

Encyclopédie de l'électrode de tungstène pur

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

[Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale](#)

PRÉSENTATION DE CTIA GROUP

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

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

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

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



Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Répertoire

Chapitre 1 Introduction

- 1.1 Définition et aperçu de l'électrode de tungstène pur
- 1.2 L'importance de l'électrode de tungstène pure dans l'industrie du soudage
- 1.3 Contexte de la recherche et de l'application des électrodes de tungstène pur

Chapitre 2 Caractéristiques de l'électrode de tungstène pur

- 2.1 Propriétés physiques de l'électrode de tungstène pur
 - 2.1.1 Points de fusion et d'ébullition de l'électrode de tungstène pur
 - 2.1.2 Densité de l'électrode de tungstène pur
 - 2.1.3 Conductivité thermique et électrique de l'électrode de tungstène pur
 - 2.1.4 Coefficient de dilatation thermique de l'électrode de tungstène pur
 - 2.1.5 Pression de vapeur de l'électrode de tungstène pur
- 2.2 Propriétés chimiques de l'électrode de tungstène pur
 - 2.2.1 Stabilité chimique de l'électrode de tungstène pur
 - 2.2.2 Résistance à l'oxydation de l'électrode de tungstène pur
 - 2.2.3 Réactivité de l'électrode de tungstène pur avec d'autres éléments
- 2.3 Caractéristiques électriques de l'électrode de tungstène pur
 - 2.3.1 Travail électronique de l'électrode de tungstène pur
 - 2.3.2 Stabilité de l'arc de l'électrode de tungstène pur
 - 2.3.3 Taux de consommation d'électrode de tungstène pur
- 2.4 Propriétés mécaniques de l'électrode de tungstène pur
 - 2.4.1 Dureté et fragilité de l'électrode de tungstène pur
 - 2.4.2 Ductilité de l'électrode de tungstène pur
 - 2.4.3 Résistance à haute température et résistance au fluage de l'électrode de tungstène pur
- 2.5 Comparaison de l'électrode de tungstène pure avec d'autres électrodes de tungstène
 - 2.5.1 Électrode de tungstène pur et électrode de tungstène de cérium
 - 2.5.2 Électrode de tungstène pur et électrode de tungstène de lanthane
 - 2.5.3 Électrode de tungstène pur et électrode de tungstène thoriée
 - 2.5.4 Électrode de tungstène pur et électrode de tungstène d'yttrium
 - 2.5.5 Électrode de tungstène pur et électrode de zirconium et de tungstène
- 2.6 Électrode en tungstène pur MSDS de CTIA GROUP LTD

Chapitre 3 Technologie de préparation et de production de l'électrode de tungstène pur

- 3.1 Préparation des matières premières pour l'électrode de tungstène pur
 - 3.1.1 Extraction et purification du minerai de tungstène
 - 3.1.2 Préparation de la poudre de tungstène de haute pureté
- 3.2 Procédé de métallurgie des poudres d'une électrode de tungstène pur
 - 3.2.1 Moulage par pressage de poudre de tungstène
 - 3.2.2 Processus de frittage
 - 3.2.3 Traitement thermique et recuit

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 3.3 Traitement sous pression de l'électrode de tungstène pur
 - 3.3.1 Forgeage et laminage
 - 3.3.2 Dessin et dessin
 - 3.3.3 Formage de barres d'électrodes
- 3.4 Traitement de surface de l'électrode de tungstène pur
 - 3.4.1 Nettoyage et polissage
 - 3.4.2 Taches vertes
- 3.5 Contrôle de la qualité de l'électrode de tungstène pur
 - 3.5.1 Inspection de la qualité des matières premières
 - 3.5.2 Surveillance du processus de production
 - 3.5.3 Inspection du produit fini
- 3.6 Difficultés techniques et innovations de l'électrode de tungstène pur
 - 3.6.1 Contrôle de la haute pureté
 - 3.6.2 Optimisation de la structure des grains
 - 3.6.3 Amélioration de l'efficacité de la production
 - 3.6.4 Protection de l'environnement et développement durable

Chapitre 4 Utilisations de l'électrode de tungstène pur

- 4.1 Applications de soudage
 - 4.1.1 Soudage au gaz inerte au tungstène (TIG)
 - 4.1.2 Applications dans le soudage AC (AC)
 - 4.1.3 Soudage du magnésium, de l'aluminium et de leurs alliages
- 4.2 Autres applications industrielles
 - 4.2.1 Électrodes de soudage par résistance
 - 4.2.2 Découpe au plasma et pulvérisation
 - 4.2.3 Matériaux émetteurs de thermoélectrons
 - 4.2.4 Cibles de pulvérisation
 - 4.2.5 Contrepoids et éléments chauffants
- 4.3 Applications spéciales sur le terrain
 - 4.3.1 Industrie aérospatiale
 - 4.3.2 Industrie militaire
 - 4.3.3 Industrie nucléaire
- 4.4 Limites de l'application
 - 4.4.1 Lacunes dans le soudage DC (DC)
 - 4.4.2 Problèmes d'usure et de durée de vie des électrodes

Chapitre 5 Équipement de production d'électrodes de tungstène pur

- 5.1 Équipement de traitement des matières premières pour l'électrode de tungstène pur
 - 5.1.1 Équipement de concassage et de broyage du minerai de tungstène
 - 5.1.2 Équipement de purification chimique
- 5.2 Équipement de métallurgie des poudres pour électrode de tungstène pur
 - 5.2.1 Presses

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 5.2.2 Fours de frittage
- 5.2.3 Fours de traitement thermique sous vide
- 5.3 Équipement de traitement sous pression pour électrode de tungstène pur
 - 5.3.1 Machines à forger
 - 5.3.2 Laminaires
 - 5.3.3 Machines à tréfiler
- 5.4 Équipement de traitement de surface pour électrode de tungstène pur
 - 5.4.1 Équipement de nettoyage
 - 5.4.2 Machines à polir
 - 5.4.3 Équipement de l'applicateur
- 5.5 Équipement d'essai et de contrôle de la qualité pour l'électrode de tungstène pur
 - 5.5.1 Analyseurs de composition chimique
 - 5.5.2 Équipement d'analyse de la microstructure
 - 5.5.3 Équipement d'essai de performance physique
- 5.6 Automatisation et équipement intelligent pour électrode de tungstène pur
 - 5.6.1 Application des chaînes de production automatisées
 - 5.6.2 Système de surveillance intelligent

Chapitre 6 Normes nationales et étrangères pour l'électrode de tungstène pur

- 6.1 Normes internationales pour l'électrode de tungstène pur
 - 6.1.1 AWS A5.12 (norme de l'American Welding Institute)
 - 6.1.2 ISO 6848 (Organisation internationale de normalisation)
 - 6.1.3 EN 26848 (European Standard)
- 6.2 Norme nationale chinoise pour l'électrode de tungstène pur
 - 6.2.1 GB/T 4190 (norme d'électrode de tungstène)
 - 6.2.2 Normes pertinentes de l'industrie
- 6.3 Autres normes nationales pour l'électrode de tungstène pur
 - 6.3.1 JIS Z 3233 (norme industrielle japonaise)
 - 6.3.2 DIN EN ISO 6848 (norme allemande)
- 6.4 Comparaison standard et différences de l'électrode de tungstène pur
 - 6.4.1 Exigences relatives à la composition chimique
 - 6.4.2 Dimensions et tolérances
 - 6.4.3 Méthodes d'essai de performance
- 6.5 La tendance au développement des étalons d'électrodes de tungstène pur
 - 6.5.1 Exigences en matière d'environnement et de sécurité
 - 6.5.2 Étalons d'électrodes à haute performance

Chapitre 7 Méthodes et technologies de détection de l'électrode de tungstène pur

- 7.1 Détection de la composition chimique d'une électrode de tungstène pur
 - 7.1.1 Analyse spectroscopique (ICP-OES)
 - 7.1.2 Analyse par fluorescence X (XRF)
 - 7.1.3 Titrage chimique

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

7.2 Propriétés physiques de l'électrode de tungstène pur

7.2.1 Mesure de la masse volumique

7.2.2 Essai de dureté

7.2.3 Essai de conductivité

7.3 Analyse de la microstructure d'une électrode de tungstène pur

7.3.1 Observation en microscopie optique

7.3.2 Microscopie électronique à balayage (MEB)

7.3.3 Analyse de la taille des grains

7.4 Test de performance de soudage de l'électrode de tungstène pur

7.4.1 Essai de performance de l'arc

7.4.2 Essai de stabilité de l'arc

7.4.3 Test du taux de consommation d'électrodes

7.5 Essais environnementaux et de sécurité de l'électrode de tungstène pur

7.5.1 Détection de la radioactivité (comparaison des électrodes de thorium et de tungstène)

7.5.2 Détection des émissions de poussières et de gaz d'échappement

7.6 Étalonnage et normalisation de l'équipement d'essai d'électrodes de tungstène pur

7.6.1 Méthodes d'étalonnage de l'équipement

7.6.2 Normes internationales d'essai

Chapitre 8 Analyse des avantages et des inconvénients de l'électrode de tungstène pur

8.1 Avantages de l'électrode de tungstène pur

8.1.1 Faible coût

8.1.2 Stabilité à haute température

8.1.3 Convient pour le soudage AC

8.2 Inconvénients de l'électrode de tungstène pure

8.2.1 Mauvaises performances de soudage DC

8.2.2 Taux de consommation d'électrodes élevé

8.2.3 Difficulté d'arc électrique et d'arc instable

8.3 Direction d'amélioration de l'électrode de tungstène pur

8.3.1 Optimisation du procédé

8.3.2 Études d'alliage

8.3.3 Mise au point de nouveaux matériaux d'électrode

Chapitre 9 Marché et tendance de développement de l'électrode de tungstène pur

9.1 Vue d'ensemble du marché mondial des électrodes de tungstène

9.1.1 Principaux pays producteurs

9.1.2 Taille du marché et demande

9.2 Analyse du marché des électrodes de tungstène en Chine

9.2.1 Capacité de production nationale

9.2.2 Demande du marché et domaines d'application

9.3 Tendance au développement de la technologie des électrodes de tungstène pur

9.3.1 Technologie de production efficace

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

- 9.3.2 Processus de production respectueux de l'environnement
- 9.3.3 Recherche et développement d'une nouvelle électrode de tungstène
- 9.4 Défis de l'électrode de tungstène pur
 - 9.4.1 Fluctuations du prix des matières premières
 - 9.4.2 Pressions réglementaires environnementales
 - 9.4.3 Compétition internationale

Chapitre 10 Conclusions

- 10.1 Évaluation complète de l'électrode de tungstène pur
- 10.2 Perspectives de développement futur de l'électrode de tungstène pur
- 10.3 Recherche et suggestions d'application de l'électrode de tungstène pur

Appendice

- A. Glossaire
- B. Références

Chapitre 1 Introduction

1.1 Définition et aperçu de l'électrode de tungstène pur

L'électrode de tungstène pur (électrode WP) est un matériau d'électrode de soudage composé de tungstène de haute pureté (teneur en tungstène $\geq 99,5$ %) comme matière première principale, généralement dopée avec des oxydes de terres rares ou d'autres éléments d'alliage, produite par un processus avancé de métallurgie des poudres, et sa surface est recouverte de marques vertes pour répondre aux spécifications d'identification standard internationales. En tant que métal rare, le tungstène a un point de fusion extrêmement élevé (3422°C), une densité élevée ($19,3 \text{ g/cm}^3$), une excellente conductivité électrique (environ 30 % IACS), une conductivité thermique ($173 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et une excellente stabilité chimique, faisant de l'électrode de tungstène pur l'un des premiers types d'électrodes utilisés dans le soudage à l'arc tungstène-argon (soudage TIG). Son travail électronique élevé (environ 4,52 eV) lui confère une bonne capacité d'émission d'électrons thermiques à haute température, mais son application est limitée en raison de la difficulté d'initiation de l'arc et de la stabilité insuffisante de l'arc dans le soudage DC (DC), et il est principalement utilisé pour le soudage AC (AC), en particulier pour le soudage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages.

Le processus de préparation des électrodes en tungstène pur est complexe et précis, impliquant plusieurs étapes, de la purification du minerai de tungstène aux électrodes finies. Tout d'abord, la poudre de tungstène de haute pureté est extraite chimiquement du minerai de tungstène (comme la wolframite ou la scheelite), puis les barres d'électrodes sont fabriquées par pressage et formage, frittage, forgeage, tréfilage et polissage de surface. Les électrodes finies sont disponibles dans une variété de tailles, allant généralement de 0,5 à 6,4 mm de diamètre et de 75 à 600 mm de longueur, avec des tailles courantes telles que 1,0, 1,6, 2,4, 3,2 et 4,0 mm pour répondre aux différents besoins en matière d'équipement et de processus de soudage. De plus, la qualité de surface et la tolérance dimensionnelle des électrodes en tungstène pur sont essentielles aux performances de soudage, de sorte que la teneur en impuretés et la structure des grains doivent être strictement contrôlées pendant le processus de production pour garantir la stabilité et la durabilité de l'électrode dans des environnements d'arc à haute température.

1.2 L'importance de l'électrode de tungstène pur dans l'industrie du soudage

L'électrode de tungstène pur a une position irremplaçable dans l'industrie du soudage, en particulier dans le soudage à l'arc au tungstène-argon (soudage TIG), en raison de ses propriétés physiques et chimiques uniques, il est devenu le matériau préféré pour le soudage AC. Tout d'abord, le point de fusion élevé et l'excellente stabilité à haute température des électrodes en tungstène pur leur permettent de maintenir l'intégrité structurelle dans des environnements à courant élevé (généralement 100-300 A) et à arc à haute température (environ $6000\text{-}7000^{\circ}\text{C}$), réduisant considérablement la consommation d'électrodes et prolongeant la durée de vie, améliorant ainsi l'efficacité et la qualité du soudage. Deuxièmement, dans le soudage AC, l'électrode en tungstène pur peut former une électrode hémisphérique stable, qui aide à répartir uniformément l'énergie de l'arc, à éliminer efficacement le film d'oxyde à la surface des métaux légers tels que l'aluminium et le magnésium et leurs alliages, et à former une soudure lisse et dense pour répondre aux besoins du

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

soudage de haute précision.

Par rapport aux électrodes en tungstène dopées avec des oxydes de terres rares (telles que l'électrode de tungstène au cérium, l'électrode de tungstène au lanthane ou l'électrode de tungstène au thorium), l'électrode de tungstène pure présente des avantages significatifs en termes de coûts et des caractéristiques respectueuses de l'environnement. Comme elles ne contiennent pas d'éléments radioactifs (par exemple le thorium), les électrodes en tungstène pur ne présentent aucun risque de rayonnement lors de l'utilisation et de l'élimination, et répondent aux exigences des réglementations modernes en matière de fabrication écologique et de protection de l'environnement. Cette caractéristique le rend très souhaitable dans les industries ayant des exigences de sécurité élevées, telles que l'aérospatiale et la fabrication de dispositifs médicaux. De plus, le processus de production de l'électrode de tungstène pur est mature, les sources de matières premières sont larges et le prix est relativement stable, ce qui le rend économique dans la production industrielle à grande échelle.

Les domaines d'application des électrodes en tungstène pur couvrent de nombreuses industries manufacturières haut de gamme. Dans l'industrie automobile, des électrodes en tungstène pur sont utilisées pour souder des corps et des pièces en aluminium ; Dans le domaine aérospatial, il est utilisé pour le soudage de précision des alliages de titane et des alliages d'aluminium ; Dans l'industrie électrique et électronique, il est utilisé pour souder des métaux à parois minces et des composants miniatures. Grâce à la transformation et à la mise à niveau de l'industrie manufacturière mondiale et à la demande croissante de procédés de soudage de haute qualité, la demande du marché pour les électrodes en tungstène pur continue de croître. Bien que certaines de ses limitations dans le soudage DC aient conduit au remplacement des électrodes dopées dans certaines applications, les électrodes en tungstène pur restent indispensables dans le soudage AC, le soudage par résistance et certains processus de découpe et de pulvérisation au plasma.

1.3 Contexte de la recherche et de l'application des électrodes de tungstène pur

En tant que métal rare stratégique, le tungstène est largement utilisé dans les domaines industriels et militaires depuis la fin du 19^{ème} siècle en raison de ses excellentes propriétés physiques et chimiques. La R&D et l'application de l'électrode de tungstène pur ont commencé au début du 20^{ème} siècle, ce qui est étroitement lié à la naissance et au développement de la technologie de soudage à l'arc tungstène-argon. Dans les années 1910, les électrodes en tungstène ont été utilisées pour la première fois dans des expériences de soudage, et leur point de fusion élevé et leurs capacités d'émission d'électrons thermiques en ont rapidement fait le matériau de base du soudage TIG. Cependant, en raison du travail élevé d'échappement d'électrons dans l'électrode de tungstène pur précoce, il existe des problèmes d'initiation et d'instabilité de l'arc dans le soudage CC, ce qui limite son domaine d'application. Pour pallier ces lacunes, les chercheurs ont exploré des électrodes de tungstène dopées avec des oxydes de terres rares (par exemple, l'oxyde de cérium, l'oxyde de lanthane, l'oxyde de thorium) depuis le milieu du 20^{ème} siècle pour réduire le travail des électrons et améliorer les performances d'initiation de l'arc et la stabilité de l'arc. Bien que les électrodes dopées fonctionnent bien dans le soudage DC, les électrodes en tungstène pur conservent une position importante sur le marché en raison de leur non-radioactivité, de leur faible coût et de leur aptitude

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

au soudage AC.

À la fin du 20^e siècle, avec le développement rapide de l'aérospatiale, de la construction automobile, de l'industrie nucléaire et des industries électroniques et électriques, la demande de matériaux de soudage haute performance a considérablement augmenté, ce qui a favorisé l'amélioration continue du processus de production d'électrodes de tungstène pur. Les technologies de production modernes comprennent la préparation de poudre de tungstène de haute pureté, le formage isostatique par presse, le frittage sous vide, le forgeage de précision et le tréfilage automatisé, etc., qui améliorent considérablement la pureté, l'uniformité du grain et les propriétés mécaniques de l'électrode. De plus, les normes internationales (par exemple, AWS A5.12, ISO 6848) et les normes nationales chinoises (par exemple, GB/T 4190) spécifient la composition chimique, la tolérance dimensionnelle, la qualité de surface et les méthodes d'essai de performance des électrodes en tungstène pur, ce qui favorise leur production et leur application normalisées sur le marché mondial.

En tant que pays possédant les plus grandes réserves de ressources en tungstène au monde (environ 1,9 million de tonnes, représentant plus de 50 % du total mondial) et la production (environ 80 % de celles du monde en 2024), la Chine dispose d'une chaîne industrielle complète, de l'extraction du tungstène à la fabrication d'électrodes, en passant par la fusion. Grâce à l'innovation technologique et à la production à grande échelle, les entreprises nationales ont considérablement amélioré la compétitivité internationale des électrodes de tungstène pur. Dans le même temps, les plates-formes d'information de l'industrie telles que Chinatungsten Online Technology Co., Ltd. publient les tendances du marché, les progrès techniques et les informations sur les prix via le site Web et le compte officiel WeChat, fournissant des solutions personnalisées aux clients mondiaux et devenant une source d'information faisant autorité dans l'industrie des produits en tungstène.

À l'heure actuelle, les orientations de recherche des électrodes en tungstène pur comprennent l'optimisation de la structure des grains pour améliorer la résistance à l'usure et la stabilité de l'arc, le développement de processus de production efficaces et respectueux de l'environnement pour réduire la consommation d'énergie et les émissions, et l'exploration de nouveaux matériaux d'électrodes pour répondre à divers besoins de soudage. De plus, l'accent mis à l'échelle mondiale sur la fabrication verte et le développement durable a favorisé le développement et l'application d'électrodes non radioactives, et les électrodes en tungstène pur ont un avantage dans cette tendance en raison de leurs caractéristiques respectueuses de l'environnement. À l'avenir, avec le développement des nouvelles énergies, de l'aérospatiale et de la fabrication d'équipements haut de gamme, les perspectives d'application de l'électrode de tungstène pur seront plus larges.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



électrodes en tungstène pur de CTIA GROUP LTD

Chapitre 2 Caractéristiques de l'électrode de tungstène pur

2.1 Propriétés physiques de l'électrode de tungstène pur

L'électrode de tungstène pur (électrode WP) occupe une position importante dans l'industrie du soudage en raison de ses excellentes propriétés physiques. Son point de fusion élevé, sa densité élevée, son excellente conductivité thermique, son faible coefficient de dilatation thermique et sa faible pression de vapeur en font un matériau indispensable dans le soudage à l'arc tungstène-argon (soudage TIG), en particulier dans le soudage AC (AC). Ce qui suit est une discussion détaillée des propriétés physiques des électrodes en tungstène pur.

2.1.1 Points de fusion et d'ébullition de l'électrode de tungstène pur

Le tungstène est l'élément dont le point de fusion est le plus élevé de tous les métaux, avec un point de fusion de 3422 °C (environ 3695 K) et un point d'ébullition de 5660 °C (environ 5933 K) pour les électrodes en tungstène pur. Cette caractéristique permet aux électrodes en tungstène pur de maintenir leur intégrité structurelle dans des environnements d'arc à haute température (environ 6000-7000 °C), réduisant ainsi le risque de fusion des électrodes ou d'épuisement excessif. Dans le soudage TIG, le point de fusion élevé garantit que l'électrode peut maintenir une forme d'extrémité stable à des courants élevés (100-300 A), en particulier lors du soudage AC de métaux légers tels que l'aluminium et le magnésium, l'électrode peut former une extrémité hémisphérique, ce qui contribue à la distribution uniforme de l'arc. Cependant, le point de fusion élevé signifie également que les électrodes en tungstène pur nécessitent un apport d'énergie plus élevé pendant le traitement, ce qui augmente les coûts de production.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

2.1.2 Masse volumique de l'électrode de tungstène pur

La densité des électrodes en tungstène pur est de 19,3 g/cm³ à 25 °C, ce qui est proche de l'or (19,32 g/cm³) et 2,5 fois celle de l'acier (7,8 g/cm³). La haute densité confère à l'électrode une excellente stabilité mécanique et résistance aux vibrations, et peut résister à la force d'impact générée par l'arc pendant le processus de soudage, réduisant ainsi le risque de déformation ou de rupture de l'extrémité. De plus, la haute densité fait des électrodes en tungstène pur une application potentielle dans les contrepoids et les applications aérospatiales. Cependant, la haute densité augmente également le poids des électrodes, ce qui peut être difficile pour certains équipements de soudage qui nécessitent une conception légère.

2.1.3 Conductivité thermique et électrique de l'électrode de tungstène pur

L'électrode de tungstène pur a une bonne conductivité thermique et électrique, sa conductivité thermique est d'environ 173 W/m·K (température ambiante) et sa conductivité électrique est d'environ 30 % IACS (International Annealed Copper Standard). L'excellente conductivité thermique permet à l'électrode de dissiper rapidement la chaleur générée par l'arc, réduisant ainsi le risque de surchauffe de l'électrode et prolongeant sa durée de vie. Une bonne conductivité électrique garantit que l'électrode peut transmettre efficacement le courant pendant le processus de soudage et maintenir un arc stable. Cependant, le tungstène pur a une conductivité électrique inférieure à celle du cuivre (conductivité thermique d'environ 400 W/m·K et conductivité de 100 % IACS), ce qui peut provoquer une surchauffe de l'électrode et affecter la stabilité de l'arc dans le soudage DC (DC) à courant élevé. Par conséquent, les électrodes en tungstène pur sont plus adaptées aux scénarios de soudage AC.

2.1.4 Coefficient de dilatation thermique de l'électrode de tungstène pur

Les électrodes en tungstène pur ont un faible coefficient de dilatation thermique d'environ $4,5 \times 10^{-6}/K$ (20-1000°C). Le faible coefficient de dilatation thermique signifie que l'électrode a peu de changements dimensionnels lors du soudage à haute température, ce qui permet de maintenir la forme et la stabilité dimensionnelle et de réduire les fissures ou les déformations dues aux contraintes thermiques. Ceci est particulièrement important dans le soudage de précision, comme les composants aérospatiaux. Cependant, le faible coefficient de dilatation thermique permet également aux électrodes en tungstène pur de générer des contraintes interfaciales lorsque le coefficient de dilatation thermique est très différent de celui d'un substrat (par exemple, l'acier ou l'aluminium), qui doit être atténué par l'optimisation du processus (par exemple, le préchauffage).

2.1.5 Pression de vapeur de l'électrode de tungstène pur

La pression de vapeur des électrodes en tungstène pur à haute température est extrêmement faible, seulement 0 Pa à 3000°C [2]. La faible pression de vapeur signifie que l'électrode est extrêmement basse dans l'environnement d'arc à haute température, ce qui réduit la perte par vaporisation du matériau de l'électrode et prolonge la durée de vie de l'électrode. Ceci est particulièrement important dans le soudage continu à long terme, comme le soudage automatisé dans la production industrielle. Cependant, à des températures très élevées (par exemple, près du point d'ébullition), la pression de vapeur augmente considérablement, ce qui peut entraîner de légères pertes au niveau de l'électrode

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et affecter la stabilité de l'arc.

2.2 Propriétés chimiques de l'électrode de tungstène pur

Les propriétés chimiques des électrodes en tungstène pur se reflètent principalement dans leur stabilité chimique, leur résistance à l'oxydation et leur réactivité avec d'autres éléments. Ces caractéristiques déterminent l'aptitude et la durabilité de l'électrode dans différents environnements de soudage.

2.2.1 Stabilité chimique de l'électrode de tungstène pur

Le tungstène est extrêmement stable chimiquement à la pièce et à des températures moyennes-basses, ne réagit pas avec la plupart des acides, bases ou solutions salines, et ne se dissout que lentement dans les acides fortement oxydants tels que les acides nitrique ou fluorhydrique concentrés. Dans le soudage TIG, les électrodes en tungstène pur fonctionnent généralement sous la protection d'un gaz inerte tel que l'argon ou l'hélium, qui est chimiquement stable et lui permet de résister à la corrosion dans l'environnement de soudage, en maintenant une surface propre et une stabilité de l'arc. Cependant, dans les atmosphères gazeuses non inertes (par exemple, les atmosphères contenant de l'oxygène ou de la vapeur aqueuse), la stabilité chimique du tungstène diminue et un contrôle du processus est nécessaire pour éviter l'oxydation de la surface de l'électrode.

2.2.2 Résistance à l'oxydation de l'électrode de tungstène pur

Les électrodes en tungstène pur ont une faible résistance à l'oxydation à haute température et commencent à réagir avec l'oxygène à environ 400 °C ou plus pour former du trioxyde de tungstène (WO_3), et le taux d'oxydation est considérablement accéléré à des températures plus élevées (par exemple, au-dessus de 800°C) [21]. Dans le soudage TIG, la protection contre les gaz inertes peut empêcher efficacement l'oxydation des électrodes, mais si le flux de gaz protecteur est insuffisant ou interrompu, une couche d'oxyde jaune ou bleue se formera rapidement sur la surface de l'électrode, entraînant une instabilité de l'arc ou même une défaillance de l'électrode. Par conséquent, il est nécessaire d'assurer une protection stable contre les gaz pendant les opérations de soudage et de vérifier régulièrement l'état de surface des électrodes. De plus, les électrodes en tungstène pur ne sont pas aussi résistantes à l'oxydation que les électrodes dopées avec des oxydes de terres rares (tels que les électrodes de tungstène de cérium ou de tungstène de lanthane), ce qui limite leur application dans certains environnements difficiles.

2.2.3 Réactivité de l'électrode de tungstène pur avec d'autres éléments

Les électrodes en tungstène pur sont moins réactives avec d'autres éléments (par exemple, le carbone, l'azote, l'hydrogène) à des températures élevées, mais peuvent réagir dans certaines conditions. Par exemple, dans des atmosphères contenant du carbone telles que le CO ou le CH_4 , le tungstène peut former du carbure de tungstène (WC), entraînant une augmentation de la dureté de surface, mais une fragilité accrue, affectant la soudabilité. Dans les atmosphères contenant de l'azote, le tungstène peut former du nitrure de tungstène (WN), mais la vitesse de réaction est lente et a un effet limité sur les performances de l'électrode. De plus, le tungstène a peu de réaction chimique avec les métaux dans le bain de fusion (par exemple l'aluminium, le magnésium), ce qui garantit la pureté de la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

soudure. Ces propriétés rendent les électrodes en tungstène pur adaptées au soudage de matériaux de haute pureté, mais évitent le contact direct avec l'atmosphère active.

2.3 Caractéristiques électriques de l'électrode de tungstène pur

Les propriétés électriques des électrodes en tungstène pur affectent directement leurs performances en soudage TIG, notamment les performances d'initiation de l'arc, la stabilité de l'arc et le taux de consommation des électrodes. Ce qui suit est analysé sous trois aspects : la dérivation du travail des électrons, la stabilité de l'arc et le taux de consommation des électrodes.

2.3.1 Travail électronique de l'électrode de tungstène pur

Le travail des électrons est une mesure de la difficulté d'émettre des électrons chauds du matériau, et le travail des électrons de l'électrode de tungstène pur est relativement élevé, environ 4,52 eV. Un travail électronique élevé signifie que l'électrode a besoin d'une tension plus élevée pour initier un arc au stade initial du soudage, en particulier dans le soudage CC, qui a de mauvaises performances d'initiation d'arc et est sujet à l'absence d'arc ou de saut d'arc. Dans le courant alternatif (CA), l'effet alternatif des demi-cycles positifs et négatifs du courant alternatif peut atténuer partiellement la difficulté de l'arc électrique, mais une tension d'arc plus élevée est toujours nécessaire. En revanche, les électrodes dopées avec des oxydes de terres rares (telles que les électrodes de tungstène de cérium, avec un travail électronique d'environ 2,7-3,0 eV) ont de meilleures performances d'initiation d'arc, ce qui est la principale raison de l'application limitée des électrodes de tungstène pur dans le soudage DC.

2.3.2 Stabilité de l'arc de l'électrode de tungstène pur

La stabilité de l'arc fait référence à la capacité de l'arc à rester continu et uniforme pendant le processus de soudage. L'électrode en tungstène pur a une bonne stabilité de l'arc dans le soudage AC, car son point de fusion élevé et sa conductivité thermique peuvent maintenir une forme d'électrode stable (hémisphérique) pour assurer une distribution uniforme de l'énergie de l'arc. Cependant, dans le soudage DC, l'arc est sujet à la dérive ou à l'interruption en raison du travail électronique élevé et de la faible efficacité d'émission d'électrons thermiques, en particulier à de faibles courants (<50 A) ou à des fréquences élevées. De plus, la contamination de la surface de l'électrode (par exemple l'oxyde ou l'huile) peut réduire davantage la stabilité de l'arc, il est donc nécessaire d'affûter régulièrement les pièces de l'électrode pour les garder propres.

2.3.3 Taux de consommation d'électrode de tungstène pur

Le taux de consommation d'électrode fait référence à la vitesse à laquelle l'électrode est réduite en raison de la fusion, de l'évaporation ou de la perte mécanique pendant le processus de soudage. Les électrodes en tungstène ont un taux de consommation d'électrodes élevé, en particulier à des courants élevés (>200 A) ou à des soudures continues à long terme, en raison de leur travail d'échappement d'électrons élevé, ce qui conduit à une température élevée des électrodes, ce qui accélère la volatilisation et l'épuisement du matériau. Dans le soudage AC, la formation d'extrémités hémisphériques ralentit partiellement la consommation, mais dans la connexion positive DC (DCSP), le taux de consommation d'électrodes est nettement supérieur à celui des électrodes dopées

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

(par exemple, les électrodes de tungstène de cérium ou de tungstène de lanthane). Pour réduire le taux de consommation, les paramètres de soudage (par exemple le courant, le débit de gaz) doivent être optimisés et l'électrode doit être affûtée régulièrement pour maintenir l'angle de pointe.

2.4 Propriétés mécaniques des électrodes en tungstène pur

Les propriétés mécaniques des électrodes en tungstène pur comprennent la dureté, la fragilité, la ductilité et la résistance à haute température, qui déterminent leurs performances dans la production, le traitement et l'utilisation.

2.4.1 Dureté et fragilité de l'électrode de tungstène pur

Les électrodes en tungstène pur ont une dureté extrêmement élevée, la dureté Vickers (HV) à température ambiante est d'environ 350-450, proche du carbure de tungstène (HV environ 500). Sa dureté élevée lui confère une excellente résistance à l'usure et est capable de résister aux chocs d'arc et à l'usure mécanique. Cependant, la structure cristalline du tungstène (cube centré sur le corps) le rend très cassant, en particulier à température ambiante, et est sujet à la rupture fragile. Au cours du processus de production, la fragilité est réduite par le forgeage et le recuit à haute température, mais l'électrode finie doit toujours être manipulée avec soin pour éviter les fractures dues aux chutes ou aux impacts. En soudage, la dureté élevée de l'électrode aide à maintenir la morphologie de l'extrémité, mais la fragilité peut provoquer des microfissures aux extrémités, affectant la stabilité de l'arc.

2.4.2 Ductilité de l'électrode de tungstène pur

La ductilité des électrodes en tungstène pur est médiocre, il n'y a presque pas de capacité de déformation plastique à température ambiante et l'allongement à la rupture est proche de 0 %. À des températures élevées (>1200°C), le tungstène présente une légère amélioration de la ductilité et peut être formé par forgeage ou tréfilage. Cependant, la ductilité à haute température est encore limitée, et la température et le taux de déformation doivent être étroitement contrôlés pendant le traitement pour éviter la fissuration. Dans les applications de soudage, une mauvaise ductilité rend difficile l'adaptation des électrodes aux besoins de soudage de formes complexes, mais leur dureté et leur stabilité élevées compensent cette lacune.

2.4.3 Résistance à haute température et résistance au fluage de l'électrode de tungstène pur

Les électrodes en tungstène pur ont une excellente résistance à haute température et une résistance au fluage à haute température. À plus de 2000°C, sa résistance à la traction peut encore atteindre 100-200 MPa, et sa résistance au fluage dépasse de loin celle de la plupart des métaux. Cette propriété permet à l'électrode de maintenir sa stabilité mécanique dans un environnement d'arc à haute température, réduisant ainsi la déformation ou la rupture due au stress thermique. La résistance au fluage assure la stabilité de la morphologie terminale et prolonge la durée de vie lors du soudage continu à long terme. Cependant, la croissance des grains à des températures élevées peut réduire la résistance, et l'affinement des grains est nécessaire grâce à l'optimisation du processus de production, comme le contrôle de la température de frittage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

2.5 Comparaison de l'électrode de tungstène pure avec d'autres électrodes de tungstène

Il existe des différences significatives dans les performances des électrodes en tungstène pur et des autres électrodes en tungstène dopées (telles que les électrodes de tungstène au cérium, de tungstène de lanthane, de tungstène de thorium, de tungstène d'yttrium et de tungstène de zirconium). Ce qui suit est une comparaison des aspects des performances de soudage, des scénarios d'application, des avantages et des inconvénients.

2.5.1 Électrode de tungstène pur et électrode de tungstène de cérium

L'électrode de tungstène de cérium (électrode WC) est dopée avec 2 % à 4 % d'oxyde de cérium (CeO_2) dans une matrice de tungstène, l'échelle de couleur est grise. Le travail électronique de l'électrode cérium-tungstène est plus faible (environ 2,7-3,0 eV), et les performances d'initiation d'arc sont meilleures que celles de l'électrode de tungstène pure, en particulier dans le soudage CC à faible courant (<100 A). De plus, les électrodes en cérium tungstène ont une stabilité d'arc élevée et un faible taux de consommation d'électrodes, ce qui convient au soudage CC de l'acier inoxydable, de l'acier au carbone et d'autres matériaux. En revanche, les électrodes en tungstène pur sont difficiles à tracer et instables dans le soudage CC, mais leur coût est faible et adapté au soudage CA des alliages d'aluminium et de magnésium. L'électrode de tungstène en cérium est non radioactive et répond aux exigences de protection de l'environnement, mais dans le soudage AC à courant élevé, l'extrémité est facile à former une forme irrégulière et la stabilité de l'arc n'est pas aussi bonne que celle de l'électrode de tungstène pure.

2.5.2 Électrode de tungstène pur et électrode de tungstène de lanthane

Les électrodes de tungstène de lanthane (électrodes WL) sont dopées avec 1 à 2 % d'oxyde de lanthane (La_2O_3) et sont colorées en bleu ou en or. Le travail électronique de l'électrode de tungstène de lanthane est d'environ 2,8-3,2 eV, et les performances d'initiation d'arc et la stabilité de l'arc sont meilleures que celles de l'électrode de tungstène pure, qui convient au soudage DC et AC. Son faible taux de consommation d'électrodes et sa morphologie finale stable à haute température le rendent adapté au soudage de haute précision (par exemple, les composants aérospatiaux). L'électrode de tungstène pur forme une forme hémisphérique stable à l'extrémité du soudage AC, ce qui convient au soudage en alliage d'aluminium, mais ses performances sont médiocres en soudage DC. De plus, le coût de production des électrodes de tungstène au lanthane est plus élevé que celui des électrodes en tungstène pur, ce qui limite sa promotion dans les applications à faible coût.

2.5.3 Électrode de tungstène pur et électrode de tungstène thoriée

Les électrodes en tungstène thorium (électrodes WT) sont dopées avec 1 à 2 % d'oxyde de thorium (ThO_2) et sont colorées en rouge ou en jaune. Les électrodes en tungstène au thorium ont le travail électronique le plus faible (environ 2,6 eV) et d'excellentes performances d'initiation d'arc et une excellente stabilité de l'arc, et sont largement utilisées dans le soudage CC de l'acier au carbone, de l'acier inoxydable et des alliages de nickel. Son faible taux de consommation d'électrodes permet une densité de courant admissible élevée (>200 A). Cependant, l'oxyde de thorium est radioactif (dose de rayonnement d'environ $3,60 \times 10^5$ Curie/kg) et est potentiellement nocif pour l'homme et l'environnement [17]. Les électrodes en tungstène pur sont non radioactives, peu coûteuses et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

adaptées au soudage AC, mais leurs performances en soudage DC sont bien inférieures à celles des électrodes en tungstène thoriées. À l'heure actuelle, les électrodes thorium-tungstène sont progressivement remplacées par des électrodes de tungstène cérium-tungstène ou de tungstène lanthane dans les zones où les exigences de protection de l'environnement sont strictes.

2.5.4 Électrode de tungstène pur et électrode de tungstène d'yttrium

L'électrode de tungstène d'yttrium (électrode WY) dopée à 2 % d'oxyde d'yttrium (Y_2O_3) avec un code de couleur bleu foncé, est principalement utilisée pour le soudage à courant continu dans les domaines militaire et aérospatial. Le travail électronique des électrodes d'yttrium-tungstène est d'environ 2,9 eV, avec d'excellentes performances d'initiation d'arc et une stabilité d'arc, une faible consommation d'électrodes et adapté au soudage à courant élevé (par exemple, les alliages de titane). Les électrodes en tungstène pur sont rarement utilisées dans ces domaines en raison de leur difficulté d'amorçage d'arc et de leur instabilité. Les électrodes en yttrium-tungstène ont des coûts de production élevés et une gamme étroite d'applications sur le marché, tandis que les électrodes en tungstène pur sont encore largement utilisées en raison de leur économie et de leur aptitude au soudage AC.

2.5.5 Électrode de tungstène pur et électrode de tungstène de zirconium

Électrode de zirconium-tungstène (électrode HZ) dopée avec 0,3 % à 0,8 % de zircon (ZrO_2), le code couleur est brun ou blanc, et elle est conçue pour le soudage AC. Le travail électronique de l'électrode de tungstène de zirconium est d'environ 4,0 eV, ce qui est légèrement inférieur à celui de l'électrode de tungstène pur, et les performances d'initiation d'arc sont légèrement meilleures, et la stabilité de l'arc est élevée, ce qui convient au soudage AC des alliages d'aluminium et de magnésium. Son taux de consommation d'électrode est inférieur à celui de l'électrode de tungstène pur, et la forme finale est plus stable. Les électrodes en tungstène pur sont proches des électrodes en zirconium et en tungstène dans le soudage AC, mais à un coût inférieur et adaptées aux applications sensibles aux coûts. Le processus de production des électrodes en zirconium et tungstène est complexe et le prix est élevé, ce qui limite sa part de marché.

2.6 Électrode en tungstène pur MSDS de CTIA GROUP LTD

La fiche de données de sécurité (FDS) est un document important qui décrit l'utilisation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des électrodes en tungstène pur. Voici un résumé des principaux teneurs des fiches signalétiques des électrodes de tungstène pur :

Partie I : Nom du produit

Nom : Électrode de tungstène pur (WP)

N° CAS : 7440-33-7

Partie II : Renseignements sur la composition

Contenu principal $W \geq 99,95\%$

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Teneur totale en impuretés $\leq 0,05$ %

Partie III : Aperçu des dangers

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

Risque d'explosion : Ce produit est ininflammable et non irritant.

Partie IV : Premiers soins

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

Contact visuel : Soulevez la paupière et rincez à l'eau courante ou à l'aide d'une solution saline.

Traitement médical.

Inhalation : Retirer de la scène à l'air frais. Si vous avez des difficultés à respirer, donnez de l'oxygène. Traitement médical.

Apport : Buvez beaucoup d'eau tiède pour provoquer des vomissements. Traitement médical.

Partie V : Mesures de protection contre l'incendie

Produits de combustion nocifs : Les produits de décomposition naturels sont inconnus.

Méthode d'extinction d'incendie : Les pompiers doivent porter des masques à gaz et des combinaisons intégrales de lutte contre les incendies pour éteindre le feu dans la direction du vent.

Agent extincteur : poudre de cuir sèche, sable.

Partie VI : Gestion d'urgence des déversements

Traitement d'urgence : Isolez la zone contaminée par la fuite et limitez l'accès. Coupez la source du feu. Il est conseillé aux intervenants d'urgence de porter des masques anti-poussière (masques faciaux) et des vêtements de protection. Évitez la poussière, balayez-le soigneusement, mettez-le dans un sac et transférez-le dans un endroit sûr. S'il y a une grande quantité de fuites, couvrez-la d'un chiffon en plastique ou d'une toile. Collecter et recycler ou transporter vers un site d'élimination des déchets pour l'élimination.

Partie VII : Manutention, manutention et entreposage

Précautions d'utilisation : Les opérateurs doivent être spécialement formés et suivre strictement les procédures d'utilisation. Il est recommandé aux opérateurs de porter des masques anti-poussière filtrants auto-amorçants, des lunettes de sécurité chimique, une combinaison antipoison anti-pénétration et des gants en caoutchouc. Tenir à l'écart du feu et des sources de chaleur, et il est strictement interdit de fumer sur le lieu de travail. Utilisez des systèmes et des équipements de ventilation antidéflagrants. Évitez la génération de poussière. Évitez tout contact avec des oxydants et des halogènes. Lors de la manipulation, il est nécessaire de charger et de décharger légèrement

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

pour éviter d'endommager l'emballage et les conteneurs. Équipé des variétés et des quantités correspondantes d'équipements de lutte contre l'incendie et d'équipements de traitement d'urgence en cas de fuite. Les récipients vides peuvent laisser des substances nocives derrière eux.

Précautions de stockage : Stocker dans un entrepôt frais et ventilé. Tenir à l'écart du feu et des sources de chaleur. Il doit être stocké séparément des oxydants et des halogènes, et ne doit pas être mélangé. Équipé de la variété et de la quantité correspondantes d'équipements de lutte contre l'incendie. La zone de stockage doit être équipée de matériaux appropriés pour contenir le déversement.

Partie VIII : Contrôle de l'exposition/protection individuelle

CMA Chine (mg/m³) : 6

CMA de l'URSS (mg/m³) : 6

TLVTN : ACGIH 1 mg/m³

TLVWN : ACGIH 3mg/m³

Méthode de surveillance : méthode de spectroluminescence thiocyanure de potassium-chlorure de titane

Contrôle technique : le processus de production est exempt de poussière et entièrement ventilé.

Protection respiratoire : Lorsque la concentration de poussière dans l'air dépasse la norme, un masque anti-poussière filtrant auto-amorçant doit être porté. En cas d'évacuation d'urgence, un appareil respiratoire doit être porté.

Protection oculaire : Portez des lunettes de sécurité chimique.

Protection corporelle : Porter une combinaison anti-poison anti-pénétration.

Protection des mains : Portez des gants en caoutchouc.

Partie IX : Propriétés physicochimiques

Ingrédient principal : Pur

Aspect et propriétés : métal solide, blanc brillant

Point de fusion (°C) : N/A

Boiling point (°C): N/A

Densité relative (eau = 1) : 13 ~ 18,5 (20 °C)

Densité de vapeur (air = 1) : Aucune donnée

Pression de vapeur saturante (kPa) : pas de données disponibles

Chaleur de combustion (kJ/mol) : pas de données

Température critique (°C) : Aucune donnée disponible

Pression critique (MPa) : Aucune donnée disponible

Logarithme du coefficient de partage de l'eau : pas de données

Point d'éclair (°C) : Aucune donnée disponible

Température d'inflammation (°C) : Aucune donnée

Limite d'explosion % (V/V) : Aucune donnée

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Limite inférieure d'explosion % (V/V) : Aucune donnée

Solubilité : soluble dans l'acide nitrique, l'acide fluorhydrique

Utilisations principales : utilisé pour fabriquer des pièces de blindage, des tiges de fléchettes en alliage de tungstène, des billes en alliage de tungstène, etc.

Partie X : Stabilité et réactivité

Substances interdites : acides et alcalis forts.

Partie 11 :

Toxicité aiguë : pas de données disponibles

CL50 : Aucune donnée

Partie XII : Données écologiques

Il n'y a pas de données pour cette section

Partie XIII : Élimination

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

Partie XIV : Renseignements sur l'expédition

Numéro de marchandises dangereuses : pas d'information

Catégorie d'emballage : Z01

Précautions pour le transport : L'emballage doit être complet lors de l'expédition et le chargement doit être sécurisé. Pendant le transport, il est nécessaire de s'assurer que le conteneur ne fuit pas, ne s'effondre pas, ne tombe pas et ne s'endommage pas. Il est strictement interdit de mélanger avec des oxydants, des halogènes, des produits chimiques comestibles, etc. Pendant le transport, il doit être protégé de l'exposition au soleil, à la pluie et aux températures élevées. Les véhicules doivent être soigneusement nettoyés après le transport.

Partie XV : Renseignements réglementaires

Informations réglementaires : Règlement sur la gestion de la sécurité des produits chimiques dangereux (promulgué par le Conseil des Affaires d'État le 17 février 1987), Règles détaillées pour l'application du Règlement sur la gestion de la sécurité des produits chimiques dangereux (Hua Lao Fa [1992] n° 677), Règlement sur l'utilisation sûre des produits chimiques sur le lieu de travail ([1996] Lao Bu Fa n° 423) et autres lois et règlements, qui ont pris des dispositions correspondantes sur l'utilisation, la production, le stockage, le transport, le chargement et le déchargement en toute sécurité des produits chimiques dangereux ; La norme d'hygiène pour le tungstène dans l'air de l'atelier (GB 16229-1996) stipule la concentration maximale autorisée et la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

méthode de détection de cette substance dans l'air de l'atelier.

Partie XVI : Renseignements sur le fournisseur

Fournisseur : CTIA GROUP LTD

Tél. : 0592-5129696/5129595



électrodes en tungstène pur de CTIA GROUP LTD

Chapitre 3 Technologie de préparation et de production de l'électrode de tungstène pur

La préparation d'électrode de tungstène pur (électrode WP) est un procédé de haute précision impliquant une interdisciplinarité multidisciplinaire, couvrant la métallurgie minérale, la métallurgie des poudres, le traitement sous pression et le traitement de surface, de l'extraction des matières premières au moulage des électrodes finies. Un contrôle strict des paramètres du processus est nécessaire à chaque étape pour garantir une pureté élevée, une uniformité et d'excellentes performances de soudage de l'électrode. Ce chapitre aborde en détail la technologie de préparation et de production des électrodes en tungstène pur, couvrant la préparation des matières premières, la métallurgie des poudres, le traitement sous pression, le traitement de surface, le contrôle de la qualité, ainsi que les difficultés techniques et les orientations de l'innovation.

3.1 Préparation des matières premières pour l'électrode de tungstène pur

La préparation des électrodes en tungstène pur commence par la sélection et la manipulation des matières premières. En tant que métal rare, le tungstène existe principalement dans la nature sous forme de minerai de tungstène, et son processus de préparation nécessite l'extraction de composés de tungstène de haute pureté du minerai et un traitement ultérieur en poudre de tungstène de haute pureté. Le processus à ce stade détermine directement la pureté et les performances de l'électrode.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

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

3.1.1 Extraction et purification du minerai de tungstène

L'extraction et la purification du minerai de tungstène constituent la première étape de la production d'électrodes de tungstène pur, qui consiste principalement à prendre du minerai de tungstène dans la nature et à le convertir en composés de tungstène de haute pureté. Les ressources mondiales de minerai de tungstène sont principalement réparties en Chine, en Russie, au Canada et en Australie, dont la Chine représente plus de la moitié des réserves mondiales. Les minerais de tungstène courants comprennent la wolframite (principalement FeWO_4 et MnWO_4) et la scheelite (principalement CaWO_4). En raison de sa teneur élevée en tungstène et de ses caractéristiques d'enrichissement faciles, la wolframite est la principale matière première pour la préparation d'électrodes en tungstène pur.

Le minerai de tungstène est généralement extrait par des méthodes d'exploitation minière à ciel ouvert ou souterraines, et le minerai extrait est concassé et broyé pour produire une fine de petite taille de particule pour une enrichissement ultérieur. Les procédés d'enrichissement comprennent l'enrichissement par gravité, la flottation et la séparation magnétique, par lesquels les minéraux de tungstène sont séparés des autres impuretés (par exemple, les silicates, les sulfures) pour obtenir des concentrés de tungstène à haute teneur. La teneur en tungstène du concentré de tungstène doit généralement répondre à certaines normes pour répondre aux exigences de purification.

Le processus de purification se fait principalement par hydrométallurgie. Tout d'abord, le concentré de tungstène réagit avec une solution d'hydroxyde de sodium ou de carbonate de sodium pour produire une solution de tungstate de sodium (Na_2WO_4). Ce processus doit être effectué à haute température et pression pour améliorer l'efficacité de la réaction. Par la suite, les impuretés insolubles telles que le silicium, le fer, etc. sont éliminées de la solution par filtration. Ensuite, le tungstate de sodium est converti en précipité d'acide tungstique (H_2WO_4) en ajoutant un acide, tel que l'acide chlorhydrique. Après le lavage et le séchage, le précipité d'acide tungstique est calciné pour produire du trioxyde de tungstène (WO_3), qui est un produit intermédiaire pour la préparation de poudre de tungstène de haute pureté. L'ensemble du processus de purification doit contrôler strictement la valeur du pH, la température et le temps de réaction de la solution afin de minimiser les résidus d'impuretés, d'assurer la pureté du trioxyde de tungstène et de jeter les bases du processus ultérieur.

3.1.2 Préparation de la poudre de tungstène de haute pureté

La poudre de tungstène de haute pureté est la matière première de base pour la préparation de l'électrode de tungstène pur, et sa pureté, sa taille de particule et sa morphologie affectent directement les performances de l'électrode. La préparation de la poudre de tungstène est généralement faite à partir de trioxyde de tungstène comme matériau de départ, qui est produit par la méthode de réduction de l'hydrogène. Le processus spécifique comprend les étapes suivantes :

Tout d'abord, le trioxyde de tungstène est placé dans un four de réduction, et de l'hydrogène de haute pureté est introduit à haute température pour réduire progressivement le trioxyde de tungstène en poudre de tungstène métallique. Le processus de réduction est divisé en deux étapes : la première

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

étape réduit le trioxyde de tungstène en dioxyde de tungstène (WO_2) à une température plus basse, et la deuxième étape réduit davantage le tungstène métallique en métal à une température plus élevée. Ce processus nécessite un contrôle précis des gradients de température, des débits d'hydrogène et des temps de réduction pour éviter les particules de poudre de tungstène excessives ou agglomérées. La poudre de tungstène réduite est tamisée et nettoyée pour éliminer les oxydes et les impuretés résiduels.

Afin de répondre aux exigences de haute pureté des électrodes de tungstène pur, la pureté de la poudre de tungstène doit généralement atteindre plus de 99,95 % et la teneur en impuretés (telles que le fer, le nickel, le silicium, l'oxygène) doit être strictement contrôlée à l'état de traces. En outre, la distribution granulométrique et la morphologie de la poudre de tungstène sont également cruciales. Une taille de particule trop grande peut entraîner un manque de densité du corps fritté, tandis qu'une taille de particule trop petite peut augmenter la difficulté de compression. Par conséquent, la taille moyenne des particules de poudre de tungstène est généralement contrôlée dans la gamme de 1 à 5 microns, et la morphologie des particules est de préférence presque sphérique pour améliorer la fluidité et les performances de compression.

Ces dernières années, certaines entreprises ont adopté des technologies de pointe telles que la réduction au plasma ou le dépôt chimique en phase vapeur pour préparer de la poudre de tungstène ultrafine, ce qui améliore encore la pureté et l'uniformité de la poudre. Bien que ces technologies soient coûteuses, elles offrent des avantages non négligeables dans la production d'électrodes haute performance.

3.2 Procédé de métallurgie des poudres de l'électrode de tungstène pur

La métallurgie des poudres est le processus de base de la préparation des électrodes de tungstène pur, qui convertit la poudre de tungstène en corps de tungstène à haute densité et à haute résistance par pressage, frittage et traitement thermique. Ce processus est effectué à des températures, des pressions et des vides élevés pour garantir la densité et les propriétés mécaniques des électrodes.

3.2.1 Moulage par pressage de poudre de tungstène

Le moulage par pressage de poudre de tungstène est le processus de traitement de la poudre de tungstène de haute pureté en un corps vert avec une certaine forme et résistance. L'objectif de cette étape est de former un corps vert de densité uniforme et de résistance suffisante pour servir de base au frittage ultérieur. Le processus de pressage comprend principalement deux méthodes : le pressage isostatique à froid et le moulage.

Le pressage isostatique à froid est actuellement la méthode de pressage la plus couramment utilisée, en chargeant la poudre de tungstène dans un moule flexible (tel qu'un moule en caoutchouc) et en la plaçant dans un milieu liquide à haute pression pour appliquer une pression uniforme (généralement 100-300 MPa) pour que les particules de poudre se lient étroitement. Les avantages du pressage isostatique à froid sont une répartition uniforme de la pression et une densité constante de corps verts, ce qui convient à la production de formes grandes ou complexes. Le moulage

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

convient à la production de petits lots, et la poudre de tungstène est formée par une pression unidirectionnelle à travers le moule en acier, mais il est facile de produire des gradients de densité, ce qui nécessite une optimisation ultérieure du processus.

Une petite quantité de liant (par exemple de l'alcool polyvinylique ou de la paraffine) est ajoutée pendant le processus de pressage pour augmenter la résistance de formage du corps vert, mais le liant doit être complètement éliminé avant le frittage ultérieur pour éviter les impuretés résiduelles. Afin d'assurer l'uniformité du corps vert, il est nécessaire de contrôler la densité de remplissage et la vitesse de pressage de la poudre de tungstène pour éviter les fissures ou le délaminage.

3.2.2 Procédé de frittage

Le frittage est le processus qui consiste à chauffer le corps pressé à une température inférieure au point de fusion du tungstène afin que les particules de poudre se combinent pour former un matériau dense. Le point de fusion élevé du tungstène le fait fritter à une température élevée, généralement entre 2000 et 2800°C. Pour éviter l'oxydation, le frittage a lieu dans une atmosphère de vide ou de protection contre l'hydrogène, et les équipements courants comprennent les fours de frittage sous vide ou les fours de frittage d'hydrogène.

Le processus de frittage est divisé en trois étapes : précoce, intermédiaire et tardive. Au stade initial, à basse température (environ 1000-1500°C), le liant dans le corps vert s'évapore et des connexions de col commencent à se former à la surface des particules. Au stade intermédiaire (1500-2200 °C), la liaison entre les particules est améliorée, le corps vert se rétracte et la densité augmente progressivement. Dans la phase ultérieure (2200-2800°C), le grain pousse et le corps vert atteint la densité maximale, qui est généralement de 95 % à 98 % de la densité théorique. Le temps et la température de frittage doivent être contrôlés avec précision, une température trop élevée ou un temps de maintien trop long peut entraîner une croissance excessive des grains et réduire les propriétés mécaniques du corps vert.

Afin d'améliorer l'efficacité du frittage, certaines entreprises utilisent la technologie de frittage actif, qui réduit la température de frittage en ajoutant des métaux traces tels que le nickel ou le cobalt, mais il est nécessaire de s'assurer que les additifs n'affectent pas la pureté de l'électrode. De plus, des technologies émergentes telles que le frittage par induction IF et le frittage par plasma à décharge (SPS) sont progressivement appliquées à la production d'électrodes en tungstène haute performance, ce qui peut réduire considérablement le temps de frittage et améliorer la densité du corps vert.

3.2.3 Traitement thermique et recuit

Le corps en tungstène fritté présente généralement des contraintes internes et des défauts microscopiques, qui doivent être soulagés par un traitement thermique et un recuit pour améliorer la microstructure. Le traitement thermique est généralement effectué sous vide ou sous atmosphère d'hydrogène, la température est contrôlée à 1200-1800°C et le temps de maintien est ajusté en fonction de la taille et des exigences de performance du corps vert. Le traitement thermique affine les grains et améliore la ténacité et la facilité de traitement du corps vert.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Le recuit est une étape d'extension du traitement thermique conçue pour réduire davantage la dureté et la fragilité du corps vert et améliorer la ductilité. La température de recuit est généralement inférieure à la température du traitement thermique (environ 800-1200°C) et est refroidie lentement pour éviter de nouvelles contraintes. Le corps recuit est plus adapté à l'usinage sous pression ultérieur, tel que le forgeage et le tréfilage.

3.3 Traitement sous pression de l'électrode de tungstène pur

L'usinage sous pression est le processus d'usinage d'un corps fritté en une barre d'électrode avec des dimensions et des formes précises, y compris le forgeage, le laminage, l'emboutissage et les étapes d'emboutissage. La dureté et la fragilité élevées du tungstène le rendent difficile à traiter et doivent être effectués à des températures élevées pour améliorer la ductilité.

3.3.1 Forgeage et laminage

Le forgeage est le processus de déformation de l'ébauche frittée à haute température (environ 1500-1800 °C) par martelage ou pressage pour fabriquer une tige ou une ébauche de plaque. Le forgeage affine les grains et augmente la densité et la résistance du corps, mais le taux de déformation doit être contrôlé pour éviter la fissuration. Le forgeage est généralement effectué dans une atmosphère protectrice de l'hydrogène pour éviter l'oxydation.

Le laminage est une étape de traitement ultérieure après le forgeage au cours de laquelle l'ébauche forgée est laminée en barres ou en fils plus fins à travers un laminoir à plusieurs passes. La température de laminage est progressivement réduite (de 1500°C à 1000°C) afin d'améliorer la qualité de surface et la précision dimensionnelle du matériau. Un recuit périodique est nécessaire pendant le processus de laminage pour éliminer l'écrouissage et les contraintes internes et assurer l'usinabilité de l'ébauche.

3.3.2 Dessin et dessin

Le tréfilage est le processus d'étirement de barres laminées à travers une matrice pour fabriquer un fil de tungstène de plus petit diamètre ou une ébauche d'électrode. Le tréfilage est effectué à haute température (environ 800-1200°C) à l'aide de matrices en carbure ou en diamant pour résister à la dureté élevée du tungstène. Des lubrifiants tels que le graphite ou le disulfure de molybdène sont appliqués pendant le processus d'emboutissage pour réduire la friction et l'usure de la matrice. La déformation de chaque passe d'emboutissage est généralement contrôlée à 10 % à 20 %, et plusieurs séances de recuit sont nécessaires pour restaurer la ductilité.

L'étirage est une extension du tréfilage pour la production d'ébauches d'électrodes d'un diamètre plus petit (0,5-6,4 mm). La précision de la matrice d'emboutissage affecte directement la qualité de surface et la tolérance dimensionnelle de l'électrode, il est donc nécessaire de vérifier et de remplacer régulièrement le moule. La production continue de tréfilage et de tréfilage peut augmenter considérablement l'efficacité, mais la température et la vitesse d'étirage doivent être étroitement contrôlées pour éviter la rupture du fil.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

3.3.3 Formage des barres d'électrodes

Le formage de barres d'électrode consiste à couper, redresser et allonger le fil de tungstène tréfilé pour fabriquer une tige d'électrode qui répond aux spécifications. La découpe est généralement effectuée mécaniquement ou au laser pour s'assurer que la coupe est plate et sans bavure. Le redressage est effectué par un redresseur à rouleaux pour éliminer la flexion et les contraintes internes de la barre. La coupe à longueur est ajustée en fonction des besoins du client et la longueur commune est de 75 à 600 mm. Les tiges formées sont inspectées en surface pour s'assurer qu'il n'y a pas de fissures, de rayures ou de marques d'oxydation.

3.4 Traitement de surface de l'électrode de tungstène pur

Le traitement de surface est l'étape finale de la préparation de l'électrode en tungstène pur et vise à améliorer la qualité de surface, la soudabilité et la reconnaissance de l'électrode, y compris le nettoyage, le polissage et le marquage de la tête verte.

3.4.1 Nettoyage et polissage

Le nettoyage est le processus d'élimination de l'huile, des oxydes et des impuretés de la surface de la barre moulée, généralement en utilisant une combinaison de nettoyage chimique et de nettoyage par ultrasons. Le nettoyage chimique utilise une solution alcaline (par exemple, de l'hydroxyde de sodium) ou une solution acide (par exemple, de l'acide nitrique dilué) pour éliminer la couche d'oxyde, qui est ensuite rincée à l'eau pure et séchée. Le nettoyage par ultrasons utilise des vibrations à haute fréquence pour éliminer les minuscules particules et assurer une surface propre.

Le polissage est une étape critique dans l'amélioration de la finition de surface d'une électrode, généralement avec un polissage mécanique ou électrochimique. Le polissage mécanique utilise une meule ou un chiffon de polissage pour éliminer les rayures microscopiques sur la surface, et le polissage électrochimique rend la surface plus lisse grâce à l'électrolyse. La rugosité de surface de l'électrode polie atteint Ra1,6-3,2 μm , ce qui contribue à améliorer la stabilité de l'arc et la qualité du soudage.

3.4.2 Taches vertes

La marque de revêtement vert est la méthode d'identification standard internationale pour les électrodes en tungstène pur, qui est conforme aux normes AWS A5.12 et ISO 6848. Le processus de marquage est généralement recouvert d'une peinture verte non toxique (telle qu'une peinture de protection de l'environnement à base d'eau) à une extrémité de l'électrode, dont l'épaisseur est uniforme, résistante à l'usure et n'affecte pas les performances de soudage. Le marquage de la tête de revêtement est effectué sur une surface propre pour assurer l'adhérence et la durabilité. Certaines entreprises utilisent des équipements de pulvérisation automatisés pour améliorer l'efficacité et la cohérence du marquage.

3.5 Contrôle de la qualité des électrodes en tungstène pur

Le contrôle de la qualité traverse chaque étape de la production d'électrodes en tungstène pur, des matières premières aux produits finis, et doit être testé à plusieurs niveaux pour garantir les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

performances et la fiabilité de l'électrode.

3.5.1 Inspection de la qualité des matières premières

L'inspection de la qualité des matières premières concerne principalement le concentré de tungstène, le trioxyde de tungstène et la poudre de tungstène. Le concentré de tungstène doit être testé pour sa teneur en tungstène et ses impuretés (par exemple, soufre, phosphore, silicium). La pureté et l'impureté du trioxyde de tungstène sont testées par analyse par fluorescence X (XRF) ou spectroscopie à plasma à couplage inductif (ICP-OES). La distribution granulométrique, la morphologie et la teneur en oxygène de la poudre de tungstène doivent être testées pour s'assurer qu'elle répond aux exigences de production.

3.5.2 Surveillance du processus de production

La surveillance du processus de production comprend la détection en temps réel du passage, du frittage, du forgeage, du tréfilage et du traitement de surface. La densité et la taille du corps vert pressé doivent être vérifiées par un détecteur à ultrasons, et la densité et la taille des grains du corps vert fritté doivent être analysées par un microscope métallographique. Pendant le forgeage et l'emboutissage, la température, la déformation et la qualité de surface doivent être surveillées pour éviter les fissures ou les défauts. Après le traitement de surface, la rugosité de surface et la qualité du revêtement sont vérifiées.

3.5.3 Inspection du produit fini

L'inspection du produit fini comprend une inspection complète de la composition chimique, des propriétés physiques, des tolérances dimensionnelles et de la soudabilité. La composition chimique est analysée par ICP-OES ou XRF pour garantir une teneur en tungstène $\geq 99,5\%$. Les propriétés physiques comprennent des tests de densité, de dureté et de conductivité. Les tolérances dimensionnelles doivent être conformes aux normes (e.g. ISO 6848) et les écarts de diamètre doivent être contrôlés à $\pm 0,05$ mm. Performance de soudage : Les performances d'amorçage de l'arc, la stabilité de l'arc et le taux de consommation d'électrode sont évalués en simulant des tests de soudage TIG.

3.6 Difficultés techniques et innovations de l'électrode de tungstène pur

La préparation d'une électrode de tungstène pur implique un certain nombre de difficultés techniques, et des progrès significatifs ont été réalisés grâce à l'innovation technologique ces dernières années. Ce qui suit est abordé sous quatre aspects : le contrôle de la haute pureté, l'optimisation de la structure des grains, l'amélioration de l'efficacité de la production, la protection de l'environnement et le développement durable.

3.6.1 Contrôle de haute pureté

La haute pureté est l'exigence essentielle de l'électrode de tungstène pur, et la teneur en impuretés (telles que l'oxygène, le fer, le carbone) doit être contrôlée au niveau du ppm. Les difficultés techniques comprennent la purification des matières premières et l'introduction d'impuretés dans le processus de production. Les innovations comprennent l'utilisation de technologies d'échange d'ions

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et d'extraction par solvant pour améliorer la pureté du trioxyde de tungstène, l'utilisation d'hydrogène de haute pureté et d'environnements sous vide pour réduire la contamination par l'oxygène pendant la réduction et le frittage, et le développement de technologies de détection des impuretés en ligne telles que la spectroscopie de claquage induite par laser pour la surveillance en temps réel.

3.6.2 Optimisation de la structure des grains

La structure du grain affecte directement les propriétés mécaniques et les performances de soudage de l'électrode, avec des grains trop gros entraînant une fragilité accrue et des grains trop petits réduisant la résistance à haute température. Le défi technique réside dans le contrôle de la croissance des grains pendant le frittage et le traitement. Les innovations comprennent l'utilisation de poudre de nano-tungstène comme matière première, le raffinement des grains grâce à la technologie de frittage rapide (par exemple, SPS) et l'ajout d'inhibiteurs de traces (par exemple, l'alumine) pour contrôler la croissance des grains.

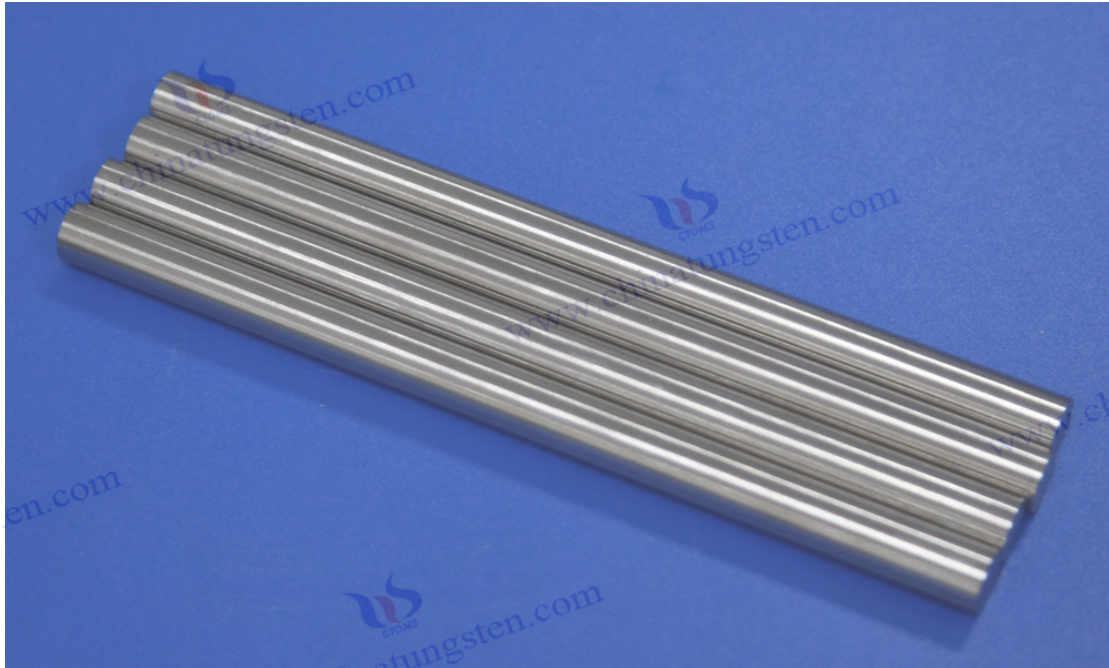
3.6.3 Amélioration de l'efficacité de la production

Le cycle de production des électrodes en tungstène pur est long et la consommation d'énergie est élevée, ce qui limite la production à grande échelle. Les difficultés techniques comprennent de longs temps de frittage, un traitement difficile et des coûts de maintenance élevés de l'équipement. Les innovations comprennent le développement de fours de frittage continu pour améliorer l'efficacité de la production, l'utilisation d'équipements automatisés de tréfilage et de traitement de surface pour réduire les coûts de main-d'œuvre, et l'application de technologies de fabrication intelligentes telles que l'Internet industriel des objets (IIoT) pour optimiser les processus de production.

3.6.4 Protection de l'environnement et développement durable

La production d'électrodes en tungstène implique une consommation d'énergie et des émissions d'eaux usées élevées, et est soumise à une pression environnementale. Les défis techniques comprennent la réduction de la consommation d'énergie et le traitement des déchets contenant du tungstène. Les innovations comprennent l'utilisation d'énergies renouvelables pour faire fonctionner les équipements de production, le développement de la technologie de recyclage des eaux usées et la mise en place d'un système de recyclage des déchets de tungstène pour parvenir au recyclage des ressources. Certaines entreprises ont commencé à explorer des modèles de fabrication écologiques, tels que l'utilisation de solvants non toxiques et d'équipements à faibles émissions.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



électrodes en tungstène pur de CTIA GROUP LTD

Chapitre 4 Utilisations des électrodes de tungstène pur

Les électrodes en tungstène pur (électrodes WP) ont joué un rôle important dans une variété de domaines industriels en raison de leur point de fusion élevé, de leur excellente conductivité électrique et thermique et de leur stabilité chimique. En particulier dans l'industrie du soudage, l'électrode de tungstène pure est le matériau de base du soudage à l'arc tungstène-argon (soudage TIG), qui est largement utilisé dans les scénarios de soudage AC (AC). De plus, il offre des avantages uniques dans d'autres applications industrielles, des domaines spéciaux et certaines applications non liées au soudage. Cependant, l'application d'électrodes en tungstène pur présente également certaines limites. Ce chapitre fournira un aperçu complet des utilisations des électrodes en tungstène pur, couvrant les applications de soudage, d'autres applications industrielles, les applications spéciales sur le terrain et leurs limites.

4.1 Applications de soudage

Le soudage est le domaine d'application le plus important de l'électrode de tungstène pur, en particulier dans le soudage à l'arc tungstène-argon (soudage TIG), l'électrode de tungstène pure est devenue un matériau indispensable en raison de son point de fusion élevé et de ses caractéristiques d'arc stables. Ce qui suit élabore son application à partir de trois aspects : le soudage TIG, le soudage AC et le soudage du magnésium, de l'aluminium et de leurs alliages.

4.1.1 Soudage au gaz inerte au tungstène (TIG)

Le soudage au gaz inerte au tungstène (TIG) est un procédé de soudage qui utilise des électrodes en tungstène pour produire un arc sous la protection d'un gaz inerte tel que l'argon ou l'hélium, et est connu pour sa haute précision, ses soudures de haute qualité et sa large applicabilité des matériaux.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

En tant que type d'électrode précoce pour le soudage TIG, l'électrode en tungstène pur peut maintenir l'intégrité structurelle dans l'environnement à haute température de l'arc (environ 6000-7000 °C) en raison de son point de fusion élevé (3422 °C) et de son excellente stabilité à haute température, réduisant le risque de fusion ou de brûlure de l'électrode. Cette propriété le rend précieux dans les scénarios industriels où des soudures de haute qualité sont requises.

Dans le soudage TIG, l'électrode de tungstène pur agit comme une électrode non fondante et est principalement responsable de l'initiation et du maintien de l'arc, tandis que le métal d'apport (si nécessaire) est fourni par le fil de soudage. La forme de l'extrémité de l'électrode a un impact significatif sur la forme de l'arc et la qualité du soudage. En fonctionnement, les électrodes en tungstène pur doivent souvent être rectifiées dans une forme conique ou hémisphérique pour optimiser la concentration et la stabilité de l'arc. L'effet protecteur du gaz inerte empêche l'oxydation des électrodes et du bain de fusion, garantissant ainsi la pureté et les propriétés mécaniques de la soudure.

Les électrodes en tungstène pur sont largement utilisées dans le soudage TIG, couvrant une variété de matériaux métalliques, des plaques minces aux plaques épaisses, en particulier dans les scénarios où l'apparence et les performances de la soudure sont élevées. Par exemple, dans le soudage de l'acier inoxydable, des alliages d'aluminium et des alliages de magnésium, les électrodes en tungstène pur fournissent un arc stable et un cordon de soudure propre pour répondre aux besoins de la fabrication de précision. De plus, la flexibilité du soudage TIG le rend adapté à la fois au soudage manuel et automatisé, et les électrodes en tungstène pur présentent des performances fiables dans les deux modes.

Bien que les électrodes en tungstène pur soient largement utilisées dans le soudage TIG, leur travail à haut dégagement d'électrons (environ 4,52 eV) conduit à de mauvaises performances d'initiation d'arc, en particulier dans le soudage CC (DC). Par conséquent, son application principale est concentrée dans les scénarios de soudage AC, tandis que le soudage DC utilise principalement des électrodes dopées avec des oxydes de terres rares (tels que les électrodes de tungstène de cérium ou de tungstène de lanthane). Malgré cela, les électrodes en tungstène pur sont un choix indispensable pour le soudage TIG en raison de leur faible coût, de leur non-radioactivité et de leur aptitude à des matériaux spécifiques.

4.1.2 Applications dans le soudage AC (AC).

Le soudage AC (AC) est l'un des principaux scénarios d'application des électrodes en tungstène pur, car il peut former un arc stable sous l'action alternée de demi-cycles positifs et négatifs de courant alternatif, et est particulièrement adapté au soudage de métaux légers avec des films d'oxyde. Le soudage AC utilise des courants alternatifs pour alterner entre l'électrode et la pièce comme la cathode et l'anode, atteignant ainsi l'équilibre dynamique de l'arc. L'avantage unique de l'électrode en tungstène pur dans le soudage AC est qu'elle peut former une électrode hémisphérique stable, et cette forme d'extrémité aide à répartir uniformément l'énergie de l'arc et à améliorer la qualité du soudage.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Dans le soudage AC, l'extrémité hémisphérique de l'électrode de tungstène pur produit une forte émission d'électrons pendant le demi-cycle positif (l'électrode est une cathode), formant un arc à haute température ; Dans le demi-cycle négatif (la pièce est la cathode), l'arc produit un effet de « nettoyage cathodique » sur le film d'oxyde à la surface de la pièce, ce qui élimine efficacement la couche d'oxyde et assure la propreté de la soudure. Cette propriété rend les électrodes en tungstène pur excellentes pour le soudage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages. De plus, la forme d'onde de courant du soudage AC (telle que l'onde carrée ou l'onde sinusoïdale) peut être ajustée par un équipement de soudage pour optimiser les caractéristiques et la pénétration de l'arc, et les électrodes en tungstène pur peuvent s'adapter à une variété de paramètres de forme d'onde, montrant une forte adaptabilité du processus.

Les scénarios d'application des électrodes en tungstène pur dans le soudage AC comprennent la construction, la construction navale, l'industrie automobile et l'aérospatiale. Par exemple, dans l'industrie de la construction, les murs-rideaux et les pièces structurelles en aluminium sont souvent soudés à l'aide d'AC TIG, et les électrodes en tungstène pur peuvent fournir des soudures de haute qualité qui répondent aux exigences d'apparence et de résistance. Dans la construction navale, le soudage des coques en aluminium nécessite un arc stable et des soudures propres, et les électrodes en tungstène pur sont idéales. De plus, ses propriétés non radioactives lui confèrent un avantage dans les environnements où la sécurité est critique, comme dans la fabrication d'équipements de transformation des aliments.

Bien que les électrodes en tungstène pur fonctionnent bien dans le soudage AC, leur stabilité à l'arc peut être légèrement inférieure à celle des électrodes dopées à des fréquences élevées ou à de faibles courants. Pour améliorer les performances, l'opérateur doit affûter régulièrement la partie électrode pour la garder propre et correctement inclinée. De plus, l'optimisation des paramètres de soudage (par exemple le courant, le débit de gaz) est essentielle pour garantir la stabilité de l'arc et la qualité de la soudure.

4.1.3 Soudage du magnésium, de l'aluminium et de leurs alliages

Le magnésium, l'aluminium et leurs alliages sont largement utilisés dans l'aérospatiale, la construction automobile et l'industrie électronique en raison de leur légèreté, de leur haute résistance et de leur bonne résistance à la corrosion. Cependant, ces matériaux sont sujets à la formation de films d'oxyde denses (par exemple, Al_2O_3 , point de fusion d'environ $2050^{\circ}C$) à la surface, ce qui pose un défi au processus de soudage. L'effet de « nettoyage cathodique » des électrodes en tungstène pur dans le soudage TIG AC en fait le matériau de choix pour le soudage du magnésium, de l'aluminium et de leurs alliages.

Dans le soudage des alliages d'aluminium, l'électrode de tungstène pur enlève le film d'oxyde par le demi-cycle négatif de courant alternatif, tout en fournissant suffisamment de chaleur pour faire fondre le substrat pendant le demi-cycle positif pour former un bain de fusion uniforme. Le soudage des alliages d'aluminium (tels que 6061 et 7075) nécessite un arc stable et une pénétration modérée, et l'extrémité hémisphérique de l'électrode de tungstène pur peut répondre à ces exigences. De plus,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

la conductivité thermique élevée de l'aluminium (environ 237 W/m·K) nécessite un apport de chaleur contrôlé pendant le soudage, et l'excellente conductivité thermique des électrodes en tungstène pur aide à dissiper la chaleur de l'arc et à réduire le risque de surchauffe.

Les alliages de magnésium (par exemple, AZ31, AZ91) sont largement utilisés dans les conceptions légères en raison de leur faible densité (environ 1,74 g/cm³), mais leur point de fusion bas (environ 650 °C) et leur activité chimique élevée augmentent la difficulté du soudage. Les électrodes en tungstène pur fournissent un arc stable dans le soudage d'alliages de magnésium et, associées à une protection appropriée contre les gaz inertes (tels que l'argon ou le mélange argon-hélium), elles peuvent empêcher efficacement l'oxydation du bain de fusion et assurer la qualité de la soudure. Dans le secteur aérospatial, les électrodes en tungstène pur sont souvent utilisées pour le soudage de composants en alliage de magnésium (par exemple, les cadres de siège, les panneaux de fuselage) car elles peuvent répondre aux exigences de haute précision et de qualité.

Afin d'optimiser l'effet de soudage du magnésium, de l'aluminium et de leurs alliages, les points suivants doivent être notés : tout d'abord, le diamètre de l'électrode doit être sélectionné en fonction de l'épaisseur et du courant de la pièce, et le diamètre couramment utilisé est de 1,6 à 3,2 mm ; Deuxièmement, le débit de gaz de protection doit être modéré (environ 8-15 L/min) pour assurer la protection du bain de fusion ; Enfin, la partie électrode doit être régulièrement polie en une forme hémisphérique pour maintenir la stabilité de l'arc. La large application de l'électrode de tungstène pur dans le soudage de ces matériaux reflète pleinement ses avantages uniques dans le domaine du soudage AC.

4.2 Autres applications industrielles

En plus du soudage, les électrodes en tungstène sont également largement utilisées dans d'autres domaines industriels, notamment le soudage par résistance, la découpe et la pulvérisation au plasma, l'émission de thermoélectrons, les cibles de pulvérisation, les contrepoids et les éléments chauffants. Ces applications tirent parti du point de fusion élevé, de la haute densité et des excellentes propriétés électriques du tungstène.

4.2.1 Électrodes de soudage par résistance

Le soudage par résistance est un procédé de soudage dans lequel la chaleur par résistance fait fondre le métal par le courant électrique généré et est largement utilisé dans la construction automobile, l'industrie électronique et la production d'appareils ménagers. Les électrodes en tungstène pur sont souvent utilisées dans les électrodes de soudage par résistance en raison de leur dureté élevée, de leur conductivité élevée et de leur résistance à l'usure, en particulier dans le soudage par points et le soudage à la barre. Dans le soudage par points, une électrode en tungstène pur agit comme une tête d'électrode et est en contact direct avec la pièce, transférant un courant élevé (des milliers d'ampères) pour produire une haute température localisée qui fait fondre le métal pour former un joint de soudure. Son point de fusion élevé garantit que l'électrode ne se ramollit pas ou n'adhère pas à la pièce à usiner à haute température, ce qui prolonge sa durée de vie.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Dans l'industrie électronique, le soudage par résistance est utilisé pour souder de fines tôles (par exemple, des feuilles de cuivre, des feuilles de nickel) ou des composants miniatures, et la conductivité et la stabilité élevées des électrodes en tungstène pur offrent un contrôle thermique précis pour éviter la surchauffe et l'endommagement des composants sensibles. De plus, la résistance à l'usure des électrodes en tungstène pur les rend adaptées aux opérations de soudage à haute fréquence, telles que le soudage par points continu de pièces automobiles. Bien que les électrodes en alliage de cuivre soient plus courantes dans certains scénarios de soudage par résistance, les électrodes en tungstène pur offrent des avantages uniques dans les applications de haute précision et à haute température.

4.2.2 Découpe au plasma et pulvérisation

La découpe au plasma est un processus qui utilise un arc plasma à haute température (jusqu'à 20 000 °C) pour faire fondre le métal et souffler les matériaux en fusion, et est largement utilisé dans la découpe de l'acier, des alliages d'aluminium et de l'acier inoxydable. En tant que composant central du pistolet de découpe plasma, l'électrode de tungstène pur est responsable de l'initiation et du maintien de l'arc plasma. Son point de fusion élevé et sa faible pression de vapeur lui permettent de rester stable à des températures extrêmement élevées, réduisant ainsi la consommation d'électrodes. De plus, la conductivité de l'électrode de tungstène pur assure une réponse rapide de l'arc et convient aux applications de coupe à grande vitesse.

Dans la pulvérisation plasma, des électrodes en tungstène pur sont utilisées pour générer un flux de gaz plasma à haute température afin de fondre et de pulvériser des poudres céramiques ou métalliques sur la surface du substrat pour former un revêtement résistant à l'usure, à la corrosion ou isolant thermique. La résistance aux températures élevées et la stabilité chimique des électrodes en tungstène pur leur permettent de résister aux conditions difficiles du processus de pulvérisation, garantissant l'uniformité et la qualité du revêtement. L'utilisation généralisée de la découpe et de la pulvérisation au plasma stimule la demande d'électrodes en tungstène pur dans l'industrie manufacturière, en particulier dans l'industrie lourde et l'ingénierie de surface.

4.2.3 Matériaux émetteurs de thermoélectrons

Les électrodes en tungstène sont couramment utilisées dans les dispositifs qui nécessitent une émission d'électrons thermiques, tels que les microscopes électroniques, les tubes cathodiques (CRT) et les tubes à rayons X, en raison de leur travail d'échappement d'électrons élevé et de leurs excellentes performances d'émission d'électrons thermiques. Dans ces dispositifs, une électrode de tungstène pur agit comme une cathode qui émet des électrons à des températures élevées (environ 2000-2500°C) pour former un faisceau ou un rayon d'électrons. Son point de fusion élevé et sa faible pression de vapeur assurent un fonctionnement stable à long terme de l'électrode dans un environnement de vide à haute température, tandis que sa stabilité chimique empêche les réactions avec les gaz résiduels.

Bien que les électrodes de tungstène dopées avec des oxydes de terres rares (par exemple, les électrodes de tungstène au lanthane) soient plus performantes dans certaines applications d'émission

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

d'électrons thermiques, les électrodes de tungstène pur sont encore largement utilisées dans les dispositifs ayant des exigences de sécurité élevées en raison de leur non-radioactivité et de leur faible coût. De plus, la résistance mécanique des électrodes en tungstène pur leur permet de résister à des tensions élevées et à des chocs thermiques, ce qui les rend adaptées aux applications dans l'électronique haute puissance.

4.2.4 Cibles de pulvérisation

La pulvérisation cathodique est une technique de dépôt physique en phase vapeur (PVD) utilisée pour déposer des films minces à la surface d'un substrat et est largement utilisée dans les industries des semi-conducteurs, des cellules solaires et des revêtements optiques. En raison de sa haute pureté ($\geq 99,95\%$) et de sa haute densité, l'électrode de tungstène pure peut être utilisée comme cible de pulvérisation pour libérer des atomes de tungstène sous le bombardement d'ions de haute énergie pour former un film de tungstène uniforme. Ces films offrent une excellente conductivité électrique, une résistance à la corrosion et une stabilité à haute température, ce qui les rend adaptés à la fabrication de microélectronique, de capteurs et de composants optiques.

La production de cibles en tungstène pur nécessite un contrôle strict de la teneur en impuretés et de la structure des grains pour garantir les performances du film. La haute densité et l'uniformité des électrodes en tungstène pur les rendent idéales pour les cibles de haute qualité. De plus, son point de fusion élevé et sa stabilité chimique garantissent que la cible peut être utilisée pendant une longue période sans dégradation dans un environnement de pulvérisation cathodique à vide poussé et à haute température. Avec le développement rapide des industries des semi-conducteurs et des nouvelles énergies, la demande d'électrodes en tungstène pur comme cibles de pulvérisation continue de croître.

4.2.5 Contrepoids et éléments chauffants

La haute densité des électrodes en tungstène pur ($19,3 \text{ g/cm}^3$) les rend idéales pour les contrepoids et est largement utilisée dans l'aérospatiale, l'automobile et l'instrumentation de précision. Par exemple, dans les avions et les satellites, les contrepoids en tungstène sont utilisés pour équilibrer les structures et améliorer la stabilité en vol ; En course, les poids en tungstène sont utilisés pour optimiser la répartition du centre de gravité du véhicule. La haute densité du tungstène pur lui permet de fournir un poids plus important dans un volume plus petit, ce qui est supérieur aux matériaux traditionnels de contrepoids en plomb ou en acier. De plus, sa non-toxicité et sa résistance à la corrosion répondent aux exigences environnementales.

En termes d'éléments chauffants, les électrodes en tungstène pur sont souvent utilisées dans les éléments chauffants des fours à haute température (tels que les fours à vide et les fours à graphite) en raison de leur point de fusion élevé et de leur excellente conductivité. Dans ces appareils, les électrodes en tungstène sont capables de résister à des températures supérieures à 2000°C , fournissant une source de chaleur stable pour la fusion des métaux, le frittage de céramiques et les processus de traitement thermique. Bien que le tungstène soit sensible à l'oxydation à haute température, une protection contre les gaz inertes ou le vide peut prolonger efficacement sa durée

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de vie.

4.3 Applications spéciales sur le terrain

Les électrodes en tungstène pur ont des applications importantes dans des domaines spéciaux tels que l'aérospatiale, l'industrie militaire et l'industrie nucléaire, où les performances, la sécurité et la fiabilité des matériaux sont extrêmement exigeantes.

4.3.1 Industrie aérospatiale

L'industrie aérospatiale a des exigences extrêmement strictes en matière de qualité de soudage et de propriétés des matériaux, et l'application d'électrodes en tungstène pur dans ce domaine est principalement axée sur le soudage TIG des alliages d'aluminium, des alliages de magnésium et des alliages de titane. Par exemple, dans la fabrication de fuselages d'avions, de composants de moteurs et de structures de satellites, les alliages d'aluminium (tels que 7075, 6061) sont largement utilisés en raison de leur légèreté et de leur haute résistance. Les électrodes en tungstène pur sont soudées par AC TIG pour enlever le film d'oxyde afin de former une soudure de haute qualité qui répond aux exigences de résistance et de résistance à la corrosion des composants aérospatiaux.

De plus, les alliages de magnésium sont de plus en plus utilisés dans l'aérospatiale, comme la fabrication de transmissions d'hélicoptères et de cadres de sièges. Les caractéristiques d'arc stable et de soudure propre des électrodes en tungstène pur dans le soudage en alliage de magnésium garantissent la fiabilité et la légèreté des composants. De plus, la non-radioactivité des électrodes de tungstène pur les rend adaptées à la fabrication de composants d'engins spatiaux avec des exigences de sécurité extrêmement élevées, tels que les enceintes de satellites et les réservoirs de carburant.

Dans le secteur aérospatial, les électrodes en tungstène sont également utilisées dans la pulvérisation de plasma et la fabrication de contrepoids. La pulvérisation plasma est utilisée pour former un revêtement résistant aux hautes températures à la surface des aubes du moteur, et la stabilité des électrodes en tungstène pur garantit la qualité du revêtement. Des contrepoids sont utilisés pour équilibrer les structures des engins spatiaux, et la haute densité et la non-toxicité du tungstène pur en font un choix idéal.

4.3.2 Industrie militaire

L'industrie militaire exige une résistance aux températures élevées, une résistance à la corrosion et une résistance élevée des matériaux, et l'application d'électrodes en tungstène pur dans ce domaine comprend le soudage et le traitement de véhicules blindés, de composants de missiles et de systèmes d'armes. Par exemple, les alliages d'aluminium et l'acier inoxydable sont largement utilisés dans la fabrication de véhicules blindés, et les électrodes en tungstène pur fournissent des soudures de haute qualité par soudage TIG, améliorant ainsi la résistance structurelle. Dans la fabrication de composants de missiles, tels que les boîtiers d'autodirecteur, le contrôle précis de l'arc des électrodes en tungstène pur répond au besoin de soudage de haute précision.

De plus, les électrodes en tungstène pur jouent également un rôle dans les applications de découpe

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

au plasma et d'émission d'électrons thermiques dans l'industrie militaire. La découpe plasma est utilisée pour traiter l'acier à haute résistance et les alliages de titane, et la résistance aux hautes températures des électrodes en tungstène pur garantit l'efficacité et la précision de la coupe. L'émission d'électrons thermiques est utilisée dans les radars militaires et les tubes électroniques pour les équipements de communication, et la stabilité des électrodes en tungstène pur garantit le fonctionnement à long terme de l'équipement. La nature non radioactive des électrodes de tungstène pur les rend encore plus avantageuses dans le domaine militaire, en particulier dans les scénarios où les exigences en matière d'environnement et de sécurité du personnel sont strictes.

4.3.3 Industrie nucléaire

L'industrie nucléaire a des exigences extrêmement élevées en matière de résistance aux radiations, de résistance aux températures élevées et de stabilité chimique des matériaux, et les électrodes en tungstène pur ont des applications importantes dans la fabrication de composants de réacteurs nucléaires, de boîtiers de barres de combustible et d'équipements expérimentaux. Par exemple, les électrodes en tungstène pur sont souvent utilisées pour le soudage des alliages d'aluminium et de l'acier inoxydable dans les systèmes de refroidissement et les pièces structurelles des réacteurs nucléaires, car elles fournissent des soudures sans défaut qui répondent aux exigences de résistance aux radiations et à la corrosion.

Dans la recherche sur la fusion nucléaire (p. ex., le réacteur expérimental international de fusion thermonucléaire (ITER), le tungstène est utilisé comme matériau orienté plasma (PFM) en raison de son point de fusion élevé et de sa faible vitesse de pulvérisation. Les électrodes en tungstène pur jouent un rôle dans le soudage et le traitement de ces composants, et leur grande pureté et stabilité garantissent les performances des composants. En outre, les électrodes en tungstène pur sont également utilisées dans les contrepoids et les éléments chauffants dans l'industrie nucléaire, tels que les contrepoids pour la protection contre les rayonnements et les éléments chauffants pour les fours expérimentaux à haute température.

La nature non radioactive des électrodes de tungstène pur les rend plus avantageuses dans l'industrie nucléaire, et elles sont plus performantes en termes de sécurité et de protection de l'environnement que les électrodes de tungstène thoriées (contenant de l'oxyde de thorium radioactif). Le développement rapide de l'industrie nucléaire offre de larges perspectives pour l'application d'électrodes en tungstène pur.

4.4 Limites de l'application

Bien que les électrodes en tungstène pur soient largement utilisées dans une variété de domaines, leurs limites de performance limitent leur utilisation dans certains scénarios. Ce qui suit analyse ses défauts sous deux aspects : le soudage DC et l'usure et la durée de vie des électrodes.

4.4.1 Lacunes dans le soudage DC (DC).

La principale limitation des électrodes en tungstène pur dans le soudage à courant continu (CC) est leur travail électronique élevé (environ 4,52 eV), ce qui entraîne une initiation d'arc difficile et une

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

instabilité de l'arc. Dans la connexion positive CC (DCSP), l'électrode en tant que cathode doit émettre un grand nombre d'électrons, et le travail d'échappement d'électrons élevé fait démarrer l'arc à une tension plus élevée, ce qui est sujet aux sauts ou aux interruptions d'arc. En polarité DC inversée (DCRP), l'électrode en tant qu'anode est soumise à une charge thermique plus élevée, ce qui peut entraîner une surchauffe et une consommation rapide.

En revanche, les électrodes dopées avec des oxydes de terres rares (par exemple, les électrodes de tungstène de cérium et de tungstène de lanthane) ont un travail d'échappement d'électrons plus faible (environ 2,7-3,2 eV) et ont de meilleures performances d'initiation d'arc et une meilleure stabilité d'arc dans le soudage CC. Par conséquent, l'application d'électrodes en tungstène pur dans le soudage DC est principalement limitée aux scénarios à faible demande, tels que le soudage à faible courant ou la réparation temporaire, tandis que le soudage DC de haute précision ou à haut rendement utilise principalement des électrodes dopées. Pour pallier cette limitation, les performances d'amorçage de l'arc peuvent être améliorées en optimisant l'équipement de soudage (par exemple, le démarrage d'un arc à haute fréquence) ou en ajustant l'angle au sommet de l'électrode, mais l'effet est limité.

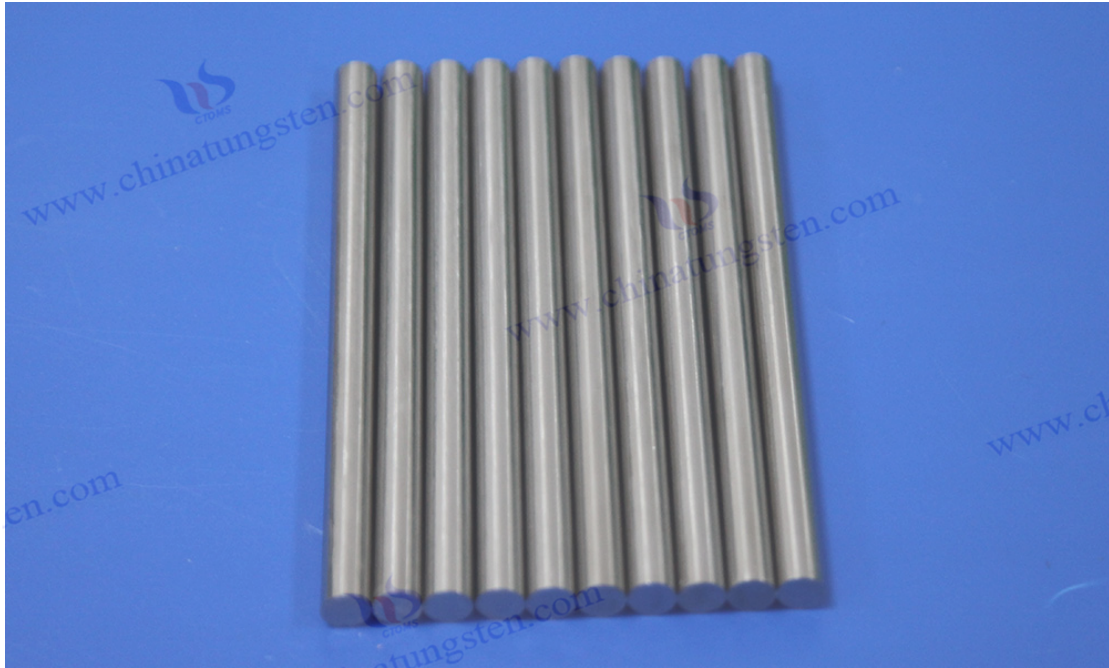
4.4.2 Problèmes d'usure et de durée de vie des électrodes

Une autre limitation majeure des électrodes en tungstène pur est l'usure des électrodes et les problèmes de durée de vie. Dans le soudage à courant élevé (>200 A) ou en soudage continu à long terme, la température finale élevée de l'électrode de tungstène pur due à un travail électronique élevé accélère la volatilisation et la perte de combustion du matériau, ce qui se manifeste par le raccourcissement progressif de la longueur de l'électrode et le changement de morphologie finale. Dans le soudage AC, la formation d'extrémités hémisphériques ralentit partiellement l'usure, mais le taux d'usure reste élevé à haute fréquence ou sous des courants instables.

De plus, la contamination de la surface des électrodes (par exemple, les oxydes, l'huile) ou une manipulation inappropriée (par exemple, le contact de l'électrode avec le bain de fusion) peut exacerber l'usure et réduire la stabilité de l'arc. Afin de prolonger la durée de vie de l'électrode, la pièce de l'électrode doit être polie régulièrement pour maintenir sa propreté et sa bonne forme finale. Cependant, le meulage fréquent augmente les coûts et le temps d'exploitation, en particulier dans le soudage automatisé, ce qui peut affecter la productivité. En revanche, les électrodes dopées, telles que les électrodes au lanthane et au tungstène, ont généralement une durée de vie plus longue en raison de leur taux de consommation plus faible et de leur morphologie finale plus stable.

Pour surmonter les problèmes d'usure et de durée de vie, les performances peuvent être améliorées en optimisant les paramètres de soudage (par exemple, en réduisant le courant, en augmentant la protection contre les gaz), en améliorant les processus de production d'électrodes (par exemple, raffinement des grains) ou en développant de nouveaux matériaux d'électrode. Cependant, ces améliorations peuvent augmenter les coûts et nécessiter un compromis entre performance et économie.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



électrode en tungstène pur de CTIA GROUP LTD

Chapitre 5 Équipement de production d'électrodes de tungstène pur

La production d'électrodes en tungstène pur (électrodes WP) implique une chaîne de processus complexe, de la manipulation des matières premières à l'inspection du produit fini, chacune d'entre elles nécessitant un équipement spécialisé pour garantir la qualité du produit et l'efficacité de la production. L'équipement de production couvre la manutention des matières premières, la métallurgie des poudres, le traitement sous pression, le traitement de surface, les tests et le contrôle de la qualité, ainsi que l'automatisation et les systèmes intelligents. Ces équipements doivent avoir une haute précision, une grande fiabilité et une résistance élevée aux températures et à la corrosion pour s'adapter au point de fusion élevé et aux caractéristiques de dureté élevées du tungstène. Ce chapitre abordera en détail les différents types d'équipements utilisés dans la production d'électrodes en tungstène pur et analysera leurs fonctions, leurs caractéristiques et les tendances de développement technologique.

5.1 Équipement de traitement des matières premières pour électrode de tungstène pur

La manutention des matières premières est la première étape de la production d'électrodes de tungstène pur, qui implique le processus de conversion du minerai de tungstène en poudre de tungstène de haute pureté, ce qui nécessite l'utilisation d'équipements spéciaux pour le concassage, le broyage et la purification chimique. Ces équipements doivent être efficaces, stables et respectueux de l'environnement pour répondre aux exigences de production de poudre de tungstène de haute pureté.

5.1.1 Équipement de concassage et de broyage du minerai de tungstène

Le minerai de tungstène (par exemple la wolframite ou la scheelite) est extrait de la mine, puis

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

concassé et broyé pour produire de fines particules propices à l'enrichissement. Les équipements de concassage et de broyage comprennent principalement les types suivants :

Concasseur à mâchoires : utilisé pour le concassage primaire, le broyage de gros morceaux de minerai de tungstène (jusqu'à 1-2 m) en particules de 50-100 mm. Le concasseur à mâchoires broie le minerai par extrusion de la mâchoire mobile et de la mâchoire fixe, et l'équipement doit utiliser des matériaux résistants à l'usure à haute résistance (tels que l'acier au manganèse) pour faire face à la dureté élevée du minerai de tungstène. Les concasseurs à mâchoires modernes sont équipés d'un système de réglage hydraulique, qui peut contrôler avec précision la taille des particules de décharge et améliorer l'efficacité du concassage.

Concasseur à cône : utilisé pour le concassage moyen et fin, concassant davantage le minerai après le concassage primaire à 5-20 mm. Le concasseur à cône réalise un broyage continu grâce à l'action d'extrusion du cône rotatif et du cône fixe, et convient à la manipulation de minerais de haute dureté. Ses avantages sont un rapport de concassage élevé et un rendement élevé, ce qui convient au traitement du minerai de tungstène à grande échelle.

Broyeur à boulets : utilisé pour le broyage, le broyage du minerai concassé en une fine poudre de 0,1 à 1 mm en préparation de l'enrichissement. Le broyeur à boulets broie les matériaux par collision et friction entre les billes d'acier et le minerai, et le revêtement est en céramique résistante à l'usure ou en acier à haute teneur en chrome pour prolonger la durée de vie. Les broyeurs à boulets humides sont souvent utilisés pour le broyage du minerai de tungstène, ce qui réduit la pollution par la poussière et améliore l'efficacité du broyage en ajoutant de l'eau.

Tamis vibrant : utilisé pour le calibrage, le criblage de poudres minérales avec une taille de particule uniforme. Le tamis vibrant sépare les matériaux de différentes tailles de particules par des vibrations à haute fréquence pour garantir la cohérence de la taille des particules de la poudre minérale entrant dans le processus d'enrichissement. Les tamis vibrants modernes sont équipés de tamis multicouches, qui peuvent réaliser un tri en plusieurs étapes et améliorer l'efficacité du traitement des minéraux.

Ces usines doivent être équipées d'un système de dépoussiérage pour réduire la contamination par la poussière et d'un système de contrôle automatisé pour optimiser les paramètres de fonctionnement tels que la pression de broyage, le temps de broyage et la fréquence de criblage. Ces dernières années, les équipements de concassage intelligents sont progressivement devenus populaires, et la surveillance en temps réel et le diagnostic des défauts par des capteurs et des automates programmables ont amélioré l'efficacité et la sécurité de la production.

5.1.2 Équipement de purification chimique

La purification chimique est le processus de conversion du concentré de tungstène en trioxyde de tungstène (WO_3) ou en acide tungstique (H_2WO_4) de haute pureté, qui implique des étapes telles que la dissolution, la filtration, la précipitation et le séchage. Les équipements couramment utilisés comprennent :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

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

Bouilloire à réaction : Il est utilisé pour la réaction du concentré de tungstène avec de l'hydroxyde de sodium ou du carbonate de sodium pour générer une solution de tungstate de sodium. Les réacteurs doivent être fabriqués avec des matériaux résistants à la corrosion tels que l'acier inoxydable ou l'émail pour résister à des températures et des pressions élevées et à des environnements fortement alcalins. Les réacteurs modernes sont équipés de systèmes d'agitation et de dispositifs de contrôle de la température pour assurer des réactions uniformes et efficaces.

Filtre : utilisé pour éliminer les impuretés insolubles (telles que le silicate, les composés de fer) dans la solution. Les filtres à vide ou les filtres-presses sont des équipements couramment utilisés pour assurer la pureté de la solution grâce à une filtration en plusieurs étapes. Le filtre doit être équipé d'un tissu filtrant résistant à la corrosion et d'un système de nettoyage automatisé pour prolonger la durée de vie et réduire les manipulations manuelles.

Réservoir de sédimentation : Il est utilisé pour convertir une solution de tungstate de sodium en précipité d'acide tungstique par réaction d'acidification. Les bassins de sédimentation doivent être équipés d'un contrôle précis du pH et d'une agitation pour garantir l'uniformité et la pureté des particules précipitées. Certains équipements de pointe utilisent des moniteurs de pH en ligne pour ajuster la quantité d'acide ajoutée en temps réel.

Four de séchage : utilisé pour le séchage de la précipitation de l'acide tungstique ou du trioxyde de tungstène, la préparation de produits intermédiaires secs. Les fours de séchage sont généralement chauffés à l'électricité ou au gaz et doivent avoir un champ de température uniforme et une protection contre les gaz inertes pour éviter l'oxydation du matériau. Les fours de séchage modernes sont équipés de systèmes de vide qui permettent un séchage à des températures plus basses et réduisent la consommation d'énergie.

L'équipement de purification chimique doit contrôler strictement les paramètres du processus (tels que la température, la pression, la concentration de la solution) pour s'assurer que la pureté du trioxyde de tungstène atteint plus de 99,95 %. De plus, les équipements de traitement des eaux usées, tels que les bassins de neutralisation et les bassins de sédimentation, sont un élément indispensable du processus de purification pour le traitement des déchets liquides contenant du tungstène, qui répond aux exigences environnementales.

5.2 Équipement de métallurgie des poudres pour électrode de tungstène pur

La métallurgie des poudres est le processus de base de la production d'électrodes de tungstène pur, impliquant le pressage de poudre de tungstène, le frittage et le traitement thermique, qui nécessite un équipement de haute précision et résistant aux hautes températures pour assurer la densité et les performances du corps vert.

5.2.1 Presses

La presse est utilisée pour presser de la poudre de tungstène de haute pureté dans un corps vert avec une certaine forme et résistance, et l'équipement courant comprend :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Presse isostatique à froid : Une pression uniforme (100-300 MPa) est appliquée à la poudre de tungstène par un milieu liquide à haute pression (tel que l'eau ou l'huile) pour créer un corps vert de densité uniforme. Les presses isostatiques à froid utilisent des moules souples (par exemple des moules en caoutchouc ou en polyuréthane) et conviennent à la production de formes grandes ou complexes. L'équipement doit être équipé de pompes haute pression et de systèmes d'étanchéité pour assurer une pression stable et un fonctionnement sûr. Les presses isostatiques à froid modernes sont équipées de systèmes de chargement et de déchargement automatisés pour améliorer l'efficacité de la production.

Machine de moulage : une pression unidirectionnelle est appliquée à la poudre de tungstène à travers une matrice en acier, qui convient à la production de petits lots ou de formes simples de corps verts. La machine de moulage doit utiliser un moule à haute résistance (tel que le carbure cémenté) pour résister à la dureté élevée de la poudre de tungstène. L'équipement est généralement équipé d'un système d'entraînement hydraulique ou mécanique qui permet un contrôle précis de la force de pressage (50-200 MPa) et de la vitesse de pressage.

La presse doit être équipée d'un dispositif de remplissage de poudre et d'un système de pulvérisation de liant pour assurer l'uniformité de la poudre de tungstène et la force de moulage du corps vert. De plus, le contrôle de la poussière pendant le processus de pressage est essentiel et nécessite un système d'aspiration à pression négative pour protéger l'environnement de travail.

5.2.2 Fours de frittage

Le four de frittage est utilisé pour chauffer le corps vert pressé à 2000-2800°C, de sorte que les particules de poudre de tungstène se combinent pour former un corps vert à haute densité. Les fours de frittage couramment utilisés comprennent :

Four de frittage sous vide : frittage dans un environnement vide (10^{-3} - 10^{-5} Pa) pour éviter l'oxydation du corps en tungstène. Le four de frittage sous vide utilise des éléments chauffants en molybdène ou en graphite et présente une uniformité de champ à haute température, ce qui convient à la production d'électrodes de haute pureté. L'équipement est équipé d'une pompe à vide à plusieurs étages et d'un système de refroidissement pour atteindre rapidement le vide poussé et contrôler la vitesse de refroidissement.

Four de frittage d'hydrogène : le frittage sous la protection de l'hydrogène de haute pureté, l'hydrogène peut réduire les oxydes résiduels et améliorer la pureté du corps vert. Les fours de frittage d'hydrogène doivent être équipés de systèmes de circulation et de purification des gaz pour garantir la pureté de l'hydrogène ($\geq 99,999\%$) et éviter les fuites. Les fours de frittage modernes utilisent la technologie de chauffage par induction à fréquence moyenne pour chauffer rapidement et réduire la consommation d'énergie.

Le four de frittage doit être équipé d'un système de contrôle précis de la température (par exemple, un thermomètre infrarouge) et d'un dispositif de surveillance de l'atmosphère pour garantir la stabilité du processus de frittage et la qualité du corps vert. Ces dernières années, les fours de frittage

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

à plasma à décharge (SPS) ont été de plus en plus utilisés dans la production d'électrodes en tungstène haute performance, qui utilisent des impulsions électriques pour chauffer rapidement afin de raccourcir le temps de frittage et d'affiner les grains.

5.2.3 Fours de traitement thermique sous vide

Le four de traitement thermique sous vide est utilisé pour le traitement thermique et le recuit du corps vert fritté, éliminant ainsi les contraintes internes et améliorant la microstructure. Les caractéristiques comprennent :

Environnement sous vide à haute température : la température du traitement thermique est de 1200-1800 °C et le degré de vide est de 10^{-3} - 10^{-4} Pa pour empêcher l'oxydation du corps vert. Le corps du four adopte des éléments chauffants en molybdène ou en tungstène et est équipé d'un système de refroidissement par eau pour protéger la structure du four.

Contrôle précis de la température : Les thermocouples et les contrôleurs PID atteignent une précision de température de ± 5 °C pour garantir des résultats de traitement thermique cohérents. Certains des équipements de pointe sont équipés de programmes de contrôle de la température en plusieurs étapes, qui peuvent réaliser des processus de traitement thermique complexes.

Protection contre les gaz inertes : Certains fours de traitement thermique prennent en charge la protection contre l'argon ou l'azote pour des besoins de processus spécifiques. Le système de circulation de gaz améliore l'efficacité thermique et réduit la consommation de gaz.

Les fours de traitement thermique sous vide nécessitent un entretien régulier des éléments chauffants et des systèmes de vide pour assurer un fonctionnement stable à long terme. Le four de traitement thermique intelligent surveille la température des billettes et la répartition des contraintes en temps réel grâce à des capteurs afin d'optimiser les paramètres de traitement thermique.

5.3 Équipement de traitement sous pression pour électrode de tungstène pur

Le traitement sous pression est une étape clé dans le traitement des corps verts frittés en barres d'électrodes, impliquant des processus tels que le forgeage, le laminage et le tréfilage, qui nécessitent l'utilisation d'équipements de traitement à haute température et à haute résistance.

5.3.1 Machines à forger

La machine à forger est utilisée pour déformer le corps de l'ébauche frittée à haute température (1500-1800°C) afin de réaliser une ébauche de tige ou de plaque. Les équipements couramment utilisés comprennent :

Forgeuse hydraulique : une haute pression (1000-5000 kN) est appliquée par le système hydraulique pour déformer progressivement le corps vert. L'équipement doit être équipé d'un four de chauffage à haute température et d'un système de protection contre l'hydrogène pour éviter l'oxydation du corps vert. La forgeuse hydraulique est adaptée à la production d'ébauches de grandes dimensions

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

avec une grande précision de déformation.

Marteau pneumatique : La tête du marteau est entraînée par un système pneumatique pour avoir un impact rapide sur la billette, ce qui convient au forgeage de billettes de petite et moyenne taille. Le marteau pneumatique est flexible à utiliser, mais la quantité de déformation doit être contrôlée manuellement, ce qui convient à la production de petits lots.

La machine à forger doit être équipée d'une matrice à haute résistance et d'un système de lubrification pour réduire la friction entre le corps et la matrice. Les machines à forger modernes adoptent un système de contrôle automatique, qui peut ajuster la force de forgeage et la température en temps réel pour améliorer l'efficacité de la production.

5.3.2 Laminaires

Les laminaires sont utilisés pour transformer davantage les ébauches forgées en barres ou en fils minces, et l'équipement courant comprend :

Laminier à chaud : Les ébauches sont laminées en barres d'un diamètre de 5 à 20 mm en plusieurs passes à 1000-1500°C. Les laminaires à chaud utilisent du carbure de tungstène ou des rouleaux en céramique pour résister à la dureté élevée du tungstène. L'équipement est équipé d'un four de chauffage et d'un système de refroidissement pour assurer la température de laminage et la qualité de surface.

Laminier à froid : utilisé pour la finition du laminage afin d'améliorer encore la précision dimensionnelle et la finition de surface de la barre. Les laminaires à froid doivent être équipés de rouleaux de haute précision et de systèmes de lubrification pour réduire l'érouissage.

Le laminier nécessite un entretien régulier des rouleaux et du système d'entraînement pour assurer la stabilité de fonctionnement à long terme. Les laminaires automatisés utilisent des capteurs pour surveiller les forces de laminage et la taille des barres afin d'améliorer l'uniformité du traitement.

5.3.3 Machines à tréfiler

Les machines à tréfiler sont utilisées pour étirer les barres laminées en ébauches d'électrodes d'un diamètre de 0,5 à 6,4 mm, l'équipement courant comprend :

Machine de tréfilage à matrice unique : étire la barre une par une à travers un seul moule, ce qui convient à la production de petits lots. L'équipement doit être équipé de matrices en carbure ou en diamant pour résister à la dureté élevée et au frottement du tungstène.

Machine de tréfilage continu : étirement continu à travers plusieurs matrices pour améliorer l'efficacité de la production. La machine de tréfilage continu est équipée d'un système de lubrification (tel que l'émulsion de graphite ou le disulfure de molybdène) et d'un dispositif de recuit pour réduire le risque de rupture du fil.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Les machines d'étirage doivent contrôler avec précision la vitesse de traction et la température (800-1200°C) pour éviter les fissures ou les défauts de surface. Les machines de tréfilage modernes sont contrôlées par des servomoteurs et des PLC pour réaliser un étirement de haute précision.

5.4 Équipement de traitement de surface pour électrode de tungstène pur

L'équipement de traitement de surface est utilisé pour améliorer la qualité de surface et la reconnaissance des électrodes, y compris le nettoyage, le polissage et le marquage de la tête de revêtement.

5.4.1 Équipement de nettoyage

L'équipement de nettoyage est utilisé pour éliminer l'huile, les oxydes et les impuretés de la surface de l'électrode, l'équipement couramment utilisé comprend :

Nettoyeur à ultrasons : Élimination des fines particules de surface par vibration ultrasonique à haute fréquence (20-40 kHz), généralement dans une solution alcaline ou de l'eau pure. L'équipement doit être équipé d'un système de nettoyage multi-réservoirs qui prend en charge le nettoyage et le rinçage en plusieurs étapes.

Bain de nettoyage chimique : Utilise des acides dilués (par exemple, de l'acide nitrique dilué) ou des solutions alcalines (par exemple, de l'hydroxyde de sodium) pour éliminer la couche d'oxyde. La cuve de nettoyage doit être fabriquée dans un matériau résistant à la corrosion (par exemple PTFE) et équipée d'une agitation et d'un chauffage.

L'équipement de nettoyage doit être équipé d'un système de traitement des déchets liquides pour récupérer les déchets liquides contenant du tungstène afin de répondre aux exigences de protection de l'environnement. La ligne de nettoyage automatisée peut réaliser un nettoyage continu et améliorer l'efficacité.

5.4.2 Machines à polir

Les machines à polir sont utilisées pour améliorer la finition de surface des électrodes, et les équipements courants comprennent :

Machine à polir mécanique : Les rayures de surface sont éliminées à l'aide d'une meule ou d'un chiffon de polissage d'une rugosité de surface allant jusqu'à Ra 0,2-0,4 µm. L'équipement doit être équipé d'une tête de polissage en plusieurs étapes pour prendre en charge le polissage grossier et le polissage fin.

Machine de polissage électrochimique : Lisse la surface par électrolyse, améliorant la finition et la résistance à la corrosion. La polisseuse électrochimique doit être équipée d'une alimentation stable et d'un système de circulation d'électrolyte pour assurer un polissage uniforme.

La machine à polir doit changer le support de polissage et vérifier régulièrement la composition de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'électrolyte pour maintenir la qualité du polissage. L'équipement de polissage automatisé est commandé avec précision au moyen d'un bras robotisé.

5.4.3 Équipement d'application

L'applicateur est utilisé pour appliquer une marque verte à une extrémité de l'électrode et est conforme aux normes AWS A5.12 et ISO 6848. Les équipements couramment utilisés comprennent :

Machine de pulvérisation automatique : La peinture verte à base d'eau est appliquée uniformément sur l'électrode à travers le pistolet de pulvérisation. La machine est équipée d'un système de positionnement précis pour assurer une épaisseur de revêtement uniforme (environ 0,1-0,2 mm).

Four de séchage : utilisé pour le durcissement des revêtements, la température est contrôlée à 100-150°C, en utilisant la circulation d'air chaud ou le chauffage infrarouge. Le four de séchage doit avoir un chauffage rapide et un champ de température uniforme pour assurer l'adhérence du revêtement.

L'applicateur doit nettoyer les buses et vérifier régulièrement la qualité de la peinture pour éviter les défauts de revêtement. L'équipement intelligent de la tête de revêtement peut ajuster automatiquement la position de pulvérisation grâce au système de reconnaissance visuelle.

5.5 Équipement d'essai et de contrôle de la qualité de l'électrode de tungstène pur

Des équipements d'essai et de contrôle de la qualité sont utilisés pour s'assurer que la composition chimique, la microstructure et les propriétés physiques des électrodes répondent aux normes, couvrant les essais de matières premières, de produits semi-finis et de produits finis.

5.5.1 Analyseurs de composition chimique

Les analyseurs de composition chimique sont utilisés pour tester la pureté et la teneur en impuretés de la poudre de tungstène et des électrodes, et les équipements couramment utilisés comprennent :

Spectromètre à plasma à couplage inductif (ICP-OES) : La spectroscopie des éléments est analysée par excitation de l'échantillon par plasma, et la teneur en tungstène et en impuretés (telles que le fer, le nickel, l'oxygène) peut être détectée avec une précision de ppm. L'équipement doit être équipé d'un système d'alimentation en gaz de haute pureté et de préparation d'échantillons.

Analyseur à fluorescence X (XRF) : Excitation de l'échantillon par rayons X pour analyser le spectre de fluorescence, adapté aux contrôles non destructifs rapides. L'équipement XRF est très portable et adapté à l'analyse en temps réel dans l'atelier de production.

Les analyseurs de composition chimique doivent être étalonnés régulièrement pour garantir la précision de la détection. L'analyseur intelligent peut générer automatiquement des rapports d'analyse pour améliorer l'efficacité de la détection.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

5.5.2 Équipement d'analyse de la microstructure

L'équipement d'analyse de la microstructure est utilisé pour détecter la taille des grains, les défauts et l'uniformité de la microstructure des électrodes, et l'équipement couramment utilisé comprend :

Microscopie optique : utilisée pour observer la structure des grains et les défauts microscopiques de la section efficace de l'électrode avec un grossissement de 50-1000x. L'équipement doit être équipé d'un logiciel d'analyse d'images pour quantifier la taille des grains et la distribution des défauts.

Microscopie électronique à balayage (MEB) : balayage d'échantillons avec des faisceaux d'électrons pour analyser la topographie de surface et la microstructure avec une résolution nanométrique. Les MEB sont souvent équipés d'un spectromètre à dispersion d'énergie (EDS) pour l'analyse des compositions chimiques locales.

L'équipement d'analyse de la microstructure nécessite un entretien régulier de la source de faisceau d'électrons et du système de vide pour garantir la qualité de l'image. L'équipement de pointe prend en charge la reconstruction 3D et l'analyse approfondie de la structure interne de l'électrode.

5.5.3 Équipement d'essai de performance physique

L'équipement d'essai de performance physique est utilisé pour tester la densité, la dureté, la conductivité et la tolérance dimensionnelle des électrodes, l'équipement couramment utilisé comprend :

Densitomètre : La densité de l'électrode est mesurée selon le principe d'Archimède pour s'assurer que la masse volumique théorique (19,3 g/cm³) est supérieure à 95 %. L'équipement doit être équipé d'une balance de haute précision et d'un réservoir d'eau thermostatique.

Duromètre : Le duromètre Vickers ou Brinell est utilisé pour mesurer la dureté de l'électrode (HV 350-450). L'équipement doit être équipé d'un pénétrateur diamanté et d'un système de charge de haute précision.

Testeur de conductivité : évalue la conductivité des électrodes en mesurant la résistivité des électrodes par la méthode des quatre sondes. L'équipement doit être équipé d'une source de courant constant et d'un microvoltmètre pour assurer la précision de la mesure.

Instrument de mesure dimensionnelle : Un télémètre laser ou un instrument de mesure d'image est utilisé pour détecter le diamètre de l'électrode ($\pm 0,05$ mm) et la tolérance de longueur. L'appareil prend en charge la mesure sans contact et est adapté aux exigences de haute précision.

Les équipements de test de performance physique doivent être étalonnés régulièrement pour garantir la fiabilité des données. Le système de test automatisé peut réaliser une détection synchrone multiparamètre et améliorer l'efficacité.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

5.6 Automatisation et équipement intelligent pour électrode de tungstène pur

L'automatisation et l'équipement intelligent sont une tendance importante dans la modernisation de la production d'électrodes de tungstène pur, qui améliorent l'efficacité de la production et la stabilité de la qualité grâce à l'intégration de capteurs, de systèmes de contrôle et de technologies d'analyse de données.

5.6.1 Application de lignes de production automatisées

La ligne de production automatisée intègre le concassage, le pressage, le frittage, le traitement et le traitement de surface, et réalise une production continue grâce à des robots, des bandes transporteuses et des systèmes de contrôle automatique. L'équipement clé comprend :

Système de charge automatique : Utilisé pour le remplissage et le pressage automatiques de la poudre de tungstène, équipé d'un bras robotique et d'une cellule de charge pour assurer l'uniformité et la précision de la charge.

Ligne de frittage continue : Le corps vert est introduit en continu dans le four de frittage par le biais d'une bande transporteuse et est équipé d'un système de contrôle de la température à plusieurs étages pour obtenir un frittage efficace. Le système prend en charge la surveillance en ligne de la température corporelle et de l'atmosphère des billettes.

Ligne d'usinage automatique : équipement intégré de forgeage, de laminage et de tréfilage, traitement continu par contrôle PLC. Le système est équipé d'un dispositif de reconnaissance visuelle permettant de détecter la taille des pièces brutes et les défauts de surface.

Les lignes de production automatisées réduisent les erreurs opérationnelles et les risques de sécurité en réduisant les interventions manuelles, tout en augmentant l'efficacité de la production. Certaines lignes de production avancées prennent en charge la conception modulaire, qui peut ajuster de manière flexible le flux de processus en fonction des besoins de production.

5.6.2 Système de surveillance intelligent

Le système de surveillance intelligent surveille les paramètres du processus de production en temps réel grâce à des capteurs, à l'Internet des objets et à la technologie d'analyse des données massives afin d'améliorer l'efficacité du contrôle de la qualité et de la maintenance des équipements. Les technologies clés comprennent :

Capteurs de surveillance en ligne : y compris des capteurs de température, des capteurs de pression et des analyseurs de gaz, la surveillance en temps réel de la température du four de frittage, de la tension de la machine de tréfilage et de la composition de l'atmosphère protectrice. Les données sont transmises au système de contrôle central via l'Internet des objets.

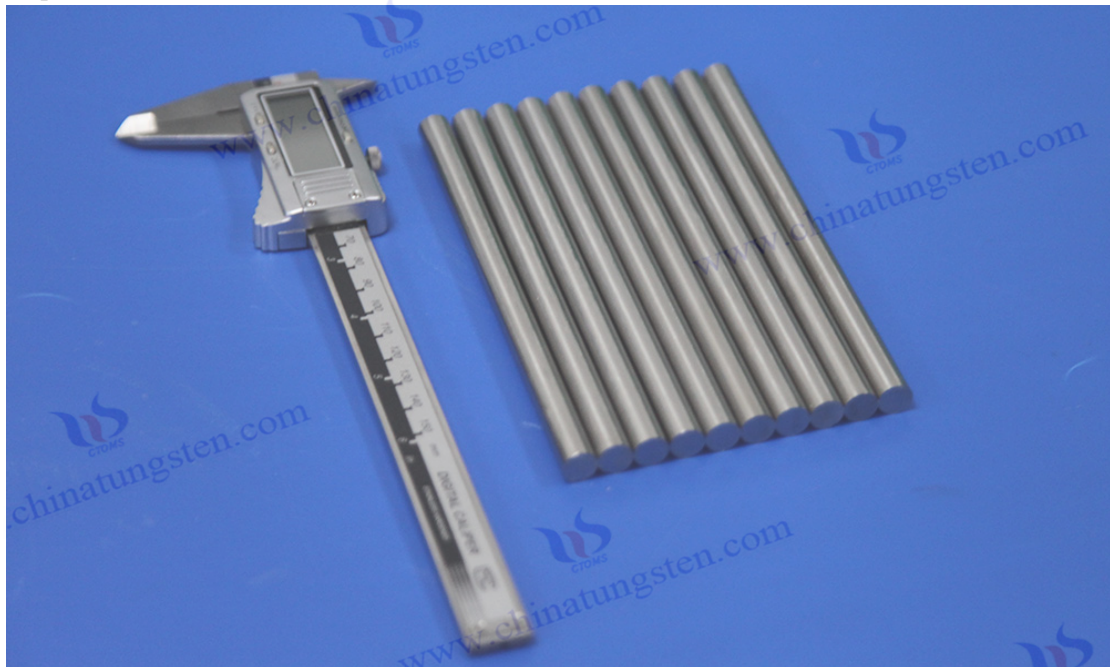
Système de diagnostic des pannes : analyse les données de fonctionnement de l'équipement à l'aide d'algorithmes d'apprentissage automatique, prédit les défaillances potentielles et fournit des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

recommandations de maintenance. Le système réduit les temps d'arrêt des équipements et augmente la continuité de la production.

Système de traçabilité de la qualité : enregistrer les paramètres de production et les données d'essai de chaque lot d'électrodes, et établir une base de données de traçabilité. Le système prend en charge la technologie des codes-barres ou RFID, ce qui est pratique pour la gestion de la qualité et les demandes des clients.

Le système de surveillance intelligent fournit un retour d'information en temps réel à l'opérateur via une plateforme de visualisation des données (telle qu'un système SCADA), prenant en charge la surveillance à distance et la prise de décision optimisée. À l'avenir, avec le développement de la technologie de l'industrie 4.0, le système de surveillance intelligent intégrera davantage l'intelligence artificielle et l'informatique en nuage pour réaliser la gestion intelligente de l'ensemble du processus.



Électrodes en tungstène pur de CTIA GROUP LTD

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Chapitre 6 Normes nationales et étrangères pour l'électrode de tungstène pur

En tant que matériau important pour le soudage à l'arc tungstène-argon (soudage TIG), les performances et la qualité de l'électrode de tungstène pure (électrode WP) affectent directement l'effet de soudage. Pour assurer l'uniformité des produits et la disponibilité sur le marché, un certain nombre de normes ont été élaborées dans le monde entier, couvrant la composition chimique, les tolérances dimensionnelles, les exigences de performance et les méthodes d'essai. Ces normes sont formulées par des organisations internationales, des institutions nationales et des associations industrielles, formant un système normatif relativement complet. Ce chapitre discutera en détail des normes internationales, des normes nationales chinoises et d'autres normes nationales pour les électrodes en tungstène pur, analysera leurs différences et se réjouira de la tendance de développement des normes.

6.1 Normes internationales pour l'électrode de tungstène pur

Les normes internationales fournissent une spécification unifiée pour le commerce et l'application mondiaux des électrodes en tungstène pur, et sont principalement élaborées par l'American Welding Society (AWS), l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et le Comité européen de normalisation (CEN). Ce qui suit se concentre sur les normes AWS A5.12, ISO 6848 et EN 26848.

6.1.1 AWS A5.12 (norme de l'American Welding Institute)

AWS A5.12 est une norme d'électrode de tungstène développée par l'American Welding Society, le nom complet est « Spécification pour les électrodes de tungstène dispersées de tungstène et d'oxyde pour le soudage et le coupage à l'arc », et la dernière version est AWS A5.12 / A5.12M :2009. Cette norme est largement utilisée dans l'industrie du soudage en Amérique du Nord et dans le monde, couvrant la classification, la composition chimique, la taille et les exigences de performance des électrodes en tungstène pur et d'autres électrodes dopées.

Pour les électrodes en tungstène pur (code EWP, marquées en vert), AWS A5.12 nécessite une teneur en tungstène de $\geq 99,5\%$ et des traces d'impuretés (par exemple, fer, nickel, oxygène). La surface de l'électrode doit être lisse, exempte de fissures, de porosité ou d'inclusions, et les extrémités doivent être marquées en vert pour une identification facile. La norme spécifie la plage de diamètre (0,5-6,4 mm) et la longueur (75-610 mm) des électrodes, avec des tolérances qui répondent aux exigences de la fabrication de précision. De plus, AWS A5.12 dispose d'une réglementation claire sur l'emballage et l'étiquetage des électrodes, exigeant que le numéro de lot, les spécifications et les informations sur le fabricant soient étiquetés pour garantir la traçabilité.

AWS A5.12 met l'accent sur les performances de soudage des électrodes, et il est recommandé d'utiliser principalement des électrodes en tungstène pur pour le soudage AC (AC), particulièrement adapté au soudage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages. La norme ne spécifie pas de méthodes d'essai pour la stabilité de l'arc ou les taux de consommation d'électrodes, mais exige que les fabricants fournissent des données de performance pour référence par l'utilisateur. Cette norme fait autorité sur le marché nord-américain, et de nombreux fabricants internationaux produisent

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

également des électrodes en tungstène pur selon ses exigences.

6.1.2 ISO 6848 (Organisation internationale de normalisation)

ISO 6848 est la norme d'électrode de tungstène formulée par l'Organisation internationale de normalisation, le nom complet est « Soudage à l'arc et coupage – Électrodes de tungstène non consommables – Classification », et la dernière version est ISO 6848:2015. Cette norme est applicable à l'industrie mondiale du soudage, visant à unifier la classification, le marquage et les exigences de performance des électrodes en tungstène, et à promouvoir le commerce international et les échanges techniques.

La norme ISO 6848 classe les électrodes en tungstène pur comme WP (marquage vert) et exige une teneur en tungstène de $\geq 99,5$ % et un contrôle strict des impuretés. La norme spécifie en détail la composition chimique, la tolérance dimensionnelle et la qualité de surface de l'électrode, exige qu'il n'y ait pas de défauts évidents sur la surface de l'électrode, et la marque de revêtement doit être résistante à l'usure et n'affecte pas les performances de soudage. Le diamètre des électrodes varie de 0,5 à 10 mm et la longueur est généralement de 50 à 175 mm, et les dimensions spécifiques peuvent être personnalisées en fonction des besoins de l'utilisateur. La norme ISO 6848 exige également que les électrodes soient nettoyées et séchées avant l'emballage afin d'éviter la contamination ou l'oxydation.

À l'instar d'AWS A5.12, la norme ISO 6848 recommande les électrodes en tungstène pur pour le soudage AC en raison de leur excellent effet de « nettoyage cathodique » dans le soudage des alliages d'aluminium et de magnésium. La norme contient une brève description de la méthode d'essai de performance de l'électrode, telle que les performances d'amorçage de l'arc et la stabilité de l'arc à évaluer dans des conditions de soudage standard, mais ne spécifie pas de paramètres d'essai spécifiques. En raison de sa nature internationale, la norme ISO 6848 est largement utilisée en Europe, en Asie et en Afrique et constitue une norme de référence importante pour le commerce mondial des électrodes de tungstène.

6.1.3 EN 26848 (European standard)

La norme EN 26848 est une norme d'électrode de tungstène élaborée par le Comité européen de normalisation (CEN), qui est très conforme à la norme ISO 6848, et dont le nom complet est « Consommables de soudage — Électrodes de tungstène pour le soudage à l'arc sous protection gazeuse inerte et pour le soudage au plasma ». La norme est principalement utilisée dans les États membres de l'UE, et la dernière version est mise à jour en synchronisation avec la norme ISO 6848:2015.

La norme EN 26848 exige la même composition chimique que l'ISO 6848 pour les électrodes en tungstène pur (WP, marquage vert), avec une teneur en tungstène de $\geq 99,5$ % et des impuretés à contrôler à l'état de traces. La norme comporte des exigences relatives à la taille, à la qualité de surface et au marquage des électrodes conformément à la norme ISO 6848, en mettant l'accent sur l'uniformité et la propreté des électrodes. La norme EN 26848 recommande également le stockage

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

et le transport des électrodes, nécessitant l'utilisation d'un emballage résistant à l'humidité et aux chocs pour protéger les performances des électrodes.

En termes d'applications, la norme EN 26848 recommande des électrodes en tungstène pur pour le soudage TIG AC et le soudage plasma, en particulier dans les industries automobile, aérospatiale et navale en Europe. La norme ne spécifie pas en détail les méthodes d'essai de performance, mais exige des fabricants qu'ils fournissent des fiches techniques qui décrivent les scénarios d'application et des recommandations opérationnelles pour les capteurs. La mise en œuvre de la norme EN 26848 a favorisé la normalisation de l'industrie européenne du soudage et l'application d'électrodes en tungstène pur dans le domaine de la fabrication de haute précision.

6.2 Norme nationale chinoise pour l'électrode de tungstène pur

En tant que plus grand producteur mondial de ressources de tungstène et d'électrodes de tungstène, la Chine a formulé un certain nombre de normes nationales et de normes industrielles pour réglementer la production et l'application d'électrodes de tungstène pur. Parmi elles, la norme GB/T 4190 est la norme principale, et les normes industrielles pertinentes complètent les exigences spécifiques.

6.2.1 GB/T 4190 (norme d'électrode de tungstène)

GB/T 4190 est une norme nationale chinoise, le nom complet est « Électrodes en tungstène et en alliage de tungstène pour le soudage TIG d'électrodes non fondantes », et la dernière version est GB/T 4190-2017. Cette norme s'applique aux électrodes en tungstène pour le soudage TIG et le soudage au plasma, couvrant la classification, la composition chimique, la taille et les exigences de performance des électrodes en tungstène pur et autres électrodes dopées.

Pour les électrodes en tungstène pur (code WP), GB/T 4190 nécessite une teneur en tungstène de $\geq 99,5\%$, et la teneur en impuretés (telles que le fer, le silicium, le carbone) doit être contrôlée à l'état de traces pour garantir la pureté et les performances de soudage de l'électrode. La surface de l'électrode doit être lisse, exempte de fissures, de couches d'oxyde ou de taches d'huile, et les extrémités doivent être marquées d'un marquage vert, conformément à la pratique internationale. La norme spécifie le diamètre (0,5-6,0 mm) et la longueur (50-300 mm) de l'électrode pour répondre aux tolérances requises pour l'usinage de précision. L'emballage exige que les électrodes soient emballées dans des boîtes en plastique ou en métal avec des spécifications, des numéros de lot et des dates de production.

La norme GB/T 4190 recommande des électrodes en tungstène pur pour le soudage AC, en particulier dans le soudage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages. La norme contient de brèves dispositions pour les essais de performance, telles que la stabilité de l'arc à évaluer par des essais de soudage simulés et la consommation d'électrodes à mesurer aux courants standard. La norme GB/T 4190 exige également que les fabricants fournissent un certificat de qualité indiquant la composition chimique et les données de performance de l'électrode. Cette norme est obligatoire sur le marché chinois et constitue la base principale de la production et de l'application d'électrodes

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

en tungstène en Chine.

6.2.2 Normes pertinentes de l'industrie

En plus de GB/T 4190, la Chine a également développé un certain nombre de normes industrielles, complétant les spécifications des électrodes en tungstène pur dans des domaines spécifiques. Par exemple:

YS/T 626-2018 « Électrode de tungstène » : formulée par l'industrie des métaux non ferreux, spécifie en détail la composition chimique, la tolérance dimensionnelle et la qualité de surface de l'électrode de tungstène, et convient aux industries aérospatiale et électronique. Cette norme comporte des exigences plus strictes en ce qui concerne la teneur en impuretés des électrodes de tungstène pur, ce qui convient aux applications de soudage de haute précision.

JB/T 12839-2016 « Conditions techniques pour les électrodes de tungstène pour le soudage » : formulé par le ministère de l'Industrie des machines, en se concentrant sur les performances de soudage et les méthodes d'essai des électrodes de tungstène. Cette norme exige que les électrodes en tungstène pur aient de bonnes performances d'initiation d'arc et une bonne stabilité de l'arc dans le soudage AC, ce qui convient à la construction navale et au soudage d'appareils sous pression.

QJ 2088-2005 « Électrodes de tungstène pour l'aérospatiale » : formulée par le ministère de l'Industrie aérospatiale, spécialement formulée pour le soudage de haute fiabilité dans le domaine aérospatial. La norme exige une pureté, une structure de grain et une précision dimensionnelle extrêmement élevées des électrodes en tungstène pur pour garantir leurs performances dans des environnements extrêmes.

Ces normes industrielles complètent la norme GB/T 4190, couvrant une variété de scénarios allant de la fabrication générale aux applications haut de gamme, et favorisent le développement de la normalisation de l'industrie chinoise des électrodes de tungstène.

6.3 Autres normes nationales pour l'électrode de tungstène pur

En plus des normes internationales et des normes chinoises, des normes d'électrodes de tungstène ont également été développées dans d'autres pays pour répondre aux besoins du marché local. Ce qui suit se concentre sur la norme japonaise JIS Z 3233 et la norme allemande DIN EN ISO 6848.

6.3.1 JIS Z 3233 (norme industrielle japonaise)

JIS Z 3233 est une norme industrielle japonaise, le nom complet est « Électrodes de tungstène pour le soudage à l'arc sous gaz inerte », et la dernière version est JIS Z 3233:2017. Cette norme s'applique aux électrodes en tungstène pour le soudage TIG, qui sont largement utilisées dans les industries de l'automobile, de l'électronique et des machines de précision au Japon.

La norme JIS Z 3233 classe les électrodes en tungstène pur comme WP, ce qui nécessite une teneur en tungstène de $\geq 99,5\%$ et un contrôle strict des impuretés. La surface de l'électrode doit être propre et exempte de défauts, et les extrémités doivent être marquées en vert. La norme spécifie le diamètre

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

(0,5-6,0 mm) et la longueur (50-200 mm) des électrodes selon des tolérances conformes à la norme ISO 6848. La norme JIS Z 3233 recommande des électrodes en tungstène pur pour le soudage AC, en particulier dans les alliages d'aluminium et de magnésium.

Par rapport aux normes internationales, la norme JIS Z 3233 a des exigences plus élevées pour la qualité de surface des électrodes, et elle doit être exempte de tout défaut visible pour répondre aux besoins de haute précision des industries manufacturières japonaises. La norme impose également des exigences spécifiques sur l'emballage et le stockage des électrodes, telles que l'utilisation d'un emballage étanche à l'humidité et le stockage dans un environnement sec. JIS Z 3233 a une influence importante sur le marché japonais, et de nombreux fabricants d'équipements de soudage japonais conçoivent leurs produits en fonction de ses exigences.

6.3.2 DIN EN ISO 6848 (norme allemande)

La norme DIN EN ISO 6848 est une version localisée de la norme internationale ISO 6848 adoptée en Allemagne, publiée par l'Institut allemand de normalisation (DIN) conformément à la norme ISO 6848:2015. La norme est largement utilisée en Allemagne et en Europe centrale, en particulier dans les secteurs de l'automobile, de l'aérospatiale et de l'industrie lourde.

La norme DIN EN ISO 6848 présente les mêmes exigences en matière de composition chimique, de taille et de performance pour les électrodes en tungstène pur (WP, marquée en vert) que la norme ISO 6848, mettant l'accent sur la haute pureté et la qualité de surface des électrodes. Les électrodes en tungstène pur sont recommandées en standard pour le soudage TIG AC et conviennent au soudage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages. La norme DIN EN ISO 6848 exige également des fabricants qu'ils fournissent une documentation technique détaillée, y compris l'analyse de la composition chimique des électrodes et des données sur les propriétés de soudage. En tant que centre de fabrication en Europe, l'Allemagne a des exigences extrêmement élevées en matière de qualité des consommables de soudage. La mise en œuvre de la norme DIN EN ISO 6848 a conduit à la normalisation des électrodes en tungstène sur le marché allemand, en particulier dans l'industrie manufacturière haut de gamme (par exemple Mercedes-Benz et BMW).

6.4 Comparaison des normes et différences entre les électrodes de tungstène pur

Bien que les normes nationales et étrangères aient un haut degré de cohérence dans la classification et l'application des électrodes en tungstène pur, il existe de légères différences dans la composition chimique, les tolérances dimensionnelles et les méthodes d'essai de performance. Voici une analyse comparative sous trois aspects.

6.4.1 Exigences relatives à la composition chimique

Les exigences de composition chimique des électrodes en tungstène pur sont fondamentalement les mêmes dans chaque norme, et la teneur en tungstène doit être $\geq 99,5\%$, mais la plage de contrôle des impuretés est légèrement différente. Par exemple:

AWS A5.12 : Il n'y a pas de limite supérieure claire sur la quantité totale d'impuretés telles que le

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

fer, le nickel, le silicium, etc., mais les impuretés doivent ne pas affecter les performances de soudage. La norme accorde plus d'attention à l'effet d'application pratique de l'électrode.

ISO 6848 et EN 26848 : Spécifie que les impuretés (par exemple, le fer, le carbone, l'oxygène) doivent être inférieures à 0,05 % pour chaque article et à 0,5 % pour la quantité totale \leq garantir une pureté élevée et une stabilité à l'arc de l'électrode.

GB / T 4190 : Le contrôle des impuretés est plus strict et la teneur individuelle en fer, silicium, carbone et autres articles doit être inférieure à 0,03 %, et la teneur en oxygène doit être inférieure à 0,02 %, ce qui convient aux applications de soudage de haute précision.

JIS Z 3233 : Les exigences en matière d'impuretés sont similaires à celles de la norme ISO 6848, mais ont des exigences plus strictes pour la teneur en oxygène ($\leq 0,015$ %) pour répondre aux besoins de l'industrie électronique japonaise.

Ces différences reflètent l'accent mis par le pays sur les scénarios de soudage et les besoins de l'industrie. Les normes ISO 6848 et GB/T 4190 accordent plus d'attention au contrôle de la pureté et conviennent à la fabrication haut de gamme ; AWS A5.12 est plus flexible et adaptable à un large éventail d'applications.

6.4.2 Dimensions et tolérances

La gamme de tailles et les exigences de tolérance de l'électrode sont relativement cohérentes entre les normes, mais les détails spécifiques sont différents :

Gamme de diamètres : AWS A5.12 et ISO 6848 prennent en charge 0,5 à 10 mm, GB/T 4190 et JIS Z 3233 sont limités à 0,5 à 6,0 mm, reflétant les besoins courants des différents marchés.

Tolérances : AWS A5.12 autorise des tolérances de diamètre de $\pm 0,05$ mm (petit diamètre) à $\pm 0,13$ mm (grand diamètre) ; Les normes ISO 6848 et GB/T 4190 ont des exigences plus strictes et sont unifiées à $\pm 0,05$ mm ; La JIS Z 3233 a une tolérance de $\pm 0,03$ mm pour les électrodes de petit diamètre ($< 2,0$ mm), ce qui reflète l'accent mis par le Japon sur la fabrication de précision.

Longueur : AWS A5.12 prend en charge de grands équipements de soudage jusqu'à 610 mm de longueur pour le marché nord-américain ; ISO 6848 et GB/T 4190 sont principalement de 50 à 300 mm, ce qui convient aux équipements généraux ; JIS Z 3233 est principalement de 50 à 200 mm, ce qui convient au soudage de précision de petite taille.

Ces différences sont liées à l'équipement de soudage et aux habitudes de processus de divers pays. Par exemple, le soudage de précision au Japon a tendance à favoriser les électrodes courtes de petit diamètre, tandis que les électrodes longues de grand diamètre sont plus couramment utilisées dans le soudage industriel à grande échelle en Amérique du Nord.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

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

6.4.3 Méthodes d'essai de performance

Une autre différence entre la méthode d'essai de performance est la norme, et chaque norme a différents degrés de spécification pour les tests :

AWS A5.12 : Les méthodes de test pour les performances d'amorçage de l'arc, la stabilité de l'arc ou le taux de consommation d'électrodes ne sont pas spécifiées, seules les données de performance sont requises de la part du fabricant. Les essais s'appuient fortement sur les pratiques de l'industrie, telles que le soudage simulé à des courants standard.

ISO 6848 et EN 26848 : Il est recommandé d'essayer les performances d'amorçage de l'arc et la stabilité de l'arc dans des conditions de soudage standard, mais les paramètres d'essai détaillés ne sont pas fournis. Le test du taux de consommation d'électrodes est effectué en soudage AC et la perte de longueur par unité de temps est enregistrée.

GB/T 4190 : Spécifie des méthodes d'essai plus détaillées, telles que les performances d'amorçage de l'arc à tester à un courant de 50 à 150 A, la stabilité de l'arc à évaluer par la fluctuation de la tension de l'arc et la consommation d'électrode à mesurer dans le soudage 200 A AC.

JIS Z 3233 : La méthode d'essai est similaire à celle de la norme ISO 6848, mais exige que les performances d'initiation d'arc soient testées à de faibles courants (<50 A) pour répondre aux besoins de l'industrie électronique.

Ces différences reflètent l'accent mis par chaque pays sur les performances de soudage. GB/T 4190 et JIS Z 3233 ont des exigences de test plus strictes et conviennent aux applications de haute précision ; AWS A5.12 est plus pragmatique et plus flexible dans les tests.

6.5 La tendance de développement de l'électrode standard en tungstène pur

Avec la transformation et la mise à niveau de l'industrie manufacturière mondiale et l'amélioration de la sensibilisation à l'environnement, les normes d'électrodes en tungstène pur se développent dans le sens de performances plus élevées, plus sûres et plus respectueuses de l'environnement. Ce qui suit est un aperçu des tendances futures sous deux aspects : les exigences en matière d'environnement et de sécurité et les normes d'électrodes haute performance.

6.5.1 Exigences en matière d'environnement et de sécurité

La protection de l'environnement et la sécurité sont les principales forces motrices de l'élaboration de normes d'électrodes en tungstène. Les électrodes traditionnelles en thorium-tungstène sont progressivement limitées en raison de leur oxyde de thorium radioactif (ThO_2), et les électrodes en tungstène pur sont des alternatives respectueuses de l'environnement car elles sont non radioactives. À l'avenir, la norme renforcera encore les exigences suivantes :

Matériaux inoffensifs : La norme limitera strictement la teneur en impuretés potentiellement nocives (par exemple, le plomb, le cadmium) dans les électrodes et favorisera les revêtements non toxiques

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

(par exemple, la peinture verte à base d'eau) pour réduire la pollution de l'environnement.

Protection de l'environnement du processus de production : La norme peut introduire des exigences environnementales dans le processus de production, telles que la réduction de la consommation d'énergie, la réduction des émissions d'eaux usées et de gaz d'échappement, et la promotion du recyclage des déchets. Les révisions futures d'ISO 6848 et GB/T 4190 peuvent faire référence à l'ISO 14001 (Système de management environnemental).

Étiquetage de sécurité : La norme améliorera les spécifications d'emballage et d'étiquetage des électrodes, exigeant un étiquetage clair des directives d'utilisation non radioactives et sûres pour une identification et une utilisation faciles par les utilisateurs. AWS A5.12 a commencé à exiger des fiches de données de sécurité (FDS) détaillées.

L'amélioration des exigences en matière de protection de l'environnement et de sécurité favorisera l'application d'électrodes en tungstène pur dans la fabrication écologique, en particulier dans les régions soumises à des réglementations environnementales strictes telles que l'Union européenne et la Chine.

6.5.2 Étalons d'électrodes à haute performance

Avec le développement rapide de l'aérospatiale, des nouvelles énergies et des industries des semi-conducteurs, les exigences de performance des électrodes en tungstène ne cessent d'augmenter. Les futures normes porteront sur les orientations suivantes :

Exigences de pureté élevées : La norme peut augmenter l'exigence de teneur en tungstène à 99,99 % et réduire davantage la teneur en impuretés pour répondre aux exigences de pureté ultra-élevées des industries des semi-conducteurs et nucléaire.

Normalisation des essais de performance : La norme élaborera des méthodes d'essai plus détaillées, telles que les performances d'amorçage d'arc à tester dans la gamme multi-courants (10-300 A), la stabilité de l'arc à quantifier par un analyseur d'arc à haute fréquence et la consommation d'électrode à évaluer dans plusieurs conditions de soudage.

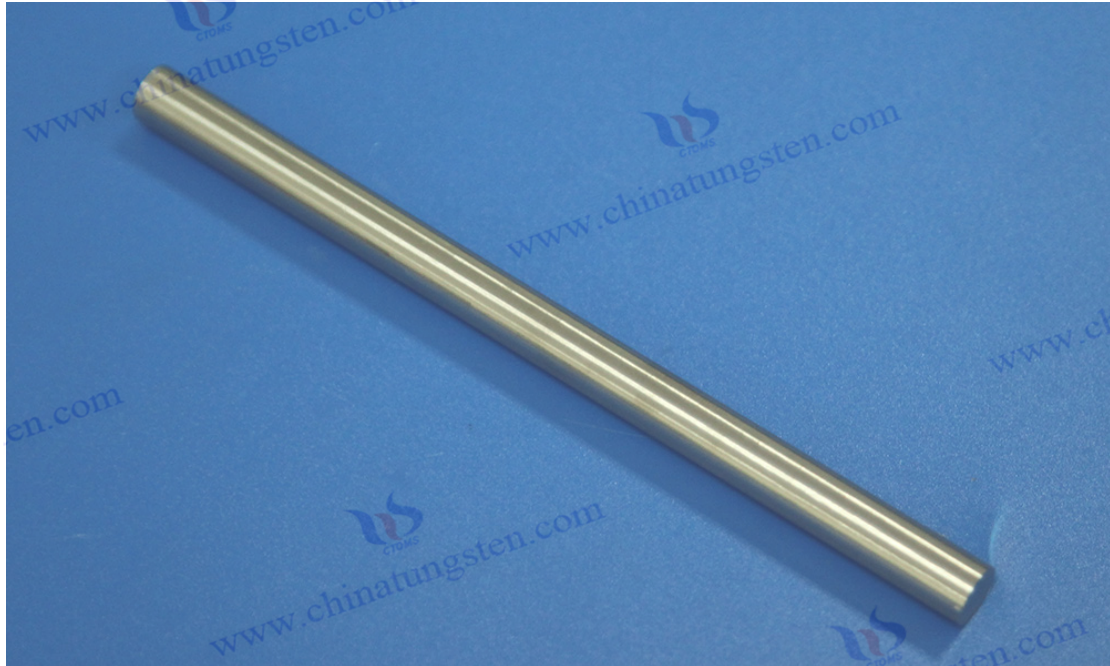
Compatibilité des nouveaux matériaux : La norme peut être étendue aux nouvelles électrodes à base de tungstène (par exemple, les électrodes de tungstène nanocristallines) afin de spécifier leur composition chimique, leur structure de grain et leurs exigences de performance pour répondre aux besoins du soudage haute performance.

Application intelligente : La norme peut introduire des exigences compatibles avec les équipements de soudage intelligents, telles que la taille et la qualité de surface de l'électrode doivent être adaptées au robot de soudage automatisé pour améliorer l'efficacité de la production.

Le développement de normes d'électrodes haute performance favorisera l'application d'électrodes en tungstène pur dans les domaines de fabrication haut de gamme, tout en favorisant l'innovation

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

des processus de production, tels que la préparation de poudre de tungstène ultrafine et la technologie de frittage rapide.



électrode en tungstène pur de CTIA GROUP LTD

Chapitre 7 Méthodes et technologies de détection de l'électrode de tungstène pur

Les tests de qualité des électrodes en tungstène pur (électrodes WP) sont un élément clé pour garantir leurs performances et leur fiabilité, couvrant l'évaluation de la composition chimique, des propriétés physiques, de la microstructure, des propriétés de soudage et des performances environnementales et de sécurité. Les méthodes de détection doivent intégrer des instruments de haute précision et des procédures standardisées pour répondre aux exigences des normes internationales (par exemple, AWS A5.12, ISO 6848) et des normes nationales chinoises (par exemple, GB/T 4190). Ce chapitre aborde en détail les méthodes et techniques de détection des électrodes en tungstène pur, y compris les essais de composition chimique, les essais de propriétés physiques, l'analyse de la microstructure, les essais de performance de soudage, les essais environnementaux et de sécurité, ainsi que l'étalonnage et la normalisation de l'équipement d'essai.

7.1 Détection de la composition chimique d'une électrode de tungstène pur

Les tests de composition chimique sont le principal moyen d'évaluer la pureté et la teneur en impuretés des électrodes en tungstène pur, en s'assurant que la teneur en tungstène est $\geq 99,5\%$ et que les impuretés (par exemple, le fer, le nickel, l'oxygène) se situent dans une plage contrôlable. Les méthodes courantes comprennent la spectroscopie, l'analyse par fluorescence X et le titrage chimique.

7.1.1 Analyse spectroscopique (ICP-OES)

La spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) est une méthode de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

haute précision pour détecter la composition chimique des électrodes de tungstène pur, qui est largement utilisée dans les laboratoires et les sites de production. L'ICP-OES excite les atomes d'échantillons avec un plasma à haute température (environ 8000-10 000°C) pour générer un spectre d'émission d'une longueur d'onde spécifique afin d'analyser le contenu des éléments de tungstène et de tramp.

Le processus de dosage comprend la préparation des échantillons, la dissolution, l'analyse et le traitement des données. Tout d'abord, l'échantillon d'électrode est coupé en petits morceaux et dissous dans une solution contenant un acide, tel qu'un mélange d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique. Une fois que la solution est injectée dans l'instrument ICP-OES, elle est atomisée et excitée par le plasma, et le spectre d'émission est divisé par le spectromètre et enregistré par le détecteur. L'instrument calcule les concentrations élémentaires à partir de courbes standard (basées sur des solutions étalons de concentrations connues) avec des limites de détection allant jusqu'à ppb (parties par milliard) et convient à la détection d'impuretés à l'état de traces (par exemple, fer, nickel, silicium, carbone).

Les avantages de l'ICP-OES sont la sensibilité élevée, l'analyse simultanée de plusieurs éléments et une large plage dynamique, ce qui convient aux exigences strictes des électrodes de tungstène de haute pureté. Les inconvénients sont que l'échantillon doit être dissous de manière destructive et que l'instrument est cher. Les instruments ICP-OES modernes sont équipés de systèmes d'échantillonnage automatisés et de logiciels de traitement des données pour améliorer l'efficacité et la précision de la détection.

7.1.2 Analyse par fluorescence X (XRF)

La fluorescence X (XRF) est une méthode de contrôle non destructif utilisée pour analyser rapidement la composition chimique des électrodes de tungstène pur. La fluorescence X irradie l'échantillon par rayons X pour exciter les transitions d'électrons dans les couches internes des atomes, ce qui entraîne une fluorescence caractéristique et analyse la teneur en tungstène et en éléments impuretés.

Pour les tests, l'échantillon d'électrode est placé directement sur la platine de l'instrument XRF, ce qui élimine le besoin d'une préparation complexe. L'instrument émet des rayons X de haute énergie (tels que des cibles Rh ou W), et la fluorescence émise par les atomes de l'échantillon est collectée par le détecteur et convertie en spectre. La technologie XRF peut détecter une large gamme d'éléments, de l'aluminium (Al) à l'uranium (U), avec des limites de détection de l'ordre du ppm (parties par million), ce qui la rend adaptée au contrôle rapide de la qualité sur le site de production.

Les avantages de la XRF sont non destructifs, rapides (en quelques minutes) et faciles à utiliser, ce qui la rend adaptée aux tests par lots. L'inconvénient est que la sensibilité est inférieure à celle de l'ICP-OES et que la capacité de détection des éléments légers (par exemple, l'oxygène, le carbone) est limitée. De plus, la contamination de la surface peut affecter les résultats, il est donc important de s'assurer que la surface de l'échantillon est propre. Ces dernières années, l'équipement XRF

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

portable a été largement utilisé dans les essais sur le terrain, ce qui augmente la flexibilité.

7.1.3 Titrage chimique

Le titrage chimique est une méthode analytique traditionnelle utilisée pour déterminer la quantité principale de tungstène dans une électrode de tungstène, adaptée à la validation en laboratoire ou à la détection en l'absence d'instrumentation de haute précision. Le titrage quantifie la quantité de tungstène par des réactions chimiques, généralement à l'aide de la précipitation-titrage du tungstate.

Le processus d'essai comprend la dissolution de l'échantillon, la précipitation de l'acide tungstique et l'analyse du titrage. Tout d'abord, l'échantillon d'électrode est dissous dans une solution acide (telle qu'un mélange d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique) et de l'hydroxyde de sodium est ajouté pour générer une solution de tungstate de sodium. Ensuite, l'acide de tungstène est précipité par l'ajout d'acide, filtré et lavé avec une solution alcaline standard (par exemple, NaOH) et la teneur en tungstène est calculée. Le point final du titrage est généralement déterminé par un indicateur (par exemple, la phénolphaléine) ou un titreux potentiométrique.

Les avantages du titrage chimique sont que l'équipement est simple, le coût est faible et il convient aux petites et moyennes entreprises. L'inconvénient est que l'opération est lourde, prend du temps et ne peut détecter que l'élément principal (tungstène) et ne peut pas analyser les impuretés à l'état de traces. De plus, la manipulation manuelle peut introduire des erreurs et les conditions expérimentales doivent être étroitement contrôlées. Les laboratoires modernes s'appuient principalement sur l'ICP-OES ou la XRF, et le titrage chimique est utilisé comme méthode de vérification supplémentaire.

7.2 Propriétés physiques de l'électrode de tungstène pur

Le test des propriétés physiques évalue la densité, la dureté et la conductivité des électrodes en tungstène pur afin de s'assurer que leurs propriétés mécaniques et électriques répondent aux exigences de soudage. Les méthodes courantes comprennent la mesure de la densité, les tests de dureté et les tests de conductivité.

7.2.1 Mesure de la masse volumique

La densité est un indicateur important pour mesurer la densité ultime des électrodes en tungstène pur, la densité théorique est de 19,3 g/cm³ et la densité des électrodes qualifiées doit généralement atteindre 95 % à 98 % de densité théorique. La mesure de la masse volumique est basée sur le principe d'Archimède, qui calcule la masse volumique en mesurant la différence de masse d'un échantillon dans l'air et dans un liquide, généralement de l'eau ou de l'éthanol.

L'équipement de test comprend une balance électronique de haute précision (précision ±0,0001 g) et un réservoir de liquide thermostatique. L'échantillon est d'abord pesé dans l'air et la masse m_1 est enregistrée ; Il est ensuite pesé par immersion dans un liquide et la masse m_2 est enregistrée. La masse volumique est calculée comme suit : $\rho = m_1 / (m_1 - m_2) \times \rho_0$, où ρ_0 est la masse volumique du liquide. Le test doit s'assurer que la surface de l'échantillon est propre et exempte de bulles d'air.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

L'avantage de la mesure de masse volumique est qu'elle est simple, précise et adaptée aussi bien aux sites de production qu'aux laboratoires. L'inconvénient est que la forme de l'échantillon doit être élevée et que les échantillons irréguliers doivent être traités en plus. Les densimètres modernes sont équipés de systèmes de mesure automatisés qui permettent des inspections rapides de plusieurs lots et d'enregistrer des données pour la traçabilité.

7.2.2 Essai de dureté

La dureté reflète la résistance à l'usure et la résistance mécanique des électrodes en tungstène pur, et est couramment testée avec Vickers (HV) ou Brinell (HB). La dureté des électrodes en tungstène pur est généralement HV 350-450, en fonction du processus de production et de la structure du grain.

L'essai de dureté Vickers utilise un pénétrateur pyramidal en diamant pour appliquer une charge (généralement de 5 à 10 kg) à la surface de l'échantillon, mesurer la longueur diagonale de l'indentation et calculer la valeur de dureté. L'équipement comprend un testeur de dureté Vickers et un microscope pour s'assurer que la surface de l'échantillon est plane et polie. L'essai de dureté Brinell utilise un pénétrateur à bille en carbure, qui convient aux échantillons plus grands, mais est légèrement moins précis que Vickers.

Les avantages de l'essai de dureté sont intuitifs, fiables et reflètent la qualité de traitement et la durabilité de l'électrode. L'inconvénient est que les points de test sont très localisés et doivent être moyennés sur plusieurs mesures pour représenter la performance globale. Le duromètre automatisé mesure automatiquement la taille de l'indentation à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image, ce qui améliore l'efficacité de la détection.

7.2.3 Essai de conductivité

Le test de conductivité évalue les propriétés électriques des électrodes en tungstène pur, reflétant leur capacité à transmettre le courant pendant le soudage. La conductivité des électrodes en tungstène pur est d'environ 30 % IACS (International Annealed Copper Standard). La méthode à quatre sondes est couramment utilisée pour mesurer la résistivité de l'électrode, puis calculer la conductivité.

La méthode à quatre sondes utilise quatre sondes pour entrer en contact avec la surface de l'échantillon, avec un courant constant appliqué aux deux sondes extérieures et aux deux sondes intérieures pour mesurer la tension. La résistivité est calculée comme suit : $\rho = (V/I) \times S/L$, où V est la tension, I est le courant, S est la section transversale de l'échantillon et L est l'espacement de la sonde. La conductivité est l'inverse de la résistivité, qui est convertie en pourcentage IACS.

L'équipement de test comprend un testeur à quatre sondes, une source de courant constant et un microvoltmètre pour s'assurer que les sondes sont en bon contact et que la surface de l'échantillon est propre. Les avantages de la méthode à quatre sondes sont une grande précision, une large plage de mesure et une aptitude aux matériaux hautement conducteurs. L'inconvénient est que la forme de l'échantillon et la qualité de surface doivent être élevées. Les testeurs de conductivité modernes prennent en charge l'acquisition et l'analyse automatisées des données, ce qui les rend adaptés aux

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

inspections de lots.

7.3 Analyse de la microstructure d'une électrode de tungstène pur

L'analyse de la microstructure est utilisée pour évaluer la taille des grains, les défauts et l'uniformité de la microstructure des électrodes en tungstène pur, reflétant la qualité et la stabilité des performances de leurs processus de production. Les méthodes courantes comprennent la microscopie optique, l'analyse par microscopie électronique à balayage (MEB) et l'analyse de la taille des grains.

7.3.1 Observation en microscopie optique

La microscopie optique est utilisée pour observer la structure des grains, les pores et les inclusions de la section efficace de l'électrode avec des grossissements de 50 à 1000x. Le processus de test comprend la préparation des échantillons, l'observation et la documentation. Tout d'abord, l'échantillon d'électrode est coupé, monté, poli et corrodé avec un agent corrosif tel qu'un mélange d'hydroxyde de sodium et de ferricyanure de potassium pour révéler les joints de grains. Par la suite, la morphologie des grains, la distribution des défauts et l'uniformité des tissus ont été enregistrées au microscope optique.

Les avantages des microscopes optiques sont leur faible coût en équipement, leur simplicité d'utilisation et leur aptitude à une inspection rapide. L'inconvénient est que la résolution est limitée (environ 0,2 μm), ce qui rend difficile l'observation de défauts à l'échelle nanométrique. Les microscopes optiques modernes sont équipés d'un logiciel d'analyse d'images qui identifie automatiquement les joints de grains et génère des rapports sur les tissus.

7.3.2 Microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) scanne la surface d'un échantillon à l'aide d'un faisceau d'électrons pour produire des images à haute résolution (jusqu'à une résolution nanométrique) qui peuvent être utilisées pour analyser la topographie microscopique, les caractéristiques de fracture et les défauts de l'électrode. Les MEB sont souvent équipés d'un spectromètre à dispersion d'énergie (EDS) pour l'analyse de la composition chimique locale.

Pour les tests, les échantillons sont coupés, polis et recouverts d'une couche conductrice telle que de l'or ou du carbone pour améliorer la conductivité électrique. Le MEB génère des signaux tels que des électrons secondaires et des électrons rétrodiffusés par l'interaction du faisceau d'électrons avec l'échantillon, et génère des images de topographie de surface ou de distribution de composants. Le MEB peut détecter les microfissures, la porosité et la distribution des impuretés à la surface de l'électrode afin d'évaluer la capacité de contrôle des défauts du processus de production.

Les avantages du MEB sont la haute résolution, l'imagerie claire et l'analyse approfondie des microstructures. Les inconvénients sont un équipement coûteux, une préparation d'échantillon complexe et la nécessité de fonctionner sous vide poussé. Le MEB moderne prend en charge la reconstruction 3D et la numérisation automatisée, améliorant ainsi l'efficacité de l'analyse.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

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

7.3.3 Analyse granulométrique

La taille des grains est un paramètre important qui affecte les propriétés mécaniques et les performances de soudage de l'électrode, et des grains fins et uniformes peuvent améliorer la résistance et la ténacité. L'analyse de la taille des grains est généralement effectuée en conjonction avec la microscopie optique ou MEB, où la taille moyenne des grains est mesurée par un logiciel d'analyse d'images.

Les méthodes de détection comprennent la méthode d'interception linéaire et la méthode de zone. La méthode de l'ordonnée à l'origine calcule la taille moyenne des grains en traçant des lignes droites aléatoires sur l'image microscopique et en comptant le nombre de points d'intersection des limites de grains. La méthode de l'aire compte la distribution granulométrique en mesurant l'aire de chaque grain. Des normes telles que la norme ASTM E112 fournissent des spécifications pour la taille des grains, et les électrodes en tungstène pur ont généralement une taille de grain de 10 à 50 µm.

Les avantages de l'analyse granulométrique sont quantitatifs, intuitifs et reflètent directement la qualité des processus de frittage et de traitement thermique. L'inconvénient est qu'une grande quantité de données statistiques est nécessaire pour assurer la représentativité. Les logiciels d'analyse d'images automatisés permettent un traitement rapide des images microscopiques, améliorant ainsi l'efficacité et la précision de l'analyse.

7.4 Essai de performance de soudage de l'électrode de tungstène pur

Le test de soudabilité évalue les performances des électrodes en tungstène pur dans le soudage réel, y compris les performances d'initiation de l'arc, la stabilité de l'arc et le taux de consommation d'électrodes. Ces tests sont effectués dans des conditions de soudage standard et simulent des scénarios d'application réels.

7.4.1 Essai de performance de l'arc

Les performances d'amorçage de l'arc reflètent la difficulté de l'électrode à initier l'arc, et l'électrode en tungstène pur est plus difficile à amorcer en soudage CC (CC) en raison de son travail électronique élevé (environ 4,52 eV), mais elle fonctionne mieux en soudage CA (CA). Les méthodes d'essai comprennent :

Test de soudage standard : testé sur un courant standard (50-150 A), une protection contre l'argon (8-15 L/min) et un substrat en alliage d'aluminium à l'aide d'un équipement de soudage TIG. Plus la tension de l'arc est faible et plus le temps est court, meilleures sont les performances.

Test d'initiation d'arc à haute fréquence : Le dispositif d'initiation d'arc à haute fréquence est utilisé pour aider à l'initiation d'arc afin d'évaluer la vitesse de réponse de l'électrode sous différents courants. Le test doit être répété plusieurs fois, en faisant la moyenne pour réduire les erreurs.

L'équipement d'inspection comprend une soudeuse TIG, un voltmètre et une minuterie pour s'assurer que l'électrode est rectifiée en une forme hémisphérique (soudage AC) ou une forme conique (soudage DC). L'avantage des tests de performance de démarrage à l'arc est qu'ils sont

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

intuitifs et proches de l'application réelle, et l'inconvénient est que les résultats sont grandement influencés par l'équipement et l'opérateur. Le système de test automatisé peut enregistrer les paramètres de démarrage de l'arc via le capteur, ce qui améliore la fiabilité des données.

7.4.2 Essai de stabilité de l'arc

La stabilité de l'arc reflète la continuité et l'uniformité de l'arc pendant le processus de soudage, ce qui affecte directement la qualité de la soudure. L'électrode de tungstène pur a une bonne stabilité de l'arc dans le soudage AC, mais elle est sujette à la dérive dans le soudage DC. Les méthodes d'essai comprennent :

Analyse des fluctuations de tension : Enregistrement des fluctuations de tension de l'arc dans des conditions de soudage standard (100-200 A, protection contre l'argon). Plus la fluctuation de tension est faible, plus l'arc sera stable. L'équipement de test comprend des oscilloscopes et des capteurs de tension.

Observation visuelle : La forme de l'arc est enregistrée à l'aide d'une caméra à grande vitesse et la longueur, la forme et la dérive de l'arc sont analysées. L'arc de stabilisation doit être effilé sans sauts ni interruptions significatifs.

Évaluation de la qualité des soudures : Les plaques d'essai à souder sont utilisées pour vérifier l'uniformité, la pénétration et les défauts de surface des soudures. Un arc stable produit une soudure lisse et sans porosité.

Les essais de stabilité d'arc nécessitent le contrôle de paramètres tels que le substrat, le courant et le débit de gaz pour assurer la comparabilité des résultats. Les systèmes d'essai modernes fournissent des évaluations quantitatives en analysant les images d'arc et les données de tension grâce à l'intelligence artificielle.

7.4.3 Essai du taux de consommation d'électrodes

Le taux de consommation d'électrode reflète le taux de perte de l'électrode lors du soudage, et l'électrode en tungstène pur a un taux de consommation de travail plus élevé en raison d'une échappement d'électrons élevée, en particulier à un courant élevé (>200 A). Les méthodes d'essai comprennent :

Mesure de la perte de longueur : Mesure de la réduction de la longueur de l'électrode dans des conditions de soudage standard (200 A, soudage AC, 30 minutes). Le taux de consommation est exprimé en mm/h et est généralement de 0,1 à 0,5 mm/h.

Mesure de la perte de masse : La perte de masse par unité de temps est calculée en mesurant la différence de masse entre les électrodes avant et après le soudage avec une balance de haute précision. La méthode de perte de masse est plus précise et adaptée aux tests en laboratoire.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Analyse de la morphologie finale : Observez la morphologie de l'électrode après le soudage au microscope pour évaluer le degré de perte de combustion et de volatilisation. Une morphologie de pointe stable, telle qu'une forme hémisphérique, indique un faible taux de consommation.

Les tests de taux de consommation d'électrode nécessitent de contrôler le temps de soudage, le courant et l'angle de l'électrode pour garantir des résultats cohérents. Le système de test automatisé peut enregistrer les modifications de la longueur et de la qualité des électrodes en temps réel afin d'améliorer l'efficacité de l'inspection.

7.5 Essais environnementaux et de sécurité de l'électrode de tungstène pur

Les tests environnementaux et de sécurité évaluent la protection de l'environnement et la sécurité des électrodes en tungstène pur dans le processus de production et d'utilisation, en mettant l'accent sur les tests de radioactivité et les tests d'émissions de poussière et de gaz d'échappement.

7.5.1 Détection de la radioactivité (comparaison entre l'électrode thorium et l'électrode de tungstène)

Les électrodes en tungstène pur sont non radioactives, ce qui constitue un avantage significatif par rapport aux électrodes en tungstène thoriées (contenant de l'oxyde de thorium, ThO₂). Les tests de radioactivité sont utilisés pour vérifier la sécurité des électrodes de tungstène pur et pour les comparer avec des électrodes de tungstène thoriées. Les dosages comprennent :

Détection des rayons gamma : le débit de dose des rayons gamma ($\mu\text{Sv/h}$) est enregistré en mesurant le niveau de radioactivité de l'électrode à l'aide d'un compteur Geiger ou d'un détecteur à scintillation. Le débit de dose des électrodes en tungstène pur doit être proche du niveau de rayonnement de fond (environ $0,1 \mu\text{Sv/h}$), tandis que les électrodes en thorium-tungstène peuvent atteindre $1-10 \mu\text{Sv/h}$.

Analyse des radionucléides : Les radionucléides (p. ex. Th-232, U-238) dans les électrodes sont analysés par un détecteur au germanium de haute pureté (HPGe) pour s'assurer qu'il n'y a pas d'impuretés radioactives. La détection doit être effectuée dans une pièce blindée pour réduire les interférences de fond.

La détection de la radioactivité a l'avantage d'être rapide et fiable, garantissant que les électrodes sont conformes aux normes de sécurité (par exemple, ISO 6848). L'inconvénient est que l'équipement est coûteux et doit être utilisé par des professionnels. La nature non radioactive des électrodes de tungstène pur les rend encore plus avantageuses dans les scénarios présentant des exigences élevées en matière d'environnement et de sécurité.

7.5.2 Détection des émissions de poussières et de gaz d'échappement

Les processus de meulage, de polissage et de frittage dans la production d'électrodes en tungstène pur peuvent générer de la poussière de tungstène et des gaz d'échappement (par exemple de la vapeur d'oxyde de tungstène), et les niveaux d'émission doivent être testés pour être conformes aux réglementations environnementales. Les dosages comprennent :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Détection de la concentration de poussières : La concentration de poussières dans l'atelier de production est mesurée à l'aide d'un dépoussièremètre laser ou d'une méthode gravimétrique pour s'assurer qu'elle est inférieure à la limite d'exposition professionnelle (par exemple, 4 mg/m³ dans la norme chinoise). Le point d'échantillonnage doit couvrir les zones de meulage et de polissage.

Analyse des gaz d'échappement : La composition des gaz d'échappement émis par le four de frittage est détectée par un analyseur de gaz (par exemple un spectromètre infrarouge) pour analyser la concentration d'oxyde de tungstène, d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils (COV). Les gaz d'échappement doivent être évacués après le dépoussiérage et le traitement d'adsorption.

Analyse des eaux usées : Le tungstène et d'autres métaux lourds présents dans les eaux usées des processus de nettoyage et de purification sont analysés par ICP-OES ou spectrophotométrie pour garantir la conformité aux normes de rejet (par exemple, Chine GB 25466-2010).

La détection des poussières et des gaz d'échappement devrait être effectuée régulièrement, et un système de surveillance en ligne devrait être équipé pour enregistrer les données d'émission en temps réel. Les équipements environnementaux modernes, tels que les filtres HEPA et les épurateurs humides, peuvent réduire considérablement les émissions et répondre aux exigences de fabrication écologique.

7.6 Étalonnage et normalisation de l'équipement d'essai d'électrodes de tungstène pur

L'étalonnage et la normalisation des équipements d'essai sont essentiels pour garantir l'exactitude et la comparabilité des résultats d'inspection, ce qui affecte directement la fiabilité du contrôle de la qualité.

7.6.1 Méthodes d'étalonnage de l'équipement

L'étalonnage des équipements d'essai est effectué régulièrement et conformément aux normes internationales ou nationales (e.g. ISO/IEC 17025). Les méthodes d'étalonnage courantes comprennent :

Étalonnage ICP-OES : Étalonnez la sensibilité et la plage de linéarité de l'instrument en traçant une courbe standard à l'aide d'une solution étalon multi-éléments (contenant des concentrations connues de tungstène, de fer, de nickel, etc.). L'étalonnage est effectué chaque semaine et les facteurs d'étalonnage sont enregistrés.

Étalonnage XRF : Calibrez l'intensité de fluorescence en fonction de la concentration élémentaire à l'aide d'un échantillon standard tel qu'un bloc de tungstène de haute pureté. L'étalonnage est effectué tous les mois pour assurer des tests cohérents.

Étalonnage de l'appareil de dureté : La taille de l'empreinte et la charge sont étalonnées à l'aide de blocs de dureté standard (par ex. HV 400) avec une erreur de ± 2 %. L'étalonnage est effectué tous les trimestres.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

Étalonnage du microscope : utilisez une échelle standard pour calibrer le grossissement et la résolution de l'image avec une erreur de ± 1 %. L'étalonnage est effectué annuellement.

L'étalonnage est effectué par un professionnel et la date de l'étalonnage, les paramètres et les résultats sont enregistrés. Le système d'étalonnage automatisé peut améliorer l'efficacité de l'étalonnage en contrôlant l'injection et l'analyse des données des échantillons standard à l'aide d'un logiciel.

7.6.2 Normes internationales d'essai

Les électrodes en tungstène sont testées conformément aux normes internationales afin d'assurer la comparabilité mondiale des résultats. Les normes pertinentes sont les suivantes :

ISO 6848:2015 : spécifie les exigences relatives aux essais de composition chimique et de propriétés des électrodes en tungstène, et recommande l'utilisation de l'ICP-OES ou de la XRF pour la détection des composants et l'analyse microscopique des tissus.

AWS A5.12:2009 : Exige de vérifier la composition chimique et la qualité de surface des électrodes, en recommandant des méthodes non destructives telles que la XRF pour une analyse rapide.

ASTM E112 : Fournit une méthode standard pour la mesure de la taille des grains pour l'analyse de la microstructure.

ISO 14001 : Fournit des lignes directrices de gestion environnementale pour la détection des poussières et des gaz d'échappement, en mettant l'accent sur le contrôle et la surveillance des émissions.

Ces normes constituent la base de la normalisation des méthodes de détection. À l'avenir, les normes d'essai internationales pourraient intégrer davantage les technologies de l'intelligence artificielle et du big data afin d'élaborer des spécifications d'essai plus précises.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



électrodes en tungstène pur de CTIA GROUP LTD

Chapitre 8 Analyse des avantages et des inconvénients de l'électrode de tungstène pur

En tant que matériau traditionnel pour le soudage à l'arc au tungstène-argon (soudage TIG), l'électrode de tungstène pure (électrode WP) occupe une position importante dans l'industrie du soudage en raison de ses propriétés physiques et chimiques uniques. Cependant, sa gamme d'applications et ses performances sont limitées, en particulier par rapport aux électrodes en tungstène dopées (telles que les électrodes en tungstène au cérium et au lanthane). Ce chapitre analysera systématiquement les avantages et les inconvénients des électrodes en tungstène pur et discutera de la direction de leur amélioration, afin de fournir des conseils pour la production et l'application.

8.1 Avantages de l'électrode de tungstène pur

Les électrodes en tungstène pur ont une valeur irremplaçable dans des scénarios spécifiques en raison de leurs avantages en termes de coûts, de leur stabilité à haute température et de leur aptitude au soudage AC. Ce qui suit détaille ses avantages sous trois aspects.

8.1.1 Faible coût

L'un des principaux avantages des électrodes en tungstène pur est leur coût de production relativement faible, ce qui les rend idéales pour les applications de soudage avec des exigences économiques élevées. L'électrode de tungstène pur est fabriquée à partir de tungstène de haute pureté ($\geq 99,5\%$) et n'est pas dopée avec des oxydes de terres rares (tels que l'oxyde de cérium, l'oxyde de lanthane ou l'oxyde de thorium), évitant ainsi l'utilisation d'additifs coûteux et de formulations complexes. En tant que métal rare avec des réserves abondantes dans le monde (la Chine représente environ 50 % des réserves mondiales), le tungstène a une chaîne d'approvisionnement en matières

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

premières stable et de faibles fluctuations de prix. De plus, le processus de production d'électrodes de tungstène pur (tels que la métallurgie des poudres et le traitement sous pression) a été très mature, l'équipement est très polyvalent et la production à grande échelle réduit encore les coûts.

Par rapport aux électrodes dopées, la production d'électrodes en tungstène pur ne nécessite pas de processus supplémentaires de purification et de dopage des terres rares, ce qui réduit considérablement la consommation d'énergie et les coûts de main-d'œuvre. Par exemple, les électrodes en cérium et en tungstène nécessitent un contrôle précis de la distribution uniforme de l'oxyde de cérium, ce qui ajoute de la complexité au frittage et au contrôle de la qualité, tandis que le processus de production des électrodes en tungstène pur est beaucoup plus simple. L'avantage en termes de coût rend les électrodes en tungstène pur largement utilisées dans les industries sensibles aux coûts telles que la construction, la construction navale et l'usinage général. De plus, la nature non radioactive des électrodes en tungstène pur évite les exigences de stockage et d'élimination spéciales, réduisant encore le coût d'utilisation, et s'inscrit dans la tendance de la fabrication verte.

En pratique, le faible coût des électrodes en tungstène les rend adaptées aux tâches de soudage à grand volume telles que les murs-rideaux en aluminium, les pièces automobiles et les récipients sous pression. Bien que ses performances ne soient pas aussi bonnes que celles des électrodes dopées à certains égards, les électrodes en tungstène pur constituent une option rentable pour les scénarios de soudage AC avec des exigences de qualité modérées.

8.1.2 Stabilité à haute température

En raison de son point de fusion extrêmement élevé (3422°C) et de son excellente stabilité à haute température, les électrodes en tungstène pur sont capables de maintenir l'intégrité structurelle et des performances stables dans des environnements de soudage difficiles. Le tungstène a le point de fusion le plus élevé de tous les métaux, ce qui permet aux électrodes en tungstène pur de résister aux chocs thermiques à des températures d'arc élevées (environ 6000-7000°C), réduisant ainsi le risque de fusion, de brûlure ou de déformation. Cette caractéristique garantit que l'électrode conserve une forme d'extrémité stable même à des courants élevés (100-300 A) ou pendant de longues périodes de soudage continu, ce qui se traduit par une longue durée de vie.

Dans le soudage AC, les électrodes en tungstène pur forment généralement des extrémités hémisphériques, qui aident à répartir uniformément l'énergie de l'arc, à réduire la surchauffe locale et à améliorer la qualité du soudage. Sa faible pression de vapeur (proche de 0 Pa à 3000°C) réduit encore l'évaporation du matériau à haute température, maintenant la stabilité dimensionnelle et la consistance de l'arc de l'électrode. De plus, l'excellente conductivité thermique de l'électrode de tungstène pur (environ 173 W/m·K) lui permet de dissiper rapidement la chaleur de l'arc et d'éviter le ramollissement ou la fissuration des extrémités causée par la surchauffe.

La grande stabilité à la température des électrodes en tungstène pur les rend excellentes pour le soudage de métaux légers (par exemple l'aluminium, le magnésium) et leurs alliages, en particulier dans les industries aérospatiale, automobile et électronique. La conductivité thermique élevée et les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

propriétés du film d'oxyde des alliages d'aluminium exigent que l'électrode reste stable à des températures élevées, et les performances des électrodes en tungstène pur peuvent répondre à ces exigences. De plus, sa stabilité chimique le rend moins susceptible de réagir avec l'environnement sous la protection de gaz inertes tels que l'argon ou l'hélium, assurant ainsi la pureté de la soudure.

8.1.3 Convient pour le soudage AC

L'excellente performance de l'électrode de tungstène pure dans le soudage AC (AC) est son avantage d'application le plus important, particulièrement adapté au soudage de métaux légers avec des films d'oxyde tels que l'aluminium, le magnésium et leurs alliages. Le soudage AC réalise l'équilibre dynamique de l'arc grâce au demi-cycle alternatif positif et négatif alternatif. L'électrode de tungstène pur émet des électrons pendant le demi-cycle positif (l'électrode est la cathode), générant un arc à haute température ; Pendant le demi-cycle négatif (la pièce est la cathode), l'arc produit un effet de « nettoyage cathodique » sur le film d'oxyde (tel que Al_2O_3 , point de fusion d'environ 2050 °C) à la surface de la pièce, éliminant efficacement la couche d'oxyde et formant une soudure propre.

Les électrodes en tungstène pur forment des extrémités hémisphériques stables dans le soudage AC, ce qui optimise la distribution de l'arc et le transfert d'énergie, réduisant ainsi le risque de dérive ou d'interruption de l'arc. Son point de fusion élevé et sa conductivité thermique garantissent que l'électrode reste stable pendant le cycle thermique des courants alternatifs, ce qui la rend adaptée aux conditions de soudage à haute fréquence ou à courant élevé. De plus, la nature non radioactive des électrodes de tungstène pur les rend plus avantageuses dans les industries ayant des exigences de sécurité élevées (par exemple, les équipements de transformation des aliments, la fabrication de dispositifs médicaux) et est plus conforme aux réglementations environnementales que les électrodes de tungstène thoriées (contenant de l'oxyde de thorium radioactif).

Les applications de soudage AC pour les électrodes en tungstène pur couvrent les secteurs de la construction, de la marine, de l'aérospatiale et de l'automobile. Par exemple, dans le soudage de structures de navires en aluminium, les électrodes en tungstène pur fournissent des soudures lisses et sans défaut qui répondent aux exigences de résistance à la corrosion et de résistance. Dans le secteur aérospatial, le soudage de précision des alliages d'aluminium et de magnésium repose sur l'arc stable des électrodes en tungstène pur, ce qui garantit une grande fiabilité des composants. En conclusion, l'expertise des électrodes en tungstène pur dans le soudage AC en fait le matériau de choix pour le soudage des métaux légers.

8.2 Inconvénients de l'électrode de tungstène pur

Malgré les avantages significatifs des électrodes en tungstène pur, leurs limites de performance limitent leur application dans certains scénarios de soudage, en particulier dans le soudage DC et les conditions de haute température et de charge élevée. Ce qui suit analyse ses inconvénients sous trois aspects.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

8.2.1 Mauvaises performances de soudage DC

Les performances des électrodes en tungstène pur dans le soudage DC (DC) sont médiocres, principalement en raison de son travail électronique élevé (environ 4,52 eV), ce qui entraîne une initiation d'arc difficile et une instabilité de l'arc. Dans la connexion positive CC (DCSP), l'électrode doit émettre un grand nombre d'électrons en tant que cathode, et le travail à électrons élevés nécessite une tension d'arc plus élevée, qui est sujette à l'absence d'arc ou de saut d'arc. En polarité DC inversée (DCRP), l'électrode agit comme une anode sous une charge thermique plus élevée, ce qui peut entraîner une surchauffe, une brûlure ou une déformation finale.

En revanche, les électrodes dopées avec des oxydes de terres rares (par exemple, les électrodes cérium-tungstène, ont environ 2,7 à 3,0 eV ; L'électrode de tungstène au lanthane, environ 2,8-3,2 eV) a une tension de démarrage d'arc plus faible et un arc plus stable dans le soudage CC, et est largement utilisé dans le soudage de l'acier inoxydable, de l'acier au carbone et des alliages de nickel. En raison des limites des électrodes en tungstène pur dans le soudage CC, leurs applications sont principalement limitées aux scénarios à faible demande, tels que la réparation temporaire ou le soudage à faible courant, tandis que les électrodes dopées sont principalement utilisées dans le soudage CC de haute précision ou à haut rendement.

Pour pallier cette lacune, les performances d'amorçage d'arc peuvent être améliorées au moyen d'un dispositif de frappe d'arc à haute fréquence ou en optimisant l'angle à l'extrémité de l'électrode (par exemple, un cône), mais l'effet est limité. De plus, l'instabilité de l'arc dans le soudage DC peut entraîner des soudures inégales ou une augmentation des défauts, limitant la compétitivité des électrodes de tungstène pur dans le soudage haute performance.

8.2.2 Taux de consommation d'électrodes élevé

Les électrodes en tungstène ont un taux de consommation d'électrodes élevé, en particulier dans les courants élevés (>200 A) ou le soudage continu à long terme, en raison de la fuite élevée du travail des électrons, ce qui conduit à une température finale élevée, ce qui accélère la volatilisation et la perte de combustion du matériau. La consommation se manifeste par le raccourcissement progressif de la longueur de l'électrode et le changement de morphologie des extrémités, par exemple de forme hémisphérique à irrégulière, ce qui affecte la stabilité de l'arc et la qualité de la soudure.

Dans le soudage AC, la formation d'extrémités hémisphériques ralentit partiellement la consommation, mais le taux de consommation reste élevé à des fréquences élevées ou à des courants instables. Dans le soudage DC, le taux de consommation est encore plus important, en particulier dans le cadre de la connexion directe DC (DCSP), où le fonctionnement à haute température des électrodes entraîne une perte de matière rapide. En revanche, les électrodes dopées (par exemple, les électrodes de tungstène lanthane) ont généralement des taux de consommation inférieurs à ceux des électrodes en tungstène pur en raison d'un travail d'échappement d'électrons plus faible et d'une morphologie finale plus stable.

Le taux de consommation élevé augmente la fréquence des changements d'électrodes et les coûts

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

d'exploitation, ce qui peut entraîner des interruptions de production, en particulier dans le soudage automatisé. Afin de prolonger la durée de vie de l'électrode, les extrémités doivent être affûtées régulièrement pour maintenir la bonne forme et les paramètres de soudage (par exemple, courant réduit, protection accrue contre les gaz) doivent être optimisés. Cependant, le meulage fréquent augmente les coûts de main-d'œuvre et de temps, ce qui limite l'application d'électrodes en tungstène pur dans le soudage à haute charge.

8.2.3 Difficulté à former un arc et un arc instable

L'initiation difficile de l'arc et l'instabilité de l'arc sont les principaux inconvénients de l'électrode en tungstène pur, qui sont étroitement liés à son travail d'échappement d'électrons élevé. Dans le soudage CC, les tensions d'arc élevées et l'émission erratique d'électrons rendent difficile l'initiation ou le maintien d'un arc, en particulier à de faibles courants (<50 A) ou à des fréquences élevées. Dans le soudage AC, l'effet alternatif des demi-cycles positifs et négatifs de courant alternatif peut atténuer partiellement la difficulté de l'arc électrique, mais une tension d'arc plus élevée est toujours nécessaire.

L'instabilité de l'arc se manifeste par une dérive d'arc, un saut ou une interruption, affectant l'uniformité et la qualité de la soudure. La contamination de surface (par exemple, les oxydes, les huiles) ou une mauvaise morphologie des extrémités (par exemple, une usure excessive) peuvent encore exacerber l'instabilité, nécessitant un nettoyage et un ponçage réguliers de l'électrode. De plus, les électrodes en tungstène pur ont des exigences élevées pour les équipements de soudage, qui doivent être équipés d'un dispositif de frappe d'arc à haute fréquence ou d'une alimentation stable pour améliorer les performances d'amorçage d'arc.

Par rapport aux électrodes dopées, les électrodes en tungstène pur ont une faible stabilité de l'arc, en particulier dans le soudage DC. Les électrodes de cérium-tungstène et de tungstène lanthane réduisent le travail des électrons par dopage des oxydes de terres rares, ce qui améliore considérablement les performances d'initiation de l'arc et la stabilité de l'arc, et convient à une variété de scénarios de soudage. Cette lacune des électrodes en tungstène pur limite son utilisation dans le soudage de haute précision et à haut rendement, qui doit être compensé par l'optimisation des processus ou l'amélioration de l'équipement.

8.3 Direction d'amélioration de l'électrode de tungstène pur

Afin de pallier les insuffisances des électrodes en tungstène pur et d'améliorer leur compétitivité, les chercheurs et les entreprises explorent des pistes d'amélioration dans trois directions : l'optimisation des procédés, la recherche sur l'alliage et le développement de nouveaux matériaux d'électrodes. Ces améliorations visent à améliorer les performances de soudage des électrodes, à réduire le taux de consommation et à élargir la gamme d'applications.

8.3.1 Optimisation des procédés

L'optimisation des processus est un moyen direct d'améliorer les performances des électrodes en tungstène pur, en se concentrant sur l'amélioration des processus de production et l'optimisation des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

paramètres de soudage. Du côté de la production, la qualité des électrodes peut être améliorée par :

Contrôle de haute pureté : La pureté de la poudre de tungstène est augmentée à 99,99 % en utilisant des technologies de purification avancées telles que l'échange d'ions et l'extraction par solvant, et l'influence des impuretés sur les performances d'initiation de l'arc et la stabilité de l'arc est réduite. Optimiser les processus de réduction et de frittage, réduire la teneur en oxygène (par exemple, $\leq 0,01$ %) et améliorer la conductivité et la résistance aux températures élevées de l'électrode.

Raffinement des grains : La croissance des grains est contrôlée par des techniques de frittage rapide (par exemple, frittage de plasma à décharge, SPS) ou l'ajout d'inhibiteurs de traces (par exemple, l'alumine) pour obtenir une structure de grain fine et uniforme (10-20 μm). Le raffinement du grain améliore la dureté et la ténacité de l'électrode et réduit le taux de consommation à haute température.

Amélioration de la qualité de surface : Améliorez les processus de polissage et de nettoyage, réduisez la rugosité de surface et réduisez l'interférence des défauts de surface sur la stabilité de l'arc. Un équipement de polissage automatique est utilisé pour assurer la cohérence de la surface et améliorer les performances de soudage de l'électrode.

Dans les applications de soudage, les performances des électrodes en tungstène pur peuvent être améliorées en optimisant les paramètres et les équipements. Par exemple, la forme d'onde du courant (par exemple, onde carrée AC) peut être ajustée pour réduire la tension d'arc et le débit de gaz de protection à l'argon ou à l'hélium (10-20 L/min) peut être augmenté pour améliorer la stabilité de l'arc. De plus, le dispositif d'amorçage d'arc à haute fréquence et la machine de soudage TIG avancée peuvent améliorer considérablement la difficulté de l'arc électrique, ce qui convient aux scénarios de soudage DC.

Les avantages de l'optimisation des processus sont le faible coût, la technologie éprouvée et la mise en œuvre rapide en plus de la production existante. L'inconvénient est que la plage d'amélioration est limitée et qu'il est difficile de surmonter complètement la limitation fondamentale du résultat de travail à électrons élevés.

8.3.2 Etudes d'alliage

Les études d'alliage améliorent les propriétés électriques et mécaniques du tungstène pur en ajoutant des oligo-éléments à sa matrice, tout en conservant des avantages en termes de coûts et des propriétés non radioactives. L'objectif de l'alliage est de réduire le travail d'évolution des électrons, d'améliorer la stabilité de l'arc et de réduire le taux de consommation, et les directions de recherche courantes comprennent :

Dopage à l'état de traces de terres rares : Des oxydes de terres rares (par exemple, l'oxyde de lanthane, l'oxyde de cérium) sont ajoutés au tungstène pur à faible teneur ($< 0,5$ %) pour réduire le travail des électrons (à 4,0-4,2 eV) et améliorer les performances d'amorçage de l'arc et la stabilité de l'arc. Le dopage à l'état de trace conserve l'avantage de coût du tungstène pur tout en améliorant les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

performances de soudage DC.

Dopage aux éléments non terres rares : explorez l'ajout d'oxydes de terres non rares tels que la zircone (ZrO_2) ou l'oxyde d'yttrium (Y_2O_3) pour améliorer la résistance à haute température et la résistance au fluage de l'électrode, et réduire le taux de consommation. Ces éléments sont non radioactifs et répondent aux exigences environnementales.

Dopage composite : Combinez une variété d'oxydes (tels que l'oxyde de lanthane + la zircone) pour le dopage composé afin d'optimiser les performances globales de l'électrode. Le dopage composite équilibre les performances d'amorçage de l'arc, la stabilité de l'arc et la durabilité, ce qui le rend adapté au soudage à charge élevée.

Les études d'alliage doivent contrôler avec précision la distribution et le contenu des éléments dopés afin d'éviter les fluctuations de performance causées par un dopage non homogène. Les techniques de production modernes (par exemple, le dopage au plasma, le dépôt chimique en phase vapeur) permettent un dopage très homogène et une meilleure qualité des électrodes. Cependant, l'alliage peut augmenter les coûts de production et la complexité des processus, ce qui nécessite un compromis entre les gains de performance et l'économie.

8.3.3 Mise au point de nouveaux matériaux d'électrodes

Le développement de nouveaux matériaux d'électrode vise à surmonter fondamentalement les limites des électrodes en tungstène pur et à explorer des matériaux avec un travail d'échappement d'électrons plus faible, une durabilité plus élevée et une applicabilité plus large. Ses intérêts de recherche comprennent :

Électrode de tungstène nanocristalline : La poudre de nano-tungstène (taille des particules < 100 nm) est utilisée pour préparer les électrodes, et la dureté, la ténacité et la stabilité de l'arc sont améliorées par une structure de grain ultra-fine. Le travail électronique de l'électrode de tungstène nanocristallin est légèrement inférieur à celui de l'électrode de tungstène traditionnelle, et les performances d'initiation de l'arc sont améliorées. Les techniques de frittage rapide, telles que le SPS, sont la clé de la réalisation d'électrodes nanocristallines.

Composites à matrice de tungstène : Le développement d'électrodes composites en tungstène et de matériaux hautement conducteurs (tels que le cuivre et le graphène) combiné au point de fusion élevé du tungstène et à l'excellente conductivité des matériaux composites (>50 % IACS) réduit considérablement la tension d'arc et la consommation d'électrodes. Les composites doivent relever les défis de la liaison interfaciale et de la stabilité à haute température.

Nouvelles électrodes non radioactives : Explorer d'autres matériaux que le tungstène, tels que les alliages à base de molybdène ou de hafnium, en tant qu'électrodes non fondantes à faible échappement d'électrons. Ces matériaux doivent avoir un point de fusion élevé (>2000°C) et une stabilité chimique, tout en restant peu coûteux et respectueux de l'environnement.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

L'avantage du développement de nouveaux matériaux est qu'il existe un grand potentiel d'amélioration significative des performances des électrodes et d'élargissement du champ d'application, tels que la fabrication de semi-conducteurs, les équipements de fusion nucléaire et le soudage de matériaux à très haute résistance. Les inconvénients sont que le cycle de R&D est long, que le coût est élevé et que la promotion de nouveaux matériaux doit passer par une certification industrielle stricte et une vérification du marché. À l'avenir, le développement de nouveaux matériaux d'électrode favorisera l'innovation de la technologie de soudage, et il est nécessaire d'accélérer la mise en œuvre de la technologie en combinaison avec la coopération industrie-université-recherche.



Électrode en tungstène pur à pointe acérée

Chapitre 9 Marché et tendance de développement de l'électrode de tungstène pur

En tant que consommable important pour le soudage à l'arc tungstène-argon (soudage TIG), l'électrode de tungstène pure (électrode WP) occupe une position importante dans l'industrie mondiale du soudage. Le développement de son marché est affecté par de multiples facteurs tels que l'approvisionnement en matières premières, la technologie de production, les exigences en matière de protection de l'environnement et la concurrence internationale. Ce chapitre analysera la vue d'ensemble du marché mondial, la situation actuelle du marché chinois, la tendance du développement technologique et les défis rencontrés par l'électrode de tungstène pure, et fournira une référence complète pour les praticiens et les chercheurs de l'industrie.

9.1 Vue d'ensemble du marché mondial des électrodes de tungstène

Le marché mondial des électrodes en tungstène pur est étroitement lié au développement de l'industrie du soudage, qui est largement utilisée dans l'aérospatiale, la construction automobile, la construction navale et la construction. Ce qui suit est un examen de l'état actuel du marché mondial

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

en termes de principaux pays producteurs et de taille et de demande du marché.

9.1.1 Principaux pays producteurs

La production mondiale d'électrodes de tungstène pur est concentrée dans les pays disposant d'abondantes ressources en tungstène et de puissances industrielles technologiquement avancées, notamment la Chine, les États-Unis, l'Allemagne, le Japon et la Russie.

Chine : En tant que plus grande ressource de tungstène au monde (représentant environ 50 % des réserves mondiales), la Chine domine la production d'électrodes de tungstène pur. Le Hunan, le Jiangxi et le Henan disposent d'abondantes ressources en minerai de tungstène, formant une chaîne industrielle complète allant de l'extraction du minerai de tungstène à la production d'électrodes.

États-Unis : Les États-Unis sont un important producteur d'électrodes en tungstène pur, avec une technologie de production avancée et des normes de qualité strictes. L'entreprise se concentre sur les électrodes en tungstène haute performance, qui sont largement utilisées dans les industries aérospatiale et nucléaire. Le marché américain est dominé par des applications haut de gamme, en se concentrant sur la promotion d'électrodes non radioactives telles que le tungstène pur et les électrodes de tungstène au cérium.

Allemagne : L'Allemagne est connue pour sa fabrication de précision, produisant des électrodes en tungstène pur de haute qualité pour les industries de l'automobile, de l'aérospatiale et de l'ingénierie mécanique. L'entreprise utilise des technologies avancées de métallurgie des poudres et de traitement de surface pour exporter vers l'Europe et le monde conformément à la norme DIN EN ISO 6848.

Japon : La production d'électrodes de tungstène au Japon est principalement de haute précision et miniaturisée pour répondre aux besoins des industries de l'électronique, de l'automobile et des machines de précision. L'entreprise accorde une attention particulière à la qualité de surface et aux performances de soudage de l'électrode, et les produits répondent à la norme JIS Z 3233. Il existe une forte demande d'électrodes de petit diamètre (0,5-2,0 mm) sur le marché japonais.

Russie : La Russie dispose d'abondantes ressources de minerai de tungstène et de faibles coûts de production, et ses électrodes de tungstène pur sont principalement fournies aux marchés nationaux et d'Europe de l'Est. Les entreprises ont des avantages dans la production d'électrodes à faible coût, mais leur niveau technique et l'influence de leur marque sont relativement faibles.

Ces pays ont formé un modèle concurrentiel sur le marché mondial des électrodes de tungstène pur, la Chine ouvrant la voie en termes de production et de coût, les États-Unis, l'Allemagne et le Japon occupant le marché haut de gamme avec la technologie et les services, et la Russie complétant le marché bas de gamme avec des avantages en termes de ressources.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

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

9.1.2 Taille du marché et demande

La taille du marché mondial des électrodes de tungstène a suivi le rythme de la croissance de l'industrie du soudage, tirée par la fabrication, la construction d'infrastructures et les nouvelles industries de l'énergie. Selon les données de l'industrie, la taille du marché mondial des électrodes de tungstène sera d'environ 1,5 milliard de dollars en 2024, dont les électrodes de tungstène pur représenteront environ 30 à 35 %, soit 4,5 à 525 millions de dollars. La taille du marché devrait croître à un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 3 % à 5 % pour atteindre 6 à 700 millions de dollars d'ici 2030, grâce à :

Demande aérospatiale : La demande croissante de soudage de précision des alliages d'aluminium et de magnésium dans le secteur aérospatial stimule l'application d'électrodes en tungstène pur dans le soudage AC. Par exemple, la fabrication d'avions de Boeing et d'Airbus nécessite des soudures de haute fiabilité, et les électrodes en tungstène pur sont des consommables clés.

Développement de l'industrie automobile : L'industrie automobile mondiale se transforme vers l'allègement et la demande de soudage pour les alliages d'aluminium et l'acier inoxydable augmente. Les électrodes en tungstène pur sont largement utilisées dans la production de pièces automobiles (telles que les carrosseries de voitures et les boîtiers de batterie), en particulier dans le domaine des véhicules à énergie nouvelle.

Infrastructure : La construction d'infrastructures (par exemple, le train à grande vitesse, les ponts, les bâtiments) en Asie, en Afrique et en Amérique latine a stimulé la demande de soudage de pièces structurelles en aluminium, et les électrodes en tungstène pur sont privilégiées en raison de leurs avantages en termes de coûts.

Nouvelle industrie de l'énergie : La fabrication de cellules solaires et d'équipements d'énergie éolienne implique le dépôt de couches minces et le collage de métaux, et la demande d'électrodes en tungstène pur comme cibles de pulvérisation et matériaux de soudage ne cesse de croître.

En termes de répartition géographique, la région Asie-Pacifique (principalement la Chine, l'Inde et l'Asie du Sud-Est) représente environ 50 % de la part de marché mondiale, bénéficiant du développement rapide de la fabrication et de la production à faible coût. L'Amérique du Nord et l'Europe représentent chacune 20 à 25 %, les applications haut de gamme étant dominantes. Le Moyen-Orient et l'Afrique ont une part de marché plus faible (environ 5 %), mais le potentiel de demande se fait sentir à mesure que l'industrialisation s'accélère.

9.2 Analyse du marché des électrodes de tungstène en Chine

La Chine est le plus grand producteur et consommateur mondial d'électrodes de tungstène pur, et le développement de son marché est affecté par les avantages des ressources nationales en tungstène, la modernisation de la fabrication et les politiques de protection de l'environnement. Ce qui suit analyse le marché chinois sous deux aspects : la capacité de production et la demande du marché et les domaines d'application.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

9.2.1 Capacité de production nationale

La capacité de production d'électrodes de tungstène pur de la Chine se classe au premier rang mondial, s'appuyant sur de riches ressources en minerai de tungstène et une chaîne industrielle parfaite. En 2024, la capacité de production annuelle d'électrodes de tungstène de la Chine sera d'environ 25 000 tonnes, dont environ 40 %, soit 10 000 tonnes. Zhuzhou dans le Hunan, Ganzhou dans la province du Jiangxi et Luoyang dans la province du Henan sont les principales bases de production, formant une chaîne industrielle complète allant de l'extraction du minerai de tungstène, de la préparation de la poudre de tungstène au traitement des électrodes.

Les avantages de la capacité de production de la Chine sont un faible coût, une grande échelle et une chaîne d'approvisionnement stable. Ces dernières années, les entreprises nationales ont amélioré l'efficacité de la production et la qualité des produits en introduisant des équipements de pointe (tels que des fours de frittage sous vide en Allemagne et des machines automatiques de tréfilage au Japon). Dans le même temps, certaines entreprises ont augmenté leurs investissements en R&D, développé de la poudre de tungstène ultra-fine et des électrodes nanocristallines, et réduit progressivement l'écart technologique avec les pays européens et américains.

Cependant, la capacité de production de la Chine est également confrontée à des pressions environnementales et à une surcapacité. L'extraction et l'épuration du tungstène impliquent une consommation d'énergie élevée et le rejet d'eaux usées, qui sont soumis aux exigences de la loi sur la protection de l'environnement et de la liste nationale des déchets dangereux. La surcapacité a entraîné une concurrence féroce sur le marché bas de gamme, et la guerre des prix a comprimé les marges bénéficiaires, incitant les entreprises à se transformer vers des marchés haut de gamme.

9.2.2 Besoins du marché CLP et zones de demande

La demande du marché chinois de l'électricité pure est d'environ 12 000 tonnes, ce qui représente environ 60 % du marché intérieur de l'électricité.

Construction et infrastructure : La construction de trains à grande vitesse, de ponts et de murs-riveaux a stimulé la croissance de la demande de soudage en alliage d'aluminium, et l'électricité électrique pure est largement utilisée dans le domaine de la construction en raison de son avantage en termes de coûts. Par exemple, le soudage de pièces structurelles en aluminium du chemin de fer interurbain Pékin-Xiong'an et du Shenzhen Bay Supertall Building repose sur des électrodes en tungstène pur.

Fabrication automobile : La coque de batterie, le corps et les pièces en alliage d'aluminium des véhicules à énergie nouvelle doivent être soudés avec une grande précision, et les électrodes en tungstène pur occupent une position importante dans le soudage AC. En 2024, la production de véhicules à énergie nouvelle de la Chine dépassera les 8 millions d'unités, ce qui stimulera la croissance de la demande d'électrodes.

Aérospatiale : Les programmes COMAC (par exemple, l'avion C919) et aérospatial (par exemple,

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

les fusées de la série Longue Marche) ont des exigences strictes en matière de soudage pour les alliages d'aluminium et les alliages de magnésium, et les électrodes en tungstène pur sont privilégiées pour leurs performances non radioactives et stables.

Ingénierie marine et offshore : La construction navale et la construction de plates-formes offshore dans les zones côtières impliquent un grand nombre de soudures d'alliages d'aluminium, et les électrodes en tungstène pur sont en demande stable dans ces scénarios.

Électronique et nouvelles énergies : Dans la fabrication de cellules solaires et de semi-conducteurs, l'utilisation d'électrodes en tungstène pur comme cibles de pulvérisation et matériaux de soudage augmente progressivement.

Le marché chinois se caractérise par un large éventail de demandes, allant du soudage à usage général à faible coût au soudage de précision haute performance. À l'avenir, avec la mise à niveau de l'industrie manufacturière et l'avancement de l'initiative « Belt and Road », le marché chinois des électrodes en tungstène pur devrait continuer à se développer à un taux de croissance annuel moyen de 3 % à 4 %, en particulier dans les applications haut de gamme.

9.3 Tendances au développement de la technologie des électrodes électriques pures

Le développement d'électrodes électriques pures est motivé par la production d'énergie à haut rendement, les exigences environnementales et la recherche de nouveaux matériaux et d'énergie, dans le but d'améliorer les performances, de réduire les coûts et de répondre aux exigences réglementaires. Les trois aspects suivants des tendances technologiques sont abordés.

9.3.1 Technologies pour une production d'électricité efficace

Les technologies de production efficaces visent à raccourcir les temps de cycle, à réduire la consommation d'énergie et à améliorer la qualité des produits, et les principales technologies comprennent :

Production continue : développer un four de frittage continu et un équipement de tréfilage automatique pour obtenir une production continue du pressage au traitement, et raccourcir le cycle de production de 20 % à 30 %. Par exemple, le four de frittage continu à induction à fréquence moyenne chauffe rapidement et améliore l'homogénéité du corps vert.

Fabrication intelligente : optimisez l'efficacité opérationnelle des équipements en surveillant les paramètres de production à l'aide de l'Internet industriel des objets (IIoT) et de capteurs. L'équipement intelligent de la ligne d'équipement de production peut détecter la densité et l'écart de taille du corps vert en temps réel pour réduire le taux de rebut.

Technologie de frittage rapide : Le frittage par plasma à décharge (SPS) utilise des impulsions électriques pour raccourcir le temps de frittage à quelques minutes, affiner le grain (<10 µm) et améliorer la résistance et la durabilité de l'électrode. SPS a été testé dans la production d'électrodes

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

haut de gamme.

L'application de ces technologies favorisera l'amélioration de l'efficacité de la production, réduira les coûts unitaires et améliorera la compétitivité du marché. Cependant, les coûts élevés d'investissement et de maintenance des équipements peuvent limiter sa promotion dans les PME.

9.3.2 Procédés de production respectueux de l'environnement

Les processus écologiques sont au cœur des pressions réglementaires et des besoins de fabrication écologique, et les technologies clés comprennent :

Purification à faible consommation d'énergie : La technologie d'échange d'ions et de séparation membranaire est utilisée pour remplacer l'hydrométallurgie traditionnelle et réduire les émissions d'eaux usées et de gaz d'échappement. Le nouvel équipement de purification peut récupérer plus de 90 % des déchets liquides contenant du tungstène et réduire la pollution de l'environnement.

Recyclage des déchets : Mettre en place un système de recyclage des déchets de tungstène pour récupérer la poudre de tungstène par grillage à haute température et réduction électrolytique afin de réduire le gaspillage de ressources. Certaines entreprises en Chine ont développé des processus avec un taux de recyclage de 80 %.

Substitution de processus non toxiques : Promouvoir l'utilisation d'agents de nettoyage à base d'eau et de peintures vertes non toxiques (telles que les peintures à base d'acrylique) pour remplacer les solvants organiques traditionnels et les peintures contenant du plomb, conformément au règlement REACH de l'UE et aux normes RoHS de la Chine.

Alimenté par des énergies renouvelables : Réduire l'empreinte carbone en utilisant l'énergie solaire ou éolienne pour alimenter les équipements de frittage et de traitement thermique. Des projets pilotes ont montré que les énergies renouvelables permettent de réduire de 30 % la consommation d'énergie de production.

La promotion de processus respectueux de l'environnement doit trouver un équilibre entre coût et conformité, mais avec le renforcement des réglementations en matière de protection de l'environnement et l'amélioration de la sensibilisation des consommateurs à l'environnement, son acceptation par le marché a progressivement augmenté.

9.3.3 Recherche et développement d'une nouvelle électrode de tungstène

La recherche et le développement de nouvelles électrodes en tungstène visent à surmonter les limites de performance des électrodes en tungstène pur et à répondre aux besoins du soudage haute performance, et les principales orientations comprennent :

Électrode de tungstène nanocristalline : L'électrode est préparée à l'aide de poudre de nano-tungstène pour améliorer la dureté et la stabilité de l'arc par des grains ultra-fins (<50 nm). Les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

performances d'initiation d'arc et le taux de consommation des nanoélectrodes sont meilleurs que ceux des électrodes conventionnelles, ce qui les rend adaptées aux industries aérospatiale et des semi-conducteurs.

Électrode microalliée : Des traces d'oxydation (par exemple, zircon, oxyde d'yttrium) sont ajoutées au tungstène pur pour réduire le travail d'évolution des électrons (à 4,0-4,2 eV) et améliorer les performances de soudage CC. L'électrode en microalliage conserve l'avantage en termes de coût et les propriétés non radioactives du tungstène pur.

Électrodes composites à base de tungstène : Le développement de matériaux composites de tungstène et de graphène ou de nanotubes de carbone, combinés à un point de fusion élevé et à une excellente conductivité électrique (>40 % IACS), améliorent considérablement le durcissement et la durabilité. L'électrode composite doit résoudre le problème de la stabilité interfaciale à haute température.

La recherche et le développement de nouvelles électrodes doivent être combinés à la demande du marché et à la faisabilité de la production, par exemple, le coût de production des nanoélectrodes doit être encore réduit pour obtenir une application à grande échelle. À l'avenir, la coopération entre l'industrie, l'université et la recherche et les échanges techniques internationaux accéléreront le processus d'industrialisation de nouvelles électrodes.

9.4 Défis de l'électricité de surface pour l'électrode électrique pure

Bien que le marché des électrodes électriques pures se développe rapidement, il est confronté à de multiples défis, notamment la fluctuation des prix des matières premières, les pressions réglementaires environnementales et la concurrence technologique.

9.4.1 Fluctuations du prix des matières premières

En tant que métal rare, le prix du tungstène est affecté par l'offre et la demande mondiales, la géopolitique et les politiques minières. En 2024, le prix du concentré de tungstène fluctuera entre 120 000 RMB et 150 000 RMB par tonne, ce qui affectera le coût de production des électrodes de tungstène pur. Les principales raisons de l'augmentation des prix sont les suivantes :

Contraintes en matière de ressources : La gestion des quotas de la Chine pour l'extraction du tungstène a limité la croissance de l'offre.

Demande d'exportation : La demande accrue d'électrodes non radioactives en Europe et aux États-Unis a fait grimper le prix international du tungstène.

Risques géopolitiques : Des événements géopolitiques tels que le conflit entre la Russie et l'Ukraine pourraient perturber l'approvisionnement en tungstène russe.

Les fluctuations de prix augmentent l'incertitude des coûts de production, en particulier pour les petites et moyennes entreprises. Les stratégies comprennent des contrats à long terme avec les fournisseurs, le développement de technologies de recyclage de la ferraille de tungstène et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

l'exploration de matériaux alternatifs, mais la volatilité des prix des matières premières restera un risque majeur à court terme.

9.4.2 Pressions réglementaires environnementales

La production d'électrodes de tungstène implique une consommation d'énergie élevée et des émissions polluantes, et est soumise à des réglementations environnementales de plus en plus strictes, telles que la loi chinoise sur la protection de l'environnement et la directive-cadre sur les déchets de l'Union européenne. Les défis comprennent :

Traitement des eaux usées : Les eaux usées contenant du tungstène provenant de la purification et du nettoyage du tungstène doivent être traitées à une teneur en métaux lourds inférieure à 0,01 mg/L, ce qui augmente le coût du traitement.

Contrôle des gaz d'échappement : La poussière et l'oxyde de tungstène générés par le frittage et le broyage doivent être traités par filtration et adsorption à haute efficacité, et l'investissement en équipement est élevé.

Contraintes de consommation d'énergie : Les objectifs « à double émission de carbone » de la Chine (pic carbone et neutralité carbone) exigent des entreprises qu'elles réduisent leur consommation d'énergie unitaire, et les processus traditionnels à forte intensité énergétique risquent d'être éliminés.

Le coût de la conformité aux réglementations environnementales peut évincer le financement de la R&D et affecter l'innovation technologique. Les entreprises doivent réduire les coûts de conformité grâce à des processus verts et à des applications d'énergie renouvelable, tout en obtenant des subventions gouvernementales et un soutien financier vert.

9.4.3 Concurrence internationale et obstacles technologiques

Le marché des électrodes électriques pures est très concurrentiel, et la concurrence internationale et les barrières techniques sont les principaux défis :

Barrières du marché haut de gamme : Les entreprises américaines, allemandes et japonaises occupent le marché haut de gamme avec des technologies de pointe (telles que le frittage SPS et le traitement nanocristallin), et l'effet de marque et les brevets technologiques limitent l'entrée des entreprises chinoises.

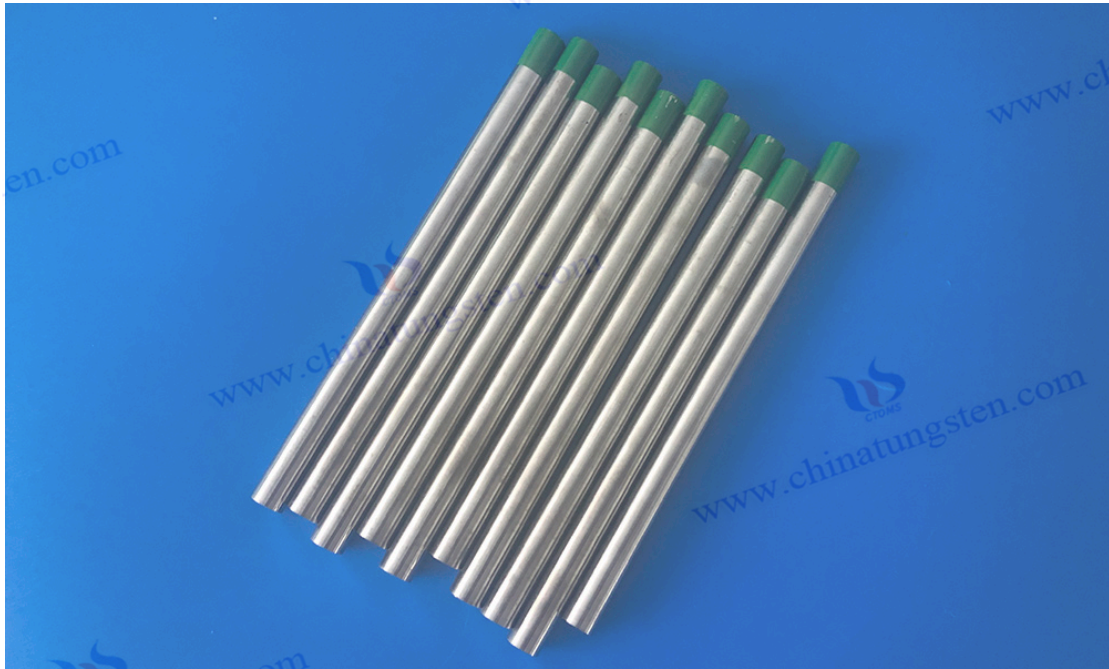
Concurrence sur les marchés bas de gamme : Les producteurs à bas prix de pays comme la Chine, le Vietnam et l'Inde se livrent une guerre des prix sur les marchés bas de gamme, et les marges bénéficiaires continuent de diminuer.

Écart technologique : Les entreprises européennes et américaines sont à la pointe dans le domaine des nouveaux matériaux d'électrodes (tels que les électrodes composites en tungstène) et de la fabrication intelligente, tandis que les entreprises chinoises doivent encore faire des percées dans

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

les équipements de base (tels que les tréfileuses de haute précision) et les processus haut de gamme.

Pour faire face à la concurrence internationale, il est nécessaire de renforcer la recherche et le développement technologiques, la construction de marques et la coopération internationale. Par exemple, en coopérant avec des entreprises allemandes pour introduire des équipements de pointe, ou en participant à l'élaboration de normes internationales telles que l'ISO, nous pouvons faire entendre notre voix. De plus, des stratégies concurrentielles différenciées (p. ex., électrodes personnalisées, certification verte) peuvent aider les entreprises à surmonter les obstacles du marché.



électrodes en tungstène pur de CTIA GROUP LTD

Chapitre 10 Conclusions

En tant que consommable de base du soudage à l'arc tungstène-argon (soudage TIG), l'électrode de tungstène pure (électrode WP) a joué un rôle important dans le soudage et d'autres domaines industriels en raison de son point de fusion élevé, de son avantage en termes de coûts et de ses caractéristiques non radioactives. Ce livre expose systématiquement le processus de préparation, l'équipement de production, les méthodes d'essai, les normes nationales et étrangères, l'état du marché et les avantages et inconvénients des électrodes en tungstène pur, et démontre de manière exhaustive ses caractéristiques techniques et sa valeur d'application. Ce chapitre fera une évaluation complète des électrodes de tungstène pur, se réjouira de son orientation future en matière de développement et proposera des suggestions pour la recherche et l'application, afin de fournir une référence aux praticiens et aux chercheurs de l'industrie.

10.1 Évaluation complète de l'électrode de tungstène pur

En tant que premier type d'électrode non fondante utilisé dans le soudage TIG, les performances et les caractéristiques d'application de l'électrode de tungstène pur ont été entièrement vérifiées dans

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

la pratique à long terme. Voici une évaluation complète de quatre aspects : performances techniques, scénarios d'application, économie et protection de l'environnement.

Performance technique

L'électrode de tungstène pur est composée de tungstène de haute pureté ($\geq 99,5\%$), qui a un point de fusion très élevé (3422°C), une excellente conductivité thermique (environ $173\text{ W/m}\cdot\text{K}$) et une faible pression de vapeur, ce qui lui permet de maintenir la stabilité structurelle et l'intégrité morphologique finale dans un environnement d'arc à haute température ($6000\text{-}7000^{\circ}\text{C}$). Ces propriétés le rendent particulièrement bon pour le soudage AC (AC), en particulier pour le soudage de métaux légers avec des films d'oxyde, tels que l'aluminium, le magnésium et leurs alliages. Dans le soudage AC, les électrodes en tungstène pur obtiennent l'effet d'un « nettoyage cathodique » grâce à l'action alternée de demi-cycles positifs et négatifs, éliminant efficacement la couche d'oxyde (telle que Al_2O_3 , point de fusion d'environ 2050°C), formant une soudure propre et de haute qualité.

Cependant, le travail électronique élevé (environ $4,52\text{ eV}$) des électrodes de tungstène pur entraîne l'initiation de son arc et son instabilité dans le soudage à courant continu (CC), ce qui limite sa compétitivité dans les applications de soudage de l'acier inoxydable, de l'acier au carbone et d'autres matériaux. De plus, le taux de consommation d'électrodes est élevé, en particulier à des courants élevés ($>200\text{ A}$) ou lors de longs soudages continus, où le matériau final est volatil, ce qui entraîne des longueurs plus courtes et des performances réduites. Par rapport aux électrodes dopées (telles que les électrodes de tungstène au cérium et de tungstène lanthane, le travail des électrons d'environ $2,7\text{ à }3,2\text{ eV}$) est légèrement inférieur en termes de performances de soudage globales, mais il présente toujours des avantages irremplaçables dans des scénarios spécifiques.

La densité élevée ($19,3\text{ g/cm}^3$), la dureté (HV 350-450) et la stabilité chimique des électrodes en tungstène pur les rendent idéales pour les électrodes de soudage par résistance, les électrodes de découpe plasma, les matériaux d'émission de thermoélectrons, les cibles de pulvérisation et les contreponds dans les applications sans soudage. Par exemple, dans la fabrication de semi-conducteurs, les électrodes en tungstène pur peuvent être utilisées comme cibles de pulvérisation pour former des films de tungstène de haute qualité ; Dans le secteur aéronautique, ses contreponds à haute densité sont utilisés pour optimiser l'équilibrage structurel. Dans l'ensemble, les performances techniques des électrodes en tungstène pur sont excellentes dans les applications nécessitant des températures élevées, une haute précision et une non-radioactivité, mais leur polyvalence doit être encore améliorée grâce à l'optimisation des processus.

Économique

L'un des avantages non négligeables des électrodes en tungstène pur est leur faible coût de production. Par rapport aux électrodes dopées, les électrodes en tungstène pur n'ont pas besoin d'ajouter d'oxydes de terres rares (tels que l'oxyde de cérium, l'oxyde de lanthane), ce qui évite des matières premières coûteuses et des processus de dopage complexes, et réduit les coûts de production. Les ressources mondiales de tungstène sont abondantes (la Chine représente environ 50% des réserves), la chaîne d'approvisionnement est stable et la fluctuation des prix du concentré

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

de tungstène est relativement contrôlable (environ 12 à 150 000 yuans/tonne en 2024). De plus, le processus de production d'électrodes en tungstène pur (comme la métallurgie des poudres, le traitement sous pression) a été très mature et la production à grande échelle a encore réduit le coût unitaire.

Dans les applications, le faible coût des électrodes en tungstène pur les rend très attrayantes dans les industries sensibles aux coûts telles que la construction, la construction navale et l'usinage général. Par exemple, les électrodes en tungstène pur sont souvent utilisées pour le soudage de murs-rideaux en aluminium, de structures de navires et de pièces automobiles afin d'équilibrer qualité et coût. Cependant, son taux de consommation élevé et ses exigences de meulage fréquentes augmentent le coût d'utilisation, en particulier dans le soudage à haute charge, qui nécessite un remplacement plus fréquent des électrodes, ce qui augmente indirectement le coût d'exploitation. Dans l'ensemble, les électrodes en tungstène pur présentent des avantages évidents dans les applications sensibles aux coûts, mais il existe un compromis entre performance et économie dans les scénarios de haute performance.

Respect de l'environnement et sécurité

La nature non radioactive des électrodes de tungstène pur est qu'elles sont plus radioactives que les électrodes de tungstène thoriées (contenant de l'oxyde de thorium radioactif, ThO_2), ce qui présente des avantages significatifs. La radioactivité des électrodes en thorium-tungstène (débit de dose gamma d'environ 1 à 10 $\mu\text{Sv/h}$) présente un risque pour la sécurité lors de la production, du stockage et de l'élimination, tandis que le débit de dose des électrodes en tungstène pur est proche du niveau de rayonnement de fond (environ 0,1 $\mu\text{Sv/h}$), ce qui est conforme au règlement REACH de l'UE et à la norme RoHS de la Chine. Cette propriété le rend encore plus attrayant dans les domaines critiques pour la sécurité tels que les équipements de transformation des aliments, les dispositifs médicaux et l'aérospatiale.

Cependant, les problèmes de protection de l'environnement dans le processus de production d'électrodes en tungstène pur ne peuvent être ignorés. La purification et le frittage du minerai de tungstène impliquent une consommation d'énergie élevée et les émissions d'eaux usées, telles que les déchets liquides contenant du tungstène et les vapeurs d'oxyde de tungstène, doivent être strictement traitées pour se conformer aux exigences de la loi sur la protection de l'environnement et d'autres réglementations. Ces dernières années, les entreprises ont réduit leur impact environnemental en adoptant des technologies telles que l'échange d'ions, le recyclage des déchets et des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, mais le coût de la conformité reste un défi pour les PME. Dans l'ensemble, les électrodes en tungstène pur présentent des avantages inhérents en termes de protection de l'environnement et de sécurité, mais le processus de production doit être optimisé pour parvenir à une fabrication écologique.

Scénarios d'application

Les scénarios d'application des électrodes en tungstène pur sont principalement axés sur le soudage TIG AC, particulièrement adapté au soudage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages, et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

sont largement utilisés dans les industries de l'aérospatiale, de la construction automobile, de la construction navale et de la construction. Par exemple, dans le domaine aérospatial, les électrodes en tungstène pur sont utilisées pour le soudage des fuselages en alliage d'aluminium et des pièces en alliage de magnésium des avions C919 ; Dans l'industrie automobile, il joue un rôle important dans le soudage des carters de batterie des véhicules à énergie nouvelle. De plus, les électrodes en tungstène sont également largement utilisées dans des applications non soudables telles que la découpe plasma, les cibles de pulvérisation et les contrepoids, démontrant ainsi leur polyvalence.

Cependant, ses limites en soudage DC limitent ses applications de soudage dans l'acier inoxydable, les alliages de nickel et d'autres matériaux, et les électrodes dopées sont plus avantageuses dans ces scénarios. De plus, la consommation rapide et les exigences élevées d'entretien des électrodes en tungstène pur dans le soudage à haute charge ou à haute fréquence limitent également leur compétitivité dans la production automatisée. Dans l'ensemble, les électrodes en tungstène pur présentent des avantages uniques dans le soudage AC et dans des domaines spécifiques non soudables, mais des améliorations supplémentaires sont nécessaires dans les applications à usage général et à haute performance.

10.2 Perspectives de développement futur de l'électrode de tungstène pur

Avec la transformation et la mise à niveau de l'industrie manufacturière mondiale, l'essor de l'industrie des nouvelles énergies et les réglementations de plus en plus strictes en matière de protection de l'environnement, le développement futur des électrodes en tungstène pur sera stimulé par l'innovation technologique, la demande du marché et les orientations politiques. Voici un aperçu de ses tendances futures sous trois aspects : le progrès technologique, l'expansion du marché et le développement vert.

Avancées technologiques

Le progrès technologique est la clé de l'amélioration des performances et de la compétitivité des électrodes en tungstène pur, et le développement futur se concentrera sur les directions suivantes :

Haute pureté et optimisation des grains : Grâce à des technologies de purification avancées telles que l'échange d'ions et l'extraction par solvant, la pureté de la poudre de tungstène est augmentée à 99,99 % et l'influence des impuretés (telles que l'oxygène et le fer) sur la stabilité de l'arc est réduite. Les technologies de frittage rapide telles que le frittage par plasma à décharge (SPS) peuvent affiner les grains à moins de 10 µm, améliorer la dureté et la durabilité de l'électrode et réduire le taux de consommation. La recherche et le développement d'une électrode de tungstène nanocristalline amélioreront encore les performances d'initiation de l'arc et la stabilité de l'arc, et élargiront son application dans le soudage à courant continu.

Fabrication intelligente et automatisation : L'Internet industriel des objets (IIoT) et la technologie des capteurs entraîneront la transformation intelligente des lignes de production. Par exemple, les systèmes intelligents qui surveillent en temps réel la température du four de frittage, la tension de la machine à tréfiler et la qualité de surface des électrodes réduisent les taux de rebut et augmentent

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

la productivité. La popularisation des lignes de production automatisées (telles que les fours de frittage continu, les équipements de polissage robotisés) raccourcira le cycle de production de 20 à 30 % et réduira les coûts de main-d'œuvre.

Développement de nouveaux matériaux : les électrodes microalliées (telles que l'ajout de zirconium ou d'oxyde d'yttrium) et les composites à matrice de tungstène (tels que les électrodes composites tungstène-graphène) deviendront des points chauds de la R&D. Ces matériaux réduisent le travail d'évolution des électrons (à 4,0-4,2 eV) et améliorent les performances de soudage DC tout en conservant l'avantage de coût et les propriétés non radioactives du tungstène pur. L'industrialisation de nouvelles électrodes doit résoudre les problèmes de contrôle des coûts et de stabilité des processus, et elle devrait atteindre une application à grande échelle dans les 5 à 10 prochaines années.

Les progrès technologiques amélioreront considérablement les performances des électrodes en tungstène pur, ce qui les rendra plus compétitives dans le soudage de haute précision et à haute charge, tout en favorisant leur application dans des domaines émergents tels que les semi-conducteurs et l'industrie nucléaire.

Expansion du marché

Le marché mondial des électrodes en tungstène pur devrait croître à un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 3 % à 5 % et la taille du marché devrait atteindre 6 à 700 millions de dollars d'ici 2030. Les moteurs de l'expansion du marché sont les suivants :

Croissance dans les marchés émergents : La croissance rapide de la fabrication et de la construction d'infrastructures dans la région Asie-Pacifique (Chine, Inde, Asie du Sud-Est) stimule la demande d'électrodes en tungstène pur. Par exemple, les projets de train à grande vitesse en Inde et la construction de ports en Asie du Sud-Est augmenteront la demande de soudage en alliage d'aluminium, et l'avantage de coût des électrodes de tungstène pur la rend dominante sur ces marchés.

Nouvelles énergies et industries de haute technologie : La demande de matériaux en tungstène de haute pureté dans les cellules solaires, les équipements éoliens et la fabrication de semi-conducteurs augmente, et les électrodes en tungstène pur sont utilisées comme cibles de pulvérisation et matériaux de soudage. Par exemple, le dépôt de couches minces dans l'industrie photovoltaïque et la fabrication de batteries pour les véhicules à énergie nouvelle stimuleront la demande d'électrodes.

Percée dans les applications haut de gamme : avec l'optimisation du processus de production, les électrodes en tungstène pur auront plus d'opportunités dans le soudage de précision dans les industries aérospatiale et nucléaire. Par exemple, la demande d'électrodes non radioactives à haute performance dans des projets tels que le réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER) favorisera la mise à niveau technologique et l'expansion du marché des électrodes de tungstène pur.

Cependant, l'expansion du marché doit faire face à la concurrence et aux barrières commerciales internationales pour les électrodes dopées. Les entreprises européennes et américaines occupent le

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

marché haut de gamme avec leurs avantages technologiques, et les entreprises chinoises doivent améliorer leur compétitivité en construisant leur marque et en proposant des produits différenciés tels que des électrodes personnalisées. En outre, l'initiative « la Ceinture et la Route » (BRI) permet aux entreprises chinoises d'accéder aux marchés du Moyen-Orient, d'Afrique et d'Amérique latine, et doit saisir les dividendes politiques pour accroître leurs exportations.

Développement vert

La protection de l'environnement et le développement durable sont des tendances à long terme dans l'industrie des électrodes en tungstène pur, motivées par l'objectif mondial de « neutralité carbone » et les réglementations environnementales. Les orientations futures comprennent :

Processus de production écologique : Adopter une technologie de purification à faible consommation d'énergie (comme la séparation membranaire) et un système de recyclage des déchets pour réduire les émissions d'eaux usées et de gaz d'échappement. Le projet pilote a montré que le taux de recyclage des déchets peut atteindre 80 %, ce qui réduit considérablement le gaspillage de ressources. L'utilisation d'énergies renouvelables (par exemple, l'énergie solaire, éolienne) dans le frittage et le traitement thermique peut réduire les émissions de carbone de 30 %.

Promotion des matériaux non toxiques : promouvoir les peintures vertes à base d'eau et les agents de nettoyage non toxiques pour remplacer les peintures traditionnelles contenant du plomb et les solvants organiques, conformément aux réglementations REACH de l'UE et aux normes RoHS de la Chine. Ces matériaux réduisent la pollution de l'environnement et les risques pour la santé, et augmentent l'acceptation des produits sur le marché.

Modèle d'économie circulaire : mettre en place un système de recyclage des électrodes de tungstène, recycler les électrodes usagées par grillage à haute température et réduction électrolytique, et réduire la dépendance au minerai de tungstène primaire. Le modèle d'économie circulaire permet de réduire le coût des matières premières de 20 à 30 % tout en améliorant l'image verte des entreprises.

Le développement vert répond non seulement aux exigences réglementaires, mais renforce également la responsabilité sociale des entreprises et la compétitivité sur le marché. À l'avenir, les certifications vertes (e.g. ISO 14001) seront le passeport pour l'entrée sur le marché international des électrodes en tungstène pur.

10.3 Recherche et suggestions d'application de l'électrode de tungstène pur

Sur la base de l'évaluation complète et de la tendance future du développement de l'électrode de tungstène pur, les suggestions de recherche et d'application suivantes sont avancées sous quatre aspects : recherche et développement technologiques, optimisation de la production, promotion des applications et soutien politique.

Recherche et développement technologiques

Développement d'électrodes haute performance : Augmentez les investissements en R&D dans les électrodes nanocristallines en tungstène et les électrodes microalliées, et réduisez le travail des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

électrons en ajoutant des oxydes traces (tels que l'oxyde d'yttrium et la zircone) pour améliorer les performances de soudage CC. La coopération entre l'industrie, l'université et la recherche peut accélérer la validation en laboratoire et l'industrialisation de nouvelles électrodes.

Recherche d'optimisation des procédés : développer une technologie de frittage rapide et des équipements de production intelligents pour affiner la structure des grains et améliorer l'efficacité de la production. Par exemple, la technologie de frittage SPS est promue pour raccourcir le temps de frittage à la minute et réduire la consommation d'énergie. L'application de capteurs et de la technologie de l'intelligence artificielle permet d'optimiser en temps réel les paramètres de production.

Mise à niveau de la technologie de détection : Développez une technologie de détection en ligne (telle que la spectroscopie de claquage induite par laser, LIBS) pour réaliser une analyse en temps réel de la composition chimique et de la microstructure, et améliorer l'efficacité du contrôle de la qualité. Établir une base de données unifiée des normes d'essai afin de promouvoir la reconnaissance mutuelle internationale des résultats d'essais.

Optimisation de la production

Automatisation et intelligence : Promouvoir des lignes de production automatisées et des systèmes de surveillance intelligents, couvrant l'ensemble du processus, du pressage de la poudre de tungstène au traitement de surface. Par exemple, les machines de tréfilage continu et les équipements de polissage robotisés peuvent augmenter l'efficacité de la production de 15 à 20 %. Les plateformes d'analyse de données, telles que les systèmes SCADA, optimisent les paramètres de processus et réduisent les taux de rebut.

Mise en œuvre d'une fabrication écologique : Investir dans de l'équipement respectueux de l'environnement (p. ex., filtres à haute efficacité, épurateurs humides) pour traiter les eaux usées de production et les gaz d'échappement afin d'assurer la conformité aux réglementations environnementales. Favorisez les énergies renouvelables pour réduire votre empreinte carbone. Mettre en place un système de recyclage des déchets pour améliorer l'utilisation des ressources.

Gestion de la chaîne d'approvisionnement : Signature de contrats à long terme avec des fournisseurs de minerai de tungstène pour stabiliser les prix des matières premières. Développer une technologie de recyclage des déchets de tungstène pour réduire la dépendance au minerai de tungstène primaire. Renforcez la gestion digitale de la supply chain, suivez les stocks et la logistique en temps réel, et améliorez la vitesse de réponse.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

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

Promotion de l'application

Produits personnalisés : Selon les besoins des industries de l'aérospatiale, de l'automobile et des nouvelles énergies, nous développons des électrodes en tungstène pur personnalisées, telles que des électrodes de petit diamètre (0,5-1,0 mm) pour l'industrie électronique et des électrodes de grand diamètre (4,0-6,4 mm) pour la construction navale. Les produits personnalisés peuvent améliorer la compétitivité du marché.

Expansion du marché international : Profitez de l'initiative « Belt and Road » pour pénétrer les marchés du Moyen-Orient, de l'Afrique et de l'Amérique latine afin de promouvoir des électrodes en tungstène pur à faible coût et à haute performance. Participer à des expositions internationales (telles que le salon du soudage à Essen, en Allemagne) et demander une certification verte (telle que ISO 14001) pour renforcer l'influence de la marque.

Formation et assistance techniques : Fournir aux utilisateurs une formation sur l'optimisation des paramètres de soudage et l'utilisation des électrodes pour améliorer les performances des électrodes en tungstène pur dans le soudage DC. Par exemple, il est recommandé de régler le courant alternatif de frappe d'arc à haute fréquence et le courant alternatif à ondes carrées pour améliorer les performances d'amorçage d'arc et la stabilité de l'arc.

Soutien aux politiques

Orientation de la politique environnementale : Le gouvernement peut introduire des politiques de subventions pour encourager les entreprises à adopter des technologies de production vertes et des énergies renouvelables. Établir des normes plus strictes en matière d'extraction et d'émissions de tungstène afin de promouvoir la transition de l'industrie vers une fabrication verte.

Financement de la R&D technologique : Mettre en place un fonds spécial pour soutenir la R&D et l'industrialisation de nouvelles électrodes en tungstène, telles que les électrodes nanocristallines et les électrodes composites. Encourager la recherche conjointe industrie-université-recherche pour accélérer la transformation technologique.

Coopération internationale et formulation de normes : Participer à la révision des normes ISO et AWS afin de renforcer la voix de la Chine dans la formulation de normes d'électrodes de tungstène. Promouvoir la reconnaissance mutuelle internationale des résultats des essais, réduire les obstacles au commerce et promouvoir la croissance des exportations.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale



électrodes en tungstène pur de CTIA GROUP LTD

Appendice

A. Glossaire

Électrode WP : Une électrode en tungstène avec une teneur en \geq de 99,5 % de tungstène, généralement utilisée pour le soudage AC, avec un code de couleur verte.

Soudage TIG : Le processus de soudage d'électrodes en tungstène sous la protection d'un gaz inerte.

Fonction de travail : Quantité minimale d'énergie nécessaire pour que les électrons s'échappent de la surface d'un matériau.

Stabilité de l'arc : La capacité de l'arc à rester continu et uniforme pendant le processus de soudage.

Métallurgie des poudres : Technologie de préparation des matériaux par pressage et frittage de poudres métalliques.

Oxyde de terres rares : tels que l'oxyde de cérium, l'oxyde de lanthane, etc., additifs utilisés pour améliorer les performances des électrodes en tungstène.

Frittage : Le processus de chauffage des particules de poudre à une température inférieure au point de fusion pour les combiner en un matériau dense.

Performance de démarrage de l'arc : La facilité avec laquelle l'électrode peut initier un arc au début du soudage.

Profondeur de pénétration : La profondeur de fusion de l'arc sur le matériau de la pièce pendant le soudage.

Émission thermoïonique : Phénomène dans lequel un matériau émet des électrons à haute température.

Croissance des grains : Le phénomène d'augmentation de la taille des grains à des températures élevées, ce qui peut entraîner une diminution des propriétés du matériau.

AWS A5.12 : Norme d'électrode de tungstène développée par l'American Welding Society.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

ISO 6848 : Norme pour les électrodes en tungstène élaborée par l'Organisation internationale de normalisation.

Astuce verte : Le marquage international de la couleur des électrodes en tungstène pur.

Soudage CC : Un processus de soudage qui utilise une source d'alimentation CC.

Soudage AC : Un processus de soudage qui utilise le courant alternatif.

Taux de consommation d'électrode : La vitesse à laquelle une électrode est perdue pendant le processus de soudage.

Coefficient de dilatation thermique : Le taux de changement dimensionnel d'un matériau avec la température.

Conductivité électrique : La capacité d'un matériau à conduire un courant électrique.

Résistance au fluage : La capacité d'un matériau à résister à une déformation lente à des températures élevées.

B. Références

- [1] Examen des performances et de l'application de l'électrode de tungstène pur. Industrie chinoise du tungstène, 2025-01-20.
- [2] Analyse de la tendance de développement du marché des électrodes de tungstène. Chinatungsten Online Technology Co., Ltd., 2024.
- [3] Progrès de la recherche et du développement d'une électrode de tungstène haute performance. Matériaux métalliques et ingénierie, 2024-11-15.
- [4] Technologie de fabrication verte dans l'industrie du tungstène. Association internationale du tungstène, 2024.
- [5] Recherche sur les matériaux et les procédés de soudage TIG. Technologie de soudage, 2025-02-10.
- [6] Rapport d'analyse du marché mondial des électrodes de tungstène. Industrie chinoise du tungstène, 2024-11-30.
- [7] Progrès dans la technologie de production d'électrodes de tungstène à haut rendement. Matériaux métalliques et ingénierie, 2024-10-10.
- [8] Marché des ressources en tungstène et tendances des prix. Nouvelles minières de Chine, 2024-09-20.
- [9] Avantages et inconvénients de l'électrode de tungstène pur. Industrie chinoise du tungstène, 2024-12-25.
- [10] Progrès de la recherche sur l'amélioration des matériaux d'électrode de tungstène. Matériaux métalliques et ingénierie, 2024-11-10.
- [11] Application des composites à matrice de tungstène dans le soudage. Science et génie des matériaux, 2023-12-20.
- [12] Méthodes d'analyse des matériaux en tungstène de haute pureté. Matériaux métalliques et ingénierie, 2024-10-15.
- [13] ISO 6848:2015. Soudage à l'arc et coupage — Électrodes en tungstène non consommables — Classification. Organisation internationale de normalisation, 2015.
- [14] AWS A5.12/A5.12M :2009. Spécification pour les électrodes de tungstène dispersées de tungstène et d'oxyde pour le soudage à l'arc et le coupage. Société américaine de soudage, 2009.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale

[15] ISO 6848:2015. Soudage à l'arc et coupage — Électrodes en tungstène non consommables — Classification. Organisation internationale de normalisation, 2015.

[16] EN 26848:1991. Consommables de soudage — Électrodes en tungstène pour le soudage à l'arc sous gaz inerte et pour le soudage au plasma. Comité européen de normalisation, 1991.

[17] GB/T 4190-2017. Électrodes en tungstène et en alliage de tungstène pour le soudage à l'arc argon à l'électrode non fondante. Administration de la normalisation de la République populaire de Chine, 2017.

[18] JIS Z 3233:2017. Électrodes en tungstène pour le soudage à l'arc sous gaz inerte. Comité japonais des normes industrielles, 2017.

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale