

Encyclopédie des tiges de cuivre et 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

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2025 version
www.ctia.com.cn

Tel: 0086 592 512 9696
CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2025V
sales@chinatungsten.com

PRÉSENTATION DU GROUPE CTIA

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

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

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

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



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD
Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

Annuaire

Chapitre 1 Présentation de la tige de cuivre tungstène

- 1.1 Définition et concepts de base de la tige de cuivre tungstène
- 1.2 Historique du développement et évolution technologique des matériaux composites tungstène-cuivre
- 1.3 Le statut et le rôle de la tige de cuivre-tungstène dans le système matériel
- 1.4 État de la recherche et de l'application des matériaux en cuivre tungstène au pays et à l'étranger

Chapitre 2 Principaux types de tiges de cuivre et de tungstène

- 2.1 Classification par rapport tungstène-cuivre
 - 2.1.1 Tige de cuivre tungstène W-Cu 50/50
 - 2.1.2 Tige de cuivre tungstène W-Cu 70/30
 - 2.1.3 Tige de cuivre tungstène W-Cu 75/25
 - 2.1.4 Tige de cuivre tungstène W-Cu 80/20
 - 2.1.5 Tige de cuivre tungstène W-Cu 85/15
 - 2.1.6 Tige de cuivre tungstène W-Cu 90/10
 - 2.1.7 Tige de cuivre tungstène à rapport spécial
- 2.2 Classification par domaine d'application
 - 2.2.1 Tige de cuivre tungstène pour applications électriques et électroniques
 - 2.2.1.1 Interrupteurs haute tension et contacts d'arc
 - 2.2.1.2 Électrode de décharge et électrode de bougie d'allumage
 - 2.2.1.3 Emballages semi-conducteurs et connecteurs conducteurs
 - 2.2.2 Tige en cuivre et tungstène pour la dissipation et la gestion thermique
 - 2.2.2.1 Dissipateurs thermiques pour microélectronique et circuits intégrés
 - 2.2.2.2 Substrats de dissipation thermique pour lasers et dispositifs haute puissance
 - 2.2.2.3 Composants de refroidissement aérospatiaux
 - 2.2.3 Tige de cuivre tungstène pour applications militaires et aérospatiales
 - 2.2.3.1 Canons électromagnétiques et matériaux de blindage protecteur
 - 2.2.3.2 Électrodes et composants pour armes à haute énergie
 - 2.2.3.3 Composants de la tuyère de fusée et du système de propulsion
 - 2.2.4 Tige de cuivre tungstène pour l'industrie des machines et des moules
 - 2.2.4.1 Électrode pour l'usinage par décharge électrique (EDM)
 - 2.2.4.2 Matrices d'emboutissage et pièces résistantes à l'usure
 - 2.2.5 Tige de cuivre tungstène pour applications de recherche médicale et scientifique
 - 2.2.5.1 Électrodes médicales et sondes spéciales
 - 2.2.5.2 Expériences de physique des hautes énergies et applications à l'industrie nucléaire

Chapitre 3 Technologie de préparation et de production de tiges de cuivre et de tungstène

- 3.1 Préparation des matières premières
 - 3.1.1 Préparation et exigences de qualité de la poudre de tungstène
 - 3.1.2 Préparation et caractéristiques du cuivre électrolytique
 - 3.1.3 Effet de la taille, de la morphologie et de la pureté de la poudre de tungstène sur le procédé

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 3.2 Procédé de formage d'une préforme à base de tungstène
 - 3.2.1 Pressage (pressage uniaxial, pressage isostatique)
 - 3.2.2 Densification par frittage (atmosphère sous vide ou hydrogène)
 - 3.2.3 Contrôle de la porosité et de la connectivité des préformes
- 3.3 Procédé d'infiltration sous vide
 - 3.3.1 Principes de base de l'infiltration sous vide
 - 3.3.2 Structure et principe de fonctionnement du four d'infiltration
 - 3.3.3 Température d'infiltration du cuivre, degré de vide et dynamique d'infiltration
 - 3.3.4 Réaction d'interface et évolution de la microstructure lors de l'infiltration
 - 3.3.5 Uniformité de l'infiltration et contrôle de la qualité
- 3.4 Post-traitement et usinage
 - 3.4.1 Traitement thermique et soulagement des contraintes
 - 3.4.2 Usinage de précision et contrôle dimensionnel
 - 3.4.3 Technologie de modification de surface et de revêtement
- 3.5 Exploration de nouveaux processus
 - 3.5.1 Préforme en cuivre nano-tungstène et technologie d'infiltration de cuivre ultrafine
 - 3.5.2 Combinaison de l'infiltration sous vide et de la fabrication additive
 - 3.5.3 Processus d'optimisation à haute uniformité et faible porosité

Chapitre 4 Propriétés physiques et chimiques de la tige de cuivre tungstène

- 4.1 Propriétés physiques de base de la tige de cuivre tungstène
 - 4.1.1 Densité et gravité spécifique de la tige de cuivre tungstène
 - 4.1.2 Point de fusion et stabilité thermique de la tige de cuivre tungstène
 - 4.1.3 Coefficient de dilatation thermique et conductivité thermique de la tige de cuivre tungstène
 - 4.1.4 Conductivité et résistivité de la tige de cuivre tungstène
- 4.2 Propriétés mécaniques de la tige de cuivre tungstène
 - 4.2.1 Dureté et résistance de la tige de cuivre tungstène
 - 4.2.2 Ductilité et ténacité de la tige de cuivre tungstène
 - 4.2.3 Résistance à l'usure et aux chocs de la tige de cuivre tungstène
- 4.3 Propriétés chimiques de la tige de cuivre tungstène
 - 4.3.1 Résistance à l'oxydation et à la corrosion de la tige de cuivre tungstène
 - 4.3.2 Stabilité chimique à haute température de la tige de cuivre tungstène
 - 4.3.3 Compatibilité de la tige de cuivre tungstène avec d'autres métaux
- 4.4 Microstructure et caractéristiques organisationnelles de la tige de cuivre tungstène
 - 4.4.1 Structure cristalline et composition de phase de la tige de cuivre tungstène
 - 4.4.2 Caractéristiques de distribution des phases de tungstène et de cuivre
 - 4.4.3 Mécanisme de liaison d'interface et analyse de la microstructure
- 4.5 Fiche de données de sécurité (FS) de la tige de tungstène en cuivre fabriquée par la société chinoise Tungstène

Chapitre 5 Principaux domaines d'application de la tige de cuivre tungstène

- 5.1 Électricité et électronique
- 5.2 Industrie aérospatiale et de défense

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 5.3 Industrie des machines et des moules
- 5.4 Dispositifs de gestion thermique et de dissipation de chaleur
- 5.5 Autres domaines d'application

Chapitre 6 Équipement de production et contrôle du processus de fabrication des tiges de cuivre et de tungstène

- 6.1 Équipement de préparation et de formage de poudre
- 6.2 Équipement de frittage sous vide et de préparation de préformes
- 6.3 Équipement d'infiltration sous vide (noyau)
- 6.4 Équipement de post-traitement et d'usinage
- 6.5 Équipement de test et de contrôle qualité

Chapitre 7 Méthodes d'inspection et d'évaluation de la qualité des tiges de cuivre et de tungstène

- 7.1 Inspection de l'apparence et des dimensions de la tige de cuivre tungstène
- 7.2 Test des propriétés physiques de la tige de cuivre tungstène
- 7.3 Essai des propriétés mécaniques de la tige de cuivre tungstène
- 7.4 Test des propriétés chimiques de la tige de cuivre tungstène
- 7.5 Analyse de la microstructure et de la structure de la tige de cuivre et de tungstène
- 7.6 Comparaison des normes et méthodes de test internationales couramment utilisées

Chapitre 8 Normes et spécifications pour les tiges de cuivre et de tungstène

- 8.1 Normes nationales et industrielles chinoises pour les tiges de cuivre et de tungstène
- 8.2 Normes internationales pour les tiges de cuivre tungstène (ISO, ASTM, IEC, etc.)
- 8.3 Normes américaines pour les tiges de cuivre tungstène (ASTM, ANSI, SAE)
- 8.4 Normes européennes pour les tiges de cuivre tungstène (EN, DIN, BS)
- 8.5 Norme japonaise (JIS) pour les tiges de cuivre et de tungstène
- 8.6 Comparaison et analyse d'applicabilité des normes relatives aux tiges de cuivre et de tungstène

Chapitre 9 Optimisation des performances de la tige de cuivre tungstène

- 9.1 Effet du rapport d'alliage sur les propriétés
 - 9.1.1 Rapport tungstène-cuivre et conductivité électrique et thermique
 - 9.1.2 Rapport tungstène-cuivre et propriétés mécaniques
 - 9.1.3 Rapport tungstène-cuivre et coefficient de dilatation thermique
 - 9.1.4 Stratégie d'optimisation
- 9.2 Traitement thermique et amélioration des performances
 - 9.2.1 Recuit
 - 9.2.2 Traitement de solution et traitement de vieillissement
 - 9.2.3 Pressage isostatique à chaud (HIP)
 - 9.2.4 Remarques
- 9.3 Relation entre la microstructure et les propriétés
 - 9.3.1 Taille et distribution des particules de tungstène
 - 9.3.2 Relation entre la microstructure et les propriétés

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 9.3.3 État de liaison de l'interface
- 9.3.4 Technologie d'analyse de la microstructure
- 9.4 Optimisation de la résistance à l'usure et à la corrosion
 - 9.4.1 Optimisation de la résistance à l'usure
 - 9.4.2 Optimisation de la résistance à la corrosion
 - 9.4.3 Cas d'optimisation complet
 - 9.4.4 Remarques

Chapitre 10 Guide de sélection et d'utilisation des tiges de cuivre et de tungstène

- 10.1 Comment choisir la bonne tige de cuivre tungstène
 - 10.1.1 Clarifier les scénarios d'application et les exigences de performance
 - 10.1.2 Comprendre les spécifications et les normes de la tige de cuivre tungstène
 - 10.1.3 Évaluation de la fiabilité des fournisseurs
 - 10.1.4 Exigences personnalisées
 - 10.1.5 Équilibre entre coûts et performances
 - 10.1.6 Recommandations relatives au processus d'achat
- 10.2 Précautions de stockage et de transport
 - 10.2.1 Environnement de stockage
 - 10.2.2 Exigences d'emballage
 - 10.2.3 Précautions de transport
 - 10.2.4 Stockage et transport dans des scénarios particuliers
- 10.3 Entretien et soins pendant l'utilisation
 - 10.3.1 Maintenance pendant le traitement
 - 10.3.2 Maintenance pendant le fonctionnement
 - 10.3.3 Stockage et réutilisation
 - 10.3.4 Dossiers de maintenance
- 10.4 Problèmes courants et solutions
 - 10.4.1 Oxydation de surface
 - 10.4.2 Érosion par arc
 - 10.4.3 Traitement des fissures
 - 10.4.4 Diminution de la conductivité
 - 10.4.5 Inadéquation de la dilatation thermique
 - 10.4.6 Déformation de stockage
 - 10.4.7 Analyse de cas

Chapitre 11 Tendances du marché et du développement des tiges de cuivre et de tungstène

- 11.1 Aperçu de la chaîne industrielle mondiale des matériaux tungstène-cuivre
- 11.2 Analyse de la structure de la demande du marché et des parts d'application
- 11.3 Tendances de développement futures des tiges de cuivre et de tungstène
 - 11.3.1 Haute performance et nanotechnologie
 - 11.3.2 Préparation verte et développement durable
 - 11.3.3 Orientations d'application émergentes

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Appendice

A. Glossaire

B. Références



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2025 version
www.ctia.com.cn

Tel: 0086 592 512 9696
CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2025V
sales@chinatungsten.com

Chapitre 1 Présentation de la tige de cuivre tungstène

1.1 Définition et concepts de base de la tige de cuivre tungstène

La barre de tungstène-cuivre est un matériau composite métallique composé de tungstène (W) et de cuivre (Cu), généralement avec du tungstène comme matrice et du cuivre comme composant secondaire, produite selon un procédé spécifique. La teneur en cuivre de la barre de tungstène-cuivre est généralement comprise entre 10 % et 50 %, le ratio spécifique étant déterminé par les exigences de l'application. Ce matériau allie le point de fusion élevé, la dureté élevée, la densité élevée et la résistance à l'usure du tungstène à l'excellente conductivité électrique et thermique du cuivre, ce qui lui confère des propriétés physiques et chimiques uniques. En raison de la différence significative entre les points de fusion du tungstène et du cuivre (le point de fusion du tungstène est d'environ 3 410 °C et celui du cuivre d'environ 1 083 °C) et de leur immiscibilité, la barre de tungstène-cuivre ne peut être produite par les méthodes de moulage traditionnelles. La métallurgie des poudres est généralement utilisée, comprenant le mélange, le pressage, le frittage et l'infiltration de cuivre.

Les propriétés de base de la tige de cuivre tungstène comprennent :

Conductivité électrique et thermique élevée : La conductivité électrique et thermique élevée du cuivre confère aux tiges de cuivre tungstène une excellente conductivité électrique et thermique, ce qui les rend largement utilisées dans les domaines électriques et électroniques.

Résistance aux hautes températures : Le point de fusion élevé et la résistance à haute température du tungstène permettent aux tiges de cuivre-tungstène de maintenir une stabilité structurelle dans des environnements à températures extrêmement élevées. Surtout au-dessus de 3 000 °C, le cuivre se liquéfie et s'évapore, absorbant une grande quantité de chaleur et abaissant la température de surface du matériau. C'est pourquoi les tiges de cuivre-tungstène sont également appelées « matériaux à ressuage métallique ».

Faible coefficient de dilatation thermique : la faible propriété de dilatation thermique du tungstène permet à la tige de cuivre tungstène d'avoir une bonne stabilité dimensionnelle dans un environnement à haute température.

Dureté et résistance à l'usure élevées : La dureté et la résistance à l'usure élevées du tungstène confèrent aux tiges de cuivre tungstène d'excellentes propriétés mécaniques, les rendant adaptées à la fabrication de pièces et de moules résistants à l'usure.

Bonnes performances de rupture d'arc : la tige en cuivre tungstène fonctionne bien dans un environnement d'arc haute tension et convient à une utilisation comme matériau de contact électrique et électrode.

Les procédés de fabrication courants des barres de cuivre-tungstène comprennent la métallurgie des poudres, le pressage isostatique à chaud et l'infiltration. La métallurgie des poudres consiste à mélanger de la poudre de tungstène et de cuivre de haute pureté dans un rapport spécifique, puis à effectuer un pressage isostatique, un frittage à haute température et une infiltration de cuivre. Cette méthode garantit l'homogénéité de la structure interne du matériau tout en optimisant ses propriétés électriques, thermiques et mécaniques.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

1.2 Historique du développement et évolution technologique des matériaux composites tungstène-cuivre

Le développement des matériaux composites tungstène-cuivre a débuté au début du XXe siècle. Face à la demande croissante de l'industrie en matériaux hautes performances, les alliages tungstène-cuivre ont progressivement attiré l'attention. Voici les principales étapes de leur développement et de leur évolution technologique :

1.2.1 Premières explorations (du début du XXe siècle aux années 1950)

Le développement des composites tungstène-cuivre répond au besoin de matériaux de contact électrique hautes performances. Au début du XXe siècle, le développement rapide des industries électrique et électronique a imposé des exigences accrues en matériaux à haute conductivité et à haute résistance thermique. Un seul métal ne pouvant répondre simultanément à ces exigences, les scientifiques ont commencé à explorer les composites tungstène-cuivre. Les premiers matériaux tungstène-cuivre étaient principalement produits par mélange mécanique de poudres de tungstène et de cuivre, suivi d'un pressage et d'un frittage. Cependant, en raison des limites du procédé, l'uniformité et la stabilité des performances du matériau étaient médiocres.

1.2.2 Maturité de la technologie de la métallurgie des poudres (des années 1950 aux années 1980)

Au milieu du XXe siècle, les progrès de la métallurgie des poudres ont apporté un soutien technique au développement des composites tungstène-cuivre. Les chercheurs ont optimisé le rapport de mélange des poudres de tungstène et de cuivre, la granulométrie et le procédé de frittage, améliorant ainsi considérablement la conductivité électrique et les propriétés mécaniques du matériau. L'introduction de l'infiltration de cuivre a encore amélioré la densité et l'uniformité des composites tungstène-cuivre. Durant cette période, les matériaux tungstène-cuivre ont commencé à être utilisés dans les contacts électriques, les électrodes de soudage par résistance et les composants aérospatiaux.

1.2.3 Introduction de nouvelles technologies (des années 1980 aux années 2000)

Avec les progrès de la science des matériaux, de nouveaux procédés de préparation, tels que le pressage isostatique à chaud, le frittage plasma et le frittage laser, ont été introduits dans la fabrication des composites tungstène-cuivre. Ces technologies ont considérablement amélioré la densité et la constance des performances des matériaux. Par exemple, le pressage isostatique à chaud, qui consiste à comprimer la poudre de tungstène-cuivre à haute température et pression, permet de produire des tiges de tungstène-cuivre haute densité adaptées aux applications de conditionnement électronique de haute précision et à l'aérospatiale. De plus, l'application des nanotechnologies a permis de réduire encore la taille des particules des poudres de tungstène et de cuivre, améliorant ainsi la microstructure et les propriétés du matériau.

1.2.4 Technologie moderne et applications diversifiées (des années 2000 à aujourd'hui)

Depuis le XXIe siècle, la recherche et l'application des composites tungstène-cuivre sont entrées dans une nouvelle phase. Avec l'essor des technologies de fabrication avancées (telles que la fabrication additive et la micro-nanofabrication), les performances des tiges tungstène-cuivre ont été optimisées et leurs domaines d'application se sont élargis. Par exemple, l'introduction de

l'impression 3D a permis la production de composants de formes complexes à partir de composites tungstène-cuivre pour répondre aux besoins spécifiques des industries aérospatiale et nucléaire. Par ailleurs, les chercheurs ont développé des systèmes d'alliages présentant différents ratios tungstène-cuivre pour différents scénarios d'application. Par exemple, une teneur élevée en tungstène (70 à 90 %) est utilisée pour les applications exigeant une dureté et une résistance à l'usure élevées, tandis qu'une faible teneur en tungstène (50 à 70 %) est privilégiée pour les applications exigeant une conductivité électrique plus élevée.

1.2.5 Tendances de développement futures

À l'avenir, le développement des matériaux composites tungstène-cuivre se concentrera sur les aspects suivants :

Fabrication verte : Développer des procédés de préparation à faible consommation d'énergie et à faible pollution, tels que la technologie de projection à froid et la technologie de métallurgie des poudres vertes.

Optimisation des performances : en dopant avec des éléments de terres rares ou d'autres oligo-éléments, les propriétés mécaniques et électrothermiques des matériaux en cuivre tungstène peuvent être encore améliorées.

Application intelligente : Associés à une technologie de fabrication intelligente, nous développons des matériaux composites tungstène-cuivre dotés de propriétés adaptatives pour répondre aux besoins des appareils électroniques et des équipements énergétiques de nouvelle génération.

1.3 Le statut et le rôle de la tige de cuivre tungstène dans le système matériel

Dans le système de matériaux moderne, la tige de tungstène-cuivre, en tant que matériau composite haute performance, occupe une place importante. Sa combinaison unique de propriétés la rend indispensable dans de nombreux domaines de haute technologie. Ses principales fonctions sont les suivantes :

1.3.1 Domaine électrique et électronique

Grâce à leur excellente conductivité électrique et à leur résistance à l'usure, les tiges de cuivre tungstène sont largement utilisées dans la fabrication de matériaux de contact électrique, d'électrodes de soudage par résistance et de matériaux d'encapsulation électronique. Par exemple, dans les appareillages de commutation haute tension, les tiges de cuivre tungstène servent de contacts électriques et résistent aux hautes tensions et aux arcs électriques, garantissant ainsi la stabilité et la durabilité de l'équipement. Dans le domaine de l'encapsulation électronique, leur faible coefficient de dilatation thermique et leur conductivité thermique élevée en font un matériau idéal pour les substrats de dissipation thermique des semi-conducteurs.

1.3.2 Industrie aérospatiale et de défense

La résistance à haute température et à l'usure des tiges de cuivre tungstène en fait des applications importantes dans l'industrie aérospatiale. Par exemple, dans les moteurs d'avion et les engins spatiaux, elles sont utilisées pour fabriquer des composants thermoconducteurs haute température et des pièces résistantes à l'usure, capables de maintenir des performances stables dans des

environnements extrêmes. De plus, leur densité élevée les rend idéales pour la fabrication de noyaux de projectiles perforants et de composants de contrepoids dans l'industrie de la défense.

1.3.3 Usinage et fabrication de moules

La résistance à l'usure et la conductivité thermique de la tige de cuivre tungstène en font un matériau idéal pour la fabrication d'outils de coupe, de matrices d'emboutissage et de moules de coulée sous pression. Par exemple, dans les moules de coulée sous pression en alliage d'aluminium, la tige de cuivre tungstène est utilisée comme noyau et comme buse, ce qui permet de prolonger considérablement la durée de vie du moule et d'améliorer la qualité du produit.

1.3.4 Industrie nucléaire et énergie

Dans les réacteurs à fusion nucléaire, les tiges de cuivre tungstène servent de dissipateurs thermiques pour les divertoires, capables de supporter les charges thermiques et le bombardement de particules dans des environnements à haute température et haute pression. De plus, elles entrent dans la fabrication de caloducs et de composants de dissipation thermique, améliorant ainsi l'efficacité et la durée de vie des équipements nucléaires et des fours industriels à haute température.

1.3.5 Autres domaines

Les tiges de cuivre tungstène sont également largement utilisées dans les matériaux de friction (comme les plaquettes de frein), les équipements chimiques (comme les composants thermoconducteurs résistants à la corrosion) et les équipements médicaux (comme les composants de protection contre les radiations). Leur polyvalence et leurs hautes performances en font un matériau indispensable.

1.4 État de la recherche et de l'application des matériaux en cuivre tungstène au pays et à l'étranger

1.4.1 État actuel de la recherche et de l'application nationales

La Chine est le pays possédant les plus riches ressources en tungstène au monde et dispose d'atouts considérables dans la recherche et la production de matériaux tungstène-cuivre. Ces dernières années, les instituts de recherche et les entreprises nationales ont réalisé d'importants progrès dans le domaine des matériaux composites tungstène-cuivre :

Progrès de la recherche : Des universités et des instituts de recherche nationaux (tels que l'Université Tsinghua, l'Université du Centre-Sud et l'Institut de recherche sur les métaux de l'Académie chinoise des sciences) ont mené des recherches approfondies sur la préparation, l'optimisation des performances et l'analyse microstructurale des matériaux tungstène-cuivre. Par exemple, le dopage aux terres rares (comme le lanthane et le cérium) a amélioré les propriétés mécaniques et la résistance à l'oxydation des matériaux tungstène-cuivre. De plus, de nouvelles techniques de préparation (comme le frittage plasma et le frittage micro-ondes) ont considérablement amélioré la densité et l'uniformité des performances des tiges tungstène-cuivre.

État d'application : En Chine, les tiges de cuivre tungstène sont largement utilisées dans les secteurs de l'énergie électrique, de l'électronique, de l'aérospatiale et de l'usinage. Par exemple, les tiges de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

cuivre tungstène hautes performances sont utilisées dans les matériaux de contact électrique, les électrodes de soudage par résistance et les substrats d'emballage électronique. Différentes nuances d'alliages de cuivre tungstène (telles que WCu10, WCu20 et WCu30) ont également été développées en Chine pour répondre à divers besoins d'application.

Avantages industriels : la Chine dispose d'une chaîne industrielle complète du tungstène, de l'extraction du minerai de tungstène à la production de tiges de cuivre et de tungstène, formant une forte compétitivité industrielle.

1.4.2 État actuel de la recherche et de l'application à l'étranger

Les pays étrangers ont commencé très tôt à rechercher et à appliquer des matériaux à base de cuivre et de tungstène, en particulier en Europe, en Amérique et au Japon, où les technologies concernées sont relativement matures :

Progrès de la recherche : Les États-Unis, le Japon et l'Allemagne sont à la pointe de la préparation et de l'optimisation des performances des matériaux composites tungstène-cuivre. Par exemple, aux États-Unis, CBMM a développé des tiges tungstène-cuivre hautes performances destinées à l'aérospatiale et à la défense. Le Japon, grâce aux nanotechnologies et aux procédés de frittage de précision, a produit des matériaux tungstène-cuivre haute densité, largement utilisés dans l'encapsulation des semi-conducteurs. Les instituts de recherche allemands se concentrent sur l'application des matériaux tungstène-cuivre à la fusion nucléaire, en développant des matériaux composites tungstène-cuivre adaptés aux dissipateurs thermiques des divertors.

Statut d'application : À l'étranger, les tiges de cuivre tungstène sont principalement utilisées dans les appareils électroniques de haute précision, les composants aérospatiaux et les équipements de l'industrie nucléaire. Par exemple, aux États-Unis, elles servent à la fabrication de radiateurs de satellites et de composants de missiles, tandis que les matériaux japonais en cuivre tungstène sont utilisés dans les boîtiers électroniques haut de gamme et les électrodes de soudage par résistance. En Europe, elles sont largement utilisées comme dissipateurs thermiques dans la recherche sur la fusion nucléaire, notamment dans le cadre du projet ITER.

Caractéristiques techniques : Les entreprises étrangères privilégient de plus en plus la production de composants de haute précision et de formes complexes pour la préparation des matériaux en cuivre tungstène. Par exemple, la fabrication additive permet aux entreprises étrangères de produire des composants en cuivre tungstène aux géométries complexes. De plus, les entreprises étrangères maîtrisent les technologies de traitement de surface (comme le placage à l'or et au nickel), qui améliorent la résistance à la corrosion et la conductivité des tiges de cuivre tungstène.

1.4.3 Écart national et international et perspectives d'avenir

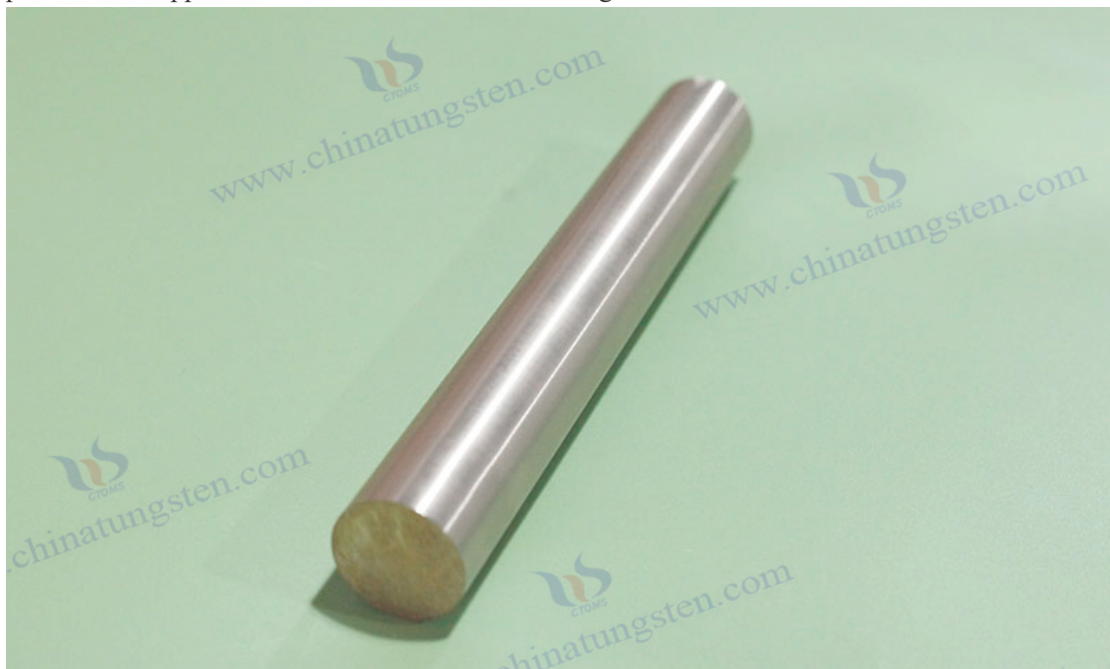
Bien que la Chine soit leader en termes d'échelle de production et d'avantages en termes de ressources pour les matériaux à base de tungstène et de cuivre, un certain écart subsiste entre elle et les pays étrangers en matière de procédés de préparation de haute précision, de fabrication de composants complexes et d'applications haut de gamme. Par exemple, les pays étrangers sont plus

avancés dans la recherche et le développement de matériaux à base de tungstène et de cuivre à l'échelle nanométrique et dans la technologie de fabrication additive. À l'avenir, la Chine devra renforcer la recherche dans les domaines suivants :

Technologie de fabrication haut de gamme : Développer des technologies de fabrication de composants en cuivre tungstène de haute précision et de forme complexe, telles que l'impression 3D et le frittage laser.

Optimisation des performances : La conductivité électrique, la conductivité thermique et les propriétés mécaniques des matériaux en cuivre tungstène sont encore améliorées grâce au dopage et à de nouveaux procédés.

Coopération internationale : Renforcer la coopération avec les institutions et entreprises de recherche scientifique internationales, apprendre des technologies de pointe étrangères et promouvoir l'application des matériaux en cuivre tungstène sur le marché mondial.



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD
Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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 Principaux types et classifications de tiges de cuivre et de tungstène

Matériau composite hautes performances, les tiges de cuivre tungstène sont disponibles en différents types et classifications, principalement en fonction du rapport tungstène/cuivre et des domaines d'application. Les performances des tiges de cuivre tungstène varient selon le rapport tungstène/cuivre. Des tiges présentant différents rapports sont conçues pour des applications industrielles spécifiques afin de répondre à diverses exigences en matière de conductivité électrique, de conductivité thermique, de résistance mécanique et de résistance aux hautes températures. De plus, selon leurs domaines d'application, les tiges de cuivre tungstène sont subdivisées en catégories telles que l'électricité et l'électronique, la dissipation thermique et la gestion thermique, l'industrie militaire et aérospatiale, l'industrie des machines et des moules, ainsi que la recherche médicale et scientifique. Les paragraphes suivants détaillent la classification des tiges de cuivre tungstène et leurs applications spécifiques dans divers domaines.

2.1 Classification par rapport tungstène-cuivre

Les performances des tiges de tungstène-cuivre sont étroitement liées au rapport tungstène/cuivre. Des tiges présentant des rapports différents présentent des différences significatives en termes de conductivité électrique, de conductivité thermique, de dureté, de résistance à l'usure et de résistance aux hautes températures. Voici une classification des rapports tungstène-cuivre courants, ainsi que leurs caractéristiques et applications.

2.1.1 Tige de cuivre tungstène 50/50 W-Cu (conductivité électrique et thermique équilibrée)

Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 50/50 contiennent 50 % de tungstène et 50 % de cuivre, ce qui représente un équilibre typique entre conductivité électrique et thermique. Grâce à sa forte teneur en cuivre, ce type de tige présente d'excellentes conductivités électrique (environ 50 à 60 % de cuivre pur) et thermique (environ 200 à 250 W/m·K), tout en conservant une certaine résistance mécanique et à l'usure. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

Haute conductivité : convient aux situations nécessitant une transmission rapide du signal électrique.
Excellente conductivité thermique : peut dissiper efficacement la chaleur et convient aux dispositifs de gestion thermique.

Résistance mécanique modérée : Comparé aux matériaux à forte teneur en tungstène, sa dureté et sa résistance à l'usure sont légèrement inférieures, mais ses performances de traitement sont meilleures.

Applications : La tige de cuivre tungstène W-Cu 50/50 est largement utilisée dans les matériaux d'emballage électronique, les connecteurs et les composants de contact électrique basse tension. Par exemple, dans les substrats conducteurs et les connecteurs de circuits intégrés, ce matériau assure une transmission stable du signal électrique et une excellente gestion thermique. Il est également utilisé pour la fabrication d'électrodes de soudage par résistance et de contacts d'arc basse tension.

Caractéristiques de préparation : Ce type de barre de tungstène-cuivre est généralement produit par métallurgie des poudres, à partir d'un mélange de poudre de tungstène et de poudre de cuivre de haute pureté, suivi d'un compactage et d'un frittage. Certains procédés peuvent inclure une étape

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

d'infiltration de cuivre pour augmenter la densité du matériau. Grâce à sa forte teneur en cuivre, la température de frittage est relativement basse (environ 1 200-1 300 °C), ce qui se traduit par un faible coût de traitement.

2.1.2 Tige de cuivre tungstène W-Cu 70/30 (couramment utilisée pour les électrodes et les contacts)

La barre de cuivre tungstène W-Cu 70/30 contient 70 % de tungstène et 30 % de cuivre, l'un des ratios tungstène-cuivre les plus couramment utilisés dans les domaines électrique et électronique. Ce type de matériau offre un bon équilibre entre conductivité électrique, conductivité thermique et résistance mécanique, ce qui le rend idéal pour les électrodes et les contacts électriques. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

Dureté et résistance à l'usure supérieures : la teneur accrue en tungstène le rend plus adapté pour résister à l'usure mécanique.

Conductivité modérée : La conductivité électrique est d'environ 30 à 40 % du cuivre pur, ce qui le rend adapté aux applications électriques moyenne et haute tension.

Bonnes performances de rupture d'arc : forte capacité anti-ablation dans un environnement d'arc.

Applications : La tige de cuivre tungstène W-Cu 70/30 est le matériau privilégié pour la fabrication de contacts d'interrupteurs haute tension, d'électrodes de soudage par résistance et d'électrodes d'électroérosion (EDM). Par exemple, dans les disjoncteurs moyenne et haute tension, ce matériau résiste aux chocs d'arc fréquents et aux contraintes mécaniques, prolongeant ainsi la durée de vie des équipements. Il est également utilisé pour les électrodes de soudage par points dans l'industrie automobile et les connecteurs électriques dans le secteur aéronautique.

Caractéristiques de préparation : Ce type de tige de cuivre tungstène est généralement produit par métallurgie des poudres combinée à une infiltration de cuivre. En raison de sa forte teneur en tungstène, le frittage nécessite des températures plus élevées (environ 1 300 à 1 500 °C) et un contrôle plus strict du procédé pour garantir l'uniformité et la densité du matériau.

2.1.3 Tige de cuivre tungstène W-Cu 75/25 (combinaison de conductivité thermique et de résistance moyennes)

La barre de cuivre tungstène W-Cu 75/25 contient 75 % de tungstène et 25 % de cuivre, offrant un meilleur équilibre entre conductivité thermique et résistance mécanique. Ce type de matériau convient aux applications exigeant à la fois une résistance élevée et une certaine conductivité thermique. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

Résistance mécanique supérieure : la dureté et la résistance à l'usure sont meilleures que celles du W-Cu 70/30, adaptées aux environnements à forte charge.

Conductivité thermique modérée : La conductivité thermique est d'environ 150 à 200 W/ m·K , ce qui convient aux applications de gestion thermique de puissance moyenne.

Faible coefficient de dilatation thermique : La teneur élevée en tungstène lui confère une bonne stabilité dimensionnelle à haute température.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Applications : La tige de cuivre tungstène W-Cu 75/25 est largement utilisée dans la fabrication de substrats dissipateurs thermiques et de matériaux de contact électrique pour les dispositifs électroniques de moyenne puissance. Par exemple, dans les semi-conducteurs de puissance tels que les modules IGBT, ce matériau agit comme substrat dissipateur thermique, dissipant efficacement la chaleur tout en préservant la stabilité structurelle. Il est également utilisé dans la fabrication de composants résistants à l'usure et de contacts électriques moyenne et haute tension dans l'industrie aérospatiale.

Caractéristiques de préparation : Le procédé de fabrication de ce matériau est similaire à celui du W-Cu 70/30, mais en raison de la teneur accrue en tungstène, la température et la pression de frittage nécessitent une optimisation supplémentaire. Certains fabricants utilisent la technologie de pressage isostatique à chaud (HIP) pour améliorer la densité et la constance des performances du matériau.

2.1.4 Tige en cuivre tungstène W-Cu 80/20 (pour une résistance élevée et une résistance à l'ablation)

La barre de cuivre tungstène W-Cu 80/20 contient 80 % de tungstène et 20 % de cuivre, ce qui lui confère une résistance élevée à l'abrasion et aux charges élevées. Elle est adaptée aux environnements à haute température et à haute résistance. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

Extrêmement dur et résistant à l'usure : la teneur élevée en tungstène le rend extrêmement résistant à l'usure mécanique.

Bonne résistance à l'ablation : fonctionne bien dans les environnements d'arc ou de plasma à haute température.

Conductivité électrique et thermique inférieure : la conductivité électrique est d'environ 20 à 30 % du cuivre pur et la conductivité thermique est d'environ 120 à 150 W/ m·K .

Applications : La tige de cuivre tungstène W-Cu 80/20 est principalement utilisée dans les électrodes haute résistance, les composants aérospatiaux haute température et les applications militaires. Par exemple, dans les machines de découpe plasma et les équipements d'électroérosion, ce matériau est utilisé comme électrode, capable de résister à une érosion à l'arc intense. Il est également utilisé dans la fabrication de chemises de tuyère de fusée et de composants résistants à l'usure haute température.

Caractéristiques de préparation : En raison de la forte teneur en tungstène, le procédé de production nécessite des températures de frittage plus élevées (environ 1 500 à 1 600 °C) et des procédés d'infiltration du cuivre plus complexes. Certains procédés avancés utilisent le frittage plasma ou laser pour améliorer l'uniformité de la microstructure du matériau.

Tige de cuivre tungstène 2.1.5 W-Cu 85/15 (type haute température et haute résistance, prenant en compte la conductivité électrique)

La barre de cuivre tungstène W-Cu 85/15 contient 85 % de tungstène et 15 % de cuivre. C'est un matériau résistant aux hautes températures et à la corrosion, tout en conservant une certaine

conductivité. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

Résistance aux températures extrêmement élevées : capable de maintenir la stabilité structurelle dans des environnements extrêmes proches de 3000 °C .

Excellente résistance mécanique : la dureté et la résistance à l'usure sont encore améliorées, adaptées aux conditions de travail extrêmes.

Conductivité inférieure : La conductivité électrique est d'environ 15 à 25 % du cuivre pur, adaptée aux applications électriques nécessitant une résistance élevée.

Applications : Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 85/15 sont largement utilisées dans les dissipateurs thermiques de divertors pour réacteurs à fusion nucléaire, les composants de moteurs aérospatiaux et les contacts d'arc haute tension. Par exemple, dans le cadre du projet ITER (Réacteur thermonucléaire expérimental international), ce matériau est utilisé comme dissipateur thermique de divertors, capable de supporter des charges thermiques élevées et un bombardement de particules. Il est également utilisé dans la fabrication d'électrodes pour lasers et plasmas à haute énergie.

Caractéristiques de préparation : Ce type de matériau est difficile à préparer. Il est généralement obtenu par pressage isostatique à chaud ou frittage plasma pour garantir une densité élevée et des performances stables. Le processus d'infiltration du cuivre nécessite un contrôle précis pour éviter la porosité ou les performances inégales du matériau.

2.1.6 W-Cu 90/10 (résistance ultra-élevée et résistance aux températures élevées)

La barre de tungstène-cuivre de type W-Cu 90/10 contient 90 % de tungstène et 10 % de cuivre. C'est la barre de tungstène-cuivre la plus robuste et la plus résistante aux températures élevées, et elle est adaptée aux conditions de travail extrêmes. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

Dureté et résistance à l'usure ultra élevées : propriétés mécaniques proches du tungstène pur, adaptées aux charges mécaniques extrêmes.

Résistance extrêmement élevée aux hautes températures : capable de fonctionner longtemps dans des environnements à très hautes températures et plasma.

Conductivité électrique et thermique extrêmement faible : la conductivité électrique n'est que de 10 à 15 % du cuivre pur et la conductivité thermique est d'environ 80 à 120 W/ m·K .

Applications : Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 90/10 sont principalement utilisées pour les composants haute température dans les environnements extrêmes et dans l'industrie militaire. Par exemple, dans les systèmes de propulsion des engins spatiaux (comme les tuyères de fusées), ce matériau sert de revêtement résistant à l'usure et aux hautes températures. Il est également utilisé pour la fabrication de rails pour canons électromagnétiques et de composants haute température pour les dispositifs de fusion nucléaire.

Caractéristiques de préparation : En raison de la teneur extrêmement élevée en tungstène, le procédé de production nécessite des températures de frittage extrêmement élevées (environ 1 600 à 1 700 °C)

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et des conditions de pression élevées . Le pressage isostatique à chaud et le frittage plasma sont des techniques de préparation couramment utilisées. Certains procédés nécessitent également l'ajout d'additifs traces (tels que le nickel ou le fer) pour améliorer les propriétés de frittage.

2.1.7 Tige de cuivre tungstène à rapport spécial (alliage personnalisé)

Outre les ratios standards mentionnés ci-dessus, des ratios spéciaux de tiges de cuivre tungstène peuvent également être personnalisés en fonction des exigences spécifiques de l'application. Par exemple, les alliages W-Cu 60/40, W-Cu 65/35 ou des alliages à teneur en cuivre plus élevée peuvent être utilisés pour les applications nécessitant une conductivité élevée, tandis que les alliages à très haute teneur en tungstène (comme le W-Cu 95/5) sont utilisés pour les applications nécessitant une résistance extrême à l'usure et aux températures élevées. Le développement d'alliages sur mesure implique généralement les aspects suivants :

Modification du dopage : ajout d'éléments de terres rares (tels que le lanthane, le cérium) ou de métaux de transition (tels que le nickel, le cobalt) pour améliorer des propriétés spécifiques.

Optimisation de la microstructure : En contrôlant la granulométrie de la poudre de tungstène et de la poudre de cuivre, l'uniformité et la densité du matériau sont optimisées.

Procédés spéciaux : La fabrication additive, le frittage par micro-ondes ou la technologie de projection à froid sont utilisés pour produire des tiges de cuivre tungstène aux formes complexes ou à hautes performances.

Applications : Les alliages sur mesure sont largement utilisés dans la recherche scientifique de pointe, l'aérospatiale et les appareils électroniques haut de gamme. Par exemple, des tiges tungstène-cuivre présentant des ratios spécifiques sont utilisées pour fabriquer des cibles pour les équipements expérimentaux de physique des hautes énergies et des composants de protection contre les radiations pour l'industrie nucléaire.

2.2 Classification par domaine d'application

Selon les différents domaines d'application, les tiges de cuivre tungstène peuvent être classées en cinq catégories : électricité et électronique, dissipation thermique et gestion thermique, industrie militaire et aérospatiale, industrie des machines et des moules, et recherche médicale et scientifique. Les utilisations spécifiques et les exigences de performance des différents types de tiges de cuivre tungstène sont présentées ci-dessous.

2.2.1 Tige de cuivre tungstène pour applications électriques et électroniques

La tige de cuivre tungstène est largement utilisée dans les domaines électrique et électronique. Son excellente conductivité, sa capacité de rupture d'arc et sa résistance à l'usure en font un matériau de premier choix pour les contacts électriques et les électrodes.

2.2.1.1 Interrupteurs haute tension et contacts d'arc

Les interrupteurs et disjoncteurs haute tension nécessitent des matériaux capables de résister aux hautes tensions et aux arcs électriques tout en assurant une stabilité à long terme. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 70/30 et W-Cu 75/25 sont largement utilisées dans les contacts d'arc en raison de

leur excellente conductivité et de leur résistance à l'ablation. Leurs principaux avantages sont les suivants :

Haute performance de coupure d'arc : peut couper rapidement l'arc et réduire la brûlure des contacts.
Résistance aux hautes températures : maintient l'intégrité structurelle sous une température d'arc élevée.

Longue durée de vie : la dureté élevée et la résistance à l'usure prolongent la durée de vie des contacts.

Exemple d'application : Dans les systèmes de transmission haute tension et les disjoncteurs industriels, les contacts d'arc en cuivre tungstène sont utilisés dans les appareillages de commutation allant de 10 kV à 500 kV et peuvent résister à des milliers d'opérations de commutation.

2.2.1.2 Électrode de décharge et électrode de bougie d'allumage

par électroérosion (EDM) et les bougies d'allumage nécessitent des matériaux d'électrodes hautement résistants à l'usure et à l'érosion. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 70/30 et W-Cu 80/20 sont des matériaux d'électrodes couramment utilisés. Leurs avantages comprennent :

Usinage de haute précision : la microstructure uniforme de la tige de cuivre tungstène garantit la précision de l'usinage.

Résistance à l'ablation : reste stable dans un environnement de décharge haute fréquence.

Bonne conductivité électrique : assure l'efficacité et la stabilité du processus de décharge.

Exemples d'application : Dans l'industrie automobile, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées pour fabriquer des électrodes de bougies d'allumage hautes performances ; dans la fabrication de moules de précision, les électrodes de cuivre tungstène sont utilisées pour l'usinage par électro-étincelage de pièces métalliques de formes complexes.

2.2.1.3 Emballages semi-conducteurs et connecteurs conducteurs

Dans le conditionnement des semi-conducteurs, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées comme substrats conducteurs et connecteurs pour assurer la transmission du signal électrique et la gestion thermique. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 50/50 et W-Cu 75/25 sont largement utilisées en raison de leur conductivité élevée et de leur faible coefficient de dilatation thermique. Parmi leurs avantages, on peut citer :

Faible coefficient de dilatation thermique : s'adapte aux substrats en silicium et en céramique, réduisant ainsi les contraintes thermiques.

Haute conductivité thermique : dissipe efficacement la chaleur et protège les composants électroniques sensibles.

Haute fiabilité : maintient des performances stables dans des environnements à haute température et à forte humidité.

Cas d'application : Dans les dispositifs semi-conducteurs de puissance (tels que MOSFET et IGBT),

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

les tiges de cuivre tungstène sont utilisées comme substrats conducteurs et plaques de base de dissipation thermique, et sont largement utilisées dans les véhicules à énergie nouvelle et les équipements d'automatisation industrielle.

2.2.2 Tige en cuivre tungstène pour la dissipation de la chaleur et la gestion thermique

L'application de la tige de cuivre tungstène dans le domaine de la gestion thermique est due à son excellente conductivité thermique et à son faible coefficient de dilatation thermique, ce qui convient aux besoins de dissipation thermique des appareils électroniques haute puissance et des équipements aérospatiaux.

2.2.2.1 Dissipateurs thermiques pour microélectronique et circuits intégrés

La microélectronique et les circuits intégrés nécessitent des matériaux de dissipation thermique efficaces pour éviter la surchauffe. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 75/25 et W-Cu 80/20 sont largement utilisées dans la fabrication de dissipateurs thermiques en raison de leur conductivité thermique élevée et de leur dilatation thermique adaptée aux substrats en silicium. Leurs avantages comprennent :

Dissipation thermique efficace : la conductivité thermique peut atteindre $150-200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Stabilité dimensionnelle : Le faible coefficient de dilatation thermique garantit l'intégrité structurelle lors d'un fonctionnement à long terme.

Haute fiabilité : maintient des performances stables pendant un fonctionnement à haute puissance.

Cas d'application : Dans les modules CPU/GPU des ordinateurs et serveurs hautes performances, des dissipateurs thermiques en cuivre tungstène sont utilisés pour dissiper la chaleur et assurer un fonctionnement stable de la puce sous une charge élevée.

2.2.2.2 Substrats de dissipation thermique pour lasers et dispositifs haute puissance

Les lasers et dispositifs RF haute puissance nécessitent un dissipateur thermique efficace pour maintenir leurs performances. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 70/30 et W-Cu 75/25 sont des matériaux de dissipation thermique idéaux. Leurs avantages incluent :

Conductivité thermique élevée : dissipe rapidement la chaleur pour éviter la surchauffe de l'appareil.

Bonnes propriétés mécaniques : capable de résister aux contraintes mécaniques lors du fonctionnement d'appareils de haute puissance.

Planéité de surface : convient à l'usinage de précision et au revêtement de surface.

Exemple d'application : dans les lasers de communication optique et les systèmes radar, les dissipateurs thermiques en cuivre tungstène sont utilisés pour prendre en charge les diodes laser haute puissance et les amplificateurs RF.

2.2.2.3 Composants de refroidissement aérospatiaux

Les équipements aérospatiaux nécessitent une dissipation thermique efficace dans des environnements extrêmes. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 80/20 et W-Cu 85/15 sont utilisées

dans les composants de dissipation thermique en raison de leur grande solidité et de leur résistance aux températures élevées. Parmi leurs avantages, on peut citer :

Résistance aux hautes températures : capacité à maintenir les performances dans des environnements à haute température.

Haute densité : offre une résistance mécanique et un équilibre de masse suffisants.

Résistance aux chocs thermiques : Reste stable lors de changements rapides de température.

Exemples d'application : Dans les systèmes de gestion thermique des satellites et les moteurs d'avion, les composants de dissipation thermique en cuivre tungstène sont utilisés pour gérer le flux d'air à haute température et la charge thermique des appareils électroniques.

2.2.3 Tiges de cuivre tungstène pour applications militaires et aérospatiales

L'application des tiges de cuivre tungstène dans les domaines militaire et aérospatial est due à leur haute densité, leur haute résistance et leur résistance aux températures élevées, ce qui les rend adaptées à la fabrication d'armes hautes performances et de composants aérospatiaux.

2.2.3.1 Canons électromagnétiques et matériaux de blindage protecteur

Les canons électromagnétiques et les blindages de protection nécessitent des matériaux à haute densité et résistants à l'usure. La barre de cuivre tungstène W-Cu 90/10 est utilisée pour la fabrication de rails de guidage et de composants de blindage en raison de sa résistance et de sa densité élevées. Ses avantages incluent :

Haute densité : fournit une énergie cinétique suffisante et une stabilité de qualité.

Résistance à l'usure : maintient les performances en cas de frottement et d'impact à grande vitesse.

Résistance aux hautes températures : Résiste aux températures élevées instantanées lors du tir au pistolet électromagnétique.

Exemples d'application : Dans les systèmes de canons électromagnétiques, des rails en cuivre tungstène sont utilisés pour résister au frottement et à l'impact de l'arc des projectiles à grande vitesse ; dans les matériaux de blindage, des tiges en cuivre tungstène sont utilisées pour améliorer les performances de protection.

2.2.3.2 Électrodes et composants pour armes à haute énergie

Les armes à haute énergie, telles que les lasers et les armes à plasma, nécessitent des matériaux d'électrode résistants aux températures élevées et à l'ablation. Les tiges de tungstène-cuivre W-Cu 80/20 et W-Cu 85/15 constituent un choix idéal, offrant des avantages tels que :

Résistance à l'ablation : maintient l'intégrité structurelle pendant une décharge à haute énergie.

Haute conductivité : assure une transmission efficace de l'énergie électrique.

Longue durée de vie : Réduisez la fréquence de remplacement et améliorez la fiabilité de l'arme.

Exemples d'application : Dans les armes laser à haute énergie, des électrodes en cuivre tungstène

sont utilisées pour supporter une décharge à haute puissance ; dans les armes à plasma, des composants en cuivre tungstène sont utilisés pour résister à l'impact du plasma à haute température.

2.2.3.3 Composants de la tuyère de fusée et du système de propulsion

Les tuyères et les systèmes de propulsion des fusées doivent fonctionner dans des environnements à haute température et haute pression . Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 85/15 et W-Cu 90/10 sont utilisées pour la fabrication de chemises de tuyère et de composants de systèmes de propulsion en raison de leur résistance aux températures élevées et de leur grande solidité. Parmi leurs avantages :

Résistance aux températures extrêmement élevées : résiste aux températures élevées des chambres de combustion des fusées ($> 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) .

Résistance aux chocs thermiques : Reste stable lors de changements rapides de température.

Haute densité : assure la résistance structurelle et l'équilibre de masse.

Cas d'application : Dans les moteurs à fusée solide et les systèmes de propulsion à fusée liquide, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées pour fabriquer des chemises de col de tuyère et des composants de guidage à haute température.

2.2.4 Tiges de cuivre et de tungstène pour l'industrie des machines et des moules

Les tiges de cuivre tungstène sont utilisées dans l'industrie des machines et des moules en raison de leur dureté élevée, de leur résistance à l'usure, de leur excellente conductivité thermique et de leur résistance à l'ablation, ce qui en fait un matériau idéal pour la fabrication d'outils et de moules d'usinage de haute précision. En particulier, dans des domaines tels que l'usinage par électroérosion (EDM) et les matrices d'emboutissage, les tiges de cuivre tungstène présentent des avantages uniques, améliorant considérablement l'efficacité de l'usinage et la durée de vie des moules.

2.2.4.1 Électrode pour l'usinage par décharge électrique (EDM)

L'usinage par électroérosion (EDM) est une technologie d'usinage de précision qui consiste à enlever de la matière par décharge d'étincelles électriques. Elle est largement utilisée dans la fabrication de moules, l'usinage de pièces aéronautiques et le travail des métaux à géométries complexes. Les électrodes EDM nécessitent des matériaux présentant une résistance élevée à l'usure et à l'ablation, ainsi qu'une bonne conductivité électrique, afin de garantir la précision de l'usinage et la durée de vie des électrodes. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 70/30 et W-Cu 80/20 sont les matériaux privilégiés pour les électrodes EDM. Leurs principaux avantages sont les suivants :

Haute résistance à l'usure : la dureté élevée du tungstène permet à l'électrode de résister à l'usure lors des décharges à haute fréquence et de prolonger sa durée de vie.

Excellente résistance à l'ablation : sous la température élevée instantanée (jusqu'à $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$) générée par une décharge d'étincelle électrique, la tige de cuivre tungstène peut maintenir son intégrité structurelle et réduire la perte d'électrode.

Bonne conductivité : l'ajout de cuivre garantit que l'électrode a une conductivité suffisante (la conductivité est d'environ 20 à 40 % du cuivre pur), favorisant un usinage par décharge efficace.

Haute précision de traitement : la microstructure uniforme et le faible coefficient de dilatation thermique de la tige de cuivre tungstène garantissent que l'électrode maintient la stabilité dimensionnelle pendant le traitement, ce qui contribue à obtenir un traitement de haute précision.

Facile à traiter : Comparée au tungstène pur, la tige de cuivre tungstène présente une meilleure usinabilité, ce qui est pratique pour préparer des électrodes aux formes complexes.

Exemples d'application : Dans la fabrication de moules de précision, les tiges de cuivre tungstène W-Cu 70/30 sont largement utilisées pour l'usinage de moules en acier complexes, tels que les moules pour pièces automobiles et les moules pour boîtiers d'appareils électroniques. Dans l'aéronautique, les électrodes de cuivre tungstène sont utilisées pour l'usinage de composants en alliage de titane et en alliage haute température, garantissant une précision et une qualité de surface élevées. De plus, pour l'usinage de micro-pièces, les électrodes de cuivre tungstène permettent d'atteindre une précision de l'ordre du micron, répondant ainsi aux exigences de fabrication des MEMS (systèmes microélectromécaniques) et des instruments de précision.

Caractéristiques de fabrication : Les électrodes tungstène-cuivre pour l'électroérosion sont généralement produites par métallurgie des poudres, en mélangeant des poudres de tungstène et de cuivre de haute pureté avant compactage et frittage. Pour améliorer la densité et l'uniformité des performances des électrodes, certains procédés intègrent l'infiltration de cuivre ou le pressage isostatique à chaud (CIC). La surface de l'électrode nécessite généralement un usinage de précision (meulage ou polissage) pour répondre aux exigences d'usinage de haute précision.

Tendances de développement : À mesure que la technologie EDM progresse vers le micro- et le nano-usinage, le procédé de fabrication des électrodes tungstène-cuivre est continuellement optimisé. Par exemple, l'utilisation de poudres de tungstène et de cuivre nanométriques permet d'améliorer l'uniformité microstructurale des électrodes et de réduire les défauts mineurs lors de la décharge. De plus, des techniques de modification de surface (comme le nickelage ou le placage à l'or) sont utilisées pour améliorer la résistance à l'oxydation et la conductivité électrique des électrodes, prolongeant ainsi leur durée de vie.

2.2.4.2 Matrices d'emboutissage et pièces résistantes à l'usure

Dans la fabrication d'outils d'emboutissage et de pièces résistantes à l'usure, les tiges de cuivre tungstène sont largement utilisées en raison de leur dureté élevée, de leur résistance à l'usure et de leur excellente conductivité thermique. Ces outils doivent souvent fonctionner dans des environnements soumis à de fortes charges, à des chocs fréquents et à des températures élevées. Les tiges de cuivre tungstène répondent efficacement à ces exigences strictes. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 75/25 et W-Cu 80/20 sont couramment utilisées dans ce domaine. Leurs principaux avantages sont les suivants :

Dureté et résistance à l'usure élevées : La dureté élevée du tungstène (proche de la dureté Mohs du tungstène pur au niveau 9) permet à la tige de cuivre tungstène de résister à l'usure mécanique pendant le processus d'emboutissage et de prolonger la durée de vie du moule.

Excellente conductivité thermique : l'ajout de cuivre confère à la tige de cuivre tungstène une

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

conductivité thermique plus élevée (environ 150-200 W/ m·K), ce qui peut dissiper rapidement la chaleur et empêcher le moule de se déformer ou de tomber en panne en raison d'une surchauffe.

Faible coefficient de dilatation thermique : les caractéristiques de faible dilatation thermique du tungstène (environ $4,5-5,5 \times 10^{-6}$ / K) garantissent la stabilité dimensionnelle du moule à haute température et conviennent à l'emboutissage de haute précision.

Résistance à la fatigue : les tiges de cuivre tungstène peuvent maintenir l'intégrité structurelle sous des impacts fréquents, réduisant ainsi le risque de fissures et de défaillances par fatigue.

Exemples d'application : Dans l'industrie automobile, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées pour la fabrication de matrices d'emboutissage destinées à la production de panneaux de carrosserie, de composants de moteur et de pièces de transmission. Dans les matrices de moulage sous pression d'alliages d'aluminium et de magnésium, elles servent de noyaux et de buses, résistant aux chocs et à la corrosion du métal en fusion à haute température. De plus, dans la production par emboutissage de quincaillerie de précision et de connecteurs électroniques, les matrices en cuivre tungstène sont privilégiées pour leur grande résistance à l'usure et leur longue durée de vie.

Caractéristiques de fabrication : Les tiges de cuivre tungstène pour matrices d'emboutissage sont généralement produites par métallurgie des poudres associée à un procédé d'infiltration de cuivre afin de garantir une densité élevée et des performances uniformes. Pour répondre aux exigences de forme complexes du moule, certains procédés font appel à l'usinage CNC ou à la découpe laser pour affiner les tiges de cuivre tungstène. De plus, des traitements de durcissement de surface (comme la cémentation ou la nitruration) peuvent améliorer la résistance à l'usure et à la corrosion du moule.

Tendances de développement : À l'avenir, les tiges de cuivre tungstène destinées aux matrices d'emboutissage évolueront vers des performances accrues et des formes plus complexes. Par exemple, l'application de la technologie de fabrication additive (impression 3D) permet de concevoir des canaux de refroidissement internes complexes dans les matrices de cuivre tungstène, améliorant ainsi l'efficacité de la dissipation thermique. De plus, le dopage avec des oligo-éléments (tels que le nickel ou les terres rares) permet d'optimiser la résistance à la fatigue et à l'usure des tiges de cuivre tungstène, répondant ainsi aux exigences d'un emboutissage haute résistance.

2.2.5 Tiges de cuivre et de tungstène pour applications de recherche médicale et scientifique

Les tiges de cuivre tungstène sont utilisées en recherche médicale et scientifique grâce à leur densité élevée, leur résistance aux températures élevées et leur biocompatibilité. Elles sont particulièrement adaptées à la fabrication d'électrodes médicales, de sondes spécialisées et de composants pour les expériences de physique des hautes énergies. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 80/20 et W-Cu 85/15 sont couramment utilisées dans ce domaine, répondant aux exigences de haute précision et aux environnements extrêmes.

2.2.5.1 Électrodes médicales et sondes spéciales

Dans le domaine médical, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées pour fabriquer des électrodes et des sondes de haute précision, largement utilisées en neurostimulation, en ablation par radiofréquence et dans les dispositifs chirurgicaux mini-invasifs. Ces applications nécessitent des

matériaux hautement conducteurs, résistants à la corrosion et biocompatibles. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 70/30 et W-Cu 80/20 sont largement utilisées en raison de leurs excellentes performances. Leurs principaux avantages sont les suivants :

Haute conductivité : assure une transmission précise des signaux électriques, adaptée à la stimulation nerveuse et à la surveillance électrophysiologique.

Résistance à la corrosion : reste stable dans les environnements physiologiques (tels que le sang ou le liquide tissulaire) et réduit la dégradation du matériau.

Dureté élevée et résistance à l'usure : prend en charge l'utilisation à long terme de la sonde dans des opérations de haute précision.

Biocompatibilité : Après un traitement de surface approprié (tel que le placage à l'or ou le placage à l'argent), la tige de cuivre tungstène peut répondre aux exigences de biocompatibilité des dispositifs médicaux.

Exemples d'application : Dans les dispositifs de neurostimulation, les électrodes tungstène-cuivre sont utilisées en stimulation cérébrale profonde (SCP) pour traiter la maladie de Parkinson et l'épilepsie, délivrant des impulsions électriques précises. Dans les procédures d'ablation par radiofréquence, les sondes tungstène-cuivre sont utilisées pour traiter les lésions cardiaques ou les tumeurs, maintenant leur stabilité à des températures élevées et sous des champs électriques haute fréquence. De plus, en chirurgie mini-invasive, les tiges tungstène-cuivre sont transformées en sondes miniatures pour les examens endoscopiques et les prélèvements tissulaires.

Caractéristiques de préparation : Les tiges de tungstène-cuivre médical sont généralement produites à partir de poudres de tungstène et de cuivre de haute pureté, par métallurgie des poudres et pressage isostatique à chaud, afin de garantir une densité élevée et une structure non poreuse. Le traitement de surface (tel que la galvanoplastie ou la passivation chimique) est une étape clé pour améliorer la biocompatibilité et la résistance à la corrosion du matériau. De plus, les technologies de micro-nanofabrication sont utilisées pour fabriquer des microélectrodes et des sondes répondant aux exigences des dispositifs médicaux de haute précision.

Tendances de développement : Avec l'avancée des technologies médicales mini-invasives, les électrodes et sondes en tungstène-cuivre évolueront vers des dimensions plus petites et une précision accrue. Par exemple, le développement de composites tungstène-cuivre à l'échelle nanométrique peut améliorer encore la conductivité et les propriétés mécaniques des électrodes. De plus, combinées aux technologies de matériaux intelligents, les futures sondes tungstène-cuivre pourraient intégrer des fonctions de capteur pour la surveillance en temps réel des signaux physiologiques.

2.2.5.2 Expériences de physique des hautes énergies et applications de l'industrie nucléaire

Les tiges de cuivre tungstène sont largement utilisées dans les expériences de physique des hautes énergies et dans l'industrie nucléaire en raison de leur densité élevée, de leur résistance aux températures élevées et aux radiations. Les tiges de cuivre tungstène W-Cu 85/15 et W-Cu 90/10 sont les matériaux privilégiés dans ce domaine, car elles résistent aux températures et aux pressions

élevées, ainsi qu'au bombardement de particules, propres aux environnements extrêmes. Leurs principaux avantages sont les suivants :

Haute densité : La haute densité du tungstène (environ 19,25 g/cm³) permet aux tiges de cuivre tungstène de protéger efficacement contre les rayonnements à haute énergie, ce qui les rend adaptées à une utilisation dans les composants des réacteurs nucléaires et des accélérateurs de particules.

Résistance aux hautes températures : maintient des performances stables à des températures extrêmement élevées (> 3000 °C) générées par la fusion nucléaire ou les collisions de particules à haute énergie.

Résistance aux radiations : les tiges de cuivre tungstène peuvent résister aux dommages causés par l'irradiation neutronique et les rayons gamma, prolongeant ainsi la durée de vie des composants.

Excellente conductivité thermique : dissipe rapidement la chaleur pour éviter que les composants ne tombent en panne en raison de températures élevées.

Exemples d'application : Dans le projet ITER (Réacteur thermonucléaire expérimental international), les tiges de cuivre tungstène W-Cu 85/15 sont utilisées comme dissipateurs thermiques pour les divertors, capables de supporter des charges thermiques élevées et un bombardement plasma. Dans les accélérateurs de particules tels que le Grand collisionneur de hadrons du CERN, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées pour fabriquer des cibles et des composants de protection contre les radiations, protégeant ainsi les équipements des particules à haute énergie. De plus, dans l'industrie nucléaire, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées comme conducteurs thermiques haute température et matériaux de protection contre les radiations pour améliorer la sûreté et l'efficacité des réacteurs.

Caractéristiques de préparation : La production de barres de cuivre-tungstène pour l'industrie nucléaire exige une pureté et une densité de matériau extrêmement élevées. Des techniques de pressage isostatique à chaud ou de frittage plasma sont généralement utilisées pour éliminer les micropores et les défauts du matériau. Pour améliorer la résistance aux radiations, certains procédés impliquent un dopage avec des terres rares (comme le lanthane ou le cérium) afin d'optimiser la microstructure du matériau. De plus, des revêtements de surface (comme le molybdène ou la céramique) sont utilisés pour améliorer la résistance à la corrosion et aux températures élevées du matériau.

Tendances de développement : À l'avenir, les tiges de cuivre-tungstène destinées à l'industrie nucléaire évolueront vers des performances accrues et des structures plus complexes. Par exemple, l'application de la technologie de fabrication additive permet de transformer ces tiges en dissipateurs thermiques et composants de blindage aux géométries complexes, répondant ainsi aux besoins des réacteurs de fusion nucléaire de nouvelle génération. De plus, de nouvelles technologies de dopage et de modification de surface amélioreront encore la résistance aux radiations et aux hautes températures des tiges de cuivre-tungstène, favorisant ainsi leur application aux expériences de physique des hautes énergies et à l'industrie nucléaire.



Chapitre 3 Technologie de préparation et de production de tiges de cuivre et de tungstène

La tige de tungstène-cuivre, un matériau composite alliant la résistance élevée et la résistance aux hautes températures du tungstène à l'excellente conductivité électrique et thermique du cuivre, joue un rôle essentiel dans les appareils électroniques, les contacts électriques, les composants de gestion thermique et l'aérospatiale. Son processus de préparation est un processus délicat en science des matériaux, alliant les techniques traditionnelles de la métallurgie des poudres aux avancées technologiques modernes. De la sélection méticuleuse des matières premières à l'usinage de précision du produit final, chaque étape exige une conception rigoureuse pour garantir l'uniformité, la densité et la stabilité des performances du matériau. La clé réside dans la création d'un squelette poreux en tungstène et l'infiltration précise du cuivre fondu pour obtenir un composite parfait des deux phases. Les procédés traditionnels reposent sur le pressage, le frittage et l'infiltration sous vide, tandis que les technologies émergentes intègrent les nanomatériaux, la fabrication additive et le contrôle intelligent pour répondre à des exigences de performance encore plus élevées. Ce chapitre propose une description détaillée, explorant chaque étape, de la préparation des matières premières à l'exploration de nouveaux procédés. En se concentrant sur les principes du processus, les détails opérationnels, les défis et les stratégies d'optimisation, il évite la surcharge de données techniques et utilise plutôt un langage vivant pour mettre en valeur la complexité et le charme du processus de préparation.

3.1 Préparation des matières premières

La préparation des matières premières est le point de départ de la production de tiges de cuivre tungstène, à l'image de la préparation des instruments d'une symphonie sophistiquée. La poudre de tungstène et le cuivre électrolytique, matières premières principales, sont soumis à un criblage et à un traitement rigoureux afin de garantir leur parfaite intégration lors des processus ultérieurs et de former un matériau composite haute performance. Le contrôle de la pureté, de la granulométrie et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de la morphologie influence non seulement les résultats de formage et de frittage, mais détermine également les propriétés thermiques, électriques et mécaniques du produit final.

3.1.1 Préparation et exigences de qualité de la poudre de tungstène

La préparation de [la poudre de tungstène](#) s'apparente à la transformation d'un minerai de tungstène dur en un matériau précieux et artistique. La réduction à l'hydrogène est généralement utilisée. Il s'agit d'une technique industrielle éprouvée. À partir de minerai de tungstène (comme la wolframite ou la scheelite), il est purifié chimiquement pour produire des tungstates, qui sont ensuite grillés pour former [du trioxyde de tungstène](#). Le processus de réduction ultérieur a lieu dans un four à haute température, où l'hydrogène, tel un artisan patient, élimine progressivement les oxydes, produisant ainsi une poudre de tungstène pure. D'autres méthodes, comme l'électrolyse ou la mécanosynthèse, permettent de produire des particules plus fines, mais sont plus coûteuses et adaptées à des applications spécifiques.

Les exigences de qualité de la poudre de tungstène sont exceptionnellement strictes : une pureté extrêmement élevée est requise pour minimiser les impuretés, une forme de particules uniforme pour faciliter le compactage et le collage, et une teneur en oxygène rigoureusement contrôlée pour éviter la formation d'oxydes indésirables à haute température. Une poudre de tungstène de haute qualité agit comme un germe soigneusement sélectionné, jetant les bases des procédés ultérieurs. L'ajout d'activateurs traces peut améliorer la fusion de la poudre lors du frittage, mais il est conseillé de veiller à ne pas compromettre la conductivité thermique du matériau. La poudre de tungstène doit être stockée dans un environnement sec et hermétique pour éviter que l'humidité et l'oxygène n'en altèrent l'activité.

3.1.2 Préparation et caractéristiques du cuivre électrolytique

La production de cuivre électrolytique est un processus de raffinage électrochimique. Le cuivre brut est décomposé dans un électrolyte, et les ions cuivre, guidés par un champ électrique, se déposent à la cathode, formant une feuille ou une poudre de cuivre pur. Ce procédé, comme le raffinage de l'or, nécessite un contrôle précis pour éliminer les impuretés et garantir que le cuivre répond aux normes de qualité les plus strictes du secteur.

Le cuivre électrolytique, doté d'une excellente conductivité électrique et thermique, sert de lubrifiant dans les tiges de tungstène-cuivre. Son bas point de fusion lui permet de s'écouler facilement lors de l'infiltration, remplissant ainsi les pores du squelette de tungstène ; son excellente plasticité assure la résistance du matériau composite. Le cuivre se présente sous diverses formes, de la poudre fine aux blocs solides, pour répondre aux différentes exigences des procédés. Dans la tige de tungstène-cuivre, le cuivre conduit non seulement le courant et la chaleur, mais relie également les particules de tungstène, formant ainsi un réseau résistant. Cependant, le cuivre est sensible à l'oxygène et nécessite une extrême prudence lors du stockage et de la manipulation afin d'éviter toute oxydation susceptible d'altérer ses performances.

CTIA GROUP LTD
Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

3.1.3 Effet de la taille, de la morphologie et de la pureté de la poudre de tungstène sur le procédé

La granulométrie et la forme des particules de poudre de tungstène agissent comme les outils d'un sculpteur, façonnant directement la structure du matériau. Les particules fines se combinent plus étroitement, renforçant la résistance du squelette, mais peuvent fermer prématurément les pores et entraver la pénétration du cuivre. Les particules plus grosses favorisent l'ouverture du réseau poreux, mais nécessitent plus d'énergie pour fusionner. Choisir la bonne granulométrie, c'est comme mélanger les couleurs d'un tableau : trouver l'équilibre entre résistance et perméabilité.

La morphologie des particules est également cruciale : les poudres de forme quasi sphérique se tassent plus densément, favorisant une structure uniforme ; les particules irrégulières multiplient les points de contact, améliorant potentiellement les propriétés mécaniques, mais pouvant également entraîner des défauts localisés. La pureté est l'âme d'un matériau, déterminant la stabilité interfaciale et la fiabilité des performances. Les poudres de haute pureté minimisent les réactions chimiques indésirables, garantissant un processus composite fluide ; les poudres de faible pureté peuvent entraîner une fragilité et compromettre la durabilité. Un criblage et un traitement minutieux permettent d'optimiser ces facteurs, ouvrant la voie aux traitements ultérieurs.

3.2 Procédé de formage d'une préforme à base de tungstène

La formation de la préforme en tungstène constitue l'étape de « construction des fondations » du processus de fabrication. L'objectif est de créer un squelette poreux en tungstène offrant des canaux idéaux pour l'infiltration du cuivre. Ce procédé combine des techniques de pressage et de frittage, comme la sculpture d'une ville microscopique à partir de la poudre de tungstène solide. Porosité et résistance nécessitent un équilibre précis afin d'éviter une structure trop dense ou trop lâche.

3.2.1 Pressage (pressage uniaxial, pressage isostatique)

Le pressage uniaxial est un procédé simple et direct, comparable au compactage de sable meuble en briques à l'aide d'un moule. La poudre de tungstène est chargée dans un moule en acier et comprimée pour obtenir une forme préliminaire grâce à une force uniaxiale. Une petite quantité de liant, comme l'ajout d'adhésif à l'argile, favorise la formation de la poudre. Cette méthode est économique et adaptée à la production à petite échelle, mais elle peut produire une densité inégale, avec des centres lâches et des bords denses.

Le pressage isostatique, semblable à l'étreinte complète de la poudre, applique une pression uniforme à travers un milieu liquide ou gazeux. Qu'il soit à froid ou à chaud combiné à une température élevée, il améliore considérablement l'uniformité de la préforme et est particulièrement adapté aux barres de tungstène-cuivre de grandes dimensions ou complexes. Après le pressage, le corps vert doit être soigneusement séché pour éliminer le liant et le préparer au frittage ultérieur.

3.2.2 Densification par frittage (sous vide ou atmosphère d'hydrogène)

Le frittage consiste à souder des particules libres pour former une structure solide. Le corps vert pressé est ensuite placé dans un four à haute température et chauffé sous vide ou à l'hydrogène. Le vide agit comme une chambre stérile, empêchant l'oxydation et facilitant l'expulsion des gaz.

L'hydrogène agit comme un nettoyant, réduisant les oxydes de surface et renforçant la liaison des particules.

Au cours de ce processus, les particules se lient progressivement par diffusion et croissance du col, ce qui provoque le rétrécissement et la densification du corps vert. L'ajout de traces d'activateurs peut abaisser la température requise, mais il est conseillé d'être prudent afin de ne pas compromettre la pureté du matériau. Le frittage est une lente chimie qui exige un équilibre précis entre température et temps pour garantir la solidité du squelette tout en conservant une porosité suffisante.

3.2.3 Contrôle de la porosité et de la connectivité des préformes

La porosité et la connectivité constituent le « système respiratoire » de la préforme et ont un impact direct sur l'infiltration du cuivre en fusion. Une porosité excessive peut fragiliser la structure, tandis qu'une porosité insuffisante peut entraver la pénétration. Cela nécessite un contrôle minutieux du ratio de poudre et des conditions de procédé. L'ajout d'agents porogènes temporaires revient à incorporer des particules solubles dans le sol, qui sont ensuite retirées après frittage pour créer des canaux.

Vérifier la connectivité des pores revient à inspecter le réseau routier d'une ville pour s'assurer qu'il n'y a pas d'impasse. Une préforme optimisée présente une distribution uniforme des pores, offrant un chemin fluide pour l'infiltration de la matière fondue tout en conservant une résistance mécanique suffisante.

3.3 Procédé d'infiltration sous vide

L'infiltration sous vide est l'étape clé de la préparation des tiges de tungstène-cuivre. Elle consiste à injecter du cuivre liquide dans les veines microscopiques du squelette de tungstène, formant ainsi un matériau composite dense. Ce procédé représente non seulement un défi technique, mais aussi une symphonie de physique et de chimie. Sous vide, le cuivre fondu pénètre les pores du squelette de tungstène par capillarité, comblant chaque interstice et formant ainsi une structure composite uniforme. La clé du succès réside dans le contrôle de la température, du niveau de vide et de la dynamique d'infiltration, tout en évitant la volatilisation du cuivre, les défauts interfaciaux et une distribution inégale. Ce qui suit décrit en détail la complexité et la sophistication de ce procédé, depuis ses principes, son équipement jusqu'à ses opérations spécifiques.

3.3.1 Principes de base de l'infiltration sous vide

L'essence de l'infiltration sous vide est d'utiliser la capillarité et le vide pour permettre au cuivre fondu de s'écouler naturellement dans le réseau poreux du squelette du tungstène. Imaginez une goutte d'eau absorbée par une éponge : le cuivre fondu se liquéfie à haute température et, grâce à la pression négative du vide, pénètre la structure du tungstène par de minuscules pores. Le tungstène et le cuivre ne réagissent pas chimiquement, mais se lient par mouillage physique. L'angle de mouillage détermine la capacité du cuivre à s'écouler spontanément, et le vide élimine la résistance des gaz, permettant au cuivre de remplir chaque recoin plus facilement.

Ce procédé donne vie au squelette de tungstène. Le cuivre non seulement remplit les pores, mais

forme également, en refroidissant, un réseau conducteur et thermoconducteur, formant avec le squelette de tungstène un composite résistant et efficace. L'essentiel est d'assurer un bon mouillage tout en évitant la volatilisation du cuivre due à des températures excessives ou une pénétration incomplète due à une porosité irrégulière.

3.3.2 Structure et principe de fonctionnement du four d'infiltration

Le four d'infiltration est le cœur de l'infiltration sous vide et sa conception est aussi sophistiquée qu'une salle d'opération de précision. Le corps du four se compose d'une chambre à vide, d'un système de chauffage, d'une pompe à vide et d'un système de refroidissement. La chambre à vide est généralement fabriquée en matériaux résistants aux hautes températures, comme l'acier inoxydable ou le quartz, et un creuset en graphite est placé à l'intérieur pour contenir la préforme de tungstène et le bloc de cuivre. Le système de chauffage, par résistance ou par induction, contrôle, tel un chef cuisinier, la température au-dessus du point de fusion du cuivre. La pompe à vide agit comme un ventilateur, extrayant l'air pour créer un environnement sous vide poussé et réduire les interférences gazeuses. Le système de refroidissement abaisse progressivement la température une fois l'infiltration terminée afin d'éviter les fissures dues aux contraintes thermiques.

Lors de l'opération, une préforme en tungstène est placée dans un creuset, avec un bloc de cuivre placé au-dessus ou à côté. Le four est d'abord vidé pour éliminer l'air et l'humidité, puis la température est progressivement augmentée pour fondre le cuivre. Les forces capillaires et le vide dans le creuset permettent au cuivre en fusion de pénétrer dans la préforme, remplissant les pores avant de refroidir et de se solidifier. L'ensemble du processus s'apparente à un moulage par infusion microscopique, exigeant une exécution précise et précise de chaque étape.

3.3.3 Température d'infiltration du cuivre, degré de vide et dynamique d'infiltration

La température d'infiltration du cuivre doit être supérieure à son point de fusion, mais pas trop élevée pour éviter son évaporation ou la croissance indésirable des grains dans la structure du tungstène. Choisir la bonne température, c'est comme régler le feu en cuisine : elle doit être parfaite. Le degré de vide détermine la fluidité du processus d'infiltration : un environnement sous vide poussé est comme une piste dégagée, permettant au cuivre liquide de s'écouler sans entrave ; un vide insuffisant favorise la formation de bulles de gaz résiduel, affectant la densité du matériau.

La dynamique d'infiltration est au cœur de ce processus. Le débit de la solution de cuivre dépend de la taille des pores, de leur mouillabilité et de l'effet de la température sur sa viscosité. Des pores plus petits génèrent des forces capillaires plus importantes, mais peuvent augmenter la résistance à l'écoulement ; des pores plus grands ont l'effet inverse. L'optimisation de ces facteurs nécessite des expérimentations et des simulations afin de trouver la combinaison idéale de température, de vide et de temps pour une infiltration rapide et uniforme.

3.3.4 Réaction d'interface et évolution de la microstructure lors de l'infiltration

Lors du processus d'infiltration, l'interface entre le cuivre fondu et les particules de tungstène ressemble à la surface de contact de deux danseurs, nécessitant un mouvement coordonné. Le tungstène et le cuivre sont immiscibles, et un mouillage physique, plutôt qu'une réaction chimique,

se produit à l'interface. Lorsque le cuivre fondu entre en contact avec les particules de tungstène, une fine zone de diffusion se forme, renforçant la liaison entre les deux. L'ajout de faibles quantités d'éléments tels que le chrome ou le zirconium peut améliorer le mouillage et réduire les vides ou les microfissures à l'interface.

La microstructure évolue d'un squelette poreux en tungstène vers un complexe dense rempli de cuivre. Le cuivre liquide pénètre d'abord dans les pores les plus larges, puis remplit progressivement les canaux les plus petits, formant ainsi un réseau tridimensionnel. Ce processus est comparable à une ville se remplissant progressivement de rues et de bâtiments à partir d'une structure vide. En refroidissant, la phase de cuivre se solidifie, formant un tout cohérent avec le squelette en tungstène. L'observation microscopique révèle une microstructure idéale, sans fissures ni zones vides visibles, et la phase de cuivre est uniformément répartie, améliorant ainsi les performances du matériau.

3.3.5 Uniformité de l'infiltration et contrôle de la qualité

L'uniformité est l'objectif ultime du processus d'infiltration. Toute infiltration incomplète localisée ou accumulation de cuivre affaiblit les performances du matériau. L'uniformité dépend de l'uniformité de la porosité du squelette de tungstène et de la stabilité des conditions d'infiltration. La porosité de la préforme doit être conçue de manière scientifique et rationnelle afin d'éviter les zones trop denses qui bloquent la solution de cuivre, ou les zones trop poreuses qui entraînent une résistance insuffisante.

Le contrôle qualité s'apparente à un examen physique complet du produit fini. La mesure de la densité permet de vérifier l'intégralité du remplissage, l'examen microscopique l'uniformité de la microstructure, et les contrôles non destructifs tels que les ultrasons ou les rayons X permettent de révéler des défauts cachés. En cas d'infiltration irrégulière, une correction peut être apportée par une infiltration en plusieurs étapes ou un ajustement du profil de température. L'objectif ultime est de garantir que le matériau est exempt de bulles et de fissures et que ses performances répondent aux exigences de conception.

3.4 Post-traitement et usinage

Le post-traitement et l'usinage consistent à polir la tige de tungstène-cuivre, de l'état brut au produit fini de haute qualité. Ces étapes éliminent non seulement les problèmes résiduels de préparation, mais confèrent également au matériau des dimensions précises et des propriétés de surface optimisées.

3.4.1 Traitement thermique et détente des contraintes

Le traitement thermique s'apparente à une relaxation profonde du matériau, éliminant les contraintes internes accumulées lors de l'infiltration et du refroidissement. Les tiges de tungstène-cuivre sont chauffées sous atmosphère protectrice, telle que l'hydrogène ou le vide, puis la température est progressivement augmentée et maintenue, permettant ainsi à la structure cristalline de se réaligner et d'améliorer la ténacité. Le refroidissement est lent, ce qui permet au matériau de « respirer » et d'éviter la génération de nouvelles contraintes. Cette étape peut améliorer considérablement la fiabilité et la durée de vie du matériau.

3.4.2 Usinage de précision et contrôle dimensionnel

L'usinage de précision est essentiel pour donner à la tige de cuivre tungstène sa forme finale. À l'aide de tours, de fraiseuses ou de meuleuses de haute précision, associés à des outils diamantés, le matériau est soigneusement sculpté aux dimensions prévues. Le processus d'usinage s'apparente au travail d'un sculpteur, nécessitant des vitesses de coupe et des avances contrôlées pour éviter toute surchauffe ou tout dommage de surface. La précision dimensionnelle est assurée par des mesures laser et tridimensionnelles, garantissant des tolérances de l'ordre du micron pour répondre aux exigences des applications de haute précision.

3.4.3 Technologie de modification de surface et de revêtement

La modification de surface s'apparente à l'application d'un revêtement protecteur sur un matériau. Le polissage ou la gravure chimique crée une surface lisse comme un miroir, réduisant ainsi les frottements et l'usure. Les technologies de revêtement améliorent encore les performances. Par exemple, l'application d'une couche de nickel ou d'or par galvanoplastie ou dépôt physique en phase vapeur (PVD) améliore la résistance à la corrosion et la conductivité électrique. L'épaisseur du revêtement doit être soigneusement contrôlée pour assurer une protection sans affecter la conductivité thermique du matériau.

3.5 Exploration de nouveaux procédés

Grâce aux progrès de la science des matériaux, de nouveaux procédés ont insufflé une nouvelle vitalité à la préparation des tiges de cuivre et de tungstène. Ces technologies, véritables explorateurs, explorent des voies de préparation plus efficaces et plus précises pour répondre aux besoins des futures applications complexes.

3.5.1 Préforme en cuivre nano-tungstène et technologie d'infiltration de cuivre ultrafine

L'utilisation de poudre de tungstène nanométrique élève la précision de fabrication à l'échelle moléculaire. Les poudres ultrafines, produites par des méthodes spécialisées, permettent la création de préformes de densités plus élevées. La technologie d'infiltration de cuivre ultrafine utilise des poudres nanométriques pour réaliser une infiltration à basse température, réduisant ainsi la consommation d'énergie tout en améliorant l'uniformité du matériau. Cette approche, comparable à la peinture d'une structure avec un pinceau plus fin, améliore considérablement les performances.

3.5.2 Combinaison de l'infiltration sous vide et de la fabrication additive

La fabrication additive (impression 3D) a ouvert de nouvelles possibilités pour la fabrication de tiges de cuivre et de tungstène. L'impression laser ou par faisceau d'électrons d'un squelette de tungstène, combinée à l'infiltration sous vide, permet de créer des géométries complexes. Cette méthode, tout comme la sculpture numérique du matériau, transcende les limites des procédés traditionnels et convient à la production sur mesure.

3.5.3 Processus d'optimisation à haute uniformité et faible porosité

De nouveaux procédés optimisés combinent l'infiltration assistée par haute pression, le frittage par micro-ondes et des technologies de contrôle intelligent pour obtenir une uniformité optimale et une faible porosité. Des systèmes intelligents agissent comme des conducteurs, ajustant les paramètres

du procédé en temps réel pour garantir des performances optimales à chaque étape. Ces technologies propulsent les performances des tiges de cuivre tungstène à un niveau supérieur, répondant aux exigences des applications les plus exigeantes.



Chapitre 4 Propriétés physiques et chimiques de la tige de cuivre tungstène

Matériau composite unique, les tiges de cuivre tungstène tirent leurs propriétés physiques et chimiques de l'alliance parfaite entre la résistance élevée à la chaleur et à l'usure du tungstène et l'excellente conductivité électrique et thermique du cuivre. Ce matériau, évoquant l'union harmonieuse de la roche dure et d'un cours d'eau paisible, joue non seulement un rôle clé dans les boîtiers électroniques, les contacts électriques et les dissipateurs thermiques, mais démontre également une adaptabilité remarquable dans l'aérospatiale et les équipements électriques haute tension. Ces propriétés ne s'additionnent pas simplement ; elles forment un avantage global grâce à la conception ingénieuse de la microstructure, permettant aux tiges de cuivre tungstène de maintenir leur stabilité et leurs hautes performances dans des conditions extrêmes. Ce chapitre débutera par les propriétés physiques de base, puis approfondira progressivement les propriétés mécaniques, chimiques et microstructurales. Grâce à une description et une analyse détaillées, il révélera les mécanismes sous-jacents, les facteurs d'influence et les applications pratiques de ces propriétés, aidant ainsi le lecteur à comprendre pleinement comment les tiges de cuivre tungstène sont devenues un partenaire fiable de l'industrie moderne.

4.1 Propriétés physiques de base de la tige de cuivre tungstène

Les propriétés physiques fondamentales des tiges de cuivre-tungstène constituent le fondement de leurs applications. Ces propriétés, tout comme la « physique » intrinsèque du matériau, déterminent ses performances en température, dans les champs électriques et les environnements thermiques. L'ajout de tungstène confère une stabilité et une densité accrues, tandis que le cuivre offre une excellente conductivité. Ces deux éléments se complètent pour former un système équilibré et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

efficace. Ces propriétés physiques sont souvent le premier critère à prendre en compte lors de la conception et de l'utilisation des tiges de cuivre-tungstène, car elles ont un impact direct sur la durabilité et la compatibilité du matériau.

4.1.1 Densité et gravité spécifique de la tige de cuivre tungstène

La densité des tiges de cuivre tungstène est l'une de leurs propriétés physiques les plus fondamentales et cruciales. Elle reflète la compacité et la répartition du poids de ses composants internes. Plus la teneur en tungstène augmente, plus la densité augmente, ce qui en fait un matériau idéal pour les applications exigeant une masse importante, comme les composants de contrepoids des instruments de précision ou les matériaux de protection contre les radiations. Cette densité permet au matériau de supporter une charge plus importante dans un espace restreint, évitant ainsi les problèmes de conception nécessitant un encombrement excessif. Elle améliore également la stabilité du matériau, l'empêchant de se déplacer sous l'effet des vibrations ou des mouvements à grande vitesse. Dans la pratique, les tiges de cuivre tungstène haute densité sont souvent utilisées dans les systèmes de contrepoids aéronautiques, assurant un équilibre inertiel fiable sans compromettre les autres propriétés du matériau. La densité relative, qui mesure la densité par rapport à l'eau, accentue encore cette sensation de lourdeur et est particulièrement utile pour calculer l'utilisation du matériau ou évaluer les coûts de transport. Globalement, la densité et la densité optimisées font des tiges de cuivre tungstène un choix idéal pour les applications sensibles au poids qui exigent des performances élevées. En ajustant le rapport tungstène/cuivre, ils peuvent être adaptés de manière flexible pour répondre à diverses exigences, évitant les difficultés de traitement associées à une densité trop élevée ou la résistance insuffisante associée à une densité trop faible.

4.1.2 Point de fusion et stabilité thermique de la tige de cuivre tungstène

Les caractéristiques de point de fusion des tiges de cuivre tungstène héritent de l'extrême résistance à la chaleur du tungstène, ce qui lui permet de conserver son intégrité dans les environnements à haute température, telle une forteresse résistant à l'épreuve du feu. Ce point de fusion élevé élève considérablement la limite supérieure de la résistance thermique globale du matériau. Même à des températures proches de celles du cuivre, la tige de cuivre tungstène ne se ramollit ni ne se déforme facilement. Cette stabilité thermique est particulièrement importante dans les applications de soudage par décharge à l'arc ou à haute température, où elle peut résister aux chocs thermiques transitoires et empêcher la structure interne du matériau de s'effondrer, prolongeant ainsi sa durée de vie. En cas d'exposition prolongée à des températures élevées, la stabilité thermique des tiges de cuivre tungstène se reflète également dans la durabilité de leur structure de phase, sans transformation cristalline ni décomposition thermique significatives. Cela les rend idéales pour les applications impliquant des températures élevées soutenues, telles que les composants de moteurs d'avion ou les dissipateurs thermiques électroniques. Grâce à des procédés composites sophistiqués, cette stabilité peut être encore améliorée, permettant à la tige de cuivre tungstène de fonctionner facilement dans des environnements thermiques extrêmes, comme un guerrier qui n'a pas peur du feu, protégeant le fonctionnement normal de l'équipement.

4.1.3 Coefficient de dilatation thermique et conductivité thermique de la tige de cuivre tungstène

Le coefficient de dilatation thermique (CDT) est un facteur clé de la résistance des tiges de cuivre-tungstène aux fluctuations de température. La faible dilatation du tungstène influence les performances globales du matériau, lui permettant de maintenir une relative stabilité dimensionnelle lors des cycles thermiques, évitant ainsi la concentration des contraintes et la formation de fissures dues aux dilatations différentielles. Cette caractéristique, telle la flexibilité d'un pont lors des changements saisonniers, est particulièrement adaptée aux applications impliquant la céramique, le verre ou les matériaux semi-conducteurs. Par exemple, dans les boîtiers microélectroniques, les tiges de cuivre-tungstène s'adaptent parfaitement à la puce, prévenant ainsi les défaillances dues aux contraintes thermiques. La conductivité thermique, principalement due aux excellentes capacités de transfert de chaleur du cuivre, permet aux tiges de cuivre-tungstène d'agir comme des caloducs efficaces, dissipant rapidement la chaleur de la source vers le milieu ambiant, évitant ainsi toute surchauffe localisée. Dans les dispositifs laser de forte puissance ou les semi-conducteurs de puissance, cette conductivité thermique assure des températures de fonctionnement stables et réduit le risque de défaillance thermique. L'effet synergique du CDT et de la conductivité thermique confère aux tiges de cuivre-tungstène un caractère unique dans le domaine de la gestion thermique. Ils résistent non seulement aux fluctuations de température, mais régulent également activement le flux de chaleur, permettant ainsi un transfert d'énergie efficace et un équilibre de dissipation de chaleur.

4.1.4 Conductivité et résistivité de la tige de cuivre tungstène

La conductivité électrique est le principal atout des tiges de cuivre-tungstène dans les applications électriques. Le réseau continu de phases de cuivre agit comme une autoroute efficace, assurant un chemin conducteur fluide pour le courant électrique. Si l'ajout de tungstène augmente légèrement la résistivité, il améliore significativement la résistance à l'arc électrique et la stabilité globale du matériau. Cette conception équilibrée rend les tiges de cuivre-tungstène idéales pour les contacts électriques haute tension ou les appareillages de commutation, permettant un passage fluide des courants élevés tout en résistant aux dommages causés par l'érosion par arc électrique. En pratique, leurs propriétés électriques en font un matériau d'électrode privilégié, capable de supporter des signaux haute fréquence ou haute puissance sans génération de chaleur excessive ni dégradation du signal. La variation flexible de la résistivité en fonction de la teneur en tungstène permet des applications personnalisées, comme la réduction de la teneur en tungstène dans les conducteurs à faible résistance ou son augmentation dans les contacts électriques résistants à l'usure afin d'en prolonger la durée de vie. Globalement, la conductivité et la résistivité optimisées rendent les tiges de cuivre-tungstène particulièrement adaptées au domaine électrique, alliant efficacité de conduction et fiabilité à long terme.

4.2 Propriétés mécaniques de la tige de cuivre tungstène

Les propriétés mécaniques des tiges de tungstène-cuivre garantissent leur fiabilité dans les environnements soumis à des contraintes mécaniques. Ces propriétés allient la rigidité du tungstène à la flexibilité du cuivre, créant une tige de tungstène capable, telle une arme, de résister à l'usure, aux chocs et à la déformation. Ces caractéristiques permettent au matériau de briller dans les

applications dynamiques, lui permettant de résister non seulement aux charges statiques, mais aussi aux contraintes mécaniques répétées.

4.2.1 Dureté et résistance de la tige de cuivre tungstène

La dureté est une manifestation importante des propriétés mécaniques des tiges de cuivre-tungstène. La répartition uniforme des particules de tungstène agit comme une ossature robuste, améliorant la résistance du matériau aux pressions externes et le rendant moins sensible aux rayures ou à la déformation dans les environnements à haute pression ou à frottement élevé. Cette dureté est particulièrement utile dans les moules et les outils de coupe, car elle préserve les arêtes vives et prolonge la durée de vie de l'outil. La résistance se reflète dans ses performances en traction, compression et flexion. L'ajout de tungstène augmente significativement la résistance à la traction du matériau, permettant à la tige de cuivre-tungstène de conserver son intégrité structurelle sous charge et d'éviter une rupture brutale. Dans les bâtiments ou les composants mécaniques, cette résistance agit comme un support pour les poutres et les colonnes, garantissant sécurité et fiabilité. Grâce à des procédés de fabrication avancés, ces propriétés peuvent être encore améliorées, permettant aux tiges de cuivre-tungstène de s'adapter à des environnements industriels encore plus exigeants, telle une forteresse indestructible.

4.2.2 Ductilité et ténacité de la tige de cuivre tungstène

La ductilité provient de la flexibilité de la phase cuivre, qui permet à la tige de tungstène-cuivre de se déformer légèrement sous contrainte sans se rompre immédiatement. Ce qui contraste fortement avec la fragilité du tungstène pur, facilitant ainsi le traitement et le formage du matériau. Lors de l'étirement ou de la flexion, cette ductilité agit comme un tampon élastique pour le matériau, absorbant une partie de l'énergie et prévenant une défaillance catastrophique. La ténacité reflète la capacité du matériau à absorber l'énergie d'un impact. En cas de vibrations ou de collisions, la tige de tungstène-cuivre peut amortir les forces externes et maintenir son intégrité globale. Cette propriété joue un rôle essentiel dans les pièces automobiles ou les équipements vibrants, permettant au matériau de conserver sa durabilité sous des contraintes répétées et d'éviter les dommages causés par l'accumulation de fatigue. L'optimisation de l'interface tungstène-cuivre permet d'améliorer encore la ductilité et la ténacité, permettant à la tige de tungstène-cuivre d'être performante dans les applications dynamiques.

4.2.3 Résistance à l'usure et aux chocs de la tige de cuivre tungstène

La résistance à l'usure sert de couche protectrice aux tiges de tungstène-cuivre dans les environnements de frottement. La phase dure du tungstène, comme le diamant, résiste à l'érosion par les particules d'usure, prolongeant ainsi considérablement la durée de vie du matériau. Dans les machines à grande vitesse ou les environnements soumis à une usure importante, cette résistance à l'usure assure une surface lisse et durable et prévient la dégradation des performances. La résistance aux chocs est obtenue grâce au mécanisme de dispersion d'énergie de la structure composite, où les forces d'impact sont uniformément absorbées à l'interface tungstène-cuivre, évitant ainsi les dommages localisés. Cette propriété agit comme un coussin, protégeant le matériau des collisions ou des chutes. La combinaison de la résistance à l'usure et aux chocs fait des tiges de tungstène-cuivre un choix fiable pour les équipements militaires ou les outils industriels lourds, capables de

résister à des tests rigoureux tout en conservant leur fonctionnalité.

4.3 Propriétés chimiques de la tige de cuivre tungstène

Les propriétés chimiques des tiges de cuivre tungstène déterminent leur performance dans des environnements chimiques corrosifs ou à haute température. Ces propriétés agissent comme le « système immunitaire » du matériau, résistant à la corrosion externe et garantissant stabilité et sécurité à long terme.

4.3.1 Résistance à l'oxydation et à la corrosion de la tige de cuivre tungstène

La résistance à l'oxydation est particulièrement importante dans l'air à haute température. La couche d'oxyde stable du tungstène agit comme un film protecteur, ralentissant l'oxydation de la phase cuivre et préservant l'intégrité du matériau dans les environnements brûlants. Ce pouvoir antioxydant rend les tiges de tungstène-cuivre adaptées aux fours ou aux systèmes d'échappement, empêchant une dégradation rapide. Leur résistance à la corrosion est remarquable en environnements acides, alcalins ou humides. Les tiges de tungstène-cuivre résistent à l'érosion d'un large éventail de milieux chimiques, tel un gardien insensible aux éléments. Dans les pipelines chimiques ou les équipements marins, cette caractéristique prolonge la durée de vie et réduit les besoins de maintenance. Un traitement de surface peut encore améliorer ces propriétés, permettant au matériau de résister aux conditions chimiques difficiles.

4.3.2 Stabilité chimique à haute température de la tige de cuivre tungstène

La stabilité chimique à haute température permet aux tiges de tungstène-cuivre de rester inertes dans les gaz chauds ou les milieux en fusion. L'inertie chimique du tungstène prévient les réactions indésirables ou la décomposition. Cette stabilité agit comme une force stabilisatrice dans un four, garantissant un fonctionnement fiable des réacteurs ou capteurs à haute température et prévenant les défaillances dues aux changements de phase. Dans les secteurs de la métallurgie et de l'énergie, cette propriété permet un fonctionnement soutenu à haute température et préserve la structure et la fonction du matériau.

4.3.3 Compatibilité de la tige de cuivre tungstène avec d'autres métaux

La compatibilité avec d'autres métaux est un autre avantage majeur des tiges de cuivre tungstène. Elles forment facilement une interface stable avec l'aluminium, l'acier ou le nickel, empêchant ainsi la séparation interfaciale ou la corrosion. Cette compatibilité agit comme un pont reliant des matériaux différents et joue un rôle dans les structures composites telles que les connecteurs électroniques, assurant la stabilité de l'ensemble du système. Lors du soudage ou de l'alliage, cette caractéristique simplifie le procédé et améliore l'efficacité.

4.4 Microstructure et caractéristiques organisationnelles de la tige de cuivre tungstène

La microstructure est le « plan interne » des performances des tiges de tungstène-cuivre. Elle révèle la distribution, la liaison et l'évolution de la phase tungstène-cuivre. Ces caractéristiques, comme l'ADN du matériau, déterminent les performances des propriétés macroscopiques.

4.4.1 Structure cristalline et composition de phase de la tige de cuivre tungstène

La structure cristalline est principalement composée du réseau cubique centré du tungstène et du réseau cubique à faces centrées du cuivre, chacun existant indépendamment pour former un système de pseudo-alliage. Cette structure confère au matériau la rigidité du tungstène et la flexibilité du cuivre, évoquant deux structures architecturales harmonieuses vues au microscope. La composition des phases s'apparente à un puzzle précis : la phase tungstène fournit une structure solide et la phase cuivre comble les vides, assurant ainsi l'équilibre global.

4.4.2 Caractéristiques de distribution des phases de tungstène et de cuivre

La phase tungstène est répartie uniformément dans la matrice de cuivre, telle une succession d'étoiles dans le ciel nocturne, évitant ainsi les agrégats localisés et les irrégularités. Cette répartition garantit des performances constantes, tandis que la phase cuivre forme un réseau continu, améliorant le chemin conducteur. Cette uniformité est obtenue grâce au contrôle des procédés de fabrication, ce qui permet d'obtenir un matériau parfaitement harmonieux à l'échelle microscopique.

4.4.3 Mécanisme de liaison d'interface et analyse de la microstructure

Le mécanisme de liaison interfaciale repose principalement sur l'imbrication mécanique et la diffusion microscopique, ce qui permet une connexion étroite entre les alliages de tungstène et de cuivre, sans couches de composés interférentes significatives. L'analyse microstructurale révèle une interface lisse et résistante, dotée d'une structure uniforme, similaire à l'engrènement d'engrenages de précision, assurant un transfert efficace d'énergie et de contraintes. La microscopie électronique révèle cette structure, révélant ainsi la source de la résistance intrinsèque du matériau.



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD
Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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 5 Principaux domaines d'application de la tige de cuivre tungstène

Matériau composite haute performance, la barre de tungstène-cuivre allie la résistance élevée et la résistance aux hautes températures du tungstène à l'excellente conductivité électrique et thermique du cuivre, ce qui la rend largement utilisée dans divers domaines de haute technologie. Ses propriétés physiques et chimiques uniques lui permettent de maintenir sa stabilité et sa fiabilité dans des environnements d'exploitation exigeants, répondant ainsi aux exigences strictes de secteurs tels que l'électricité et l'électronique, l'aérospatiale et la défense, la fabrication de machines et la gestion thermique. Ce chapitre explore en détail les applications de la barre de tungstène-cuivre dans les secteurs de l'électricité et de l'électronique, de l'aérospatiale et de la défense, de la fabrication de machines et de moules, de la gestion thermique et d'autres domaines émergents, en mettant l'accent sur ses fonctions, ses avantages, ses défis et ses exigences techniques. Grâce à des descriptions professionnelles et détaillées, il clarifiera son importance dans l'industrie moderne.

5.1 Électricité et électronique

Les tiges de cuivre tungstène ont d'importantes applications dans les domaines électrique et électronique, principalement en raison de leur conductivité électrique élevée, de leur excellente résistance à l'érosion par arc électrique et de leur bonne stabilité thermique. Ces propriétés en font un choix idéal pour les contacts électriques haute tension, les composants de commutation et les électrodes. Elles sont également largement utilisées dans la transmission et la distribution d'énergie, ainsi que dans les encapsulations microélectroniques.

Dans les équipements électriques haute tension, les tiges de cuivre tungstène sont souvent utilisées comme matériaux de contact électrique. La phase de cuivre offre un chemin de courant à faible résistance, garantissant une transmission efficace du courant, tandis que son point de fusion élevé et sa dureté résistent efficacement à l'ablation à haute température et à l'usure mécanique causée par les arcs électriques. Dans les disjoncteurs et appareillages de commutation haute tension, les contacts en tige de cuivre tungstène supportent des commutations fréquentes et maintiennent des performances stables à long terme. Par exemple, dans les réseaux de distribution d'énergie, ces contacts permettent une ouverture et une fermeture rapides, réduisant ainsi les pertes d'énergie et les dommages de surface causés par les arcs électriques, prolongeant ainsi la durée de vie des équipements. De plus, leurs propriétés antiadhésives empêchent les contacts de se souder sous l'effet de chocs électriques importants, améliorant ainsi la sécurité du système.

Dans le domaine de l'électronique, les tiges de cuivre tungstène sont largement utilisées comme électrodes et connecteurs dans les boîtiers microélectroniques. Leur coefficient de dilatation thermique est proche de celui des matériaux semi-conducteurs (tels que le silicium et l'arséniure de gallium), réduisant ainsi efficacement la concentration de contraintes et la formation de fissures causées par la dilatation différentielle lors des cycles thermiques. Cette propriété est particulièrement importante pour le boîtier des circuits intégrés de forte puissance et des amplificateurs de puissance. Utilisées comme substrat ou matériau d'électrode, les tiges de cuivre tungstène assurent une connexion fiable entre la puce et le substrat, tout en permettant une transmission efficace du signal grâce à la conductivité électrique élevée de la phase de cuivre. De

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

plus, leur excellente conductivité thermique facilite une dissipation thermique rapide, prévenant ainsi les pannes de puce dues à la surchauffe, ce qui les rend idéales pour les dispositifs électroniques hautes performances tels que les systèmes radar et les modules de communication.

Les tiges de cuivre tungstène sont également remarquables pour leur utilisation dans les électrodes d'usinage par électroérosion (EDM). Leur dureté et leur résistance à l'usure élevées garantissent la précision de la forme des électrodes pendant l'usinage, tandis que leur excellente conductivité électrique assure une décharge stable. Ces caractéristiques en font un matériau idéal pour la fabrication de moules de précision et l'usinage de pièces complexes, permettant l'usinage de matériaux de haute dureté tels que les alliages de titane et le carbure cimenté.

5.2 Industrie aérospatiale et de défense

Les tiges de cuivre tungstène sont utilisées dans les secteurs de l'aérospatiale et de la défense en raison de leur densité élevée, de leur résistance aux températures élevées et aux chocs, ce qui leur permet de maintenir leur intégrité structurelle et leur fiabilité fonctionnelle dans des environnements extrêmes. Ces propriétés en font un matériau idéal pour les composants de moteurs-fusées, les autodirecteurs de missiles et les matériaux de pénétration de blindage.

Dans le domaine aérospatial, les tiges de cuivre tungstène sont souvent utilisées pour la fabrication de chemises de col et de composants de protection thermique pour tuyères de moteurs-fusées. Leur point de fusion élevé et leur stabilité thermique permettent de résister à l'érosion des gaz à haute température et haute pression dans la chambre de combustion, empêchant ainsi la fusion ou l'ablation du matériau. La conductivité thermique élevée de la phase cuivre dissipe rapidement la chaleur des zones à haute température, évitant ainsi toute surchauffe locale et garantissant la stabilité de la tuyère pendant les opérations à long terme. De plus, leur densité élevée leur confère des avantages uniques dans les systèmes de contrepoids des engins spatiaux, utilisés pour ajuster le centre de gravité de l'avion et garantir la précision du lancement et des opérations orbitales. Par exemple, dans les systèmes de contrôle d'attitude des satellites, les contrepoids en tiges de cuivre tungstène peuvent assurer un équilibre inertiel stable et répondre aux exigences dynamiques de haute précision.

Dans l'industrie de la défense, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées pour la fabrication de noyaux de projectiles perforants et de composants de contact électrique. Leur densité et leur dureté élevées leur permettent de pénétrer les matériaux de blindage les plus résistants, tandis que la ténacité de la phase de cuivre améliore la résistance aux chocs du noyau et réduit le risque de fracture. De plus, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées comme matériaux d'électrode dans les équipements électroniques militaires, assurant leur stabilité sous des conditions d'impulsions de forte puissance et les rendant adaptées aux radars et aux systèmes de contre-mesures électroniques. La résistance à la corrosion et la stabilité à haute température du matériau garantissent sa fiabilité dans les environnements de champ de bataille difficiles, tels que les températures élevées, l'humidité élevée et le brouillard salin.

5.3 Industrie des machines et des moules

L'utilisation de la tige de tungstène-cuivre dans l'industrie des machines et des moules repose principalement sur sa dureté élevée, sa résistance à l'usure et ses excellentes performances d'usinage. Elle est idéale pour la fabrication de moules de haute précision, d'outils de coupe et de pièces résistantes à l'usure. Ces caractéristiques lui permettent d'être performant dans des environnements soumis à de fortes charges et à des frottements, prolongeant ainsi la durée de vie des équipements et des outils.

Dans la fabrication de moules, les tiges de cuivre tungstène sont souvent utilisées pour la fabrication d'outils d'électroérosion et d'emboutissage. Leur dureté élevée résiste à l'usure et à la déformation pendant l'usinage, garantissant ainsi la précision dimensionnelle et la qualité de surface. La conductivité électrique de la phase cuivre assure une décharge électroérosion efficace, ce qui la rend idéale pour l'usinage de géométries complexes telles que les composants aéronautiques et les dispositifs médicaux. De plus, la conductivité thermique élevée de la tige facilite une dissipation thermique rapide, réduisant ainsi les fissures de fatigue thermique lors du fonctionnement continu du moule et améliorant l'efficacité de la production.

Dans l'industrie des outils de coupe, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées comme matériaux ou plaquettes d'outils. Leur résistance à l'usure et aux chocs leur permet de couper des matériaux très durs comme l'acier inoxydable et les alliages de titane, préservant ainsi l'affûtage et la durée de vie des outils. De plus, la ténacité de la phase cuivre réduit le risque de rupture fragile, ce qui les rend plus compétitives pour la coupe à grande vitesse et l'usinage sous fortes charges. Dans les moules de moulage par injection et de coulée sous pression, la résistance aux hautes températures et aux chocs thermiques des tiges de cuivre tungstène assure la stabilité du moule lors des cycles répétés de chauffage et de refroidissement, réduisant ainsi les fissures et les déformations de surface.

5.4 Dispositifs de gestion thermique et de dissipation de chaleur

L'utilisation de la tige de cuivre tungstène dans les dispositifs de gestion thermique et de dissipation thermique bénéficie de son excellente conductivité thermique et de son faible coefficient de dilatation thermique, ce qui en fait un choix idéal pour les dispositifs électroniques de forte puissance et les matériaux de dissipation thermique. La densité des appareils électroniques modernes impose des exigences plus élevées en matière de performances de dissipation thermique, et la tige de cuivre tungstène a démontré d'excellentes capacités dans ce domaine.

Dans les dispositifs électroniques de forte puissance, les tiges de cuivre tungstène sont souvent utilisées comme substrats et matériaux de dissipation thermique. Leur conductivité thermique élevée leur permet de transférer rapidement la chaleur générée par les puces ou les lasers vers l'environnement extérieur, évitant ainsi toute surchauffe susceptible d'entraîner une dégradation des performances ou une défaillance du dispositif. Par exemple, dans les diodes laser et les amplificateurs de puissance, les dissipateurs thermiques en tiges de cuivre tungstène réduisent efficacement les températures de fonctionnement, améliorant ainsi la fiabilité et la durée de vie des dispositifs. Leur faible coefficient de dilatation thermique, compatible avec les matériaux semi-conducteurs, réduit les contraintes thermiques et garantit l'intégrité structurelle pendant le

fonctionnement à long terme.

Dans les véhicules à énergies nouvelles et les équipements de communication 5G, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées dans la fabrication de systèmes de gestion de batterie et de modules de refroidissement de stations de base. Leur conductivité thermique rapide assure une gestion efficace de la chaleur, évitant ainsi la surchauffe de la batterie ou la défaillance thermique des processeurs de signal. De plus, leur grande solidité et leur résistance à la corrosion permettent une utilisation durable dans des environnements humides ou à haute température, répondant ainsi aux exigences des équipements extérieurs. Dans la fabrication de caloducs et d'échangeurs de chaleur, leur conductivité thermique et leur stabilité mécanique améliorent encore l'efficacité des systèmes, les rendant ainsi parfaitement adaptés aux centres de données et aux systèmes de refroidissement industriels.

5.5 Autres domaines d'application

Outre les principaux domaines d'application mentionnés ci-dessus, les tiges de tungstène et de cuivre présentent également un potentiel dans de nombreux domaines émergents et spécialisés. Leur polyvalence a constamment élargi leur champ d'application.

Dans le domaine médical, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées pour fabriquer des composants de blindage et des collimateurs pour les équipements de radiothérapie. Leur haute densité protège efficacement des rayons X et gamma, protégeant ainsi les patients et le personnel médical des dommages causés par les radiations, tandis que leurs propriétés de mise en œuvre permettent la fabrication de formes complexes. De plus, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées comme électrodes ou dissipateurs thermiques dans les équipements d'imagerie médicale, améliorant ainsi leurs performances et leur stabilité.

Dans le secteur des énergies renouvelables, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées comme composants de contact électrique dans les systèmes de production d'énergie photovoltaïque et éolienne. Leur conductivité élevée et leur résistance à l'usure favorisent une transmission efficace du courant, tandis que leur résistance à la corrosion assure une fiabilité à long terme en environnement extérieur. Par exemple, dans les onduleurs solaires, les tiges de cuivre tungstène servent de matériaux de connexion, capables de résister aux courants élevés et aux commutations fréquentes.

En recherche scientifique, les tiges de cuivre tungstène sont souvent utilisées comme composants dans les dispositifs expérimentaux à haute température et les accélérateurs de particules. Leur résistance aux hautes températures et aux chocs leur permet de supporter des conditions expérimentales extrêmes, telles que les environnements plasma à haute température ou les impacts de particules à haute énergie. De plus, leur conductivité électrique et thermique facilite la transmission des signaux et la gestion thermique dans les équipements expérimentaux de précision.

Dans les secteurs du sport et du divertissement, les tiges de cuivre tungstène sont utilisées pour fabriquer des équipements sportifs de haute précision, tels que les poids de clubs de golf. Leur

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

densité élevée permet une répartition idéale du poids dans un volume réduit, améliorant ainsi l'équilibre et la maniabilité de l'équipement. Bien que cette application soit de niche, elle démontre le potentiel des tiges de cuivre tungstène dans des applications non industrielles.

En résumé, les tiges de cuivre-tungstène, grâce à leurs excellentes propriétés, offrent de vastes perspectives d'application dans les domaines de l'électricité et de l'électronique, de l'aérospatiale et de la défense, des machines et des moules, de la gestion thermique et d'autres domaines émergents. Leur haute conductivité, leur résistance aux hautes températures et leur résistance mécanique leur permettent de résister à des environnements d'exploitation complexes et exigeants, contribuant ainsi de manière fiable au développement de l'industrie et des technologies modernes. Grâce aux progrès de la science des matériaux, les domaines d'application des tiges de cuivre-tungstène devraient encore s'élargir, apportant des solutions innovantes à un nombre croissant d'industries.



Chapitre 6 Équipement de production et contrôle du processus de fabrication des tiges de cuivre et de tungstène

La production de barres de cuivre tungstène est un procédé complexe de métallurgie des poudres impliquant plusieurs étapes clés, notamment la préparation de la poudre, le formage, le frittage, l'infiltration sous vide, le post-traitement et le contrôle qualité. Chaque étape nécessite des équipements de production sophistiqués et un contrôle rigoureux du procédé afin de garantir la stabilité et la constance des propriétés du matériau. La conception et le fonctionnement des équipements de production déterminent directement la microstructure, les propriétés physiques et la qualité finale des barres de cuivre tungstène. Le contrôle du procédé permet d'obtenir un rendement élevé et de faibles taux de défauts grâce à une gestion précise des paramètres. Ce chapitre détaille les principaux équipements impliqués dans le procédé de production de barres de cuivre tungstène et leurs fonctions. En complément des points clés du contrôle du procédé, il analyse le choix des équipements, les exigences opérationnelles et les stratégies d'optimisation afin de fournir

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

des orientations techniques pour la production industrielle.

6.1 Équipement de préparation et de formage de poudre

Les équipements de préparation et de formage de poudre sont essentiels à la production de barres de tungstène et de cuivre. Ils permettent de préparer des poudres de tungstène et de cuivre électrolytique de haute pureté et de les presser pour obtenir des ébauches préformées. Ces équipements doivent garantir la pureté de la poudre, la granulométrie et l'uniformité des ébauches formées, préparant ainsi les bases du frittage et de l'infiltration ultérieurs.

Les équipements de préparation de poudre comprennent principalement des fours de réduction à l'hydrogène et des systèmes de raffinage électrolytique. Le four de réduction à l'hydrogène permet de préparer de la poudre de tungstène de haute pureté à partir de tungstate ou de trioxyde de tungstène. Il utilise généralement un four tubulaire ou un four rotatif, équipé d'un système de contrôle précis de la température et d'un dispositif d'alimentation en hydrogène. La température dans le four est clairement divisée, et la réduction primaire et la réduction secondaire sont réalisées dans des zones de température différentes afin de garantir une granulométrie uniforme et une faible teneur en oxygène. Le système de raffinage électrolytique permet de produire de la poudre de cuivre électrolytique. Il comprend une cellule électrolytique, une plaque cathodique et un dispositif de contrôle du courant. Le système de circulation d'électrolyte assure la pureté et la consistance élevées de la poudre de cuivre. De plus, le classificateur à flux d'air et le tamis vibrant permettent de contrôler la granulométrie de la poudre. Les particules de différentes tailles sont séparées par un flux d'air ou un tamis à grande vitesse afin de garantir que la granulométrie des poudres de tungstène et de cuivre répond aux exigences du procédé.

Les équipements de formage comprennent principalement des presses uniaxiales et des presses isostatiques. Les presses uniaxiales, à entraînement hydraulique ou mécanique, compriment la poudre de tungstène (qui peut être mélangée à une petite quantité de poudre de cuivre ou à un liant) pour former un corps cru dans un moule en acier. Elles sont équipées de capteurs de pression et de systèmes de contrôle automatisés pour une application précise de la pression et un contrôle du temps de maintien. Les presses isostatiques, quant à elles, appliquent une pression uniforme par l'intermédiaire d'un milieu liquide ou gazeux et conviennent au formage de corps crus de grandes dimensions ou de formes complexes. Équipées d'une pompe haute pression et de moules flexibles, elles améliorent considérablement l'uniformité de la densité du corps cru. Lors du formage, la conception du moule et le système de démoulage sont essentiels. Des matériaux résistants à l'usure et des dispositifs de lubrification sont nécessaires pour éviter les défauts de surface ou le collage.

En termes de contrôle du procédé, la préparation de la poudre nécessite une surveillance stricte de l'atmosphère réductrice, du gradient de température et de la composition de l'électrolyte afin de garantir une pureté de la poudre supérieure à 99,95 % et une granulométrie comprise entre 1 et 5 μm . Pendant le formage, la pression, l'ajout de liant et la vitesse de démoulage doivent être ajustés avec précision afin d'éviter les fissures dans le corps vert ou les gradients de densité. L'entretien et le nettoyage des équipements sont également essentiels pour prévenir la contamination par des impuretés ou l'usure des équipements, qui pourraient affecter la qualité de la poudre.

CTIA GROUP LTD
Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

6.2 Équipement de frittage sous vide et de préparation de préformes

Les équipements de frittage sous vide et de préparation des préformes permettent de transformer le corps vert pressé en un squelette poreux en tungstène présentant une porosité et une résistance appropriées, constituant ainsi la base structurelle de l'infiltration sous vide ultérieure. Ces équipements doivent disposer d'un contrôle de température et d'une gestion de l'atmosphère de haute précision pour garantir la stabilité du processus de frittage et l'uniformité du squelette.

Le four de frittage sous vide est l'équipement principal. Il utilise généralement un chauffage par résistance ou par induction et est équipé d'un système de régulation de température multizone et d'un système de pompage à vide. Le corps du four est construit en matériaux résistants aux hautes températures (tels que l'acier inoxydable ou le quartz) et est équipé d'éléments chauffants en graphite ou en molybdène, permettant un frittage à haute température entre 1 200 et 1 600 °C. Le système de pompage à vide, composé d'une pompe mécanique et d'une pompe à diffusion, maintient un vide inférieur à 10^{-3} Pa à l'intérieur du four, empêchant l'oxydation et facilitant l'évacuation des gaz. Certains fours de frittage prennent en charge le frittage sous atmosphère d'hydrogène et sont équipés d'un système d'alimentation en hydrogène et de traitement des gaz d'échappement afin de réduire les oxydes de surface et d'améliorer l'efficacité de la liaison des particules. La conception du chauffage multizone assure un champ de température uniforme, minimisant ainsi la déformation du corps vert et la surchauffe localisée.

La préparation des préformes peut également nécessiter des équipements auxiliaires tels qu'un four de déliantage et un système de traitement des agents porogènes. Le four de déliantage élimine les liants (tels que l'alcool polyvinylique) de la pièce brute pressée. Chauffé à basse température (400-600 °C) sous atmosphère protectrice, il décompose la matière organique afin d'éviter la formation de carbures résiduels susceptibles d'altérer la qualité de la préforme. Le système de traitement des agents porogènes permet d'ajouter et de retirer des agents porogènes temporaires (tels que le bicarbonate d'ammonium) et de contrôler la porosité grâce à un dosage précis et à un traitement thermique.

Lors du contrôle du procédé, la température de frittage, le temps de maintien et la vitesse de chauffe sont des paramètres clés. La température doit être augmentée progressivement pour éviter les fissures du corps cru dues aux contraintes thermiques ; le temps de maintien est maintenu entre 2 et 4 heures afin de garantir une liaison solide entre les particules. La surveillance en temps réel du niveau de vide ou du débit d'hydrogène prévient l'oxydation et l'introduction d'impuretés. La porosité est contrôlée en optimisant le rapport granulométrique de la poudre et les paramètres de frittage, l'objectif étant d'atteindre une porosité connectée de 20 à 40 % pour permettre l'infiltration ultérieure du cuivre.

6.3 Équipement d'infiltration sous vide

L'équipement d'infiltration sous vide est au cœur de la production de barres de cuivre tungstène. Il permet d'infiltrer le cuivre fondu dans le squelette poreux du tungstène pour former un matériau composite dense. Cet équipement doit offrir des performances de vide élevées, un contrôle précis de la température et un environnement de fonctionnement stable pour garantir un remplissage

uniforme du cuivre et éviter les défauts.

Un four d'infiltration sous vide comprend généralement une chambre à vide, un système de chauffage, une pompe à vide et un système de refroidissement. La chambre à vide est construite en matériaux résistants aux hautes températures et contient un creuset en graphite pour contenir la préforme en tungstène et le bloc de cuivre. Le système de chauffage utilise généralement un chauffage par induction moyenne fréquence, capable d'élever rapidement la température à 1 100-1 300 °C, assurant ainsi une fusion complète et une fluidité optimale du cuivre fondu. La pompe à vide, comprenant des pompes Root et moléculaires, maintient une pression de vide inférieure à 10^{-3} Pa, éliminant ainsi la résistance des gaz et favorisant l'infiltration spontanée du cuivre. Le système de refroidissement utilise un refroidissement par eau ou par air pour contrôler la vitesse de refroidissement et prévenir les fissures dues aux contraintes thermiques. Certains équipements de pointe sont équipés d'un système d'assistance au gaz haute pression, qui utilise des gaz inertes (comme l'argon) pour appliquer une pression supplémentaire et améliorer la profondeur de pénétration.

Le fonctionnement du four d'infiltration se déroule en quatre étapes : préchauffage, fusion, infiltration et refroidissement. L'étape de préchauffage chauffe la préforme en tungstène à 1 000-1 100 °C pour éliminer les gaz adsorbés en surface. L'étape de fusion chauffe le bloc de cuivre au-dessus de son point de fusion, permettant au cuivre fondu de pénétrer dans le squelette sous l'effet des forces capillaires et de la pression du vide. L'étape de maintien garantit que le cuivre fondu remplit entièrement les pores. L'étape de refroidissement utilise un refroidissement programmé pour éviter les défauts structuraux. L'équipement doit être équipé de capteurs de température de haute précision et de systèmes de surveillance du vide pour fournir un retour d'information en temps réel sur les paramètres du procédé.

Dans le contrôle des procédés, la température d'infiltration du cuivre, le niveau de vide et le temps de maintien sont essentiels. La température doit être supérieure au point de fusion du cuivre, mais inférieure à la température de recristallisation du tungstène, afin d'éviter la volatilisation du cuivre ou le grossissement des grains. Le niveau de vide doit être maintenu de manière constante pour éviter la formation de bulles ou les réactions d'oxydation. La dynamique d'infiltration est influencée par la taille des pores et la mouillabilité et doit être optimisée par la conception des préformes et l'ajout d'agents mouillants (tels que des traces de chrome). Concernant la maintenance des équipements, une inspection régulière des creusets et des éléments chauffants est essentielle pour éviter la contamination des matériaux ou une baisse de l'efficacité thermique.

6.4 Équipements de post-traitement et d'usinage

Des équipements de post-traitement et d'usinage sont utilisés pour éliminer les contraintes résiduelles lors de la préparation, ajuster les propriétés des matériaux et obtenir un formage dimensionnel précis. Ces équipements doivent offrir une précision et une résistance à l'usure élevées pour supporter la dureté élevée et les propriétés composites des tiges de tungstène-cuivre.

Les équipements de post-traitement comprennent principalement des fours de traitement thermique

et des fours de recuit. Les fours de traitement thermique utilisent une atmosphère d'hydrogène ou de vide, maintenant des températures entre 800 °C et 1 000 °C pendant 1 à 3 heures afin d'éliminer les contraintes résiduelles générées lors de l'infiltration et du refroidissement, améliorant ainsi la ténacité du matériau. Les fours de recuit utilisent un chauffage en plusieurs étapes et un refroidissement lent pour optimiser la structure cristalline et réduire les défauts internes. L'équipement est équipé d'un système de contrôle précis de la température et d'un dispositif de circulation d'air pour garantir l'uniformité et la sécurité du traitement thermique.

Les équipements d'usinage comprennent des tours CNC, des fraiseuses, des rectifieuses et des machines d'électroérosion. Ces machines sont utilisées pour l'ébauche et la finition, équipées d'outils diamantés ou en carbure pour s'adapter à la dureté élevée des tiges de cuivre tungstène. Les vitesses de coupe et d'avance doivent être rigoureusement contrôlées afin d'éviter toute surchauffe ou tout dommage de surface. Les rectifieuses permettent d'obtenir un état de surface élevé ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$) et d'usiner des formes complexes grâce à une liaison multiaxes. Les machines d'électroérosion sont adaptées à l'usinage de moules de précision et de minuscules détails, exploitant la conductivité intrinsèque des tiges de cuivre tungstène pour un usinage par décharge efficace. Pendant l'usinage, le système de circulation du liquide de refroidissement et le dispositif de surveillance de l'usure des outils sont essentiels pour garantir la précision de l'usinage et la durée de vie de l'équipement.

Lors du contrôle du procédé, le traitement thermique nécessite d'optimiser le profil de température et le temps de maintien afin d'éviter toute surchauffe, susceptible d'entraîner une précipitation du cuivre et une perte de résistance. L'usinage nécessite une programmation CNC et des mesures en ligne pour maintenir les tolérances dimensionnelles à 0,01 mm près. Le choix de l'outil et l'adéquation des paramètres de coupe sont essentiels pour éviter les microfissures et la rugosité de surface.

6.5 Équipement de test et de contrôle qualité

Des équipements de test et de contrôle qualité permettent d'évaluer les performances et la régularité des tiges de cuivre tungstène afin de garantir la conformité des produits aux exigences de conception. Ces équipements couvrent les analyses physiques, chimiques et microstructurales tout au long du processus de production.

Des équipements de mesure de la densité, notamment un densitomètre d'Archimède et un densitomètre à rayons X, permettent d'évaluer la densité et la porosité du matériau, garantissant ainsi l'absence de zones non remplies après infiltration. Un testeur de conductivité thermique utilise une méthode de flash laser ou de flux thermique pour mesurer la conductivité thermique des tiges de cuivre tungstène, vérifiant ainsi leurs capacités de gestion thermique. Un testeur de conductivité électrique mesure la résistivité à l'aide d'une sonde à quatre points afin de garantir la conformité du matériau aux exigences des applications électriques. Des équipements de test des propriétés mécaniques, notamment une machine d'essai universelle et un duromètre, sont utilisés pour les essais de traction, de compression, de flexion et de dureté, respectivement, afin d'évaluer la résistance mécanique et la résistance à l'usure du matériau.

Les équipements d'analyse microstructurale comprennent les microscopes électroniques à balayage (MEB), les diffractomètres à rayons X (DRX) et la spectroscopie dispersive en énergie (EDS). Les MEB permettent d'observer la distribution des phases de tungstène et de cuivre ainsi que les liaisons interfaciales, détectant ainsi les fissures ou les zones non pénétrées. Les DRX analysent la structure cristalline et la composition des phases pour garantir l'absence d'impuretés. Les EDS examinent la distribution élémentaire afin de vérifier la pureté et l'uniformité des matériaux. Les équipements de contrôle non destructif, tels que les détecteurs de défauts à ultrasons et les scanners à rayons X, permettent de détecter les défauts internes tels que les bulles ou les inclusions, garantissant ainsi la qualité des produits.

En contrôle de procédé, les tests doivent couvrir l'ensemble du processus, des matières premières aux produits semi-finis et finis. Des analyseurs granulométriques et des analyses chimiques sont utilisés pour garantir la qualité pendant l'étape de la poudre. La surveillance en ligne de la température et du vide pendant les étapes de frittage et d'infiltration permet de contrôler la stabilité du procédé. Des tests multidimensionnels vérifient la constance des performances pendant l'étape du produit fini. Un système de gestion des données enregistre et analyse les résultats des tests, permettant ainsi aux méthodes de contrôle statistique des procédés (SPC) d'optimiser les paramètres de production et de réduire les taux de défauts.



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD
Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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 7 Méthodes d'inspection et d'évaluation de la qualité des tiges de cuivre et de tungstène

En tant que matériau composite haute performance, le contrôle qualité et l'évaluation des tiges de cuivre tungstène sont essentiels pour garantir leur stabilité et leur fiabilité dans des applications telles que l'électricité, l'électronique, l'aérospatiale et la gestion thermique. Le contrôle qualité comprend non seulement un examen préliminaire de l'apparence et des dimensions, mais aussi une évaluation complète des propriétés physiques, mécaniques, chimiques et microstructurales. Ces méthodes d'inspection, utilisant des équipements sophistiqués et des procédés standardisés, permettent de vérifier la conformité des tiges de cuivre tungstène aux exigences de conception, d'identifier les défauts potentiels et de fournir une base pour l'optimisation des procédés. Ce chapitre explique de manière systématique les méthodes d'inspection et d'évaluation de la qualité des tiges de cuivre tungstène, en détaillant les principes techniques, les procédures opérationnelles, les exigences en matière d'équipement et les points de contrôle critiques de chaque étape d'inspection. Des comparaisons avec les normes internationales couramment utilisées sont également effectuées, fournissant des conseils professionnels pour la production et l'application.

7.1 Inspection de l'apparence et des dimensions de la tige de cuivre tungstène

L'inspection de l'apparence et des dimensions constitue la première étape du contrôle qualité des tiges de cuivre tungstène. Elle vise à garantir que la qualité de surface et la précision géométrique du matériau sont conformes aux spécifications de conception et constituent la base des essais de performance ultérieurs. L'inspection de l'apparence se concentre sur l'intégrité de la surface du matériau, en recherchant des défauts tels que des fissures, des pores, des inclusions, des flaques de cuivre ou des brûlures. Ces défauts peuvent être causés par un pressage irrégulier, des défauts de frittage ou une infiltration insuffisante pendant le processus de préparation. L'inspection est généralement réalisée par inspection visuelle à l'aide d'une loupe ou d'un microscope à faible grossissement. L'opérateur doit observer la surface de la tige sous une source lumineuse vive et uniforme afin de s'assurer qu'aucun défaut n'est visible à l'œil nu. Pour les tiges de cuivre tungstène de formes complexes, des endoscopes industriels peuvent être utilisés pour inspecter les surfaces internes ou les zones difficiles d'accès.

Le contrôle dimensionnel garantit que les paramètres géométriques de la tige de cuivre tungstène (tels que le diamètre, la longueur et la circularité) respectent les exigences de tolérance, généralement à l'aide d'outils de mesure de haute précision. Micromètres et pieds à coulisse permettent de mesurer les dimensions de base avec une précision allant jusqu'à 0,01 mm. Pour des exigences de précision plus élevées, une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT) utilise une sonde de contact multipoint pour scanner le profil tridimensionnel de la tige et vérifier si la tolérance est inférieure à 0,005 mm. Les scanners laser acquièrent rapidement les données de profil de surface grâce à une méthode sans contact, ce qui les rend adaptés à un contrôle rapide en production à grande échelle. Le contrôle dimensionnel doit également tenir compte des déformations mineures pouvant survenir après un traitement thermique ou un usinage ; plusieurs mesures sont donc nécessaires à différentes étapes de la production.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Lors du contrôle de procédé, l'inspection visuelle nécessite un système normalisé de classification des défauts. Par exemple, des critères doivent être établis en fonction de la taille et du type de défaut (par exemple, une longueur de fissure inférieure à 0,1 mm est acceptable). L'inspection dimensionnelle nécessite un équipement de mesure étalonné pour garantir la répétabilité et la précision, ainsi que l'enregistrement de la température ambiante pour corriger les effets de la dilatation thermique. L'identification précoce des défauts peut être liée à des étapes spécifiques du procédé de fabrication, comme une pression de pressage insuffisante ou une température d'infiltration excessive, ce qui fournit des données utiles à l'optimisation du procédé.

7.2 Essai des propriétés physiques de la tige de cuivre tungstène

Les tests de propriétés physiques évaluent la densité, la conductivité thermique, la conductivité électrique et la dilatation thermique des tiges de cuivre tungstène, qui ont toutes un impact direct sur leurs performances dans les applications de gestion thermique et électriques. Les tests de densité utilisent le principe d'Archimède, utilisant une balance électronique de haute précision pour mesurer la masse de la tige dans l'air et le liquide. La densité calculée est ensuite comparée aux valeurs théoriques pour évaluer l'infiltration complète et la porosité. La densité d'une tige de cuivre tungstène typique varie de 11,8 à 17,0 g/cm³, selon la teneur en tungstène (50 à 90 % en poids). Des écarts de densité peuvent indiquer des zones non remplies ou une répartition inégale du cuivre.

Les tests de conductivité thermique utilisent une méthode par flash laser, utilisant un équipement composé d'un conductivimètre laser et d'un dispositif de chauffage d'échantillon. L'échantillon de tige est chauffé par une impulsion laser, puis un détecteur infrarouge mesure l'évolution de la température de la face arrière au fil du temps afin de calculer la conductivité thermique. La conductivité thermique des tiges de cuivre tungstène varie généralement de 180 à 250 W/ m·K , selon la teneur en cuivre et l'uniformité microstructurale. Les tests de conductivité électrique utilisent une méthode de sonde à quatre points, mesurant la résistivité à l'aide d'une source de courant constant et d'un voltmètre, puis la convertissant en conductivité électrique (généralement 30 à 50 % IACS). Une conductivité électrique élevée est essentielle pour les applications de contact électrique, tandis que la conductivité thermique détermine les performances du dissipateur thermique.

Le test du coefficient de dilatation thermique est réalisé à l'aide d'un analyseur thermomécanique (TMA). L'échantillon est chauffé à une température contrôlée (20-1000 °C) et sa dilatation linéaire est mesurée. Le coefficient de dilatation thermique des tiges de cuivre tungstène est généralement compris entre 6 et 10×10⁻⁶ / K, ce qui correspond bien aux matériaux semi-conducteurs et convient au conditionnement électronique. Le test nécessite une vitesse de chauffage contrôlée (5-10 °C/min) afin d'éviter toute contrainte thermique affectant les résultats.

Lors du contrôle du procédé, les essais de propriétés physiques doivent garantir une préparation homogène des échantillons, notamment en termes de planéité et de normalisation dimensionnelle. L'environnement d'essai doit être contrôlé en termes d'humidité et de température afin d'éviter toute interférence externe. Les résultats sont analysés à l'aide de méthodes statistiques (telles que la moyenne et l'écart type) pour évaluer la cohérence des lots. Les valeurs aberrantes peuvent indiquer des défauts de procédé, comme une porosité excessive ou une distribution inégale de la phase cuivre.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

7.3 Essai des propriétés mécaniques de la tige de cuivre tungstène

Les essais mécaniques évaluent la dureté, la résistance, la ténacité et la résistance à l'usure des tiges de cuivre tungstène, garantissant ainsi leur fiabilité dans des environnements soumis à des contraintes mécaniques. Les essais de dureté utilisent un testeur de dureté Vickers ou Brinell, qui applique une charge spécifique à la surface de la tige et mesure la taille de l'empreinte. La dureté des tiges de cuivre tungstène augmente avec la teneur en tungstène, généralement entre 100 et 250 HV, ce qui les rend adaptées aux applications résistantes à l'usure telles que les moules et les électrodes.

Les essais de résistance comprennent des essais de traction, de compression et de flexion, réalisés à l'aide d'une machine d'essai universelle. Les essais de traction mesurent la résistance à la traction et l'allongement. La résistance à la traction des tiges de cuivre tungstène se situe généralement entre 500 et 800 MPa, et leur faible allongement (1 à 5 %) reflète leur ductilité limitée. Les essais de compression évaluent la résistance à la compression et conviennent aux contrepoids ou aux composants haute pression, généralement entre 800 et 1 200 MPa. L'essai de flexion trois points mesure la résistance à la flexion et la ténacité à la rupture, reflétant ainsi la performance du matériau sous charges dynamiques. Cet essai nécessite l'utilisation d'échantillons standard (tels que les éprouvettes de traction spécifiées dans la norme ASTM E8) et le contrôle du taux de charge pour garantir des résultats précis.

Les tests de résistance à l'usure utilisent un tribomètre pour mesurer la perte de masse ou la profondeur des cicatrices d'usure en faisant glisser un échantillon contre un abrasif standard (tel que l'oxyde d'aluminium) sous une charge spécifique. Les tests de résistance aux chocs sont réalisés à l'aide d'un essai de chute de poids ou d'un testeur d'impact Charpy pour évaluer la capacité du matériau à absorber l'énergie d'impact. La résistance à l'usure et aux chocs des tiges de cuivre tungstène est due à la dureté du tungstène et à la ténacité du cuivre, ce qui les rend adaptées aux environnements de coupe à grande vitesse ou de vibrations.

Lors du contrôle du procédé, les essais mécaniques doivent garantir l'absence de défauts à la surface de l'échantillon et l'étalonnage régulier des équipements d'essai. Les résultats des essais doivent être combinés à une analyse microstructurale afin de déterminer si la dégradation des performances est due à une mauvaise liaison interfaciale ou à une porosité. La constance des propriétés mécaniques d'un lot à l'autre est surveillée par contrôle statistique des procédés (CSP) afin de garantir une qualité constante du produit.

7.4 Test des propriétés chimiques de la tige de cuivre tungstène

Les tests de performance chimique évaluent la résistance à l'oxydation, la résistance à la corrosion et la stabilité chimique à haute température des tiges de cuivre-tungstène, garantissant ainsi leur fiabilité dans des environnements chimiques difficiles. Les tests de résistance à l'oxydation sont réalisés à l'aide d'un analyseur thermogravimétrique (ATG). L'échantillon est chauffé à l'air ou à l'oxygène (200-1000 °C) et la variation de masse est mesurée pour évaluer la vitesse d'oxydation. Les tiges de cuivre-tungstène présentent une excellente résistance à l'oxydation grâce à leur couche d'oxyde de tungstène stable, qui supprime la tendance à l'oxydation de la phase cuivre à haute

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

température.

Les tests de résistance à la corrosion utilisent soit des essais d'immersion, soit des tests électrochimiques. Les essais d'immersion placent les échantillons dans un environnement acide (par exemple, acide sulfurique), alcalin (par exemple, hydroxyde de sodium) ou de brouillard salin pour observer le degré de corrosion superficielle et la perte de masse. Les tests électrochimiques utilisent la polarisation potentiocinétique pour mesurer le potentiel de corrosion et la densité de courant de corrosion, évaluant ainsi la stabilité du matériau dans le milieu corrosif. Les tiges de cuivre tungstène présentent une excellente résistance à la corrosion dans divers environnements chimiques, ce qui les rend adaptées aux applications marines ou chimiques.

Les tests de stabilité chimique à haute température sont réalisés dans un four à haute température. L'échantillon est exposé à un gaz spécifique (tel que l'azote, l'hydrogène ou le dioxyde de carbone) afin de détecter tout changement de phase ou toute réaction chimique. L'inertie à haute température des tiges de cuivre-tungstène les rend stables dans les réacteurs ou capteurs à haute température.

Lors du contrôle des procédés, les tests de performance chimique nécessitent des conditions environnementales contrôlées (température, humidité et pureté du gaz) pour garantir des résultats reproductibles. Les surfaces des échantillons doivent être propres afin d'éviter toute contamination susceptible d'affecter le test. L'analyse des résultats doit être combinée à une analyse microstructurale afin de déterminer si des impuretés ou des défauts interfaciaux contribuent à la dégradation des performances chimiques.

7.5 Analyse de la microstructure et de la structure de la tige de cuivre et de tungstène

L'analyse microstructurale et structurale révèle en profondeur les propriétés microscopiques des tiges de tungstène-cuivre, en évaluant la distribution des phases tungstène-cuivre, les liaisons interfaciales et les défauts, fournissant ainsi une base pour l'optimisation des performances. La microscopie électronique à balayage (MEB) est le principal outil utilisé pour observer la distribution et la morphologie des phases tungstène-cuivre et détecter la présence de zones non pénétrées, de fissures ou d'inclusions. Le MEB, équipé du mode électrons rétrodiffusés (BSE), permet de distinguer le tungstène (numéro atomique élevé, zones claires) du cuivre (zones sombres), démontrant clairement l'uniformité de la distribution des phases.

Les diffractomètres à rayons X (DRX) sont utilisés pour analyser la structure cristalline et la composition des phases, vérifier la structure cubique centrée (BCC) du tungstène et la structure cubique à faces centrées (FCC) du cuivre, et détecter la formation de phases d'impuretés (telles que les oxydes). La spectroscopie dispersive en énergie (EDS) combinée à la microscopie électronique à balayage (MEB) analyse la distribution élémentaire, évalue le rapport tungstène-cuivre et la teneur en impuretés, et garantit la pureté du matériau. La diffraction des électrons rétrodiffusés (EBSD) fournit également des informations sur l'orientation des grains et les caractéristiques de l'interface, révélant ainsi le mécanisme de liaison tungstène-cuivre.

Les microscopes stéréoscopiques et optiques sont utilisés pour l'observation à faible grossissement

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

afin d'évaluer l'homogénéité structurale macroscopique et les défauts de surface. La tomomodensitométrie (TDM) à rayons X est utilisée pour l'examen structural interne non destructif afin d'identifier les bulles cachées, les fissures ou les zones hétérogènes. L'analyse de la porosité est réalisée par intrusion de mercure ou par un logiciel d'analyse d'images pour quantifier la distribution et la connectivité des pores.

Pour le contrôle des procédés, l'analyse microscopique nécessite l'utilisation de procédures standard de préparation des échantillons (par exemple, polissage et gravure) afin d'éviter les artefacts. Les résultats des tests doivent être combinés aux propriétés physiques et mécaniques pour analyser l'impact de la microstructure sur les propriétés macroscopiques. Les structures anormales (par exemple, les dépôts de cuivre ou la porosité) peuvent être liées à des défauts du processus d'infiltration ou de frittage, fournissant ainsi une base d'optimisation.

7.6 Comparaison des normes et méthodes de test internationales couramment utilisées

Les essais internationaux des tiges de tungstène-cuivre suivent une série de spécifications normalisées afin de garantir la comparabilité et la fiabilité des résultats. Voici une comparaison des principales normes internationales et de leur champ d'application :

1. Normes ASTM

- ASTM B702 : Cette norme spécifie les méthodes d'essai pour la composition chimique, les propriétés physiques et mécaniques des matériaux composites tungstène-cuivre, adaptées aux tests de contacts électriques et de dissipateurs thermiques. Elle inclut des spécifications pour les essais de densité, de conductivité, de dureté et de traction, en mettant l'accent sur la cohérence de la préparation des échantillons et des conditions d'essai.
- ASTM E8 : Norme d'essai de traction, applicable aux essais de résistance et de ductilité des tiges de cuivre tungstène, spécifie la taille de l'échantillon et le taux de charge.
- ASTM E384 : norme d'essai de dureté Vickers, adaptée à l'évaluation de la dureté des tiges de cuivre tungstène, avec un accent particulier sur la sélection du pénétrateur et le contrôle de la charge.

2. Normes ISO

- ISO 4499-2 : Norme d'essai de dureté pour le carbure cémenté, partiellement applicable aux tiges de cuivre tungstène, spécifie la méthode de mesure de la dureté Brinell et Vickers.
- ISO 3369 : Norme d'essai de densité, utilisant le principe d'Archimède, adaptée à l'évaluation de la densité des tiges de cuivre tungstène.
- ISO 6892-1 : Norme d'essai de traction pour matériaux métalliques, applicable aux essais de propriétés mécaniques à température élevée et ambiante.

3. Norme nationale chinoise (GB/T)

- GB/T 3458-2006 : Conditions techniques pour la poudre de tungstène, qui spécifie la pureté, la granulométrie et les méthodes de détection des impuretés de la poudre de tungstène, affectant indirectement la qualité de la matière première de la tige de cuivre de tungstène.
- GB/T 8320-2017 : Norme relative aux matériaux de contact électrique en alliage tungstène-cuivre, couvrant les exigences de test en matière de conductivité, de résistance à l'usure et de résistance à

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'arc.

- GB/T 26038-2020 : Norme sur les matériaux composites à base de tungstène, qui spécifie les méthodes d'analyse de la densité, de la conductivité thermique et de la microstructure.

4. Autres normes

- JIS H 0502 (Japon) : norme pour tester la résistance à l'usure des matériaux métalliques, applicable à l'évaluation des performances de frottement et d'usure des tiges de cuivre tungstène.

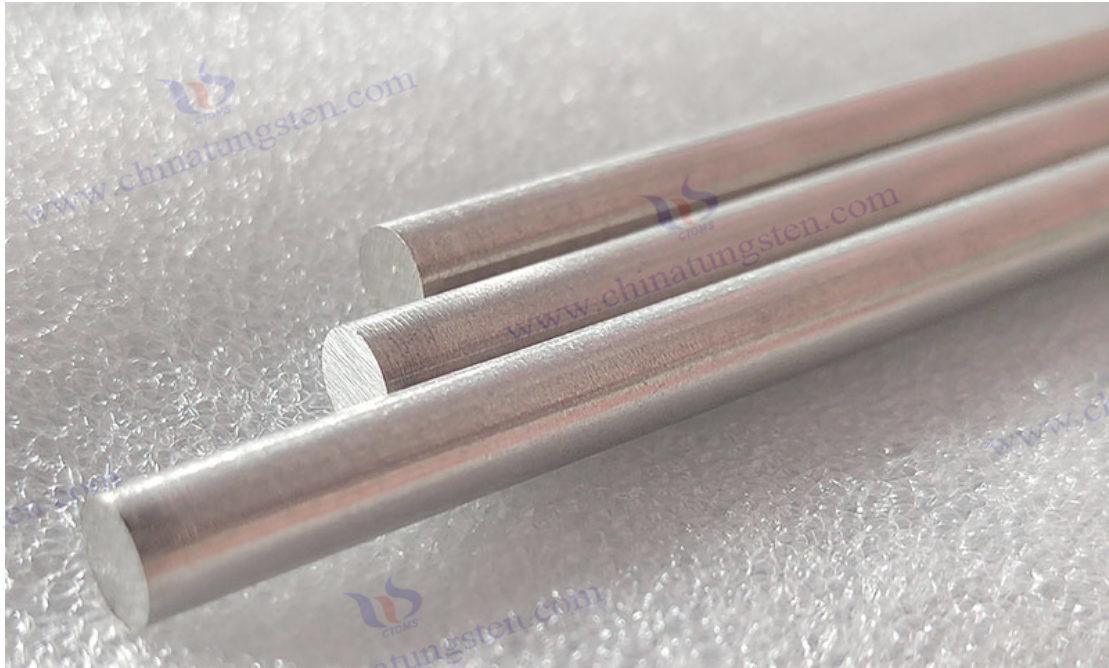
- DIN EN 623-4 (Europe) : Norme d'essai de conductivité électrique pour matériaux électroniques, applicable à la mesure de la résistivité des tiges de cuivre tungstène.

Comparaison des méthodes :

Les normes ASTM se concentrent davantage sur les tests pour les applications de gestion électrique et thermique, en mettant l'accent sur la conductivité électrique et thermique. Les normes ISO sont plus générales et applicables à une variété de matériaux composites métalliques. Les normes chinoises, adaptées aux conditions nationales, incluent des dispositions détaillées pour les matières premières et les applications de contact. Pour les tests de densité, la méthode d'Archimède (ASTM, ISO) est simple et efficace, mais la tomographie à rayons X (GB/T) est plus adaptée à la détection de la porosité interne. Pour les essais mécaniques, les normes ASTM E8 et ISO 6892-1 sont similaires pour les méthodes d'essai de traction, mais l'ISO met l'accent sur les essais à haute température. Pour l'analyse microscopique, le MEB et la DRX sont des méthodes internationales de base, mais l'EBSD est plus largement utilisée au sein de l'ASTM et convient à l'analyse des interfaces.

Lors du contrôle des procédés, il est essentiel de sélectionner les normes appropriées en fonction du scénario d'application. Par exemple, la norme GB/T 8320 est privilégiée pour les contacts électriques, tandis que la norme ASTM B702 est recommandée pour les matériaux des dissipateurs thermiques. L'étalonnage des équipements de test et la formation des opérateurs sont essentiels pour garantir une application cohérente des normes. La comparaison de plusieurs normes permet d'optimiser les processus de test et de renforcer l'acceptation internationale des résultats.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



Chapitre 8 Normes et spécifications pour les tiges de cuivre et de tungstène

En tant que matériau composite haute performance, les exigences de performance et de qualité des barres de tungstène-cuivre sont soumises à des normes et réglementations internationales strictes. Ces normes couvrent la composition chimique, les propriétés physiques et mécaniques, les procédés de fabrication et les méthodes d'essai du matériau, garantissant la fiabilité et la cohérence des produits dans des applications telles que l'électricité, l'électronique, l'aérospatiale et la gestion thermique. Bien que les systèmes de normes des différents pays et régions varient selon le contexte industriel et les exigences d'application, ils visent tous à fournir des directives techniques unifiées pour la production, les essais et l'application des barres de tungstène-cuivre. Ce chapitre explique de manière systématique les normes applicables aux barres de tungstène-cuivre en Chine, à l'international, aux États-Unis, en Europe et au Japon, en analysant leurs exigences, leur champ d'application et leurs différences, et en évaluant comparativement leur applicabilité.

8.1 Normes nationales et industrielles chinoises pour les tiges de cuivre et de tungstène

Les normes nationales et industrielles chinoises fournissent des spécifications techniques détaillées pour la production et l'application des barres de cuivre-tungstène. Elles combinent les caractéristiques industrielles nationales et couvrent les matières premières, les procédés de fabrication, les tests de performance et le contrôle qualité. Voici les principales normes applicables :

GB/T 3458-2006 Exigences techniques pour la poudre de tungstène : Cette norme spécifie la composition chimique, la granulométrie, la masse volumique apparente et la teneur en impuretés de la poudre de tungstène. Elle s'applique au contrôle des matières premières pour la production de barres de cuivre tungstène. La norme exige une pureté d'au moins 99,95 %, une teneur en oxygène inférieure à 0,05 % en poids et une granulométrie comprise entre 1 et 5 μm , garantissant ainsi l'aptitude de la poudre aux procédés de pressage et de frittage. Elle spécifie également des méthodes

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

d'essai telles que l'analyse par fluorescence X (XRF) pour les impuretés et l'analyse granulométrique par laser.

GB/T 8320-2017 Matériaux de contact électrique en alliage tungstène-cuivre : Cette norme est spécifiquement formulée pour les tiges en tungstène-cuivre utilisées comme matériaux de contact électrique. Elle couvre les exigences de composition chimique, de conductivité, de résistance à l'usure et de résistance à l'arc. La norme stipule une teneur en tungstène comprise entre 50 et 90 % en poids, une conductivité d'au moins 30 % IACS et une dureté comprise entre 100 et 250 HV. Les méthodes d'essai comprennent la mesure de la résistivité par sonde à quatre points, l'essai de dureté Vickers et l'essai d'érosion par arc. Elle s'applique aux contacts d'interrupteurs et de disjoncteurs haute tension.

GB/T 26038-2020 Exigences techniques pour les matériaux composites à base de tungstène : Cette norme s'applique aux matériaux composites à base de tungstène, y compris les tiges tungstène-cuivre, et spécifie des exigences de performance telles que la masse volumique (11,8-17,0 g/cm³), la conductivité thermique (180-250 W/ m· K) et le coefficient de dilatation thermique (6-10×10⁻⁶ / K). La norme inclut également des exigences pour l'analyse microstructurale, mettant l'accent sur la distribution uniforme de la phase tungstène-cuivre et l'absence de porosité significative. Les méthodes d'essai comprennent les essais de densité archimédienne, les essais de conductivité thermique par flash laser et l'observation au microscope électronique à balayage (MEB).

YS/T 649-2016 Norme sur les alliages tungstène-cuivre pour l'industrie des métaux non ferreux : Cette norme industrielle spécifie la composition chimique et l'usinabilité des tiges tungstène-cuivre, précisant les paramètres de performance de différents ratios tungstène-cuivre (par exemple, W70Cu30 et W80Cu20). Elle convient aux applications d'électrodes et de dissipateurs thermiques. La norme exige une rugosité de surface $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ et une tolérance dimensionnelle de $\pm 0,01 \text{ mm}$. Elle spécifie également les méthodes d'analyse chimique et d'essais mécaniques.

La norme chinoise met l'accent sur la praticité et la facilité de production, en tenant compte des atouts des ressources nationales en tungstène, et en mettant l'accent sur la pureté de la matière première et les performances électriques. Elle est adaptée aux contacts électriques et à la gestion thermique. Les exigences strictes en matière de contrôle des processus et les méthodes d'essai détaillées fournissent des orientations claires pour la production à grande échelle.

8.2 Normes internationales pour les tiges de cuivre tungstène (ISO, ASTM, IEC, etc.)

Les normes internationales fournissent des spécifications unifiées pour le commerce mondial et l'application des tiges de cuivre-tungstène. Elles sont principalement élaborées par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et la Commission électrotechnique internationale (CEI), entre autres, et couvrent les propriétés des matériaux et les méthodes d'essai.

ISO 4499-2:2020 Essai de dureté du carbure cémenté : Bien que principalement axée sur le carbure cémenté, cette norme s'applique également en partie aux essais de dureté des tiges en tungstène-cuivre. Elle spécifie les méthodes de mesure de la dureté Vickers et Brinell, exige une plage de

charge d'essai de 5 à 100 kgf et garantit des dimensions d'empreinte précises. La norme met l'accent sur l'étalonnage des équipements et la préparation de la surface des échantillons, ce qui la rend adaptée à l'évaluation de la résistance à l'usure des tiges en tungstène-cuivre.

ISO 3369:2006 Masse volumique des matériaux métalliques : Cette norme spécifie la méthode d'Archimède pour la mesure de la masse volumique et s'applique à l'évaluation de la masse volumique des tiges de tungstène-cuivre. Elle exige que le liquide d'essai (par exemple, de l'eau déionisée) soit d'une grande pureté et que sa température soit contrôlée à $20 \pm 0,5$ °C pour garantir l'exactitude de la mesure. Cette norme permet de vérifier l'intégrité du processus d'infiltration.

ISO 6892-1:2019, Essai de traction des matériaux métalliques : Cette norme spécifie les méthodes d'essai de traction à température ambiante et à température élevée, applicables aux essais de résistance à la traction et d'allongement des tiges de cuivre-tungstène. Les éprouvettes doivent être conformes aux dimensions standard (par exemple, éprouvettes cylindriques de 6 à 12 mm de diamètre) et à une vitesse de charge de 0,5 à 2 mm/min. Cette norme est adaptée à l'évaluation des performances des matériaux sous contrainte mécanique.

CEI 60468:1974 Méthodes d'essai des matériaux de contact électrique : Cette norme traite de la conductivité électrique et de la résistance à l'arc des matériaux de contact électrique et s'applique aux tiges en cuivre tungstène utilisées dans les appareillages de commutation. Elle spécifie les essais de résistivité (méthode de la sonde à quatre points) et d'érosion par arc, exigeant une conductivité électrique minimale de 30 % IACS. La résistance à l'arc est vérifiée par des essais cycliques.

Les normes internationales sont universelles et privilégient la compatibilité entre les pays. Leurs méthodes de test, scientifiques et rigoureuses, les rendent adaptées aux produits d'exportation et aux applications haut de gamme. Les normes ISO se concentrent sur les tests généraux des propriétés des matériaux, tandis que les normes CEI se concentrent sur les performances électriques, garantissant la fiabilité des tiges de cuivre tungstène dans les équipements électriques mondiaux.

8.3 Normes américaines pour les tiges de cuivre tungstène (ASTM, ANSI, SAE)

Les normes américaines sont réputées pour leur rigueur et leur souci de l'application. Elles sont principalement élaborées par l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et l'American National Standards Institute (ANSI), entre autres, et sont largement utilisées sur le marché nord-américain et dans le secteur aérospatial.

ASTM B702-93 (2019) Matériau composite tungstène-cuivre : Cette norme est spécifiquement formulée pour les matériaux composites tungstène-cuivre et couvre les exigences de composition chimique, de propriétés physiques et de propriétés mécaniques. Elle spécifie une teneur en tungstène de 50 à 90 % en poids, une masse volumique de 11,8 à 17,0 g/cm³, une conductivité électrique de 30 à 50 % IACS et une conductivité thermique de 180 à 250 W/ m·K . Les méthodes d'essai comprennent les essais de densité d'Archimède, de résistivité par sonde à quatre points et de conductivité thermique par flash laser. Elle s'applique aux contacts électriques et aux matériaux de dissipation thermique.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

-ASTM E8/E8M-21 Essais de traction des matériaux métalliques : Cette norme spécifie la préparation des échantillons, les conditions d'essai et les méthodes de traitement des données pour les essais de traction. Elle s'applique aux essais de résistance à la traction (500-800 MPa) et d'allongement des tiges de cuivre-tungstène. La surface de l'échantillon doit être exempte de défauts, la température d'essai doit être maintenue à 23 ± 2 °C et la vitesse de charge doit être comprise entre 0,015 et 0,05 mm/s.

-ASTM E384-17 Essai de dureté Vickers : Cette norme s'applique aux essais de dureté des tiges de cuivre tungstène. Elle spécifie une plage de charge de 0,1 à 100 kgf et une précision de mesure de l'indentation de $\pm 0,5$ μm . La surface d'essai doit être polie à $R_a < 0,1$ μm pour garantir des résultats précis.

-ANSI C63.2-2016 Essais de compatibilité électromagnétique : Bien que principalement destinée aux équipements électromagnétiques, cette norme s'applique partiellement aux essais de conductivité des tiges de cuivre tungstène comme matériaux d'électrode, en mettant l'accent sur la faible résistivité et la résistance à l'arc, et convient aux équipements radar et de communication.

Les normes américaines se concentrent sur les exigences de test pour les applications de gestion électrique et thermique, avec des méthodes de test détaillées et un étalonnage rigoureux des équipements, adaptées aux marchés de haute précision et haut de gamme. Les normes ASTM sont largement utilisées dans les secteurs de l'aérospatiale et de l'électronique, garantissant que les tiges de cuivre tungstène répondent à des exigences de performance élevées.

8.4 Normes européennes pour les tiges de cuivre tungstène (EN, DIN, BS)

Les normes européennes sont formulées par le Comité européen de normalisation (EN), les normes industrielles allemandes (DIN) et la British Standards Institution (BS), en se concentrant sur les performances des matériaux et les exigences de protection de l'environnement, et conviennent à la production et à l'application de tiges de cuivre tungstène sur le marché de l'UE.

EN 623-4:2004 Essai de conductivité électrique des matériaux électroniques : Cette norme spécifie la méthode d'essai de résistivité des matériaux composites métalliques, applicable aux applications où des tiges tungstène-cuivre sont utilisées comme électrodes et contacts. L'essai requiert l'utilisation d'une sonde à quatre points, une conductivité minimale de 30 % IACS et une température ambiante de 20 à 25 °C.

DIN EN ISO 6507-1:2018 Essai de dureté Vickers : Similaire à l'ASTM E384, cette norme s'applique aux essais de dureté des tiges tungstène-cuivre. Elle spécifie une plage de charge de 0,2 à 100 kgf, exige une planéité de surface élevée et une précision de mesure de l'empreinte de $\pm 0,5$ μm . Cette norme met l'accent sur la répétabilité des essais et convient à l'évaluation de la résistance à l'usure.

EN ISO 6892-1:2019 Essai de traction des matériaux métalliques : Cette norme, conforme aux normes ISO, spécifie les méthodes d'essai pour la résistance à la traction et l'allongement des tiges

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

en cuivre-tungstène. Elle convient à l'évaluation des propriétés mécaniques. Une grande précision de traitement des éprouvettes est requise, et l'étalonnage de la machine d'essai doit être conforme à la norme ISO 7500-1.

-BS EN 1011-1:2009 Compatibilité des matériaux de soudage : Cette partie standard s'applique aux tests de performance de soudage des tiges de cuivre tungstène et d'autres métaux, spécifie les méthodes de test pour la résistance de liaison de l'interface et la résistance à la corrosion, et convient aux applications de structures composites.

Les normes européennes mettent l'accent sur la protection de l'environnement et la sécurité, et les méthodes d'essai sont parfaitement compatibles avec les normes internationales, ce qui les rend adaptées aux tiges de cuivre tungstène exportées vers l'UE. Les normes DIN et EN sont largement utilisées dans les industries mécaniques et électroniques, mettant l'accent sur la fiabilité et la constance des performances des matériaux.

8.5 Norme japonaise (JIS) pour les tiges de cuivre et de tungstène

Les normes industrielles japonaises (JIS) fournissent des spécifications techniques pour la production et l'application de tiges de cuivre tungstène, combinées aux exigences de haute précision de la fabrication japonaise, adaptées aux industries de l'électronique et du moulage.

- JIS H 0502:1986 Essai de résistance à l'usure des matériaux métalliques : Cette norme spécifie les méthodes d'essai de frottement et d'usure applicables à l'évaluation de la résistance à l'usure des tiges de cuivre tungstène utilisées comme moules ou électrodes. Des abrasifs standard (tels que l'oxyde d'aluminium) sont utilisés, des charges d'essai de 5 à 50 N sont appliquées et la perte de masse ou la profondeur des traces d'usure est mesurée.

- JIS Z 2241:2011 Essai de traction des matériaux métalliques : Cette norme spécifie la préparation des échantillons et les conditions d'essai pour les essais de traction. Elle s'applique aux essais de résistance à la traction et d'allongement des tiges de cuivre-tungstène. Les dimensions de l'éprouvette doivent être conformes à la norme et la vitesse de charge doit être comprise entre 0,5 et 2 mm/min.

-JIS G 0557:2006 Méthode d'essai de dureté : Cette norme s'applique aux essais de dureté Vickers et Brinell, spécifie le processus de mesure de la dureté des tiges de cuivre tungstène, exige que la surface d'essai soit polie et que la plage de charge soit de 0,1 à 100 kgf .

-JIS C 2520:1999 Alliages de cuivre à usage électrique : Bien que principalement concernée par les alliages de cuivre, cette norme s'applique partiellement aux tests de conductivité des tiges de cuivre tungstène, spécifie la méthode de mesure de la résistivité et exige que la conductivité réponde aux exigences des applications de contact électrique.

Les normes JIS se concentrent sur les exigences de test pour la fabrication de haute précision et les applications électroniques. Leurs méthodes de test simples et efficaces sont parfaitement adaptées

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

aux secteurs de l'usinage de précision et de l'électronique du marché japonais. Elles mettent l'accent sur l'étalonnage des équipements et la standardisation des opérations pour garantir des résultats de test fiables.

8.6 Comparaison et analyse d'applicabilité des normes relatives aux tiges de cuivre et de tungstène

Les normes des différents pays et régions présentent des similitudes et des différences quant aux exigences de performance et aux méthodes d'essai des tiges de cuivre tungstène. Une analyse comparative permet de sélectionner les spécifications appropriées et d'optimiser la production et l'application.

Points communs :

Composition chimique : Toutes les normes exigent une pureté élevée et une faible teneur en impuretés pour les tiges de cuivre et de tungstène. Par exemple, les normes GB/T 3458 et ASTM B702 stipulent que la pureté du tungstène doit être $\geq 99,95\%$ et celle du cuivre $\geq 99,99\%$.

- Propriétés physiques : La densité, la conductivité électrique et la conductivité thermique sont les éléments de test principaux. Les normes ISO 3369, ASTM B702 et GB/T 26038 utilisent toutes la méthode d'Archimède et la méthode du flash laser, avec des plages de test similaires (densité 11,8-17,0 g/cm³, conductivité thermique 180-250 W/ m·K).

- Propriétés mécaniques : Les essais de traction et de dureté sont des exigences courantes. Les normes ISO 6892-1, ASTM E8 et JIS Z 2241 sont très cohérentes en termes de conception des échantillons et de taux de charge.

- Méthodes de test : SEM, XRD et méthode de la sonde à quatre points sont des méthodes de test de microstructure et de conductivité acceptées au niveau international pour garantir la comparabilité des résultats.

différence:

- Focus : La norme chinoise (GB/T 8320) met l'accent sur les performances des contacts électriques, la norme ASTM B702 se concentre sur la gestion thermique et les applications aérospatiales, la norme IEC 60468 se concentre sur les performances électriques et la norme JIS H 0502 met l'accent sur la résistance à l'usure.

- Conditions d'essai : les normes ASTM et ISO ont des exigences plus strictes pour les essais à haute température (par exemple, les températures d'essai de traction peuvent atteindre 1 000 °C), tandis que les normes chinoises se concentrent davantage sur les performances à température ambiante. Les normes JIS ont des exigences de rugosité de surface plus élevées ($R_a < 0,1 \mu\text{m}$), ce qui les rend adaptées à l'usinage de précision.

- Exigences en matière de protection de l'environnement : les normes européennes (EN) mettent l'accent sur la compatibilité environnementale et la recyclabilité des matériaux et stipulent des restrictions sur les substances dangereuses, tandis que d'autres normes sont moins impliquées.

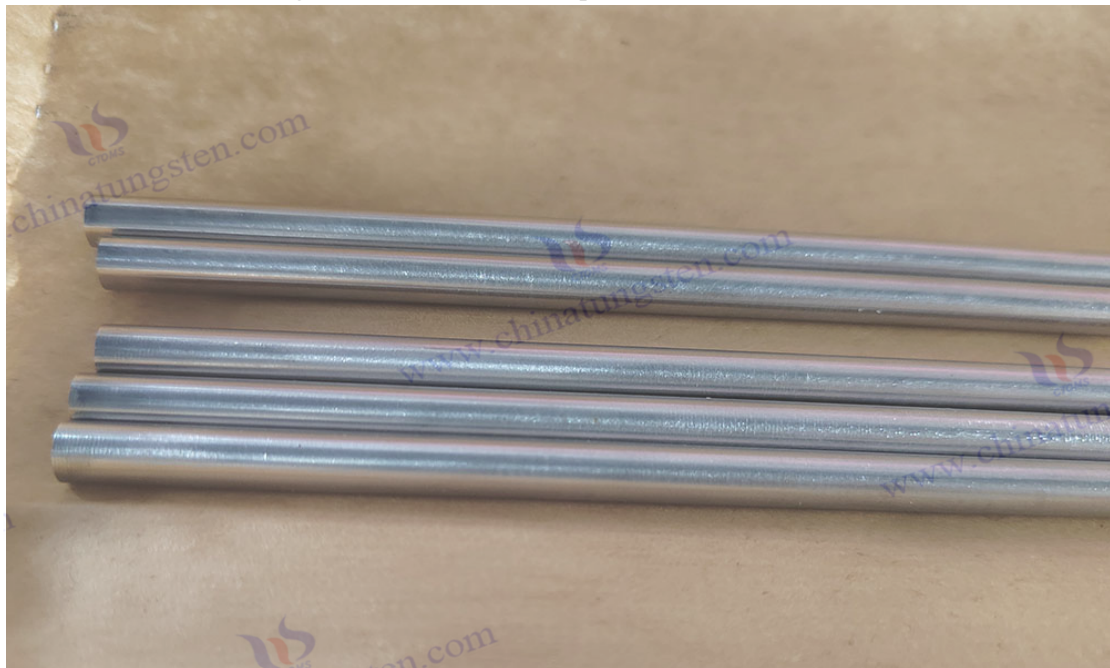
- Champ d'application : les normes ASTM et ISO sont plus adaptées au commerce international, les normes GB/T conviennent à la production nationale à grande échelle et les normes JIS conviennent aux applications électroniques de haute précision.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Analyse d'applicabilité :

- Contacts électriques : GB/T 8320 ou IEC 60468 sont recommandés, en mettant l'accent sur la conductivité et la résistance à l'arc, adaptés aux interrupteurs et disjoncteurs haute tension.
- Matériau du dissipateur thermique : ASTM B702 et GB/T 26038 sont plus applicables, mettant l'accent sur la correspondance de la conductivité thermique et du coefficient de dilatation thermique, adaptés à l'emballage microélectronique.
- Fabrication de moules : les normes JIS H 0502 et DIN EN ISO 6507-1 sont préférées, en mettant l'accent sur la résistance à l'usure et la dureté, adaptées aux matrices EDM et d'emboutissage.
- Aérospatiale : les normes ASTM B702 et EN 623-4 sont adaptées, mettant l'accent sur la résistance et la compatibilité à haute température, adaptées aux tuyères de fusée et aux composants de contrepoids.
- Commerce international : les normes ISO et ASTM sont plus universelles et facilitent la certification transfrontalière et l'accès au marché.

En pratique, les fabricants doivent sélectionner des normes en fonction des marchés cibles et des scénarios d'application, optimisant ainsi leurs processus en intégrant plusieurs normes. Par exemple, les tiges de cuivre tungstène exportées vers l'UE doivent être conformes aux exigences environnementales de la norme EN, tandis que les contacts électriques domestiques doivent être conformes à la norme GB/T 8320. Les tests internormes peuvent améliorer la compétitivité des produits, mais il est essentiel de veiller à la cohérence de l'étalonnage des équipements et des conditions de test afin de garantir des résultats comparables.



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD
Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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 9 : Optimisation des performances de la tige de cuivre tungstène

En tant que matériau composite hautes performances, les tiges de cuivre tungstène sont largement utilisées dans des secteurs tels que l'électronique, l'aérospatiale et la production d'énergie en raison de leur excellente conductivité électrique et thermique, de leur grande résistance mécanique et thermique. Cependant, les performances des tiges de cuivre tungstène varient selon les applications. Par conséquent, l'optimisation du rapport d'alliage, du procédé de traitement thermique, de la microstructure et de la résistance à l'usure et à la corrosion peut améliorer considérablement leurs performances dans des environnements spécifiques. Ce chapitre examine les principes, les méthodes et les effets pratiques de ces techniques d'optimisation.

9.1 Effet du rapport d'alliage sur les propriétés

Les tiges de tungstène-cuivre sont fabriquées à partir de tungstène (W) et de cuivre (Cu) par métallurgie des poudres. Leurs propriétés sont directement influencées par le rapport tungstène/cuivre. La teneur en tungstène est généralement comprise entre 50 % et 90 %, et celle en cuivre varie en conséquence. Différents rapports ont un impact significatif sur les propriétés physiques, mécaniques et thermiques du matériau.

9.1.1 Rapport tungstène-cuivre et conductivité électrique et thermique

Le cuivre est un excellent conducteur électrique et thermique, tandis que le tungstène présente une faible conductivité électrique et thermique. La conductivité électrique et thermique des tiges de cuivre tungstène augmente considérablement avec la teneur en cuivre. Par exemple, une tige de cuivre tungstène contenant 30 % de Cu (W70Cu30) présente une conductivité électrique d'environ 45 % IACS (International Annealed Copper Standard), tandis qu'avec une teneur en Cu de 10 % (W90Cu10), la conductivité chute à environ 20 % IACS. La conductivité thermique présente une tendance similaire, le W70Cu30 atteignant environ 200 W/(m·K) et le W90Cu10 chutant à environ 150 W/(m·K). Par conséquent, les tiges de cuivre tungstène à teneur en cuivre plus élevée sont souvent choisies pour les applications nécessitant une conductivité électrique et thermique élevée, telles que les boîtiers électroniques et les matériaux d'électrodes.

9.1.2 Rapport tungstène-cuivre et propriétés mécaniques

Le tungstène présente une dureté et une densité élevées (19,25 g/cm³), tandis que le cuivre présente une dureté plus faible (environ 50 HB Brinell). L'augmentation de la teneur en tungstène améliore considérablement la dureté, la résistance à la compression et la résistance à l'usure des tiges de cuivre-tungstène. Par exemple, le W80Cu20 peut atteindre une dureté supérieure à 200 HB, tandis que le W60Cu40 n'atteint qu'environ 120 HB. Cependant, l'augmentation de la teneur en cuivre améliore la ténacité et la résistance aux chocs du matériau. Par conséquent, une teneur élevée en tungstène est préférable pour les applications exigeant une dureté et une résistance à l'usure élevées (comme les matériaux de moulage) ; tandis qu'une augmentation appropriée de la teneur en cuivre est recommandée pour les applications exigeant une certaine ténacité (comme les contacts électriques).

9.1.3 Rapport tungstène/cuivre et coefficient de dilatation thermique

Le tungstène présente un faible coefficient de dilatation thermique (environ $4,5 \times 10^{-6} / K$), tandis que le cuivre présente un coefficient plus élevé (environ $16,5 \times 10^{-6} / K$). Le coefficient de dilatation thermique d'une tige tungstène-cuivre augmente avec la teneur en cuivre. Par exemple, le W80Cu20 présente un coefficient de dilatation thermique d'environ $8,0 \times 10^{-6} / K$, ce qui le rend adapté à l'association avec des céramiques ou des matériaux semi-conducteurs (tels que le SiC et l'AlN) pour le conditionnement électronique. L'optimisation du rapport tungstène-cuivre garantit la stabilité dimensionnelle dans les environnements à haute température et réduit les défaillances dues aux contraintes thermiques.

9.1.4 Stratégie d'optimisation

Sélection du rapport tungstène-cuivre en fonction des besoins : Choisissez le rapport tungstène-cuivre adapté aux exigences de l'application. Par exemple, pour les boîtiers électroniques, le W70Cu30 ou le W75Cu25 est privilégié pour équilibrer la conductivité thermique et la dilatation thermique ; pour les électrodes d'électroérosion, le W80Cu20 est choisi pour garantir une dureté et une résistance à l'usure élevées.

Dopage par oligo-éléments : en ajoutant des traces d'éléments tels que l'argent (Ag) ou le nickel (Ni), la conductivité ou les propriétés mécaniques peuvent être encore optimisées, mais il faut veiller à contrôler la quantité de dopage pour éviter de réduire la résistance à haute température.

Optimisation de la synergie des processus : L'optimisation des ratios d'alliage doit être combinée avec les processus ultérieurs de frittage et de traitement thermique pour garantir l'uniformité et la stabilité des propriétés des matériaux.

9.2 Traitement thermique et amélioration des performances

Le traitement thermique est un moyen important d'améliorer les performances des tiges de cuivre tungstène. Le contrôle des processus de chauffage, d'isolation et de refroidissement permet d'améliorer la microstructure du matériau, d'éliminer les contraintes internes et d'optimiser les performances.

9.2.1 Recuit

Le recuit, généralement effectué entre 800 °C et 1 000 °C sous atmosphère inerte (azote ou argon, par exemple), élimine les contraintes internes induites par la métallurgie des poudres et améliore la ductilité du matériau. Par exemple, le recuit d'une barre de cuivre tungstène W80Cu20 à 900 °C pendant deux heures peut augmenter sa résistance à la traction de 600 MPa à 650 MPa, tout en augmentant sa ductilité d'environ 10 %. Le recuit améliore également l'uniformité de la phase cuivre, améliorant ainsi la conductivité électrique et thermique.

9.2.2 Traitement de mise en solution et traitement de vieillissement

Pour les barres de cuivre tungstène contenant des traces d'additifs, une combinaison de mise en solution (chauffage rapide à plus de 1 000 °C suivi d'une trempe) et de vieillissement (maintien à une température comprise entre 400 °C et 600 °C pendant plusieurs heures) peut être utilisée. La

mise en solution répartit uniformément les additifs (comme le nickel) dans la matrice, tandis que le vieillissement favorise la formation de phases de précipitation, augmentant ainsi la dureté et la résistance. Par exemple, le W75Cu25 additionné de 0,5 % de nickel permet d'obtenir une augmentation de la dureté de 15 % et une résistance à l'usure significative après vieillissement en solution.

9.2.3 Pressage isostatique à chaud (HIP)

Le pressage isostatique à chaud (HIP) est un procédé haute température et haute pression (environ 1 000 °C, 100 MPa) qui réduit considérablement la porosité et augmente la densité des tiges de cuivre tungstène. Par exemple, le traitement HIP peut augmenter la densité du W80Cu20 de 95 % à plus de 99 %, tout en augmentant la conductivité thermique d'environ 10 % et la résistance à la compression d'environ 20 %. Le HIP est particulièrement adapté à la production de matériaux d'encapsulation électronique hautes performances.

9.2.4 Remarques

Contrôle de la température : Des températures de traitement thermique trop élevées peuvent entraîner la fusion ou la volatilisation de la phase cuivre, réduisant ainsi les propriétés du matériau. Un contrôle précis de la température et du temps de maintien est nécessaire.

Protection de l'atmosphère : Une atmosphère inerte ou réductrice (comme l'hydrogène) est nécessaire pendant le traitement thermique pour éviter l'oxydation.

Coût du processus : les processus de traitement thermique avancés tels que le HIP sont relativement coûteux, et le coût et les performances doivent être évalués en fonction des exigences de l'application.

9.3 Relation entre la microstructure et les propriétés

Les performances de la tige de cuivre tungstène sont étroitement liées à sa microstructure, notamment à la taille et à la distribution des particules de tungstène, à la continuité de la phase de cuivre et à l'état de liaison de l'interface.

9.3.1 Taille et distribution des particules de tungstène

La taille des particules de tungstène varie généralement de 1 à 10 µm . Des particules plus fines augmentent la résistance et la ténacité du matériau, mais diminuent également légèrement sa conductivité électrique et thermique. La taille des particules de tungstène peut être optimisée en contrôlant la taille de la poudre et les conditions de frittage lors du procédé de métallurgie des poudres. Par exemple, le W70Cu30 produit à partir de poudre de tungstène ultrafine de 1 µm peut atteindre une résistance à la traction de 700 MPa, soit environ 15 % de plus que celle d'un matériau produit à partir de poudre de tungstène de 5 µm .

9.3.2 Relation entre la microstructure et les propriétés

La phase de cuivre forme un réseau continu au sein de la tige de tungstène-cuivre, ce qui influence directement sa conductivité électrique et thermique. La température et la pression de frittage sont des facteurs clés influençant la continuité de la phase de cuivre. Par exemple, le W75Cu25 fritté à 1 350 °C présente un réseau de phase de cuivre plus uniforme, augmentant la conductivité électrique

d'environ 8 %. De plus, le frittage en phase liquide favorise la pénétration du cuivre et améliore la liaison interphase, mais il convient d'éviter toute surchauffe, susceptible d'entraîner une perte de phase de cuivre.

9.3.3 État de liaison de l'interface

La qualité de l'interface tungstène-cuivre est cruciale pour la performance du matériau. Les défauts d'interface (tels que les pores ou les fissures) peuvent réduire la conductivité thermique et la résistance mécanique. L'optimisation du procédé de frittage (par exemple, le frittage sous vide ou l'ajout de traces de tensioactifs) peut améliorer la liaison interfaciale. Par exemple, l'ajout de 0,1 % de Co améliore la mouillabilité à l'interface tungstène-cuivre, réduit la résistance interfaciale et augmente la conductivité thermique d'environ 5 %.

9.3.4 Technologie d'analyse de la microstructure

Microscopie électronique à balayage (MEB) : utilisée pour observer la distribution des particules de tungstène et le réseau de phase du cuivre.

Diffraction des rayons X (DRX) : Analyser la structure cristalline et la composition des phases.

Diffraction d'électrons rétrodiffusés (EBSD) : étude de la liaison d'interface et de l'orientation des grains.

Grâce à ces technologies, l'impact de la microstructure sur les performances peut être évalué avec précision, fournissant une base pour l'optimisation des processus.

9.4 Optimisation de la résistance à l'usure et à la corrosion

Les tiges de cuivre tungstène doivent souvent présenter une excellente résistance à l'usure et à la corrosion dans des environnements à haute température, haute pression ou corrosifs. L'optimisation de ces propriétés peut prolonger la durée de vie du matériau et améliorer sa fiabilité.

9.4.1 Optimisation de la résistance à l'usure

La dureté élevée du tungstène lui confère une résistance naturelle à l'usure, mais la souplesse de la phase cuivre peut accentuer l'usure du matériau dans les environnements à frottement élevé. Les stratégies d'optimisation comprennent :

Augmenter la teneur en tungstène : le W85Cu15 a une meilleure résistance à l'usure que le W70Cu30 et convient aux électrodes EDM.

Renforcement de surface : la nitruration ionique ou le revêtement de surface au laser peuvent générer une couche de surface dure (telle que WC ou TiN), ce qui peut augmenter la résistance à l'usure de 2 à 3 fois.

Ajout de phase dure : L'ajout d'une petite quantité de carbure de tungstène (W) ou d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) à la tige de cuivre tungstène peut améliorer considérablement la résistance à l'usure, mais il faut veiller à éviter de réduire la conductivité.

9.4.2 Optimisation de la résistance à la corrosion

Les tiges de tungstène et de cuivre peuvent se détériorer en milieu humide ou acide en raison de la

corrosion de la phase cuivre. Les méthodes d'optimisation comprennent :

Revêtement de surface : Le nickelage électrolytique ou le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) est utilisé pour appliquer une couche résistante à la corrosion (telle que CrN ou DLC) afin de prévenir efficacement la corrosion électrochimique de la phase de cuivre.

Modification de l'alliage : l'ajout de traces d'argent ou de chrome peut améliorer la résistance à la corrosion de la phase cuivre. Par exemple, la résistance à la corrosion du W75Cu24Ag1 lors du test au brouillard salin est prolongée d'environ 30 %.

Optimisation de la microstructure : en augmentant la densité et en réduisant la porosité, le chemin de pénétration des milieux corrosifs peut être réduit, améliorant ainsi la résistance à la corrosion.

9.4.3 Cas d'optimisation complet

Dans le secteur aérospace, les tiges de cuivre tungstène sont souvent utilisées pour les contacts électriques haute température. L'adoption du rapport W80Cu20, du traitement HIP et du revêtement CrN de surface permet d'obtenir les améliorations de performances suivantes :

Résistance à l'usure : Le coefficient de frottement est réduit de 20 % et l'usure est réduite de 50 %.

Résistance à la corrosion : dans un environnement à haute température et humide, la durée de vie est prolongée de 2 fois.

Conductivité : Maintenue au-dessus de 40 % IACS, répondant aux exigences de performance électrique.

9.4.4 Remarques

Équilibre des performances : l'optimisation de la résistance à l'usure et à la corrosion peut entraîner une diminution de la conductivité électrique, qui doit être évaluée en fonction des besoins de l'application.

Contrôle des coûts : les procédés de revêtement de surface et les procédés additifs sont coûteux et leur faisabilité économique doit être évaluée.

Adaptabilité environnementale : Différents environnements corrosifs (tels qu'acides, alcalins ou à haute température) nécessitent des solutions d'optimisation ciblées.

Résumer

En optimisant les ratios d'alliage, les procédés de traitement thermique, la microstructure et la résistance à l'usure et à la corrosion, les tiges de cuivre tungstène répondent à diverses exigences d'application. L'ajustement des ratios d'alliage nécessite un équilibre entre conductivité électrique, conductivité thermique et propriétés mécaniques ; les procédés de traitement thermique peuvent améliorer considérablement la densité et la résistance ; l'optimisation de la microstructure est la base de meilleures performances ; et l'amélioration de la résistance à l'usure et à la corrosion prolonge la durée de vie du matériau. Dans les applications pratiques, la solution d'optimisation optimale doit être choisie en tenant compte de manière exhaustive des exigences de performance, des coûts de traitement et des facteurs environnementaux.



Chapitre 10 Guide de sélection et d'utilisation des tiges de cuivre et de tungstène

Matériau composite hautes performances, la tige de cuivre tungstène est largement utilisée dans des secteurs tels que l'électronique, l'aérospatiale, la production d'énergie et la fabrication de moules. Ses performances influencent directement la qualité et la durée de vie du produit final. Choisir la bonne tige de cuivre tungstène, garantir la sécurité de son stockage et de son transport, son utilisation et son entretien, et résoudre efficacement les problèmes courants d'utilisation sont essentiels pour garantir son efficacité.

10.1 Comment choisir la bonne tige de cuivre tungstène

Le choix de la tige de tungstène-cuivre adaptée nécessite une analyse approfondie du scénario d'application, des exigences de performance, du budget et de la fiabilité du fournisseur. Les points suivants expliquent comment effectuer ce choix sous différents angles.

10.1.1 Clarifier les scénarios d'application et les exigences de performances

Les performances des tiges de tungstène-cuivre dépendent du rapport tungstène-cuivre, du procédé de fabrication et du traitement ultérieur. Les exigences de performance varient considérablement selon les applications. Voici quelques exemples d'applications courantes et les spécifications recommandées pour les tiges de tungstène-cuivre :

Le packaging électronique requiert une conductivité électrique et thermique élevée, tout en respectant le coefficient de dilatation thermique des matériaux céramiques ou semi-conducteurs. Les matériaux recommandés sont le W70Cu30 ou le W75Cu25, avec une conductivité d'environ 40 à 45 % IACS, un coefficient de dilatation thermique d'environ $7,5$ à $8,5 \times 10^{-6} / K$ et une conductivité thermique d'environ 190 à $200 W / (m \cdot K)$. Ces spécifications conviennent aux modules de puissance, aux dispositifs à micro-ondes et aux dissipateurs thermiques de puces.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Électrode pour l'usinage par électroérosion (EDM) : Ces électrodes nécessitent une dureté élevée, une résistance à l'usure et une résistance aux températures élevées pour résister à l'érosion par arc. Les choix recommandés incluent le W80Cu20 ou le W85Cu15, qui offrent une dureté supérieure à 200 HB et une excellente résistance à l'usure, ce qui les rend idéales pour l'usinage de moules complexes.

Contacts électriques : Un équilibre entre conductivité électrique et résistance à l'érosion par arc est requis, tout en maintenant une certaine ténacité pour résister aux chocs mécaniques. Le W75Cu25 est recommandé, offrant à la fois une conductivité électrique (environ 40 % IACS) et une résistance à la traction (environ 650 MPa).

Composants aérospatiaux : ils nécessitent une résistance aux températures élevées et un faible coefficient de dilatation thermique. Le W90Cu10 est recommandé, avec un coefficient de dilatation thermique aussi bas que $6,5 \times 10^{-6} / K$, adapté aux buses ou connecteurs dans des environnements à haute température.

Équipements médicaux : tels que les cibles à rayons X, qui nécessitent une densité et une résistance à l'usure élevées. Le W80Cu20 est recommandé, avec une densité d'environ 15,5 g/cm³ et une forte résistance à l'usure.

Lors d'une sélection, l'utilisateur doit spécifier les paramètres suivants :

Exigences en matière de conductivité électrique et thermique : sélectionnez des matériaux à teneur en cuivre plus élevée en fonction des exigences de gestion électrique et thermique.

Propriétés mécaniques : Privilégiez la dureté, la résistance et la ténacité.

Correspondance de dilatation thermique : assurez-vous que le coefficient de dilatation thermique est similaire à celui des matériaux adjacents pour éviter une défaillance due aux contraintes thermiques.

Taille et forme : Confirmez si le diamètre, la longueur et la précision de traitement de la barre répondent aux exigences de conception.

10.1.2 Comprendre les spécifications et les normes des tiges de cuivre tungstène

Les tiges de cuivre tungstène sont généralement classées selon leur teneur en tungstène (par exemple, W70Cu30, W80Cu20). Les diamètres courants varient de 3 à 100 mm et les longueurs de 100 à 300 mm. Les spécifications spécifiques doivent être sélectionnées en fonction du catalogue de produits fourni par le fournisseur. Les normes internationales (comme ASTM B702) et nationales (comme GB/T 8320) imposent des exigences claires concernant la composition chimique, la densité, la conductivité et les propriétés mécaniques des tiges de cuivre tungstène. Par exemple :

W70Cu30 : La densité est d'environ 13,8-14,2 g/cm³, la conductivité est d'environ 40-45 % IACS.

W80Cu20 : La densité est d'environ 15,1-15,5 g/cm³, la dureté est d'environ 200-220 HB.

Les utilisateurs doivent demander des rapports d'essais de matériaux aux fournisseurs afin de garantir la conformité des produits. De plus, ils doivent prêter attention aux exigences de tolérance (par exemple, tolérance de diamètre $\pm 0,05$ mm) pour répondre aux exigences d'usinage de précision.

10.1.3 Évaluation de la fiabilité des fournisseurs

Choisir un fournisseur fiable est essentiel pour garantir la qualité des tiges de tungstène et de cuivre.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Voici les principaux critères d'évaluation des fournisseurs :

Capacités de production : Vérifiez si le fournisseur dispose d'équipements de métallurgie des poudres et d'installations de traitement thermique avancés, tels que des fours de frittage sous vide ou des équipements de pressage isostatique à chaud (HIP).

Certification de qualité : La préférence est donnée aux fournisseurs disposant de certifications ISO 9001 ou spécifiques à l'industrie telles que AS9100 pour l'aérospatiale.

Capacité d'approvisionnement : évaluer les niveaux de stock et les cycles de livraison des fournisseurs pour garantir le respect des calendriers du projet.

Support technique : Un fournisseur de qualité doit fournir des conseils sur le choix des matériaux, un traitement personnalisé et un service après-vente.

Prix et rentabilité : Dans un souci de qualité, comparez les devis de plusieurs fournisseurs et choisissez celui qui présente le meilleur rapport qualité-prix.

Il est recommandé de vérifier la fiabilité du fournisseur par des inspections sur site, des tests d'échantillons ou l'examen des avis clients. Par exemple, vous pouvez demander au fournisseur de fournir des échantillons de W80Cu20 pour des tests de conductivité et de dureté.

10.1.4 Exigences personnalisées

Pour des applications spécifiques, des tiges de cuivre tungstène personnalisées peuvent être nécessaires, notamment avec des diamètres, des revêtements de surface ou un dopage en oligo-éléments spécifiques. Les exigences suivantes doivent être précisées lors de la personnalisation :

Taille personnalisée : spécifications non standard telles que diamètre 50 mm et longueur 500 mm.

Traitement de surface : tel que le nickelage ou le polissage pour améliorer la résistance à la corrosion ou la finition de surface.

Additifs : comme l'ajout de 0,5 % de Ni pour améliorer la résistance ou l'ajout d'Ag pour améliorer la conductivité.

La personnalisation nécessite souvent une négociation des paramètres de processus avec les fournisseurs et peut augmenter les coûts et les délais de livraison. Il est recommandé de définir clairement les indicateurs de performance et les critères d'acceptation dans le contrat.

10.1.5 Équilibre entre coûts et performances

Le prix des tiges de cuivre tungstène augmente avec la teneur en tungstène. Par exemple, le W90Cu10 peut être 30 à 50 % plus cher que le W70Cu30. De plus, des procédés tels que le pressage isostatique à chaud (HIP) ou le revêtement de surface peuvent augmenter les coûts. Les utilisateurs doivent choisir la spécification appropriée en fonction de leur budget et de leurs exigences de performance. Par exemple, si le budget est limité, le W75Cu25 peut être choisi plutôt que le W80Cu20 pour les applications où la résistance à l'usure est moins critique.

10.1.6 Recommandations relatives au processus d'achat

Analyse de la demande : clarifier les scénarios d'application et les exigences de performance, et

répertorier les paramètres clés (tels que la conductivité et la dureté).

Étude de marché : collectez des devis et des informations sur les produits auprès de plusieurs fournisseurs et comparez les spécifications et la qualité.

Test d'échantillons : achetez une petite quantité d'échantillons pour des tests de performance afin de vérifier s'ils répondent aux exigences.

Signature d'un contrat : clarification des spécifications, de la quantité, du délai de livraison et des normes de qualité.

Acceptation et retour d'information : Après réception des marchandises, un contrôle qualité est effectué, les données de performance sont enregistrées et les améliorations sont communiquées aux fournisseurs.

10.2 Précautions de stockage et de transport

Le stockage et le transport des tiges de tungstène-cuivre affectent directement leurs performances et leur durée de vie. Voici une explication détaillée de l'environnement de stockage, des exigences d'emballage et des précautions de transport.

10.2.1 Environnement de stockage

La phase de cuivre dans la tige de cuivre tungstène est facilement affectée par les environnements humides, oxydants ou corrosifs, de sorte que l'environnement de stockage doit être strictement contrôlé :

Température et humidité : L'environnement de stockage doit être maintenu à une température de 15 à 25 °C et à une humidité relative inférieure à 60 %. Une température et une humidité élevées peuvent provoquer l'oxydation de la phase cuivre, formant de l'oxyde de cuivre (CuO), ce qui réduit la conductivité.

Sec et résistant à l'humidité : Il est recommandé de placer un déshydratant (comme du gel de silice) dans la zone de stockage ou d'utiliser un emballage hermétique. Pour un stockage à long terme, la tige de tungstène-cuivre peut être placée dans un sac sous vide.

Éviter la corrosion chimique : Stocker à l'écart des substances acides, alcalines ou salées afin d'éviter la corrosion électrochimique de la phase cuivre. Par exemple, les entrepôts situés près de la mer doivent être particulièrement vigilants face aux effets des embruns salins.

Prévention de la poussière et nettoyage : L'environnement de stockage doit être propre pour éviter que la poussière ou les particules n'adhèrent à la surface de la barre et n'affectent la précision du traitement ultérieur.

Pour les tiges de cuivre tungstène stockées pendant une longue période, il est recommandé de vérifier l'état de surface tous les 6 mois et de nettoyer et de reconditionner si nécessaire.

10.2.2 Exigences d'emballage

Les tiges de tungstène-cuivre ont une densité élevée (13-17 g/cm³) et sont fragiles, facilement endommagées par les chocs. Les points suivants doivent être pris en compte lors de l'emballage :

Matériaux de protection : Utilisez du plastique mousse, du film à bulles ou des caisses en bois pour

éviter tout contact direct entre les tiges. Il est recommandé d'emballer chaque tige individuellement. Emballage antioxydant : ajoutez un agent anti-humidité ou scellez sous vide l'emballage pour empêcher l'oxydation du cuivre.

Étiquetage clair : l'emballage est clairement marqué avec le rapport tungstène-cuivre (tel que W80Cu20), les spécifications (diamètre, longueur), le numéro de lot et les précautions de stockage pour une gestion et une traçabilité faciles.

Conception résistante à la compression : pour le transport de gros volumes, utilisez des caisses en bois ou des cadres métalliques résistants à la compression pour garantir que les barres ne sont pas écrasées lors de l'empilage.

10.2.3 Précautions de transport

Pendant le transport, la tige de cuivre tungstène doit être protégée des vibrations, des collisions et des changements environnementaux :

Mesures anti-vibrations : Utiliser des coussinets amortisseurs ou des dispositifs de fixation à ressort pour garantir que les barres ne bougent pas pendant le transport.

Contrôle de la température : Évitez le transport dans des environnements à température extrêmement élevée ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) ou à basse température ($< -10\text{ }^{\circ}\text{C}$) pour éviter le stress thermique ou la fragilité au froid.

Mode de transport : Le transport routier est adapté aux courtes distances, tandis que le transport maritime ou aérien est recommandé pour les longues distances ou les transports internationaux. Assurez-vous que l'emballage est conforme aux normes internationales de transport (telles que l'ISTA).

Assurance transport : Pour les tiges de cuivre tungstène de grande valeur, il est recommandé de souscrire une assurance transport pour réduire le risque de perte.

Processus d'acceptation : Vérifier l'intégrité de l'emballage à la réception, vérifier les spécifications et la quantité, et contacter le fournisseur en temps opportun si des dommages ou une oxydation sont constatés.

10.2.4 Stockage et transport dans des scénarios particuliers

Tiges de cuivre tungstène pour usage aérospatial : Elles doivent être stockées dans un atelier à l'abri de la poussière, emballées avec des matériaux antistatiques et transportées dans un conteneur à température et humidité constantes.

Tiges de cuivre tungstène pour dispositifs médicaux : Le stockage et le transport doivent être conformes aux normes des dispositifs médicaux (telles que ISO 13485) pour éviter toute contamination.

Transport dans des environnements à haute température : En cas de transport vers des zones tropicales, des mesures supplémentaires d'isolation et de protection contre l'humidité sont nécessaires.

Grâce à une gestion standardisée du stockage et du transport, la durée de conservation des tiges de cuivre tungstène peut être efficacement prolongée et leurs performances peuvent être garanties de ne pas être endommagées.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD
Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

10.3 Entretien et soins pendant l'utilisation

Les tiges de tungstène et de cuivre nécessitent un entretien régulier pour préserver leurs performances et prolonger leur durée de vie. Vous trouverez ci-dessous des conseils détaillés sur les trois étapes de transformation, d'exploitation et de stockage.

10.3.1 Maintenance pendant le traitement

Les tiges de cuivre tungstène doivent souvent être tournées, fraisées, percées ou usinées par électroérosion. Les points suivants doivent être pris en compte lors de l'usinage :

Choix des outils : Utiliser des outils en carbure ou en diamant pour éviter l'usure due au manque de dureté des outils en acier ordinaire. Une dureté supérieure à 60 HRC est recommandée.

Utilisation du liquide de refroidissement : Utiliser un liquide de refroidissement à base d'eau ou d'huile pendant l'usinage afin de réduire les températures de coupe et d'éviter le ramollissement de la phase cuivreuse ou la perte de particules de tungstène. Maintenir le liquide de refroidissement propre pour éviter l'introduction d'impuretés corrosives.

Paramètres d'usinage : Contrôler la vitesse de coupe (par exemple 100-200 m/min) et la vitesse d'avance (par exemple 0,05-0,2 mm/tr) pour éviter des contraintes excessives provoquant des fissures dans la barre.

Protection de surface : Nettoyer immédiatement le liquide de refroidissement et les copeaux métalliques restants sur la surface après le traitement afin d'éviter toute corrosion chimique. Il est recommandé d'essuyer avec de l'alcool ou un détergent neutre.

10.3.2 Maintenance pendant le fonctionnement

Les tiges de cuivre tungstène doivent être régulièrement inspectées et entretenues dans leurs scénarios d'utilisation (tels que les électrodes, les contacts électriques ou les radiateurs) :

Inspection de surface : Vérifiez régulièrement la surface de la barre pour détecter tout signe d'oxydation, d'usure ou d'érosion par arc. Par exemple, si des piqûres d'érosion apparaissent à la surface de l'électrode d'électroérosion, celle-ci doit être remplacée rapidement.

Nettoyage et entretien : Utilisez un nettoyeur à ultrasons ou un chiffon doux pour éliminer les saletés superficielles. Évitez les détergents acides ou alcalins. La fréquence de nettoyage doit être adaptée à l'environnement d'utilisation (par exemple, une fois par mois).

Surveillance de la température : dans les environnements à haute température (tels que les contacts électriques), veillez à ce que la température de fonctionnement ne dépasse pas le point de ramollissement du cuivre (environ 800 °C) pour éviter toute dégradation des performances.

Mesures anticorrosion : Dans les environnements humides ou corrosifs, appliquez régulièrement de l'huile antirouille ou un revêtement temporaire (comme une fine couche d'huile de silicone) pour protéger la phase cuivre.

10.3.3 Stockage et réutilisation

Les tiges de cuivre tungstène non utilisées ou les restes traités doivent être correctement stockés :

Stockage à court terme : Placer dans un sac scellé étanche à l'humidité dans un endroit sec et aéré.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Stockage longue durée : Utiliser un emballage sous vide ou un emballage rempli d'azote et vérifier régulièrement l'état de surface.

Recyclage des matières résiduelles : Les matières résiduelles de traitement peuvent être recyclées et utilisées dans des scénarios à faible exigence (tels que des échantillons expérimentaux), mais leurs performances doivent être testées pour voir si elles répondent aux exigences.

10.3.4 Dossiers de maintenance

Il est recommandé d'établir des registres d'entretien afin de consigner l'heure, l'état et les mesures de traitement de chaque inspection, nettoyage et remplacement. Par exemple :

Date : 20 août 2025

Contenu de l'inspection : Inspection de la surface de l'électrode W80Cu20

État : Légèrement ablaté, conductivité diminuée de 5 %

Mesures : Nettoyage par ultrasons, dont le remplacement est prévu le mois prochain

Grâce à une maintenance et des soins standardisés, la durée de vie des tiges de cuivre tungstène peut être considérablement prolongée et le taux de défaillance peut être réduit.

10.4 Problèmes courants et solutions

Les tiges de tungstène et de cuivre peuvent rencontrer divers problèmes lors de leur utilisation. Voici un résumé des problèmes courants et de leurs solutions pour aider les utilisateurs à les résoudre rapidement.

10.4.1 Oxydation de surface

Description du problème : Une couche d'oxyde verte ou noire (CuO ou Cu₂O) apparaît à la surface de la tige de cuivre tungstène et la conductivité diminue.

Cause : L'environnement de stockage ou d'utilisation est humide ou exposé à une atmosphère oxydante à haute température.

Solution:

Essayez la surface avec une solution diluée d'acide acétique (5 %) ou d'acide citrique pour éliminer la couche d'oxyde, puis rincez à l'alcool et séchez.

Optimisez l'environnement de stockage, maintenez l'humidité en dessous de 60 % et utilisez un emballage scellé.

Dans les applications à haute température, ajoutez une protection par gaz inerte (comme l'azote ou l'argon).

10.4.2 Érosion par arc

Description du problème : Des piqûres d'ablation apparaissent à la surface des électrodes EDM ou des contacts électriques, affectant la précision de l'usinage ou les performances du contact.

Cause : L'énergie de l'arc est trop élevée ou la résistance à l'usure de la tige en cuivre tungstène est insuffisante.

Solution:

Réduisez l'énergie de décharge de l'EDM et optimisez la largeur d'impulsion et le courant (par

exemple largeur d'impulsion 50-100 μ s).

Choisissez des matériaux à haute teneur en tungstène (comme le W85Cu15) pour améliorer la résistance à l'usure.

Vérifiez régulièrement la surface de l'électrode et réparez-la ou remplacez-la à temps.

10.4.3 Traitement des fissures

Description du problème : Des microfissures apparaissent dans la tige de cuivre tungstène pendant le traitement, entraînant une diminution de la résistance.

Cause : Vitesse de coupe excessive, usure de l'outil ou défauts internes du matériau.

Solution:

Réduisez la vitesse de coupe (par exemple 80-150 m/min) et utilisez un nouvel outil.

Vérifiez la qualité des matériaux et demandez aux fournisseurs de fournir des rapports de tests non destructifs (tels que des tests par ultrasons).

Un traitement de préchauffage (200-300°C) est utilisé pour réduire le stress de traitement.

10.4.4 Diminution de la conductivité

Description du problème : La conductivité de la tige de cuivre tungstène diminue considérablement après avoir été utilisée pendant un certain temps, ce qui affecte les performances électriques.

Causes : Oxydation de la phase cuivre, modifications microstructurales ou contamination de surface.

Solution:

Pour nettoyer la saleté superficielle, utilisez un nettoyage à ultrasons ou des lingettes alcoolisées.

Vérifiez l'environnement de fonctionnement et évitez les températures élevées ou les atmosphères corrosives.

Si la conductivité continue de diminuer, envisagez de remplacer la tige par une nouvelle ou d'effectuer un traitement thermique pour restaurer les performances.

10.4.5 Inadéquation de la dilatation thermique

Description du problème : La tige de cuivre tungstène et les matériaux adjacents (tels que la céramique) se décollent ou se fissurent à haute température.

Raison : La différence de coefficient de dilatation thermique est trop importante.

Solution:

Le rapport tungstène-cuivre est resélectionné, tel que W80Cu20 (coefficient de dilatation thermique d'environ $8,0 \times 10^{-6} / K$) pour correspondre à la céramique (comme AlN, environ $4,5 \times 10^{-6} / K$).

Ajoutez une couche tampon (comme une fine couche de Ni ou de Mo) à l'interface pour soulager la contrainte thermique.

Optimisez la température de fonctionnement et essayez de la maintenir en dessous de 600°C.

10.4.6 Déformation de stockage

Description du problème : La tige de cuivre tungstène stockée pendant une longue période est légèrement pliée ou déformée.

Cause : Force inégale pendant le stockage ou emballage inapproprié.

Solution:

Vérifiez les méthodes de stockage pour vous assurer que les barres sont stockées horizontalement

afin d'éviter la pression d'empilement.

Utilisez un support dédié ou une boîte en bois pour répartir le poids.

Pour les déformations mineures, la détente des contraintes peut être obtenue par recuit à basse température (environ 600°C).

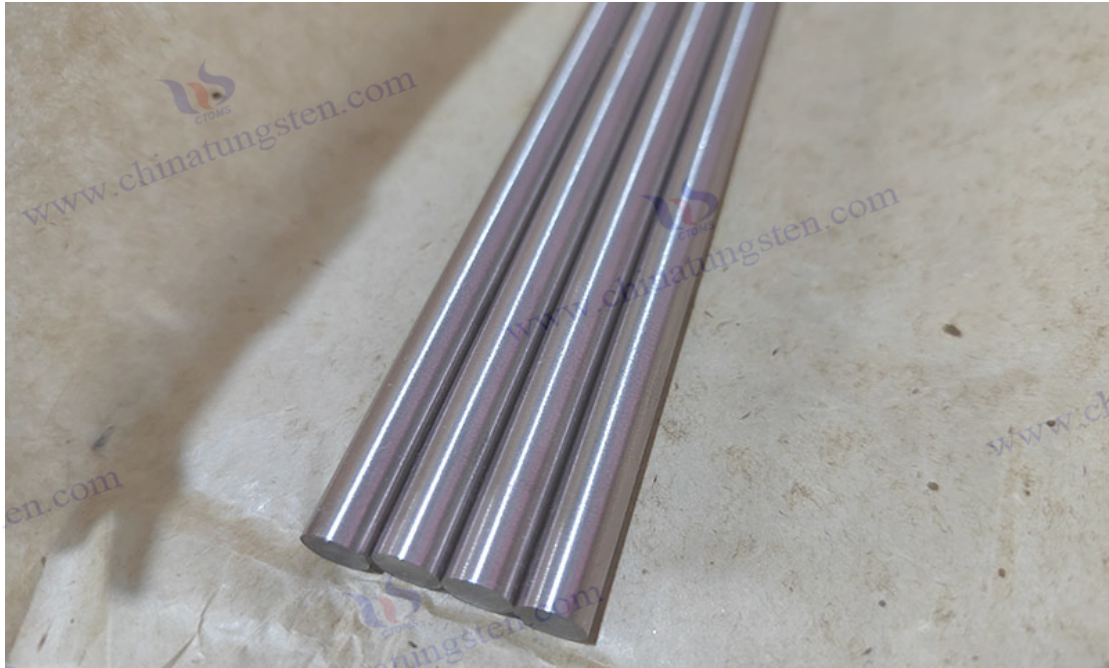
10.4.7 Analyse de cas

Cas 1 : Une usine de conditionnement de produits électroniques a utilisé des tiges de cuivre tungstène W70Cu30 et a constaté que leur conductivité thermique diminuait à haute température. L'inspection a révélé une forte oxydation de surface. Solution : Conditionnement sous vide pour le stockage et nettoyage par ultrasons avant utilisation, ce qui a rétabli la conductivité thermique à plus de 95 %.

Cas 2 : Les électrodes W80Cu20 d'un fabricant de moules ont subi une usure rapide lors de l'électroérosion. L'analyse a révélé une énergie de décharge excessive. Solution : La réduction du courant à 50 A et de la largeur d'impulsion à 80 µs a permis de doubler la durée de vie des électrodes.

Résumer

La sélection et l'utilisation de tiges de cuivre tungstène sont un processus systématique, impliquant plusieurs étapes, notamment l'analyse des besoins, la sélection des fournisseurs, le stockage et le transport, la maintenance et la résolution des problèmes. Choisir la bonne tige de cuivre tungstène nécessite de clarifier les exigences de performance en fonction du scénario d'application et de réaliser une évaluation complète basée sur les spécifications et la fiabilité du fournisseur. Le stockage et le transport nécessitent des conditions environnementales strictement contrôlées afin de prévenir l'oxydation et les dommages physiques. Un traitement et une maintenance standardisés pendant l'utilisation peuvent prolonger la durée de vie de la tige et maintenir ses performances. La mise en œuvre rapide de mesures ciblées pour résoudre les problèmes courants peut réduire efficacement les taux de défaillance. Grâce à une gestion et une exploitation scientifiques, les tiges de cuivre tungstène peuvent offrir des performances optimales dans des situations variées et exigeantes.



Chapitre 11 Tendances du marché et du développement des tiges de cuivre et de tungstène

Matériau composite hautes performances, les tiges de tungstène-cuivre sont largement utilisées dans les domaines de l'électricité, de l'électronique, de l'aérospatiale, de la gestion thermique et d'autres domaines, en raison de leur excellente conductivité électrique et thermique, de leur résistance aux hautes températures et de leur résistance mécanique. Avec les progrès technologiques mondiaux et le développement rapide des industries émergentes, la demande en tiges de tungstène-cuivre ne cesse de croître, la chaîne industrielle s'améliore constamment et l'innovation technologique favorise l'optimisation des performances et l'expansion des applications. Ce chapitre analyse en détail la structure de la chaîne industrielle mondiale des matériaux tungstène-cuivre, la répartition et les caractéristiques de la demande du marché, ainsi que les principales tendances de développement futur, couvrant la haute performance, la fabrication verte et les applications émergentes.

11.1 Aperçu de la chaîne industrielle mondiale des matériaux tungstène-cuivre

La chaîne industrielle des matériaux tungstène-cuivre comprend de multiples maillons, de l'extraction des matières premières à l'application du produit final, en passant par l'extraction des ressources, la préparation, la transformation et la fabrication des matériaux, les tests et la certification, et les applications finales. L'amont de la chaîne industrielle concerne principalement l'extraction et la purification des minerais de tungstène et de cuivre. Les ressources en tungstène sont principalement concentrées en Chine, en Russie, en Australie et au Canada. La Chine représente environ 80 % des réserves mondiales de tungstène et 60 % de la production mondiale, ce qui en fait un fournisseur essentiel de poudre de tungstène. Les ressources en cuivre sont largement réparties, le Chili, le Pérou et l'Australie étant les principaux producteurs. La technologie de production électrolytique du cuivre est mature, garantissant un approvisionnement suffisant.

Le segment intermédiaire comprend la préparation et la transformation des barres de cuivre

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

tungstène. La poudre de tungstène est extraite du tungstate ou du trioxyde de tungstène par réduction à l'hydrogène, tandis que le cuivre électrolytique est obtenu par raffinage électrochimique. Le procédé de préparation utilise la technologie de la métallurgie des poudres, incluant le pressage, le frittage et l'infiltration sous vide. Les équipements de base, tels que les fours de frittage sous vide et les fours d'infiltration, nécessitent un contrôle de haute précision pour garantir la qualité du produit. Le traitement comprend l'usinage de précision, le traitement thermique et la modification de surface afin de répondre aux exigences de taille et de performance des différents scénarios d'application. Les entreprises du segment intermédiaire sont principalement des fabricants de matériaux spécialisés.

Le segment aval englobe les applications finales des tiges de cuivre tungstène, notamment les contacts électriques, les encapsulations électroniques, les composants aérospatiaux, les dissipateurs thermiques et la fabrication de moules. Les canaux de distribution incluent l'approvisionnement direct des fabricants d'équipements (tels que Siemens et GE) et l'accès aux marchés internationaux par l'intermédiaire de négociants. Les tests et la certification sont des éléments essentiels de la chaîne d'approvisionnement, exigeant le respect des normes internationales (telles que ASTM B702 et GB/T 8320) pour garantir la compétitivité des produits sur le marché mondial.

La chaîne industrielle est fortement mondialisée : la Chine domine le marché des matières premières et de la fabrication, tandis que l'Europe, les États-Unis et le Japon bénéficient d'avantages technologiques dans les applications haut de gamme et l'usinage de précision. La collaboration au sein de la chaîne industrielle met l'accent sur la stabilité de la chaîne d'approvisionnement et l'intégration technologique, les fluctuations des prix des matières premières et les réglementations environnementales constituant des défis majeurs.

11.2 Analyse de la structure de la demande du marché et des parts d'application

Sous l'effet de l'industrialisation mondiale, du développement de l'industrie électronique et des nouvelles technologies énergétiques, la demande en barres de tungstène et de cuivre s'est diversifiée. La structure de la demande du marché peut être divisée en plusieurs grands domaines :

- Électricité et électronique (environ 45 % de parts de marché) : Les tiges de cuivre tungstène dominent le marché des applications dans les interrupteurs haute tension, les disjoncteurs et les électrodes d'électroérosion. Leur conductivité électrique élevée et leur résistance à l'érosion par arc électrique en font un matériau idéal pour les contacts et les électrodes électriques, en particulier dans les équipements de transport et de distribution d'énergie. Par exemple, la modernisation des réseaux électriques mondiaux et le déploiement des réseaux intelligents stimulent la demande de matériaux de contact haute performance. Par ailleurs, la demande de tiges de cuivre tungstène utilisées comme dissipateurs thermiques et électrodes dans les boîtiers microélectroniques connaît une croissance rapide, notamment dans les communications 5G, les semi-conducteurs de puissance et les systèmes radar.
- Aérospatiale et défense (environ 20 % de parts de marché) : L'utilisation de tiges de cuivre-tungstène dans les tuyères de moteurs-fusées, les composants de contrepoids et les noyaux de

projectiles perforants est stimulée par les industries aérospatiale et de défense. Le développement rapide de l'industrie aérospatiale mondiale, notamment les programmes spatiaux commerciaux de SpaceX et Blue Origin, a accru la demande de matériaux à haute résistance thermique et à haute densité. La demande d'électrodes hautes performances et de matériaux de gestion thermique est également en croissance dans le secteur de la défense, notamment pour les radars et les équipements de guerre électronique.

Dispositifs de gestion thermique et de dissipation thermique (environ 20 % de parts de marché) : Avec la popularité croissante des dispositifs électroniques de forte puissance (tels que les lasers et les modules IGBT) et des véhicules à énergie nouvelle, l'utilisation de tiges de cuivre tungstène comme dissipateurs thermiques et substrats de dissipation thermique s'est rapidement développée. Leur conductivité thermique élevée et leur compatibilité avec les matériaux semi-conducteurs en termes de dilatation thermique les rendent indispensables dans les centres de données, les systèmes de gestion de batteries de véhicules électriques et les stations de base 5G. La demande mondiale de solutions de dissipation thermique efficaces stimule la croissance rapide de ce secteur.

- Industrie des machines et des moules (environ 10 % de parts de marché) : Les tiges de cuivre tungstène sont utilisées dans les matrices d'électroérosion, les matrices d'emboutissage et les outils de coupe en raison de leur dureté et de leur résistance à l'usure élevées. La tendance mondiale à l'automatisation et à la fabrication de précision a accru la demande de matériaux de moulage haute performance, notamment dans la fabrication automobile et médicale.

Autres secteurs (environ 5 % de parts de marché) : Ces secteurs comprennent des applications émergentes telles que la protection contre les radiations médicales, les composants de contact électrique pour onduleurs photovoltaïques et les poids de clubs de golf. Bien que ces secteurs ne représentent qu'une faible part, ils présentent un potentiel de croissance important, notamment dans les secteurs des nouvelles énergies et de la médecine.

En termes de répartition régionale de la demande, la région Asie-Pacifique (principalement la Chine) représente plus de 50 % du marché mondial, l'Amérique du Nord et l'Europe représentant chacune environ 20 %. Le reste se répartit entre l'Amérique du Sud, l'Afrique et le Moyen-Orient. Les moteurs de la croissance de la demande comprennent la transition énergétique mondiale, la modernisation de l'industrie électronique et l'augmentation des investissements dans l'aérospatiale. Les défis incluent les fluctuations des prix des matières premières (par exemple, les prix du tungstène sont fortement influencés par l'offre et la demande) et la pression des réglementations environnementales sur les coûts de production.

11.3 Tendances de développement futures des tiges de cuivre et de tungstène

Le développement futur des tiges de cuivre tungstène est dicté par l'innovation technologique, la demande du marché et les exigences du développement durable. Ce document analyse les tendances de développement sous trois angles : hautes performances, préparation écologique et applications émergentes.

CTIA GROUP LTD
Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

11.3.1 Haute performance et nanotechnologie

La haute performance est au cœur du développement technologique des tiges de tungstène et de cuivre. L'objectif est d'améliorer la conductivité électrique, la conductivité thermique, la robustesse et la résistance à l'usure du matériau afin de répondre aux besoins des dispositifs électroniques de puissance de nouvelle génération et des applications en environnements extrêmes. La nanotechnologie est un moyen essentiel d'atteindre de hautes performances. L'utilisation de poudres nanométriques de tungstène et de cuivre améliore considérablement la microstructure du matériau. La surface spécifique plus importante des nanoparticules améliore la liaison interparticulaire, réduit les températures de frittage et améliore la densité et l'uniformité de la tige de tungstène et de cuivre. Par exemple, la poudre de nano-tungstène (granulométrie < 100 nm) peut former une structure plus fine, augmentant ainsi l'efficacité d'infiltration de la phase cuivre, améliorant ainsi la conductivité thermique et la résistance mécanique.

Une autre voie vers la haute performance est le développement de matériaux à gradient fonctionnel (FGM). En introduisant une distribution graduée des ratios tungstène/cuivre dans une barre tungstène-cuivre, les performances de zones spécifiques peuvent être optimisées. Par exemple, une teneur élevée en tungstène en surface améliore la résistance à l'usure, tandis qu'une teneur élevée en cuivre à l'intérieur de la barre améliore la conductivité thermique, la rendant ainsi adaptée aux électrodes et aux dissipateurs thermiques dans des conditions de travail complexes. De plus, l'ajout d'oligo-éléments (tels que le zirconium et le chrome) améliore la mouillabilité à l'interface tungstène-cuivre, améliorant ainsi encore les performances du matériau. Des techniques de préparation avancées, telles que le frittage plasma (SPS) et le frittage micro-ondes, ont permis de réduire les temps de traitement et d'améliorer l'uniformité de la microstructure, favorisant ainsi l'industrialisation de barres tungstène-cuivre hautes performances.

11.3.2 Préparation verte et développement durable

La fabrication écologique et le développement durable sont des tendances à long terme dans l'industrie des barres de cuivre tungstène, répondant aux exigences mondiales en matière de protection de l'environnement et d'efficacité des ressources. Les procédés traditionnels de métallurgie des poudres consomment beaucoup d'énergie et produisent des gaz et des liquides résiduels. La fabrication écologique réduit l'impact environnemental en optimisant les procédés et les équipements. Par exemple, la technologie de frittage à basse température réduit les températures de frittage de 20 à 30 % grâce à l'ajout d'activateurs ou à l'utilisation de nanopoudres, réduisant ainsi la consommation d'énergie. Le système de récupération des gaz résiduels du procédé d'infiltration sous vide permet de capturer les vapeurs volatiles de cuivre et de réduire les émissions. La technologie de recyclage des déchets gagne également en importance. Grâce à la purification chimique et au retraitement, les barres de cuivre tungstène usagées en production peuvent être reconverties en poudre de haute pureté, permettant ainsi le recyclage des ressources.

Un autre axe clé du développement durable est l'approvisionnement durable en matières premières. Métal rare, le tungstène est confronté à des pénuries de ressources, ce qui conduit à privilégier les technologies d'extraction minière verte et la recherche de matériaux alternatifs (tels que les composites à base de molybdène). Les fabricants doivent également se conformer aux

réglementations environnementales internationales, telles que la directive européenne RoHS et le règlement REACH, qui limitent l'utilisation de substances dangereuses et garantissent que les tiges de cuivre et de tungstène respectent les normes environnementales. L'introduction de systèmes de production intelligents, qui optimisent les paramètres de processus grâce à une surveillance en temps réel et à l'analyse des données, améliore encore l'efficacité énergétique et la qualité des produits.

11.3.3 Orientations d'application émergentes

Les domaines d'application futurs des tiges de cuivre tungstène se développent avec les avancées technologiques, englobant des secteurs émergents tels que les nouvelles énergies, la santé et la fabrication additive. Dans ce secteur, la demande de tiges de cuivre tungstène est en hausse pour les composants de contact électrique des onduleurs photovoltaïques et des convertisseurs d'éoliennes, où leur conductivité élevée et leur résistance à la corrosion favorisent une conversion énergétique efficace. Dans les systèmes de gestion des batteries des véhicules électriques, les tiges de cuivre tungstène servent de substrats de dissipation thermique, gérant efficacement la chaleur des batteries haute puissance et prolongeant leur durée de vie.

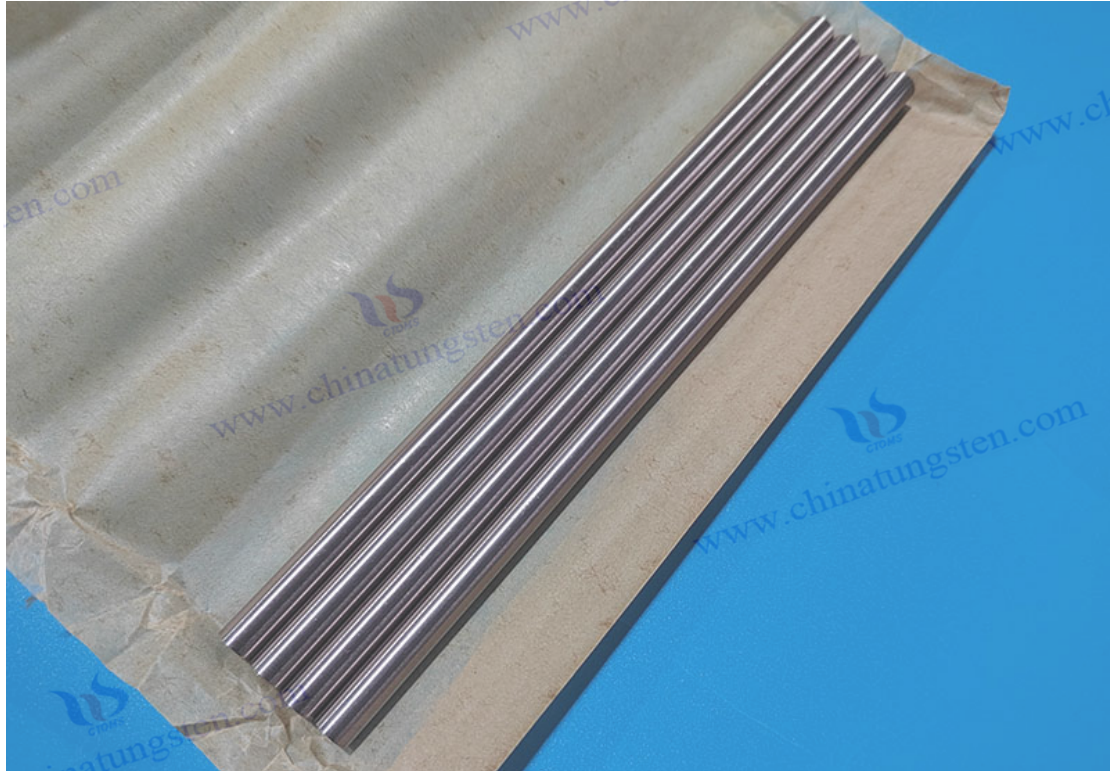
Dans le domaine médical, les propriétés de protection contre les radiations des tiges de cuivre tungstène en font un matériau prometteur pour les équipements de protection contre les rayons X et gamma, tels que les composants de blindage des collimateurs de tomodensitomètres et les équipements de radiothérapie. Sa haute densité et ses performances de traitement permettent la fabrication de formes complexes, répondant ainsi aux exigences de haute précision des équipements médicaux.

La fabrication additive (impression 3D) est un autre domaine émergent. Grâce à la technologie de dépôt par fusion par laser ou par faisceau d'électrons pour imprimer un squelette en tungstène, combinée à un procédé d'infiltration sous vide, il est possible de produire des composants en tungstène-cuivre aux géométries complexes. Cette méthode surmonte les limites des procédés traditionnels et convient à la production sur mesure en petites séries dans les secteurs de l'aérospatiale et de l'électronique. Par exemple, les dissipateurs thermiques en tungstène-cuivre imprimés en 3D peuvent intégrer des microcanaux internes, améliorant ainsi l'efficacité de la dissipation thermique.

Par ailleurs, les applications potentielles des tiges de cuivre tungstène dans l'informatique quantique et les équipements de communication 6G sont également remarquables. L'informatique quantique nécessite des matériaux à haute conductivité thermique dans des environnements à très basse température. La faible dilatation thermique et la conductivité thermique élevée des tiges de cuivre tungstène en font un candidat prometteur. La forte densité de puissance des stations de base 6G impose des exigences accrues en matière de dissipation thermique et de matériaux de contact électrique, et les performances globales des tiges de cuivre tungstène permettent de répondre à ces exigences.

En résumé, le marché et les tendances de développement des tiges de cuivre tungstène sont stimulés par les modernisations industrielles mondiales et les technologies émergentes. L'amélioration des

chaînes d'approvisionnement et l'innovation technologique favorisent une adoption généralisée dans les secteurs traditionnels et émergents. Le développement coordonné d'une fabrication écologique et performante et d'applications émergentes renforcera encore la compétitivité des tiges de cuivre tungstène sur le marché, apportant un soutien essentiel au développement industriel futur. L'industrie doit se concentrer sur l'approvisionnement en matières premières, le respect de l'environnement et la R&D technologique pour relever les défis du marché et saisir les opportunités de croissance.



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2025 version
www.ctia.com.cn

Tel: 0086 592 512 9696
CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2025V
sales@chinatungsten.com

Annexe

A. Glossaire

Alliage tungstène-cuivre : matériau composite à matrice métallique composé de tungstène et de cuivre, la teneur en cuivre étant généralement comprise entre 10 % et 50 %.

Procédé d'infiltration sous vide : Procédé de préparation de tiges de cuivre et de tungstène par infiltration de cuivre dans un squelette de tungstène sous vide.

Effet de transpiration du métal : sous haute température (par exemple supérieure à 3000 °C), le cuivre se liquéfie et s'évapore, absorbant la chaleur et abaissant la température de surface du matériau.

Conductivité électrique (%IACS) : Conductivité standard internationale pour le cuivre recuit, utilisée pour mesurer la conductivité électrique d'un matériau.

Coefficient de dilatation thermique : Taux de variation du volume ou de la longueur d'un matériau lorsque sa température change.

Résistance à l'érosion par arc : Capacité d'un matériau à résister aux dommages causés par l'ablation sous l'action d'un arc.

Façonnage quasi net : Technologie de fabrication qui permet d'obtenir directement une forme proche de la forme finale en optimisant le processus et en réduisant les traitements ultérieurs.

Électrode de soudage par résistance : Électrode utilisée pour le soudage par résistance, qui doit être résistante aux températures élevées et à l'usure.

Électrode EDM : Électrode utilisée pour l'EDM, avec un taux d'érosion électrique élevé et un faible taux d'usure.

Matériaux d'emballage électronique : Matériaux utilisés pour l'emballage de dispositifs semi-conducteurs qui présentent une conductivité thermique élevée et de faibles propriétés de dilatation thermique.

Méthode d'absorption infrarouge par combustion à haute fréquence : méthode analytique utilisée pour déterminer la teneur en carbone dans les alliages tungstène-cuivre.

Méthode gravimétrique à la cinchonine : méthode d'analyse chimique utilisée pour déterminer la teneur en tungstène dans les alliages tungstène-cuivre.

Conductivité thermique : Capacité d'un matériau à conduire la chaleur, généralement exprimée en W/m·K.

Dureté (HB/HV) : La dureté Brinell (HB) ou la dureté Vickers (HV) est utilisée pour mesurer la résistance d'un matériau à la déformation.

B. Références

- [1] Université de Padoue, Matériaux et Design, 2023
- [2] Métal AEM, alliage de cuivre et de tungstène
- [3] Chinatungsten, Préparation de tiges en alliage tungstène-cuivre par frittage à basse température et méthode d'infiltration, 2024
- [4] Progrès de la recherche sur la préparation et les propriétés des composites tungstène-cuivre hautes performances. Casting Technology, 2023.
- [5] Revue du développement des alliages lourds à base de tungstène dans mon pays. Métaux rares, 2021.
- [6] État de la recherche et perspectives sur les matériaux de dissipation thermique pour le divortor

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

des réacteurs à fusion nucléaire. Science des matériaux, 2022.

[7] Chinatungsten Online, Procédé de fabrication du cuivre tungstène

[8] Chinatungsten Online, Usinage de tiges de cuivre et de tungstène

[9] Méthode de préparation du matériau de contact en métal réfractaire, cuivre-tungstène

[10] Chinatungsten, Préparation de tiges en alliage tungstène-cuivre par frittage à basse température et méthode d'infiltration, 2024

[11] ScienceDirect, Traitement ultra-rapide de nanocomposites tungstène-cuivre de haute dureté, 2016

[12] Springer, Composite de cuivre renforcé par des nanoparticules de tungstène préparé par une méthode sol -gel et une réaction in situ, 2019

[13] PMC, Formation in situ de carbure de tungstène dans un composite à matrice de cuivre nanostructuré par alliage mécanique et frittage, 2022

[14] ScienceDirect, Fabrication additive multi-matériaux d'une structure bimétallique en alliage tungstène-cuivre avec une couche intermédiaire en acier inoxydable et mécanismes de liaison associés, 2022

[15] ScienceDirect, Étude sur l'effet de la technologie d'infiltration par fusion sous vide sur les propriétés de l'interface de jonction tungstène/cuivre, 2024

[16] Metal AM, Permettre la révolution de l'énergie de fusion : maîtriser le tungstène avec la fabrication additive PBF-EB, 2024

[17] MDPI, Une revue sur la fabrication additive de composites W-Cu, 2025

[18] Confer, PRÉPARATION DE COMPOSITES W-CU PAR INFILTRATION DE SQUELETTES W – REVUE, 2021