coûteux.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

### 7.1.3 Classe 13 de l'AGRR

Aperçu de la norme : La Resistance Welding Manufacturers Association (RWMA) a développé une norme de classe 13 pour les tiges de tungstène pur et est conçue pour les électrodes de soudage par résistance et les applications d'électrodes à haute température.

Dispositions de base :

Champ d'application : Spécifiez la composition, la conductivité et la résistance aux hautes températures de la tige de tungstène pur (teneur en tungstène  $\geq$  de 99,9 %).

Composition chimique : Contrôle strict du carbone, de l'oxygène, de l'azote et d'autres impuretés pour éviter l'instabilité de l'arc.

Propriétés physiques : conductivité d'environ 18 % IACS, dureté de 350 à 450 HV, résistance à la combustion à haute température.

Dimensions et tolérances : 1 à 10 mm de diamètre,  $\pm$  tolérance de 0,05 mm, adapté à l'usinage des pointes d'électrodes.

Méthode de détection : le testeur de conductivité vérifie la conductivité, l'inspection au microscope de la qualité de surface, le test de résistance à haute température simule l'environnement de l'arc.

Scénarios applicables :

Il est utilisé dans les électrodes de soudage par points par résistance et l'assemblage d'équipements électroniques dans la construction automobile.

Il convient aux scénarios de soudage à haute fréquence et met l'accent sur la durée de vie des électrodes.

Points clés :

Performances d'électrode focalisées standard, en ignorant les autres applications.

Il a des exigences élevées en matière de qualité de surface et nécessite un polissage de précision.

La méthode de détection est simple et adaptée aux petites et moyennes entreprises.

### 7.1.4 Autres normes internationales

Vue d'ensemble : En plus de l'ISO, de l'ASTM et de la RWMA, d'autres normes internationales couvrent également les barres de tungstène, telles que :

**AWS A5.12** : Normes d'électrodes en tungstène et en tungstène dopé (par exemple, WT20, WC20) développées par l'American Welding Institute qui spécifient la teneur en dopant (par exemple, 2 % ThO<sub>2</sub> ou CeO<sub>2</sub>) et les performances de l'arc.

**JIS Z 3211** : Norme industrielle japonaise pour la composition et la taille des électrodes en tungstène pour le marché asiatique.

**DIN EN 26848** : Norme européenne spécifiant les exigences générales pour les barres de tungstène, en mettant l'accent sur les applications à haute température.

Contenu de base :

AWS A5.12 se concentre sur la soudabilité des barres de tungstène dopées, y compris la stabilité de l'arc et le taux de brûlure.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La norme JIS Z 3211 est similaire à la norme ISO 24370, mais avec des tolérances dimensionnelles plus strictes et convient à l'électronique de précision.

La norme DIN EN 26848 couvre les barres en tungstène pur et en alliage, en mettant l'accent sur les applications aérospatiales et de défense.

Scénarios applicables :

AWS A5.12 est utilisé dans l'industrie mondiale du soudage, JIS Z 3211 dessert le marché japonais de l'électronique et DIN EN 26848 est utilisé pour les entreprises aérospatiales européennes.

Ces normes complètent l'ISO et l'ASTM pour répondre aux besoins de la régionalisation.

Points clés :

Les critères applicables doivent être sélectionnés en fonction du marché cible.

Les étalons de tiges de tungstène dopées (p. ex., AWS) comportent des exigences de gestion spéciales pour les radiodopants (p. ex., ThO<sub>2</sub>).

Les tests doivent être vérifiés à travers les normes, ce qui augmente le coût de la certification.

## 7.2 Norme chinoise pour les tiges de tungstène

Le système standard chinois comprend des normes nationales (GB / T) et des normes industrielles (YS / T), couvrant la composition, les performances, la taille et les tests des tiges de tungstène, pour répondre aux besoins de la production et de l'application nationales.

### 7.2.1 GB/T 4187-2017 (Norme nationale pour les barres de tungstène)

Aperçu de la norme : GB / T 4187-2017 « Tungsten Rod » est une norme nationale chinoise, qui stipule les performances et l'utilisation de la tige de tungstène pure et de la tige de tungstène de haute pureté, et convient aux domaines de la recherche industrielle, électronique et scientifique.

Dispositions de base :

Gamme : Couvre les barres de tungstène pur ( $\geq 99,9$  % de tungstène) et les tiges de tungstène de haute pureté ( $\geq 99,95$  %) avec des diamètres de 1 à 100 mm.

Composition chimique : Des limites strictes pour les impuretés (par exemple, Fe, C, O) et la teneur en oxygène  $< 50$  ppm pour les barres de tungstène de haute pureté.

Propriétés physiques : densité  $\geq 19,0$  g/cm<sup>3</sup>, résistance à la traction variable en fonction du diamètre et de l'état de traitement, dureté 300–450 HV.

Dimensions et tolérances : Les tolérances sont divisées en qualité ordinaire ( $\pm 0,1$  mm) et en qualité de précision ( $\pm 0,05$  mm), et la longueur peut être personnalisée.

Méthode de détection : analyse XRF ou ICP-MS des composants, contrôle par ultrasons de la qualité interne, test de dureté Vickers.

Scénarios applicables :

Il est utilisé pour la tige de noyau de four à quartz, la tige de serrage en silicium monocristallin et la cible semi-conductrice.

Convient au marché intérieur et à l'exportation, mettant l'accent sur une grande pureté et une précision dimensionnelle.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

**Points clés :**

La norme impose des exigences élevées pour la production propre de tiges de tungstène de haute pureté, et un environnement sans poussière est requis.

Les méthodes d'essai sont conformes aux normes internationales et sont pratiques pour la certification à l'exportation.

Révisions régulières pour s'adapter aux nouveaux processus.

**7.2.2 GB/T 3459-2017 (tungstène et produits en alliage de tungstène)**

Aperçu de la norme : GB / T 3459-2017 « Tungstène et produits en alliage de tungstène » est une norme nationale chinoise, couvrant les tiges de tungstène, les tiges d'alliage de tungstène et d'autres produits en tungstène, adaptés aux domaines de l'aviation, de l'armée et de l'industrie.

**Dispositions de base :**

Gamme : y compris les barres de tungstène pur, les barres de tungstène dopées et les barres en alliage de tungstène (par exemple W-Ni-Fe) avec une teneur en tungstène de 90 à 99,9 %.

Composition chimique : Précisez la proportion d'éléments d'alliage (p. ex., Ni, Fe) et les limites d'impuretés liées à l'application.

Propriétés physiques : densité 17,0–19,25 g/cm<sup>3</sup>, résistance à la traction 600–1000 MPa, allongement modéré.

Dimensions et tolérances : Diamètre 5-50 mm, tolérances ± 0,2 mm, des exigences spéciales peuvent être personnalisées.

Méthodes d'essai : analyse ICP-AES des composants, magnétoscopie des surfaces, essai de traction pour vérifier les performances.

**Scénarios applicables :**

Il est utilisé pour les noyaux de balles perforants, les contrepois d'aviation et les produits de protection contre les radiations.

Au service de l'industrie militaire nationale et de l'industrie lourde, en mettant l'accent sur la haute densité et la résistance.

**Points clés :**

La norme couvre une variété de produits en tungstène, avec une grande flexibilité.

Les exigences en matière de protection de l'environnement pour les barres d'alliage sont strictes et des formulations non toxiques sont requises.

La détection doit être soutenue par un équipement complet.

**7.2.3 Norme industrielle (YS/T 695-2017 : électrode émoussée)**

Vue d'ensemble de la norme : YS/T 695-2017, « électrode émoussée » est la norme industrielle pour les métaux non ferreux en Chine, visant la performance et la production d'électrodes émoussées pures et dopées (telles que WC20, WL20, WT20).

**Dispositions de base :**

Plage : spécifiez la composition, la taille et les propriétés de l'arc de l'électrode émoussée, de 0,5 à

**Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

10 mm de diamètre.

Composition chimique : teneur en épuration pure  $\geq 99,9\%$ , dopé avec des oxydes de terres rares émoussés (tels que 2 % de  $CeO_2$ ) ou de l'oxyde de thorium, faible limite d'impuretés.

Propriétés physiques : excellente conductivité, résistance aux brûlures à haute température, grande stabilité à l'arc.

Dimensions et tolérances : Les tolérances  $\pm 0,05$  mm, les pointes doivent répondre aux exigences de soudage.

Méthode de détection : machine d'essai à l'arc pour tester l'allumage et la stabilité, analyse XRF de la teneur en dopants, inspection au microscope de la surface.

Scénarios d'application :

Il est utilisé pour le soudage à l'arc à l'argon (TIG), la découpe au plasma et la construction automobile et navale.

Il convient à l'industrie nationale du soudage, mettant l'accent sur les performances de l'électrode.

Points clés :

Les électrodes émoussées dopées au thorium sont soumises à la réglementation sur la radioactivité.

Le test simule l'environnement de soudage réel pour vérifier les performances de l'arc.

Les normes sont mises à jour fréquemment, alors gardez un œil sur la dernière version.

### 7.3 Comparaison des normes et applicabilité des tiges émoussées

Comparaison des normes et analyse d'applicabilité : Il existe des différences dans les objectifs de formulation, les exigences et les scénarios d'application des normes nationales et étrangères, et il est nécessaire de sélectionner des spécifications appropriées en fonction du type de tige émoussée et du marché.

#### 7.3.1 Différences entre les normes nationales et étrangères

Analyse comparative:

Fixez-vous des objectifs :

Les normes internationales (telles que l'ISO, l'ASTM) mettent l'accent sur l'universalité mondiale et ont des termes généraux, qui conviennent au commerce transfrontalier ; Les normes chinoises (GB/T, YS/T) combinent la technologie nationale et la demande du marché, et les termes sont plus spécifiques.

La norme ASTM B777 se concentre sur les tiges en alliage émoussé à haute densité, adaptées aux applications militaires et médicales ; GB/T 3459 couvre une large gamme de produits émoussés et offre une plus grande flexibilité.

Les classes RWMA 13 et YS/T 695 sont spécialisées dans les électrodes, et les normes internationales se concentrent davantage sur la conductivité et les performances de l'arc.

Exigences techniques :

Ingrédients conformes aux normes internationales : les normes internationales (telles que l'ISO 24370) prévoient un contrôle plus strict des impuretés (telles que l'oxygène, le carbone), ce qui convient aux tiges émoussées de haute pureté ; Les normes chinoises (telles que GB/T 4187) ont

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

des exigences légèrement plus souples pour les tiges émaissées pures ordinaires afin de réduire les coûts de production.

Propriétés physiques : La norme ASTM B777 exige une résistance et une résistance à la traction plus élevées des alliages émaissés (600-1200 MPa) ; La norme GB/T 3459 met l'accent sur la plage de densité (17,0 à 19,25 g/cm<sup>3</sup>).

Tolérance dimensionnelle : les tolérances standard ISO et JIS sont plus serrées ( $\pm 0,05$  mm), adaptées à une haute précision ; Degré de tolérance GB/T ( $\pm 0,1$  à 0,2 mm) pour un large éventail d'exigences.

Méthode de détection :

Les normes internationales recommandent les essais XRF, ICP-MS et magnétoscopies, conformément aux normes chinoises, mais l'ASTM exige des essais de traction plus complexes.

Le test d'arc de YS/T 695 est plus spécifique à l'industrie, et AWS A5.12 est similaire mais plus strict.

Points clés :

Les normes internationales sont plus adaptées aux marchés d'exportation et haut de gamme, tandis que les normes chinoises sont plus en phase avec la réalité de la production nationale.

L'équipement d'essai doit être compatible avec les deux normes, et l'équilibre entre le coût et l'efficacité doit être pris en compte.

La gestion de la radioactivité des électrodes de tungstène dopées au thorium est plus stricte dans les normes internationales.

### 7.3.2 Exigences normalisées pour les différents types de barres de tungstène

Tige émaissée pure :

Normes applicables: ISO 24370, GB/T 4187, RWMA Classe 13.

Exigences: teneur en matières premières  $\geq 99,9$  %, faibles impuretés (par ex. oxygène < 100 ppm), densité  $\geq 19,0$  g/cm<sup>3</sup>, tolérance  $\pm 0,1$  mm.

Scénarios applicables : échantillons de carottes de four à quartz, contreponds, mettant l'accent sur la stabilité à haute température et le contrôle des coûts.

Tige de tungstène de haute pureté :

Normes applicables : ISO 24370, GB/T 4187 (degré de haute pureté), ASTM B760 (référence d'extension de plaque émaissée).

Exigences : Teneur en émaissé  $\geq 99,95$  %, très faibles impuretés (par ex. oxygène < 30 ppm), production propre, tolérance  $\pm 0,05$  mm.

Scénarios applicables : cibles semi-conductrices, dispositifs médicaux, mettant l'accent sur la haute densité et la pureté.

Tiges émaissées dopées :

Normes applicables: AWS A5.12, YS/T 695, GB/T 3459.

Exigences : Le dopant (par exemple, 2 % de CeO<sub>2</sub>) est uniformément réparti, la stabilité de l'arc est élevée et les barres dopées au thorium nécessitent un contrôle radioactif.

Scénarios applicables : électrodes de soudage, composants de four à haute température, mettant

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'accent sur les performances électriques.

Tige en alliage de tungstène :

Normes applicables : ASTM B777, GB/T 3459.

Exigences : teneur en blunt 90–97 %, densité 17,0–18,5 g/cm<sup>3</sup>, résistance à la traction 600–800 MPa, formulation non toxique.

Scénarios applicables : noyau de balle perforant, protection contre les radiations, mettant l'accent sur la résistance élevée et la protection de l'environnement.

Points clés :

Le choix de la norme doit être adapté au type de tige émoussée et au domaine d'application.

Les tiges émoussées de haute pureté et dopées nécessitent un équipement de plus grande précision pour soutenir la production et l'inspection.

Les tiges en alliage émoussé doivent prêter attention aux réglementations environnementales.

### 7.3.3 L'importance directrice des normes de production et d'essai

Instructions de production :

Contrôle des ingrédients : Les normes spécifient des limites pour les impuretés et les dopants afin de guider la sélection des matières premières et les processus de purification (par exemple, l'ISO exige une < d'oxygène de 50 ppm et la réduction de l'hydrogène doit être optimisée).

Optimisation des processus : Les tolérances et les exigences de performance (par exemple, ±0,1 mm pour GB/T) guident la précision des équipements de pressage, de frittage et de traitement.

Gestion de la qualité : La norme exige de promouvoir l'ISO 9001 et d'autres certifications de système, de normaliser le processus de production et de réduire le taux de défauts.

Conseils pour les tests :

Analyse de la composition : XRF, ICP-MS garantissent que la chimie est conforme aux normes et les instruments doivent être étalonnés régulièrement.

Vérification des performances : Les essais de traction, de dureté et d'arc vérifient les propriétés mécaniques et électriques avec une préparation d'échantillon standardisée.

Inspection des défauts : Les techniques d'inspection par ultrasons et par magnétoscopie détectent les défauts internes et de surface pour assurer la sécurité du produit.

Pratique industrielle :

Les entreprises doivent établir des laboratoires de contrôle de la qualité standardisés équipés d'équipements d'essai multifonctionnels.

Former régulièrement les employés pour qu'ils se familiarisent avec les différences entre les normes nationales et étrangères et améliorent la conformité.

Les produits d'exportation doivent d'abord répondre aux normes du marché cible et se préparer à l'avance à la certification.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

## Chapitre 8 Détection des tiges de tungstène

En tant que matériau métallique réfractaire haute performance, la qualité de la tige de tungstène affecte directement les performances de l'application, et les propriétés physiques, la composition chimique, la microstructure et les propriétés spéciales doivent être évaluées par des méthodes d'essai complètes. Les tests couvrent une variété de techniques allant de la macro à la micro, y compris les tests de propriétés physiques, l'analyse chimique, l'observation microscopique, les tests non destructifs et la vérification des performances, avec différents accents pour les barres de tungstène pur, les tiges de tungstène de haute pureté et les barres de tungstène dopées. Ce chapitre détaillera les méthodes d'essai des tiges de tungstène, y compris la densité, la dureté, la résistance à la traction, les propriétés thermiques, la composition chimique, la microstructure, les essais non destructifs, les hautes températures, la résistance à la corrosion, la conductivité et d'autres tests de performance, et analysera les priorités d'essai de différents types de tiges de tungstène.

### 8.1 Propriétés physiques de l'essai de la tige de tungstène

Les tests de propriétés physiques évaluent la densité, la dureté, la résistance et les propriétés thermiques des tiges de tungstène pour s'assurer qu'elles répondent aux exigences de conception des applications aérospatiales, électroniques et industrielles.

#### 8.1.1 Essai de densité des tiges de tungstène

Objectif : La densité est l'indicateur clé de la qualité des tiges de tungstène, reflétant la compacité du frittage et du traitement, la densité théorique de la tige de tungstène pure est de  $19,25 \text{ g/cm}^3$  et la tige d'alliage de tungstène est de  $17,0$  à  $18,5 \text{ g/cm}^3$ .

Méthode de détection :

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Méthode d'Archimède : les tiges de tungstène sont immergées dans de l'eau déminéralisée, le poids sec et le poids dans l'eau sont mesurés et la densité est calculée. Utilisez une balance électronique de haute précision (précision  $\pm 0,001$  g) et un évier thermostatique ( $25^{\circ}\text{C}$ ).

Densitomètre à rayons X : Mesure de la masse volumique par absorption des rayons X, adaptée à une inspection rapide sans contact avec une précision de  $\pm 0,05$  g/cm<sup>3</sup>.

Points opérationnels :

La surface de l'échantillon doit être nettoyée pour enlever les couches d'huile ou d'oxyde.

La méthode d'Archimède nécessite un étalonnage de la masse volumique du liquide pour exclure les bulles d'air.

La méthode à rayons X nécessite un étalonnage périodique de l'instrument pour vérifier l'échantillon standard.

Interprétation des résultats :

Des densités inférieures aux valeurs théoriques peuvent indiquer une porosité insuffisante ou un frittage.

La densité des tiges en alliage de tungstène doit correspondre au rapport d'alliage, et l'écart peut être dû à une composition inégale.

### 8.1.2 Essai de dureté des tiges de tungstène (Vickers, Brinell)

Objectif du test : La dureté reflète la résistance mécanique et la résistance à l'usure de la tige de tungstène, et la dureté de la tige de tungstène pure est d'environ 350 à 450 HV, et la dureté de la tige en alliage de tungstène est d'environ 300 à 400 HV.

Méthode de détection :

Dureté Vickers (HV) : une charge de 10 à 50 kgf est appliquée à l'aide d'un pénétrateur en diamant, la longueur diagonale de l'indentation est mesurée et la dureté est calculée. Convient pour les tiges de petit diamètre ou les essais de haute précision.

Dureté Brinell (HB) : une charge de 500 à 3000 kgf est appliquée à l'aide d'un pénétrateur à bille en carbure pour mesurer le diamètre d'indentation et convient aux grandes tiges.

Points opérationnels :

L'échantillon doit être poli sur une surface miroir pour éviter que les défauts de surface n'affectent les résultats.

Les essais Vickers nécessitent la sélection de charges appropriées pour éviter que l'indentation ne soit trop petite ou trop grande.

Le test Brinell garantit que le pénétrateur est perpendiculaire à l'échantillon et qu'il est moyenné sur plusieurs mesures.

Interprétation des résultats :

Une dureté trop élevée peut indiquer des grains trop fins ou trop de dopant.

Une faible dureté peut être due à une porosité insuffisante ou à une contrainte de traitement.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD  
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity  $\geq 99.95\%$ ) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to  $3410^{\circ}\text{C}$ , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm <sup>3</sup>
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~4.5 x 10 <sup>-6</sup> /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

### 8.1.3 Essai de résistance à la traction et de ténacité des barres de tungstène

Objectif : Pour évaluer la capacité portante et le comportement à la rupture de la tige de tungstène sous charge de traction avec résistance à la traction et ténacité, la résistance à la traction de la tige de tungstène pure est d'environ 600 à 1000 MPa et la tige en alliage de tungstène est plus élevée.

Méthode de détection :

Essai de traction : À l'aide d'une machine d'essai universelle des matériaux, un échantillon de tige de tungstène (tailles standard telles que 5 mm de diamètre et 50 mm de longueur) est serré et étiré à une vitesse de 0,5 à 1 mm/min, et la charge de rupture et l'allongement sont enregistrés.

Essai d'impact : La machine d'essai d'impact Charpy est utilisée pour tester la résistance aux chocs de la tige de tungstène à basse température ou à température ambiante et mesurer l'énergie absorbée.

Points opérationnels :

Les échantillons doivent être traités conformément aux normes (p. ex., ASTM E8) afin d'éviter les rayures de surface.

L'essai de traction nécessite de contrôler la température ambiante ( $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) et d'enregistrer la courbe contrainte-déformation.

L'essai de choc nécessite la sélection d'un type d'encoche approprié (par exemple, en forme de V) pour assurer la répétabilité.

Interprétation des résultats :

Une résistance à la traction insuffisante peut indiquer des défauts internes ou une taille de grain excessive.

Une faible ténacité peut être due à un dopage inadéquat ou à un frittage inégal, et le processus doit être optimisé.

### 8.1.4 Essai de dilatation thermique et de conductivité thermique des barres de tungstène

Objectif : Le coefficient de dilatation thermique (environ  $4,5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) et la conductivité thermique (environ  $170\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) affectent la stabilité dimensionnelle et la conductivité thermique de la tige de tungstène dans un environnement à haute température.

Méthode de détection :

Essai de dilatation thermique : Le coefficient de dilatation thermique est calculé en mesurant la variation de la longueur de l'échantillon dans la plage de 100 à 1000 °C à l'aide d'un dilatomètre thermique (par exemple, un dilatomètre).

Test de conductivité thermique : La méthode du flash laser est utilisée pour chauffer une extrémité de la tige de tungstène afin de mesurer le taux de diffusion thermique et de calculer la conductivité thermique.

Points opérationnels :

Les tests de dilatation thermique sont effectués dans une atmosphère inerte (par exemple de l'argon) pour éviter l'oxydation.

Les tests de conductivité thermique nécessitent un étalonnage de l'instrument pour vérifier la

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

précision à l'aide d'un échantillon standard tel que le cuivre.

La taille de l'échantillon doit être uniforme (par exemple, 10 mm de diamètre, 2 mm d'épaisseur).

Interprétation des résultats :

Un coefficient de dilatation thermique élevé peut indiquer des impuretés ou des éléments d'alliage.

Une faible conductivité thermique peut être due à une porosité ou à une microstructure inégale.

## 8.2 Analyse de la composition chimique des barres de tungstène

L'analyse de la composition chimique garantit que les tiges de tungstène répondent aux normes de pureté et de teneur en dopant, et la détection des impuretés est essentielle à la performance.

### 8.2.1 Analyse spectroscopique (ICP-MS, XRF)

Objectif : Analyser quantitativement les teneurs en tungstène, en dopant (tels que Ce, La, Th) et en impuretés (telles que Fe, C, O) dans les tiges de tungstène.

Méthode de détection :

Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) : L'échantillon est dissous dans une solution acide (par exemple, acide nitrique + acide fluorhydrique) et séparé par excitation plasma et spectrométrie de masse pour détecter le contenu élémentaire avec une sensibilité de ppb.

Spectroscopie de fluorescence X (XRF) : excitation de la surface de l'échantillon par les rayons X, analyse des spectres de fluorescence, détermination rapide du contenu élémentaire, adaptée à l'analyse non destructive.

Points opérationnels :

L'ICP-MS nécessite des réactifs de haute pureté et un laboratoire propre (classe ISO 5) pour éviter toute contamination.

La fluorescence X polit la surface de l'échantillon pour s'assurer qu'elle est plate et étalonne l'instrument pour améliorer la précision.

Les deux méthodes doivent être utilisées en combinaison, avec l'ICP-MS pour la vérification des éléments traces et la XRF pour le dépistage rapide.

Interprétation des résultats :

Une teneur en tungstène inférieure à la norme (par exemple, 99,9 %) peut indiquer une purification insuffisante.

Les écarts de teneur en dopant peuvent affecter les performances de l'arc ou la stabilité à haute température.

### 8.2.2 Détection des oligo-éléments et des impuretés

Objectif : Les oligo-éléments (tels que O, C, N) et les impuretés (telles que Fe, Si) peuvent réduire les performances des barres de tungstène, qui doivent être strictement contrôlées.

Méthode de détection :

Méthode de fusion sous gaz inerte : l'échantillon est fondu dans de l'argon à haute température pour

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

libérer de l'oxygène, de l'azote et du carbone, et analysé par un détecteur de conductivité infrarouge ou thermique avec une sensibilité de ppm.

Spectrométrie de masse à décharge lumineuse (GD-MS) : La surface de l'échantillon est excitée par décharge lumineuse et les impuretés à l'état de traces sont analysées par spectrométrie de masse, ce qui convient aux tiges de tungstène de haute pureté.

Points opérationnels :

Les échantillons sont nettoyés par ultrasons pour éliminer les contaminants de surface.

La méthode de fusion au gaz inerte nécessite de l'argon de haute pureté (99,999 %), calibrant le gaz standard.

Le GD-MS nécessite un environnement sous vide ( $10^{-6}$  Pa) et une alimentation de maintenance et de décharge régulière.

Interprétation des résultats :

Une teneur élevée en oxygène peut entraîner une fragilité à haute température, et l'atmosphère de frittage doit être optimisée.

Des impuretés excessives peuvent être dues à la contamination des matières premières, et le contrôle de la qualité doit être renforcé.

### 8.3 Analyse de la microstructure des barres de tungstène

L'analyse de la microstructure révèle la taille des grains, l'uniformité de la microstructure et la répartition des défauts des tiges de tungstène, affectant les propriétés mécaniques et thermiques.

#### 8.3.1 Observation au microscope (MEB, MET)

Objectif : Observer la morphologie de surface, les caractéristiques de rupture et la structure interne de la tige de tungstène, et identifier les fissures, les pores ou la distribution des dopants.

Méthode de détection :

Microscopie électronique à balayage (MEB) : Balayage de la surface d'un échantillon à l'aide d'un faisceau d'électrons de résolution nanométrique, équipé d'un spectromètre à dispersion d'énergie (EDS) pour analyser la distribution élémentaire.

Microscopie électronique à transmission (MET) : Le faisceau d'électrons pénètre dans des échantillons ultra-minces (<100 nm) pour observer la structure cristalline et les dislocations, ce qui convient à l'analyse à haute résolution.

Points opérationnels :

Les échantillons MEB doivent être polis ou fracturés, et plaqués au carbone ou à l'or pour améliorer la conductivité.

Les échantillons TEM doivent être préparés avec un diluant ionisé pour les garder propres afin d'éviter toute contamination.

Le microscope doit être calibré et le grossissement et les conditions d'imagerie sont enregistrés.

Interprétation des résultats :

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le MEB présente une porosité ou des fissures, indiquant des défauts de frittage ou d'usinage.  
La TEM met en évidence des anomalies d'agglomération de dopants ou de joints de grains qui nécessitent une optimisation du processus de mélange.

### 8.3.2 Granulométrie et uniformité de la microstructure

Objectif : La taille des grains (généralement de 10 à 50  $\mu\text{m}$ ) et l'homogénéité de la microstructure affectent la résistance, la ténacité et les performances à haute température des tiges de tungstène.

Méthode de détection :

Microscopie optique : L'échantillon est poli et gravé chimiquement (par exemple, une solution de  $\text{HNO}_3$ ) pour observer les joints de grains et mesurer la taille moyenne des grains.

Diffraction des rayons X (XRD) : analyse l'orientation des cristaux et la taille des grains, calcule la taille des grains (via la formule de Scherrer).

Points opérationnels :

Le temps de corrosion doit être contrôlé avec précision (10 à 30 secondes) pour éviter une corrosion excessive.

La DRX nécessite un étalonnage standard en tungstène de haute pureté avec un angle de balayage de 10 à 80°.

Différentes zones sont mesurées plusieurs fois pour assurer une évaluation précise de l'uniformité des tissus.

Interprétation des résultats :

La taille des grains est trop grande et la résistance peut être réduite, de sorte que la température de frittage doit être ajustée.

Les tissus inégaux peuvent être dus à un pressage inadéquat ou à un dopage, et le processus doit être optimisé.

## 8.4 Essais non destructifs des tiges de tungstène

Les essais non destructifs (CND) sont utilisés pour évaluer les défauts internes et de surface des tiges de tungstène, maintenir l'intégrité de l'échantillon et conviennent au contrôle de la qualité.

### 8.4.1 Contrôle par ultrasons

Objectif : Détecter les pores internes, les fissures ou les inclusions des tiges de tungstène afin d'assurer l'intégrité structurelle.

Méthode de détection :

À l'aide d'un appareil de recherche de défauts par ultrasons, des ultrasons de 5 à 10 MHz sont émis, le signal réfléchi est reçu et l'emplacement et la taille du défaut sont analysés.

Une sonde longitudinale ou à ondes de cisaillement combinée à un couplant d'eau balaie toute la longueur de la barre.

Points opérationnels :

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

La surface de l'échantillon doit être plane, propre et enlever l'huile.

La sonde doit être calibrée pour vérifier la sensibilité à l'aide d'un échantillon standard défectueux.

La hauteur et la position de l'écho du défaut sont enregistrées, et le C-scan est tracé.

Interprétation des résultats :

Des échos forts indiquent des défauts importants (par exemple, une porosité > 0,5 mm) qui nécessitent des retouches.

Les échos continus peuvent provenir de fissures lamellaires et doivent être découpés pour vérification.

#### 8.4.2 Inspection par rayons X

Objectif : Identifier les pores internes, les inclusions ou les fissures des tiges de tungstène, qui conviennent aux barres de grande taille.

Méthode de détection :

À l'aide d'un appareil à rayons X industriel (100-300 kV), une tige de tungstène est pénétrée, une image de transmission est enregistrée et les caractéristiques du défaut sont analysées.

Coopérer avec l'imagerie numérique (DR) ou la tomographie (CT) pour améliorer la résolution.

Points opérationnels :

Il doit être protégé des radiations et des qualifications professionnelles sont requises pour son fonctionnement.

Ajustez l'énergie des rayons X pour assurer la pénétration d'échantillons épais (>20 mm).

Étalonnées avec des échantillons de défauts standard, les valeurs en niveaux de gris des images ont été enregistrées.

Interprétation des résultats :

Les zones sombres indiquent une porosité ou des inclusions et doivent être vérifiées en conjonction avec l'échographie.

La reconstruction par tomographie quantifie le volume des défauts et guide l'évaluation de la qualité.

#### 8.4.3 Magnétoscopie

Objectif du test : pour détecter les fissures de surface et proches de la surface de la tige en alliage de tungstène (telle que W-Ni-Fe), la tige de tungstène pure ne convient pas en raison du non-magnétisme.

Méthode de détection :

Un champ magnétique (AC ou DC) est appliqué à un dispositif magnétisant, des particules magnétiques fluorescentes sont pulvérisées et des traces magnétiques sont observées sous une lampe UV.

Magnétisation longitudinale ou transversale pour détecter les fissures dans différentes directions.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Points opérationnels :

La surface de l'échantillon doit être nettoyée et le courant de magnétisation doit être ajusté en fonction du diamètre (500-2000 A).

La particule magnétique doit être pulvérisée uniformément et le temps d'observation doit être contrôlé à 1 à 2 minutes.

La longueur et la répartition des marques magnétiques sont enregistrées, et des photos sont prises pour l'archivage.

Interprétation des résultats :

Les marques magnétiques linéaires indiquent les fissures de surface qui nécessitent un polissage ou une reprise.

Les marques magnétiques denses peuvent être dues à des contraintes d'usinage et doivent être éliminées par traitement thermique.

### **8.5 Vérification des performances des barres de tungstène**

Les tests de vérification des performances simulent des conditions de fonctionnement réelles pour évaluer les performances des barres de tungstène dans des environnements à haute température, corrosifs et électriques.

#### **8.5.1 Essai de performance à haute température**

Objectif : Évaluer l'oxydation, le fluage et la résistance des barres de tungstène à haute température (1000-2500°C) pour les applications aérospatiales et les fours.

Méthode de détection :

Essai de traction à haute température : La résistance à la traction est testée à l'aide d'une machine d'essai à haute température en chauffant l'échantillon à une température spécifiée dans un four sous vide ou à argon.

Essai de fluage : une charge constante (par exemple 100 MPa) est appliquée, la déformation est enregistrée pendant 100 à 1000 heures et le taux de fluage est calculé.

Points opérationnels :

Il doit être protégé par un gaz argon de haute pureté (99,999 %) pour éviter l'oxydation.

Les échantillons doivent être de taille standard (par exemple 5 mm de diamètre) et les fixations doivent être en molybdène ou en céramique.

La précision du contrôle de la température est  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  et la courbe de déformation est enregistrée.

Interprétation des résultats :

La dégradation de la résistance à haute température peut être due à la croissance des grains et nécessite un frittage optimisé.

Un taux de fluage trop élevé peut indiquer un dopage insuffisant et la formulation doit être ajustée.

#### **8.5.2 Essai de résistance à la corrosion**

Objectif du test : évaluer la résistance à la corrosion des tiges de tungstène dans des environnements

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

acides, alcalins ou gazeux à haute température, adaptés aux applications chimiques et aux électrodes.

Méthode de détection :

Test d'immersion : La perte de poids est mesurée en immergeant l'échantillon dans un milieu corrosif (par exemple, 10 % de HNO<sub>3</sub> ou de NaOH) à une température constante (25 à 80 °C) pendant 24 à 168 heures.

Essai de corrosion des gaz : Exposition à des atmosphères oxydantes ou vulcanisantes (par exemple O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) dans un four à haute température pour enregistrer les changements de surface.

Points opérationnels :

L'échantillon doit être pesé (précision ± 0,0001 g) et la surface doit être polie uniformément.

Le fluide corrosif doit être remplacé régulièrement pour assurer une concentration stable.

Les tests de gaz nécessitent un contrôle du débit (0,1 à 1 L/min) et de l'humidité.

Interprétation des résultats :

Une perte de poids de >0,1 % indique une résistance à la corrosion insuffisante et nécessite une formulation améliorée.

L'épaisseur de la couche d'oxyde à la surface peut être due à des impuretés et doit être optimisée pour la purification.

### 8.5.3 Essai de conductivité et de fluage

Objectif du test : La conductivité (environ 18 % IACS) et la résistance au fluage sont des propriétés clés des électrodes et des composants à haute température, affectant la stabilité et la durée de vie de l'arc.

Méthode de détection :

Test de conductivité : À l'aide de la méthode à quatre sondes, un courant constant est appliqué, la chute de tension est mesurée et la conductivité est calculée.

Test de résistance au fluage : Similaire au test de fluage à haute température, mais en mettant l'accent sur les tiges de tungstène dopées (telles que le WC20) pour tester la déformation dans les environnements d'arc.

Points opérationnels :

Le test de conductivité nécessite un bon contact et la sonde est en cuivre ou en argent.

Les tests de résistance au fluage simulent les conditions de soudage (par exemple, un arc de 6000°C) et enregistrent la quantité de déformation.

Les échantillons sont analysés plusieurs fois et la moyenne des échantillons est calculée.

Interprétation des résultats :

La faible conductivité peut être due à une distribution inégale du dopant.

Une résistance insuffisante au fluage peut indiquer un dopage insuffisant des terres rares et la nécessité d'un mélange optimal.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD  
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity  $\geq 99.95\%$ ) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to  $3410^{\circ}\text{C}$ , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm <sup>3</sup>
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~4.5 x 10 <sup>-6</sup> /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

## 8.6 Points clés de détection des différents types de tiges de tungstène

Différents types de tiges de tungstène (tiges de tungstène pur, tiges de tungstène de haute pureté, tiges de tungstène dopées) ont des foyers de détection différents en raison de différentes compositions et utilisations.

### 8.6.1 Détection des tiges de tungstène pur

Points clés de détection :

Propriétés physiques : masse volumique ( $\geq 19,0 \text{ g/cm}^3$ ), dureté (350–450 HV) et résistance à la traction pour assurer une stabilité à haute température.

Composition chimique : La teneur en tungstène  $\geq 99,9 \%$ , l'oxygène, le carbone et d'autres impuretés  $< 100 \text{ ppm}$  pour éviter la fragilité à haute température.

Contrôle non destructif : détection par ultrasons des pores internes, vérification par rayons X de la qualité des barres de grande taille.

Scénarios applicables :

Les pièces de tige et de contreponds de noyau de four à quartz nécessitent un faible coût et des performances stables.

Points clés :

La méthode d'Archimède est préférentiellement utilisée pour les tests de densité, ce qui est rentable. La détection des impuretés doit prêter attention à la teneur en oxygène et optimiser l'atmosphère de frittage.

Le contrôle non destructif couvre l'ensemble du lot pour assurer la cohérence.

### 8.6.2 Détection des tiges de tungstène de haute pureté

Points clés de détection :

Composition chimique : Teneur en tungstène  $\geq 99,95 \%$ , impuretés à l'état de traces (par exemple, O, N)  $< 30 \text{ ppm}$ , en utilisant ICP-MS et GD-MS.

Microstructure : Le MEB et le MET observent la taille des grains (5 à 15  $\mu\text{m}$ ) et la distribution des dopants pour assurer la pureté.

Vérification des performances : tests de conductivité et de résistance à la corrosion pour répondre aux exigences des semi-conducteurs.

Scénarios applicables :

Les cibles de pulvérisation et les dispositifs médicaux nécessitent une grande pureté et une production propre.

Points clés :

L'essai doit être effectué dans une salle blanche (classe ISO 5) pour éviter toute contamination.

L'analyse des éléments traces nécessite des instruments très sensibles et un étalonnage régulier.

Les tests de performance simulent des conditions de fonctionnement réelles, telles qu'un environnement sous vide.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

### 8.6.3 Détection des tiges de tungstène dopées

Points clés de détection :

Composition chimique : La teneur en dopants (tels que 2 % de  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ) est uniforme et les bâtonnets dopés au thorium doivent être détectés radioactivement.

Vérification des performances : essais de conductivité et de stabilité de l'arc, à l'aide d'une machine d'essai à l'arc pour simuler le soudage.

Microstructure : MEB-EDS pour analyser la distribution des dopants, XRD pour vérifier l'orientation des cristaux.

Scénarios applicables :

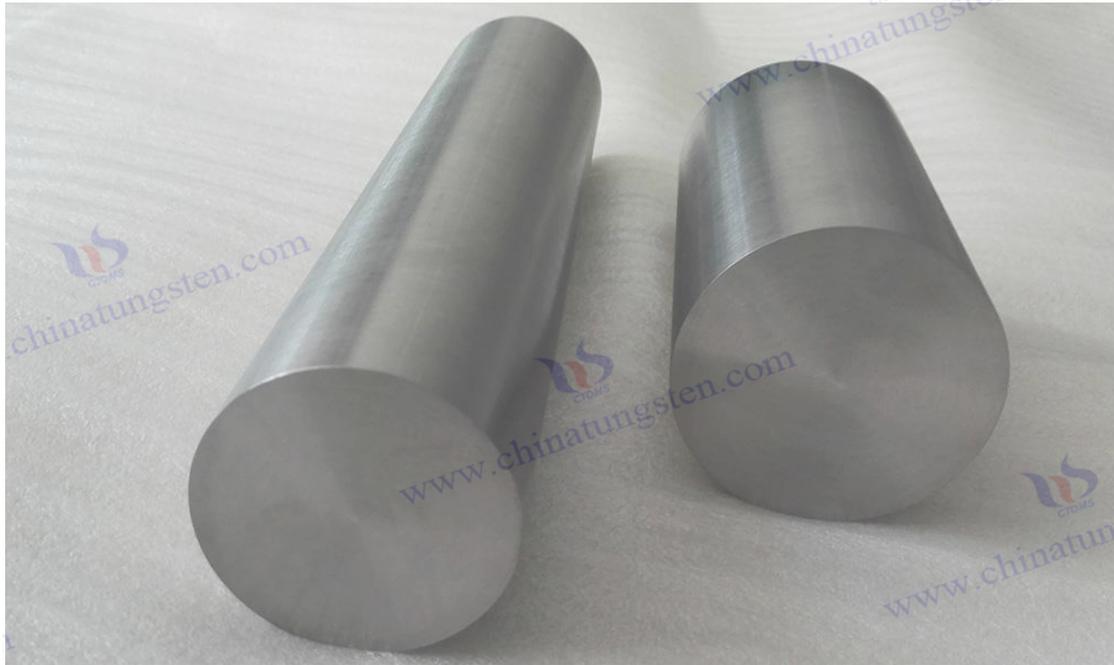
Les électrodes de soudage et les composants de four à haute température nécessitent d'excellentes performances d'arc.

Points clés :

L'essai à l'arc nécessite des conditions de soudage standard et enregistre le taux de brûlure.

La répartition inégale du dopant nécessite un processus de mélange optimisé.

La détection de barres de tungstène dopées au thorium est soumise à la réglementation sur la radioactivité.



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

## Chapitre 9: État de l'industrie des tiges de tungstène et tendance de développement

En tant que matériau métallique réfractaire stratégique, la tige de tungstène joue un rôle irremplaçable dans les domaines de l'aérospatiale, de l'électronique, du soudage et de l'armée en raison de son point de fusion élevé, de sa haute densité et de ses excellentes propriétés mécaniques. Ces dernières années, le marché mondial des tiges de tungstène a montré une tendance à la croissance rapide, stimulée par les changements dans l'offre et la demande, les progrès technologiques et les politiques de protection de l'environnement. Ce chapitre analyse le marché chinois et international des tiges de tungstène, discute des tendances de développement technologique (nouveaux matériaux, fabrication verte, production intelligente) et évalue les défis et les opportunités auxquels l'industrie est confrontée (goulets d'étranglement technologiques, concurrence sur le marché, développement durable).

### 9.1 Vue d'ensemble du marché des tiges de tungstène en Chine

La Chine est le plus grand producteur mondial de ressources de tungstène et de tiges de tungstène, l'échelle du marché se développe rapidement et le modèle de l'offre et de la demande est déterminé par la réglementation politique et la demande en aval.

#### 9.1.1 Analyse de l'offre et de la demande du marché

##### **Demande du marché :**

La demande du marché des tiges de tungstène en Chine provient principalement des secteurs de l'aérospatiale, de la fabrication électronique, du soudage et des outils en carbure de tungstène.

**Aérospatiale :** Les tiges de tungstène sont utilisées pour les composants à haute température (par exemple, les revêtements de buse) et les contrepoids, entraînés par les gros avions nationaux (par exemple, le C919) et les programmes aérospatiaux (par exemple, les stations spatiales), avec une croissance constante de la demande.

**Fabrication électronique :** Les tiges de tungstène de haute pureté sont un matériau clé pour les cibles de pulvérisation et les électrodes de semi-conducteurs, et avec la localisation des puces et le développement d'équipements 5G, la demande a explosé.

**Soudage et découpe :** Les tiges de tungstène dopées (par exemple WC20, WT20) sont largement utilisées dans le soudage TIG et la découpe plasma, bénéficiant des industries de l'automobile, de la marine et de la construction, et le marché continue de se développer.

**Carbure de tungstène :** En tant que matière première pour les outils en carbure de tungstène, la tige de tungstène est stimulée par la demande de machines-outils CNC et de fabrication haut de gamme, et représente une part de marché importante.

##### **Analyse de l'approvisionnement :**

**Avantage en matière de ressources :** Les réserves de tungstène de la Chine représentent 51 % de la production mondiale, et les principales zones de production sont le Jiangxi, le Hunan et le Henan.

**Capacité de production :** Les grandes entreprises nationales disposent d'une chaîne industrielle complète, allant de l'extraction du minerai de tungstène au traitement des barres, avec une forte concentration de la capacité de production.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Réglementation politique : Le gouvernement restreint l'extraction du tungstène par le biais de quotas d'exportation et de politiques de protection de l'environnement, et renforce l'utilisation du tungstène recyclé à partir de 2023 pour promouvoir une réforme de l'offre.

Défi : La fluctuation des prix des matières premières et l'augmentation des coûts de protection de l'environnement compriment les bénéficiaires des petites et moyennes entreprises, et les tiges de tungstène haut de gamme (telles que les tiges de haute pureté et à l'échelle nanométrique) dépendent toujours des importations.

### **Prévision des tendances :**

La demande du marché devrait croître à un taux annuel moyen de 5 à 7 %, et l'industrie manufacturière haut de gamme et les nouvelles énergies (telles que le photovoltaïque et l'énergie éolienne) deviendront de nouveaux points de croissance.

L'offre se tournera vers des produits à forte valeur ajoutée, et les PME devront mettre à niveau leur technologie pour faire face aux pressions sur les coûts.

## **9.2 Vue d'ensemble du marché international des tiges de tungstène**

Le marché mondial des tiges de tungstène est très concurrentiel, la Chine étant en tête de l'approvisionnement, l'Europe, les États-Unis, le Japon et la Corée du Sud dominant la demande haut de gamme, et la restructuration de la chaîne d'approvisionnement et la géopolitique affectent la structure du marché.

### **9.2.1 Principaux pays et régions exportateurs**

Statut de l'exportation :

Dirigé par la Chine : Les exportations de tungstène de la Chine ont atteint 24 900 tonnes en 2022, ce qui représente la principale offre mondiale, principalement vers le Japon (23 %), la Corée du Sud (19 %), l'Europe (35 %) et les États-Unis (11 %).

Structure du produit : Les exportations sont dominées par les tiges de tungstène de qualité première et les produits à faible valeur ajoutée, et les barres de carbure cémenté représentent 8,9 mille tonnes, soit une augmentation de 7,23 % en glissement annuel.

Tendances à l'exportation :

Stimulé par la croissance : Les exportations sont stimulées par l'augmentation de la demande dans les secteurs de l'aérospatiale et de la défense en Europe et aux États-Unis, en particulier les tiges en alliage de tungstène.

Changements régionaux : Les exportations vers l'Europe et les États-Unis augmenteront respectivement de 18,03 % et 46,75 % en 2022, tandis que les exportations vers le Japon et la Corée du Sud diminueront, reflétant l'ajustement de la chaîne industrielle mondiale.

Défi : Les frictions commerciales et les quotas d'exportation freinent l'exportation de produits bas de gamme, et le marché haut de gamme est occupé par des entreprises européennes et américaines, à faible valeur ajoutée.

### **9.2.2 Dépendance à l'égard des importations et statut de la chaîne d'approvisionnement**

Dépendance à l'importation :

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

Chine : Les tiges de tungstène haut de gamme (par exemple, les tiges de tungstène de haute pureté, les électrodes dopées) sont partiellement dépendantes des importations, les importations représentant environ 90 % des exportations, principalement en provenance des États-Unis, de l'Allemagne et du Japon, ce qui reflète le fossé technologique.

L'Europe et les États-Unis : S'appuyant sur les matières premières de tungstène de la Chine, la Chine représentait 83 % de l'approvisionnement mondial en minerai de tungstène en 2022, et le développement des mines locales en Europe et aux États-Unis est lent, ce qui rend difficile l'autosuffisance à court terme.

Japon et Corée du Sud : Fortement dépendants des importations de tiges de tungstène de la Chine, transformées pour l'exportation de produits à haute valeur ajoutée (par exemple, des cibles de semi-conducteurs).

État de la chaîne d'approvisionnement :

Risque de concentration : La chaîne d'approvisionnement mondiale en tungstène est fortement dépendante de la Chine, et le risque de perturbation de la chaîne d'approvisionnement a augmenté en raison de la géopolitique et de la pandémie.

Tentatives de restructuration : L'Europe et les États-Unis accélèrent le développement de mines de tungstène à l'étranger (comme l'Australie et le Vietnam), mais les contraintes de capital et de coût limitent les progrès, et la domination de la Chine est stable à court terme.

Tungstène recyclé : Le taux mondial de recyclage des déchets de tungstène est passé à 30 %, et l'Europe, les États-Unis et la Chine ont promu la chaîne industrielle du tungstène recyclé pour réduire la dépendance aux matières premières.

Prévision des tendances :

Les chaînes d'approvisionnement mondiales se diversifieront, le Vietnam et l'Australie étant susceptibles d'émerger en tant que fournisseurs émergents, mais la Chine restera dominante.

Les pays importateurs augmenteront la recherche et le développement de tiges de tungstène haut de gamme afin de réduire leur dépendance à l'égard de la technologie chinoise.

### 9.3 Tendances au développement technologique des tiges de tungstène

Les progrès technologiques sont à l'origine de la transformation de l'industrie des tiges de tungstène vers des performances élevées, un faible coût et la durabilité, englobant les matériaux, les processus et les méthodes de production.

#### 9.3.1 Nouveaux matériaux et technologies d'alliage

Direction technique :

Tige de tungstène de haute pureté : La pureté a été augmentée à 99,99 % par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) et frittage plasma (SPS) pour répondre aux besoins des semi-conducteurs et de l'aérospatiale.

Optimisation du dopage : Développement de barres de tungstène non dopées au thorium (telles que W-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, W-CeO<sub>2</sub>) pour améliorer la stabilité de l'arc et la protection de l'environnement, et remplacer les électrodes radioactives WT20.

Alliage de tungstène : Recherche et développement d'alliages à haute densité tels que le W-Ni-Fe et

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

le W-Cu pour optimiser la résistance et la conductivité, qui sont utilisés dans l'armée et l'électronique. Nanotechnologie : Les tiges de tungstène nanocristallines sont préparées par broyage à billes et SPS, et la taille des grains est réduite à 5-10  $\mu\text{m}$ , ce qui améliore la ténacité et les performances à haute température.

Progrès et défis :

Progrès : Des entreprises chinoises telles que Xiamen Tungsten ont réalisé la localisation de certaines tiges de tungstène de haute pureté, et la recherche et le développement de nano-tiges de tungstène sont entrés dans la phase pilote.

Défi : Le coût du raffinage et du nanotraitement de haute pureté est élevé, l'équipement dépend des importations et la technologie de base doit être mise à profit.

Prévision des tendances :

Les barres non dopées au thorium et les barres nano-tungstène deviendront courantes, avec une part de marché de 40 % d'ici 2030.

La technologie d'alliage se concentrera sur la multifonctionnalité pour répondre aux nouveaux besoins en énergie et en défense.

### 9.3.2 Fabrication écologique et technologies d'économie d'énergie

Direction technique :

Utilisation du tungstène recyclé : Les déchets de tungstène sont récupérés par hydrométallurgie et électrolyse afin de réduire la dépendance à l'égard de l'extraction du minerai brut, et le taux de récupération devrait atteindre 50 % d'ici 2030.

Frittage à faible consommation d'énergie : Le frittage par micro-ondes et la technologie SPS sont utilisés pour raccourcir le temps de frittage (5 à 15 minutes) et réduire la consommation d'énergie de 30 %.

Production plus propre : développer un procédé de purification sans fluor pour réduire l'utilisation d'acide fluorhydrique et réduire les rejets d'eaux usées.

Traitement des gaz d'échappement : Équipé de systèmes de dépoussiérage et de désulfuration à haut rendement pour répondre aux normes d'émission (par exemple  $\text{SO}_2 < 50 \text{ mg/m}^3$ ).

Progrès et défis :

Progrès : La Chine a mis en place des politiques pour soutenir l'industrie du tungstène recyclé, la production de tungstène recyclé représentant 20 % de l'approvisionnement total en 2023.

Défi : L'investissement initial dans les technologies vertes est élevé, ce qui est difficile à payer pour les petites et moyennes entreprises, et nécessite des subventions politiques.

Prévision des tendances :

La fabrication verte deviendra le seuil d'entrée de l'industrie, et le taux de pénétration des technologies d'économie d'énergie devrait atteindre 80 % d'ici 2030.

Le tungstène recyclé représentera plus de 30 % de l'approvisionnement mondial, ce qui atténuera la pression sur les ressources.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

### 9.3.3 Production intelligente et automatisée

Direction technique :

Contrôle intelligent : les systèmes PLC et SCADA sont utilisés pour surveiller les paramètres de frittage, de forgeage et de traitement en temps réel afin d'améliorer la cohérence.

Équipement d'automatisation : L'introduction de la machine de sertissage rotative CNC, de la machine d'emboutissage automatique et de la chaîne d'assemblage robotisée a augmenté l'efficacité de la production de 20 %.

Jumeau numérique : créez un modèle numérique de la production de tiges de tungstène afin d'optimiser les paramètres du processus et de réduire les coûts d'essais et d'erreurs.

Traçabilité de la qualité : Enregistrez les données de l'ensemble de la chaîne, des matières premières aux produits finis, grâce à la technologie blockchain pour garantir une qualité contrôlable.

Progrès et défis :

Progrès : Des entreprises chinoises de premier plan ont déployé des lignes de production intelligentes, avec un taux d'automatisation de 50 % en 2023.

Défis : Le coût élevé des équipements intelligents, le faible taux de pénétration des petites et moyennes entreprises et la pénurie de talents techniques.

Prévision des tendances :

En 2030, le taux d'automatisation de l'industrie chinoise des tiges de tungstène devrait atteindre 70 %, et l'intelligence remodelera le paysage concurrentiel.

Les jumeaux numériques et la traçabilité de qualité vont devenir la norme sur le marché haut de gamme.

## 9.4 Défis et opportunités des tiges de tungstène

L'industrie des tiges de tungstène est confrontée à de multiples défis en matière de technologie, de marché et de protection de l'environnement dans le développement rapide, et contient en même temps d'énormes opportunités.

### 9.4.1 Goulets d'étranglement et percées techniques

Défi:

Écart technologique haut de gamme : L'équipement de base de la tige de tungstène de haute pureté et de la tige de nano-tungstène (comme le four SPS) dépend des importations, ce qui a un coût élevé et limite la localisation.

Uniformité du dopage : La répartition inégale des dopants aux terres rares affecte les performances de l'arc et le processus de mélange doit être amélioré.

Investissement insuffisant en R-D : Les petites et moyennes entreprises disposent de fonds de R-D limités, et il est difficile de percer à travers les technologies clés.

Occasion:

La localisation s'accélère : le « 14e plan quinquennal » national soutient la recherche et le développement de nouveaux matériaux en tungstène, et le taux de localisation des tiges de tungstène de haute pureté devrait atteindre 80 % en 2025.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Coopération entre l'industrie, l'université et la recherche : les universités et les entreprises s'attaquent conjointement à des problèmes clés pour accélérer la transformation technologique.

Soutien politique : Le gouvernement fournit des subventions à la R&D et des incitations fiscales pour réduire le coût de l'innovation.

Stratégies:

Augmenter la recherche et le développement d'équipements de base et briser la dépendance aux importations.

Mettre en place une plateforme industrie-université-recherche pour accélérer l'itération technologique.

Optimiser le processus de dopage et améliorer les performances du produit.

#### 9.4.2 Concurrence sur le marché et mondialisation

Défi:

Concurrence internationale : les entreprises européennes et américaines dominent le marché haut de gamme, tandis que les entreprises chinoises dominent les produits à faible valeur ajoutée.

Barrières commerciales : Les États-Unis et l'Europe ont imposé des droits de douane sur les produits à base de tungstène, ce qui a affecté la compétitivité des exportations.

Concentration industrielle : les petites et moyennes entreprises sont en retard sur le plan technologique et risquent d'être rachetées ou éliminées.

Occasion:

Demande mondiale : La demande pour l'aérospatiale, les semi-conducteurs et les nouvelles énergies augmente, et le marché mondial devrait atteindre des milliards de dollars d'ici 2030.

« One Belt, One Road » : les entreprises chinoises peuvent développer le marché en Asie du Sud-Est et en Afrique, et exporter des technologies et des capacités de production.

Construction de la marque : Grâce à la mise à niveau technologique, les entreprises chinoises devraient occuper une place sur le marché du milieu et du haut de gamme.

Stratégies:

Valoriser la valeur ajoutée des produits et développer des tiges de tungstène de haute pureté et dopées.

Renforcer la coopération internationale et contourner les barrières commerciales.

Favoriser l'intégration industrielle et renforcer la concentration.

#### 9.4.3 Exigences en matière de protection de l'environnement et de développement durable

Défi:

Pression pour la protection de l'environnement : l'extraction et la fusion du tungstène produisent des eaux usées et des gaz résiduels, et les coûts de protection de l'environnement représentent 20 % des coûts de production.

Objectif de neutralité carbone : le pic des émissions de carbone d'ici 2030 oblige les entreprises à réduire leur consommation d'énergie, et les processus traditionnels sont difficiles à respecter la norme.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Gestion de la radioactivité : Les barres de tungstène dopées au thorium doivent être strictement contrôlées, ce qui augmente le coût de la conformité.

Occasion:

Marché vert : La demande de tiges de tungstène respectueuses de l'environnement (telles que les électrodes sans thorium) augmente et les perspectives de marché sont larges.

Potentiel de tungstène recyclé : La technologie de recyclage des déchets de tungstène est mature et son coût est inférieur à celui de l'extraction du minerai brut.

Dividendes politiques : le gouvernement subventionne les projets de fabrication verte pour réduire le coût de la transformation.

Stratégies:

Promouvoir le tungstène recyclé et les technologies à faible consommation d'énergie pour réduire les coûts de protection de l'environnement.

Développement d'électrodes non dopées au thorium pour répondre aux réglementations environnementales.

Mettre en place un système de gestion de l'empreinte carbone pour répondre à l'objectif de neutralité carbone.



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

CTIA GROUP LTD  
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity  $\geq 99.95\%$ ) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to  $3410^{\circ}\text{C}$ , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm <sup>3</sup>
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ $4.5 \times 10^{-6}$ /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

## Chapitre 10 Conclusions

En tant que matériau métallique réfractaire haute performance, la tige de tungstène joue un rôle irremplaçable dans l'aérospatiale, l'électronique, le soudage, l'industrie militaire et les nouveaux domaines énergétiques en raison de ses excellentes propriétés physiques, chimiques et mécaniques. Ce chapitre résume la valeur fondamentale et les perspectives d'application de la tige de tungstène, se réjouit de son orientation de développement futur, propose des suggestions pour le développement de l'industrie et réfléchit aux limites et aux perspectives de recherche futures de cette recherche.

### 10.1 La valeur fondamentale et les perspectives d'application des barres de tungstène

#### Valeurs fondamentales :

La tige de tungstène est devenue un représentant des principaux matériaux industriels en raison de son point de fusion élevé, de sa haute densité, de son excellente dureté et de sa résistance aux hautes températures et à la corrosion. Ses valeurs fondamentales se reflètent dans les aspects suivants :

**Garantie de haute performance :** la tige de tungstène reste stable dans des environnements extrêmes (tels que les températures élevées, les hautes pressions, les arcs) et répond aux exigences élevées de l'aérospatiale (comme le revêtement des buses), des semi-conducteurs (cible de pulvérisation) et de l'armée (noyau de balle perforant).

**Diversité fonctionnelle :** Les tiges de tungstène pur, les tiges de tungstène de haute pureté et les tiges de tungstène dopées (telles que WC20 et WL20) servent différents scénarios, l'optimisation du dopage améliore les performances de l'arc, l'alliage améliore la résistance et la conductivité.

**Importance stratégique :** Le tungstène est une ressource stratégique rare, la chaîne industrielle des tiges de tungstène implique la sécurité nationale et la fabrication haut de gamme, et la chaîne d'approvisionnement mondiale dépend de la Chine (représentant 83 % de la production), ce qui met en évidence sa valeur géo-économique.

**Potentiel durable :** Les progrès de la technologie du tungstène recyclé et des processus de fabrication écologiques réduisent la consommation de ressources et l'impact environnemental, et améliorent la compétitivité à long terme de l'industrie.

#### Perspectives d'application :

**Aérospatiale :** Avec l'avancement des programmes spatiaux mondiaux (tels que la station spatiale chinoise et le vaisseau spatial de SpaceX), la demande de tiges de tungstène pour les composants à haute température et les contreponds continuera de croître et la part de marché devrait atteindre 20 % d'ici 2030.

**Électronique et semi-conducteurs :** La 5G, les puces d'IA et l'informatique quantique sont à l'origine d'une augmentation de la demande de tiges de tungstène de haute pureté, et le marché cible de pulvérisation et d'électrodes devrait croître à un taux annuel moyen de 8 %.

**Nouvelles énergies :** L'application des barres de tungstène dans l'énergie photovoltaïque (tiges de serrage en silicium monocristallin) et l'énergie éolienne (composants à haute résistance) s'est développée, bénéficiant de l'objectif mondial de neutralité carbone, et le potentiel du marché est important.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Soudage et fabrication : Les électrodes en tungstène dopées sont largement utilisées dans les industries de l'automobile, de la construction navale et de la construction, et la demande ne cesse de croître avec la mise à niveau de la fabrication haut de gamme.

Militaire et médical : La demande de tiges en alliage de tungstène dans les noyaux de perforation d'armure et les pièces de protection contre les radiations est stimulée par la modernisation de la défense mondiale et le renouvellement des équipements médicaux, et les perspectives du marché sont robustes.

## 10.2 Orientation du développement futur des tiges de tungstène

### Innovation technologique :

Haute pureté et nanotechnologie : Améliorez la pureté des tiges de tungstène à plus de 99,99 % et développez des tiges de tungstène nanocristallines (granulométrie de 5 à 10  $\mu\text{m}$ ) pour améliorer la ténacité et les performances à haute température afin de répondre aux besoins des semi-conducteurs et de l'aérospatiale.

Électrodes non dopées au thorium : Recherche et développement de tiges de tungstène dopées respectueuses de l'environnement (telles que  $\text{W-La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{W-CeO}_2$ ) pour remplacer les électrodes radioactives WT20 afin d'améliorer la stabilité de l'arc et l'acceptation par le marché.

Nouvel alliage de tungstène : Optimisez la formule du W-Ni-Fe, du W-Cu et d'autres alliages, équilibrez la résistance, la conductivité et la protection de l'environnement, et élargissez les applications militaires et électroniques.

Fabrication écologique : Promouvoir le frittage par micro-ondes, le frittage par plasma (SPS) et les processus de purification sans fluor, réduire la consommation d'énergie de 30 % et réduire les émissions d'eaux usées et de gaz d'échappement.

Production intelligente : intégrez le jumeau numérique, le contrôle PLC et la technologie de traçabilité blockchain pour améliorer l'efficacité de la production de 20 % et réaliser une gestion de la qualité tout au long de la chaîne.

### Expansion du marché :

Percée sur le marché haut de gamme : augmenter la recherche et le développement de tiges de tungstène de haute pureté et d'électrodes dopées, saisir le marché haut de gamme en Europe, en Amérique, au Japon et en Corée du Sud, et réduire la dépendance aux importations.

Développement des marchés émergents : Grâce à l'initiative « Belt and Road », élargir le marché en Asie du Sud-Est, en Afrique et en Amérique du Sud, et exporter la technologie et la capacité de production de tiges de tungstène.

Applications diversifiées : Explorer de nouvelles utilisations des tiges de tungstène dans de nouvelles sources d'énergie (p. ex., dispositifs à hydrogène), biomédicales (p. ex., outils chirurgicaux de haute précision) et technologies quantiques.

### Optimisation de la chaîne d'approvisionnement :

Utilisation du tungstène recyclé : augmenter le taux de recyclage des déchets de tungstène à 50 %, construire un modèle d'économie circulaire et alléger la pression sur les ressources.

Approvisionnement diversifié : Soutenir le développement de mines de tungstène émergentes au Vietnam et en Australie, et réduire le risque de concentration dans la chaîne d'approvisionnement

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

mondiale.

Coopération régionale : Renforcer la coopération technique et commerciale avec le Japon, la Corée du Sud et l'Union européenne afin d'éviter les influences géopolitiques.

#### **Politiques et normes :**

Formulation de normes internationales : Promouvoir des normes internationales dirigées par la Chine pour les barres de tungstène (telles que la mise à jour ISO 24370) afin d'améliorer le discours mondial.

Réglementation environnementale renforcée : Des normes d'émission et de recyclage plus strictes ont été établies pour promouvoir la transformation verte de l'industrie.

Politiques de soutien à l'industrie : développer les subventions à la R&D et les incitations fiscales, encourager l'innovation technologique et la mise à niveau des petites et moyennes entreprises.

### **10.3 Recommandations pour le développement de l'industrie**

#### **Au niveau de l'entreprise :**

Augmenter les investissements en R&D : se concentrer sur les barres de tungstène de haute pureté, les nanotechnologies et les procédés de dopage sans thorium, briser la dépendance à l'égard des importations d'équipements de base (tels que les fours SPS) et recommander que la R&D représente 5 à 8 % du chiffre d'affaires.

Promouvoir la transformation intelligente : déployer des équipements CNC et des systèmes SCADA, construire des lignes de production intelligentes et atteindre un taux d'automatisation de plus de 50 % d'ici 2025, en réduisant les coûts de main-d'œuvre et en améliorant la cohérence.

Renforcer la construction de la marque : Améliorer la compétitivité des marques chinoises de tiges de tungstène sur le marché haut de gamme grâce à des expositions internationales (telles que la Foire de Hanovre) et des certifications (telles que ISO 9001).

Approfondir l'intégration de la chaîne industrielle : par le biais de fusions-acquisitions ou de coopérations, intégrer les ressources des petites et moyennes entreprises, renforcer la concentration industrielle et optimiser l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement, du minerai aux produits finis.

Aménagement de l'industrie du tungstène recyclé : Investir dans l'hydrométallurgie et la technologie de récupération électrolytique, augmenter la proportion de la production de tungstène recyclé à 30 % d'ici 2025 et réduire le coût des matières premières.

#### **Au niveau gouvernemental :**

Améliorer le soutien politique : introduire un fonds spécial pour soutenir la recherche et le développement de nouveaux matériaux en tungstène et la fabrication verte, et prolonger la réduction et l'exonération fiscales pour les petites et moyennes entreprises jusqu'en 2030.

Renforcer la gestion des ressources : optimiser les quotas d'extraction de tungstène, encourager l'utilisation de tungstène recyclé et réduire l'extraction de minerai brut de 20 % d'ici 2030.

Promouvoir la coopération internationale : Par le biais de l'initiative « Belt and Road », établir une alliance internationale des ressources en tungstène afin d'accroître la production technologique et la part de marché.

Renforcer la surveillance environnementale : Formuler des normes d'émission de tungstène pour les fonderies (telles que  $SO_2 < 30 \text{ mg/m}^3$ ), limiter la production des entreprises très polluantes et

#### **Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**

promouvoir la transformation verte de l'industrie.

Soutenir la collaboration entre l'industrie, l'université et la recherche : Financer des laboratoires conjoints d'universités et d'entreprises (comme l'Université Tsinghua et Xiamen Tungsten) afin d'accélérer la transformation technologique et de réaliser 10 percées technologiques clés d'ici 2025.

**Au niveau des associations professionnelles :**

Formuler des normes industrielles : réviser les normes de production et d'essai des tiges de tungstène (telles que GB/T 4187) pour les intégrer aux normes internationales et améliorer la qualité des produits.

Construire une plate-forme de communication : Organisez un forum annuel sur l'industrie du tungstène pour promouvoir la coopération entre les entreprises, les universités et les gouvernements, et partager l'expérience de la fabrication verte et de l'intelligent.

Effectuer des études de marché : Publiez régulièrement des rapports sur le marché mondial des tiges de tungstène pour guider les entreprises dans la cartographie précise des marchés émergents.



CTIA GROUP LTD Barres de tungstène

## Appendice

### A. Glossaire

**Tige de tungstène** : Un matériau semblable à une tige avec du tungstène ou ses alliages comme composant principal, généralement préparé par un procédé de métallurgie des poudres.

**Métallurgie des poudres** : Le processus de préparation des matériaux par mélange, pressage et frittage de poudres métalliques.

**Coefficient de dilatation thermique** : La vitesse à laquelle le volume ou la longueur d'un matériau change en fonction de la température.

**Haute densité** : Fait référence à la structure interne compacte du matériau et à la faible porosité, qui est généralement liée à une résistance élevée.

**Frittage** : Le processus de combinaison de particules de poudre métallique en un matériau solide à haute température.

**Forgeage à chaud** : Forgeage d'un métal à haute température pour modifier sa forme et ses propriétés.

**Forgeage rotatif** : Le processus de traitement du métal par rotation et pression, adapté à la production de barres.

**Extrusion à chaud** : Le processus d'extrusion du métal à travers un moule à haute température.

**Alliage de tungstène** : Un matériau composite avec du tungstène comme matrice et l'ajout de nickel, de fer, de cuivre et d'autres éléments.

**Tige de tungstène dopée** : Une tige de tungstène qui améliore ses propriétés en ajoutant des terres rares ou d'autres éléments.

**Résistance à la corrosion** : La capacité d'un matériau à résister aux attaques chimiques.

**Conductivité thermique** : La capacité d'un matériau à conduire la chaleur.

**Conductivité électrique** : La capacité d'un matériau à conduire un courant électrique.

**Résistance au fluage** : La capacité d'un matériau à résister à la déformation à des températures élevées et à des contraintes constantes.

**Essais non destructifs** : Méthode permettant de tester les performances et les défauts d'un matériau sans endommager sa structure.

**ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)** : Un instrument pour l'analyse des éléments traces dans les matériaux.

**MEB/MET (Microscopie Electronique à Balayage/Transmission)** : Technique de microscopie utilisée pour observer la microstructure des matériaux.

**RWMA (Resistance Welding Manufacturers' Association)** : Resistance Welding Manufacturers Association, qui élabore des normes relatives aux matériaux en tungstène.

### B. Références

[1] ASTM E8-21, Norme pour les essais de traction des matériaux métalliques, American Society for Testing and Materials, 2021.

[2] ISO 6892-1:2019, Essais de traction sur matériaux métalliques à température ambiante, Organisation internationale de normalisation, 2019.

[3] GB/T 4187-2017, Tige de tungstène, Norme nationale, 2017.

[4] GB/T 3459-2017, Tungstène et produits en alliage de tungstène, Norme nationale, 2017.

#### Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- [5] YS/T 695-2009, Électrodes en tungstène, norme industrielle pour les métaux non ferreux, 2009.
- [6] Association internationale du tungstène, Guide technique des essais de matériaux en tungstène, 2023.
- [7] Association chinoise de l'industrie du tungstène, Spécification de contrôle de la qualité des tiges de tungstène, 2022.
- [8] AWS A5.12, Spécification pour les électrodes de tungstène et de tungstène dopées à l'oxyde pour le soudage à l'arc, American Welding Association, 2009.
- [9] JIS Z 3211-2008, Électrodes en tungstène, norme industrielle japonaise, 2008.
- [10] DIN EN 26848, Tungstène et produits en alliage de tungstène, Institut européen de normalisation, 1991.
- [11] YS/T 695-2017, Électrodes en tungstène, norme industrielle pour les métaux non ferreux, 2017.
- [12] ASTM B760-07, Standard Specification for Tungsten Sheets, Sheets, and Foils, ASTM International, 2007.
- [13] ISO 24370:2005, Céramiques fines et métaux réfractaires, Organisation internationale de normalisation, 2005.
- [14] Yih, S. W. H., & Wang, C. T., Tungstène : sources, métallurgie, propriétés et applications, Plenum Press, 1979.
- [15] Coolidge, W. D., Le développement du tungstène ductile, Transactions de l'American Institute of Electrical Engineers, 1910.
- [16] U.S. Geological Survey, Le tungstène : un métal stratégique, 2018.
- [17] Lassner, E., & Schubert, W. D., Tungstène : propriétés, chimie, technologie de l'élément, alliages et composés chimiques, Springer, 1999.
- [18] Commission européenne, Matières premières critiques pour les technologies et les secteurs stratégiques dans l'UE, 2020.
- [19] ASTM B760-07, Standard Specification for Tungsten Plate, Sheet, and Feul, ASTM International, 2007.
- [20] AWS A5.12, Spécification pour les électrodes de tungstène dispersées de tungstène et d'oxyde pour le soudage à l'arc, American Welding Society, 2009.

**Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale**